

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr Anny Wronki

pt. „Analiza możliwości pełnienia wybranych usług systemowych przez mikrosystemy energetyczne”

### 1. Przedmiot i zakres recenzji

Przedmiotem recenzji, którą opracowałem dla Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, w oparciu o pismo nr RDN-İSGiE-2/2019 z dnia 15.11.2019 r., stosownie do uchwały Rady Wydziału Mechanicznego Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej w przedmiotowej sprawie z dnia 24.09.2019 r., jest rozprawa doktorska pt. „Analiza możliwości pełnienia wybranych usług systemowych przez mikrosystemy energetyczne”. Autorką rozprawy jest mgr Anna Wronka. Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Henryk Kaproń.

Rozprawa obejmuje łącznie 279 stron tekstu (273 strony tekstu zasadniczego i 5 załączników w postaci wkładki), przy czym na początku zamieszczono spis treści oraz streszczenia w językach polskim i angielskim, wykaz ważniejszych skrótów i definicji, a na końcu wykaz literatury. Rozprawa jest więc kompletna i może być przedmiotem oceny merytorycznej i formalnej.

W rozdziale wstępnym (rozdz. 1) przedstawiono ogólnie tło zagadnienia, przegląd literatury oraz uzasadniono podjęcie prac w temacie rozprawy, a następnie sformułowano cel, tezę i zakres pracy. W następnych rozdziałach omówiono kolejno:

- problem badawczy wraz z jego analizą (rozdz. 2);
- rezerwy mocy w krajowym systemie elektroenergetycznym (KSE) (rozdz. 3);
- rynek regulacyjnych usług systemowych (rozdz. 4);
- model techniczno-ekonomiczny mikrosystemu energetycznego (MSE) (rozdz. 5);
- wnioski i dyskusję otrzymanych wyników badań (rozdz. 6);
- bibliografię.

Struktura pracy jest prawidłowa, a jej układ dość typowy dla rozpraw doktorskich w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych. Praca jest jednak ponadstandardowo obszerna i w konsekwencji dość trudna do sprawnej percepcji przez odbiorcę. Autorce nie zawsze udało się zachować ciągłość logiczną wyводу. Zdarzają się powtórzenia treści i powroty do wątków omawianych wcześniej. Zdaniem recenzenta bez szkody dla wartości rozprawy można było z rezygnować z niektórych wątków pobocznych i analiz historycznych. Dokonanie skrótów (szczególnie w rozdziałach 2, 3 i 4) pozwoliłoby na lepsze zaznaczenie wkładu własnego w pracy.

Strona formalna pracy jest zasadniczo właściwa. Praca napisana jest poprawnym językiem naukowo-technicznym. Należy stwierdzić na tej podstawie, że Autorka rozprawy wykazała się umiejętnością pisania prac o charakterze naukowym.

W niniejszej recenzji oceniłem najpierw zawartość naukową opiniowanej rozprawy, oryginalność wyników badań i możliwości praktycznego zastosowania przedstawionych rezultatów. Następnie oceniłem sposób prezentacji i formalną stronę pracy. Sformułowałem uwagi merytoryczne i pytania do Doktorantki. W części szczegółowej podałem szereg uwag odnośnie do niektórych sformułowań opisowych, zauważonych niezgodności oraz usterek redakcyjnych i korektorskich.

## 2. Ocena ogólna

Tematykę rozprawy oceniam ogólnie jako ważną i aktualną zarówno z punktu widzenia rozwoju nauki, jak i ze względu na możliwości praktycznego zastosowania jej wyników. Przekształcenia właścicielskie i organizacyjne w sektorach energetycznych, związane z urynkowaniem zasad ich funkcjonowania, spowodowały że konieczne są zasadnicze zmiany w organizacji i sposobach zarządzania pracą systemów energetycznych. Wyzwania są szczególnie istotne w obszarze systemu elektroenergetycznego, który charakteryzuje się wysokim stopniem centralizacji i silną integracją przestrzenną. Konieczna do wprowadzenia zasad rynkowych deregulacja i dezintegracja sektora stawia szereg wyzwań o charakterze technicznym, organizacyjnym i ekonomicznym. Stwarza to pole dla ważnych dla sektora badań interdyscyplinarnych o dużym znaczeniu praktycznym. Przykładem takiej pracy badawczej jest recenzowana rozprawa doktorska.

Wydzielenie w strukturach systemów elektroenergetycznych tzw. Operatorów Systemów Przesyłowych (OSP) i Operatorów Systemów Dystrybucyjnych (OSD) oraz przypisanie im określonych zadań do pełnienia, spowodowało między innymi konieczność świadczenia przez różne podmioty nowego rodzaju usług zwanych regulacyjnymi usługami systemowymi. Autorka podjęła zagadnienie rozważenia świadczenia tego rodzaju usług przez klastry energetyczne, tworzące lokalne mikrosystemy energetyczne.

W ocenie recenzenta główny wysiłek badawczy Autorki rozprawy został skierowany w kierunku oceny możliwości techniczno-ekonomicznych funkcjonowania klastrów energetycznych w warunkach krajowych. Przykład obliczeniowy zamieszczony w pracy dotyczy modelowego przypadku klastra energii, który mógłby powstać w wytypowanym przez Autorkę obszarze kraju. Warto podkreślić, że tematyka klastrów energii jest nowa i słabo opisana w krajowej literaturze technicznej. Tworzone od kilku lat uwarunkowania prawne powoływania i funkcjonowania klastrów energii podlegają zmianom i mimo dość licznych prób powoływania takich podmiotów w Polsce, trudno wskazać sprawnie funkcjonującą i modelową dla innych obszarów strukturę klastra.

Należy więc uznać, że zarówno zagadnienia powoływania klastrów energii jak i świadczenia przez nie regulacyjnych usług systemowych są aktualne i wymagają prowadzenia prac badawczych. Rezultaty tych prac mają duży potencjał wdrożeniowy i istotne znaczenie praktycznie. Tematyka rozprawy została więc wybrana właściwie, a jej wyniki są potencjalnie istotne dla gospodarki krajowej.

Podjęte przez Autorkę rozprawy zagadnienie naukowe polega na opracowaniu efektywnej metody analizy techniczno-ekonomicznej klastrów energii, pozwalającej na optymalne zwymiarowanie elementów składowych układu w wybranej lokalizacji. Opracowana w rozprawie metoda jest proponowana jako ogólna dla klastrów. Do jej testowania wybrano wytypowany przez Doktorantkę obszar, o istotnym potencjale rozwoju odnawialnych źródeł energii. Zaproponowano również model zarządzania klastrem energii, pozwalający na bieżące monitorowanie posiadanych rezerw mocy i wspomagający świadczenie usług systemowych przez klaster.

Rozprawa stanowi też wartościowe kompendium aktualnego stanu wiedzy z zakresu funkcjonowania i modelowania mikrosystemów energetycznych.

Tematyka rozprawy jest więc aktualna na tle obecnego stanu wiedzy i potrzeb elektroenergetyki. Planowanie rozwoju systemów energetycznych i podejmowanie decyzji inwestycyjnych, wymaga stosowania metod, takich jak proponowana przez Autorkę rozprawy.

Autorska metoda modelowania klastrów energii, prezentowana w rozprawie jest istotną modyfikacją i rozszerzeniem metod stosowanych do tej pory, opisywanych w literaturze przedmiotu. Autorka kładzie duży nacisk na możliwości aplikacyjne metody. Odnosi się do aktualnej praktyki gospodarczej i jest to niewątpliwą zaletą pracy.

Udział własny Autorki w opracowaniu poszczególnych zagadnień opisanych w rozprawie obejmował następujące elementy:

- opis i analizę aspektów technicznych, ekonomicznych, prawnych tworzenia klastrów energii, ze szczególnym uwzględnieniem możliwości wykorzystania źródeł odnawialnych;
- analizę możliwości technicznych i ekonomicznych świadczenia wybranych usług regulacyjnych przez mikrosystemy energetyczne;
- propozycję własnego modelu ekonomiczno-technicznego, pozwalającej na bilansowanie energetyczne i optymalizację struktury klastra energetycznego, przy rozważeniu różnych sposobów pokrycia lokalnych potrzeb energetycznych.

Jeżeli chodzi o zaproponowany model ekonomiczno-techniczny mikrosystemu energetycznego, jego nowatorskie (autorskie) elementy to:

- wykorzystanie modeli elementów składowych mikrosystemu energetycznego do prowadzenia analiz inwestycyjnych, dla różnych konfiguracji układu;
- zaproponowanie algorytmu decyzyjnego pozwalającego na szacowanie potencjału rezerw mocy, wspomagającego potencjalny udział MSE w rynku regulacyjnych usług systemowych.

### **3. Uwagi dyskusyjne**

Oceniając pozytywnie powyższe osiągnięcia Autorki z punktu widzenia walorów poznawczych i poszerzających wiedzę, a także umożliwiających działania aplikacyjne, zgłaszam do dyskusji następujące uwagi ogólne, odnoszące się do przedstawionej w rozprawie problematyki oraz niektórych przyjętych założeń:

- 1) Teza pracy została sformułowana w sposób podkreślający założenie Autorki, że do pełnienia wybranych usług systemowych MSE będzie zdolny pod warunkiem zbilansowania wewnętrznych zdolności produkcyjnych z zapotrzebowaniem podmiotów wchodzących w jego skład. Czy tak rozumiane zbilansowanie MSE jest konieczne dla osiągnięcia przez niego zdolności do pełnienia usług regulacyjnych? Czy MSE z nadmiarem zdolności wytwórczych nad zapotrzebowaniem w swoim obszarze nie może pełnić usług regulacyjnych? Czy MSE z niedoborem wytwarzania w stosunku do własnych potrzeb (nastawiony na import energii z obszaru systemowego) nie może potencjalnie uczestniczyć np. w pełnieniu usługi DSR?

W tezie jako warunek konieczny zdolności MSE do pełnienia usług systemowych podaje się zdolność MSE do działania „jako system w pełni autonomiczny”. Sformułowanie uważam za mało fortunne. Z założenia by pełnić usługi systemowe MSE musi być zintegrowany z systemem elektroenergetycznym (jako wydzielony obszar bilansowania, jeżeli chodzi o usługi związane z regulacją mocy czynnej i częstotliwości). Sformułowany przez Autorkę warunek jest zbyt ostry.

- 2) W uzupełnieniu do tezy głównej Autorka sformułowała sześć podtez. Częściowo porządkują one prezentacje treści pracy. W tezie głównej mowa jest o „wybranych usługach systemowych”. W podtezach brakuje wskazania jakie usługi systemowe będą rozważane.
- 3) Dlaczego na str. 64 (przedostatni akapit) Autorka twierdzi, że w przypadku klastrów energetycznych nie zachodzi zagrożenie subsydiowaniem skrośnym bądź wypracowywania przychodów istotnie przewyższających poziom kosztów uzasadnionych? Autorka kategorycznie wyklucza możliwość zachowań monopolistycznych klastra na swoim obszarze – wymaga to uzasadnienia.
- 4) Autorka mało konsekwentnie stosuje nazewnictwo i definicje w odniesieniu do regulacyjnych usług systemowych. Stosuje zarówno angielskie skróty FCR, FRR (aFRR i mFRR), RR jak i określenia rezerwa: pierwotna, wtórna, trójna. Pojawia się także: rezerwa sekundowa, minutowa, rezerwy operacyjne. W dużej mierze mamy do czynienia z synonimami, a czasami pojęcia są rozumiane inaczej, na podstawie wąsko określonych definicji. Proszę o wskazanie precyzyjnej klasyfikacji stosowanej przez Autorkę i uzasadnienie wprowadzania tak zróżnicowanego nazewnictwa w pracy.
- 5) W pracy postuluje się włączenie struktury wytwórczo-odbiorczej MSE do regulacji systemowej zgodnie z obowiązującymi instrukcjami (IRiESP, IRiESD) i po dostosowaniu do systemów zarządzania pracą systemu (SCADA). Brakuje jednoznacznej deklaracji w jakiej strukturze regulacji wtórnej rozważa się współpracę regulatorów lokalnych z regulatorem systemowym. Czy proponuje się pluralistyczny czy hierarchiczny układ regulacji? Jakie konsekwencje dla lokalnego zbilansowania MSE może mieć przyjęcie struktury układu regulacji?
- 6) Autorka posługuje się pojęciami „rynek techniczny” i „rynek bilansujący” (np. tytuł rozdziału 4) przy czym precyzyjnie nie definiuje tych pojęć, ani dostatecznie ich nie rozróżnia. Rynek bilansujący jest jednym z podstawowych

rynków energii elektrycznej i służy głównie pozyskaniu zdolności do bilansowania energii w odniesieniu do pozycji kontraktowych. Jednym jego dodatkowych zadań jest także pozyskiwanie i prowadzenie rozliczeń za świadczenie regulacyjnych usług systemowych. W pracy jest przywoływany głównie w tym drugim kontekście. Posługiwanie się osobnym pojęciem „rynek usług systemowych” powoduje zamęt w pracy. Proszę o jednoznaczne objaśnienie pojęć „rynek techniczny”, „rynek bilansujący” i „rynek usług systemowych” wraz ze wskazaniem powiązań pomiędzy tymi pojęciami.

- 7) W pracy pojawia się pojęcie „zagregowanego systemu zamkniętego”, które stosowane jest w różnych znaczeniach. W definicji 116 (na str. 28) podano definicję „zamkniętego systemu dystrybucyjnego”. Można odnieść wrażenie, że pojęcia te są traktowane przez Autorkę jako synonimy. Definicja podaje konieczność prowadzenia działalności energetycznych „na skalę ograniczoną pod względem wolumenu, wartości energii a także i w szczególności obszaru”. Jak jest rozumiane i jakie warunki techniczne muszą być spełnione dla uzyskania warunku wydzielenia działalności w ramach obszaru?
- 8) Stworzony model ekonomiczno-techniczny klastra energii wykonano wykorzystując oprogramowanie *Invest for Excel*®. W opisie modelu słabo zaznaczono własne propozycje autorskie. Na czym polega zasadniczy wkład własny Autorki w model?

#### 4. Uwagi szczegółowe

Uwagi szczegółowe sformułowałem odnosząc się do odpowiednich miejsc w pracy.

1. s. 17  
definicja 35      Angielskojęzyczne określenie „Merit order” jest niewłaściwie tłumaczone jako „krańcowe koszty produkcji”. W objaśnieniu pojęcia jest mowa o „osobach o najniższych kosztach krańcowych”. Stosowanie pojęcia „osoby” w tym kontekście nie jest właściwe.
2. s. 27  
definicje  
106 i 108      Autorka w definicjach usług dodatkowych i usług regulacyjnych przywołuje definicję usług systemowych, błędnie przywołując jej numer (poz. 80). Pod pozycją 79 (na str. 24) objaśniane jest pojęcie „rynku usług systemowych”. W ramach tego objaśnienia pojawiają się pojęcia „usług bilansujących i regulacyjnych” oraz „usług systemowych”. Brakuje precyzyjnych definicji tych pojęć. Można odnieść wrażenie, że określenia te są traktowane przez Autorkę jako synonimy. Brak precyzyjnego zdefiniowania pojęć zasadniczych z punktu widzenia tematu pracy, a później ich konsekwentnego stosowania, utrudnia percepcję pracy.
3. s. 27  
definicja  
112      Współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej jest wyrażany w jednostkach względnych lub w procentach i nie „określa ilości energii produkowanej”, jak objaśnia Autorka.

4. s. 30 ostatni akapit Doktorantka wskazuje na konieczność rozróżnienia „bilansowania” i „równoważenia” w systemach energetycznych. W dalszej części wywodu przedstawia definicję „bilansowania” a następnie (na str. 31) przywołuje definicję „elastyczności”. W konsekwencji pojęcie „równoważenia” nie zostało przez Autorkę objaśnione ani zdefiniowane.
5. s. 34 w. 6-7 dół Nie jest jasne co Autorka rozumie mówiąc o „dopuszczalnych proporcjach napięć i ciśnień sieci energetycznych” w kontekście pracy układów kogeneracyjnych w trybie „off-grid”.
6. s. 44 pierwszy akapit Autorka pisze o rezerwach „pierwotnych i wtórnych” jako „najlepiej płatnych usług dodatkowych”. W warunkach krajowych rezerwa pierwotna jest obligatoryjną usługą systemową, świadczoną nieodpłatnie przez wskazane podmioty rynku energii elektrycznej.  
  
Jak definiowana jest „pojemność energetyczna” urządzeń konsumpcyjnych, o której mowa w dalszej części wywodu?
7. s. 49 w. 14 dół Mowa jest o „sterowanych ładunkach” jako elementach składowych wirtualnych elektrowni (VPP). Jakie urządzenia określane są przez Autorkę tym pojęciem?
8. s. 51 w. 6 dół Mowa o „zmniejszeniu zatorów” w kontekście sieci elektroenergetycznych. Sformułowanie jest niefortunne i wymaga objaśnienia.
9. s. 61 w. 4-5 dół Mowa o niestabilnym charakterze odbiorców w systemie elektroenergetycznym jako wyzwaniu przyszłościowych. Warto zwrócić uwagę, że stochastyczny charakter zapotrzebowania jest zjawiskiem, z którym systemy elektroenergetyczne muszą sobie radzić od początków ich tworzenia.
10. s. 68 w. 7 dół Autorka stwierdza, że „...możliwe i uzasadnione jest tworzenie jedynie prognoz w krótkim (kilkuletnim) horyzoncie czasowym” w kontekście planowania przyszłościowej struktury wytwarzania w KSE (tzw. „miks energetyczny”). Trudno się zgodzić z tym twierdzeniem biorąc pod uwagę typowe wieloletnie cykle inwestycyjne w elektroenergetyce.
11. s. 69 w. 6 góra Tworząc autorską prognozę rozwoju instalacji OZE posłużono się funkcją bazującą na regresji liniowej. Dlaczego przyjęto trendy liniowe? W początkowych okresach wdrażania technologii ich rozwój jest często bardziej dynamiczny (np. opisywany jest trendem wykładniczym).
12. s. 76 w. 10-12 góra Autorka przytacza z literatury tezę, że źródła wiatrowe i fotowoltaiczne „nie mogą samodzielnie pełnić usług systemowych” (jest to możliwe dopiero przy współpracy z magazynem energii). W dalszej części pracy wskazywane są

wybrane usługi, które mogą być realizowane przy pracy samodzielnej (np. tab. 7), co przeczy przytoczonemu stwierdzeniu.

13. s. 76-80 tab. 5, 6, 7      Opisując potencjalne usługi w tabelach zastosowano zróżnicowane klasyfikacje usług, co nie pozwala na proste porównanie przytoczonych tam informacji. Np. w odniesieniu do elektrowni wiatrowych wymieniono dość bogaty katalog usług w tab.7 i ubogi w tab.5.
- W odniesieniu do źródeł wiatrowych w tab. 5 mowa jest o regulacji „mocy biernej i częstotliwości”. Regulacja mocy biernej jest ściśle związana z napięciem, zaś regulacja mocy czynnej z częstotliwością.
14. s. 82 tab.8      W opisie wierszy tabeli nie wyróżniono scenariuszy BAT. W tekście brakuje objaśnienia rozważanych scenariuszy. Jakie założenia różnicują scenariusz 1 i 2?
15. s. 83 w. 4-6 dół      Import energii po roku 2014 wynika, nie tyle z braku dostępnych krajowych źródeł wytwórczych na pokrycie szczytu zapotrzebowania, co jest efektem uwarunkowań ekonomicznych rynku energii – zakup energii z importu jest tańszy. Sytuacji w zakresie importu energii nie należy wprost wiązać z deficytem mocy w KSE.
16. s. 84 w. 7-10 dół      Zmniejszenie zapotrzebowania w latach 2008-2009 było głównie wynikiem światowego kryzysu gospodarczego.
17. s. 97 w. 6 góra      W podsumowaniu rozdziału Autorka podejmuje zagadnienie wprowadzenia cen węzłowych w KSE. Wcześniej ten temat nie był rozważany w pracy. Jakie znaczenie może mieć wprowadzenie cen węzłowych dla zasadności i sposobów funkcjonowania klastrów energii?
18. s. 97 w. 2-3 dół      Sieci rozdzielcze są od dawna planowane w strukturach oczkowych, zaś ich eksploatacja jest realizowana w układach promieniowych, na skutek wprowadzanych operacyjnych „rozcięć” w sieci. Rozcięcia w sieci wprowadza się w celu eliminacji przepływów karuzelowych. Czy Autorka proponuje jakieś zmiany w tej praktyce?
19. s. 102 w. 3-6 dół      Pisząc o regulacji mocy biernej i napięcia Autorka twierdzi, że skutki techniczne i ekonomiczne niezbilansowania mocy biernej „nie stanowią poważniejszego problemu” w małych wydzielonych układach elektroenergetycznych. Bilans mocy biernej ma charakter lokalny i bezpośrednio wpływa na sytuację napięciową w pobliżu węzła. Dlatego regulację mocy biernej organizuje się jako lokalną, dotyczącą węzłów systemowych, a nie jako globalną. W małych wydzielonych układach elektroenergetycznych zaburzenia i konsekwencje

niebilansowania mocy biernej mają podobne konsekwencje jak w obszarach „dużych” systemów elektroenergetycznych.

20. s. 104 w. 2-5 góra Bezpośrednie wiązanie problemu odkształcenia napięcia sieciowego (zawartości wyższych harmonicznych) z bilansem mocy biernej nie jest uzasadnione.
21. s. 104-105 Zgłaszana propozycja świadczenia usług z zakresu regulacji mocy biernej przez MSE na rzecz OSP jest dyskusyjna wobec lokalnego charakteru bilansu mocy biernej w systemach elektroenergetycznych i lokalności sytuacji napięciowej. Bardziej zasadne jest pełnienie usługi na rzecz OSD.
22. s. 112 tab. 11 Autorka jako przykład Jednostki Grafikowej Wytwórczej pasywnej (JGWp) podaje źródła rozproszone, natomiast przykładem Jednostki Grafikowej Odbiorczej aktywnej (JGOa) są źródła wykorzystujące energię wiatru. Jednocześnie w opisie poprzedzającym tabelę można znaleźć informację, że zagregowany system zamknięty może pełnić obie te funkcje (JGWp lub JGOa). Wobec braku przykładów takich systemów w tabeli, rodzi się pytanie jakie muszą być struktury zagregowanego systemu zamkniętego do pełnienia tych funkcji i jakie warunki dodatkowe muszą one spełniać? Od czego zależy przypisanie MSE jednej z dwóch analizowanych funkcji?
23. s. 122 w. 1 dół Napisano, że „...SOGL definiuje procesy regulacji mocy i częstotliwości”. Po tym stwierdzeniu nie są omawiane procesy regulacji mocy czynnej i częstotliwości, a dalsze wywody w kolejnych akapitach na str. 123 dotyczą regulacji mocy biernej i napięcia. To są rozdzielne rodzaje regulacji, realizowane przez inne regulatory systemowe i należy je omawiać osobno.
24. s. 127 w. 2 dół Stwierdzenie, że „rynek będzie się kierował jedynie ceną” jest uproszczeniem. Należy pamiętać o licznych ograniczeniach technicznych (przesyłowych i wytwórczych) w systemie elektroenergetycznym, które powodują, że rozdział rezerw i sposób ich pozyskania będzie musiał je uwzględniać.
25. s. 130 w. 10 góra Autorka twierdzi, że wdrożenie systemów zarządzania energią może prowadzić do redukcji zużycia energii „nawet o 30%”. W źródle, na które się powołuje, jest mowa o zmniejszeniu rachunków za energię (kosztów) o 30%. Redukcja kosztów zakupu energii nie jest tożsama z proporcjonalnym zmniejszeniem jej zużycia. Należy dodatkowo uwzględnić uwarunkowania lokalne (np. struktury opłat taryfowych) i proste przenoszenie wniosków nie jest uzasadnione.
26. s. 133 w. 7-8 dół Mowa jest o ponoszeniu „jedynie opłat za rezerwowanie pracy [lokalnej infrastruktury przesyłowej] w wypadku awarii (taryfa OSD)”. Obecnie w taryfach OSD takie opłaty nie są przewidziane. Jak zdaniem Autorki powinny być



- skonstruowane?
27. s. 143 w. 14-16 góra Autorka zakłada pełne (100%) pokrycie z własnych źródeł zapotrzebowania na energię elektryczną i ciepło. Czy warunek ten jest konieczny? W odniesieniu do ciepła, czy zasięg istniejących i perspektywicznych sieci ciepłowniczych pozwoli na spełnienie tego warunku (przy uwzględnieniu warunków ekonomicznych)?
28. s. 165 podsumowanie Podawanie wyników z nadmierną dokładnością (wielkości prognozowanych energii dla obszaru podaje się z dokładnością do 10 kWh, przy 7-8 cyfrach znaczących) nie odpowiada dokładności danych i założeń przyjmowanych do rachunku.
29. s. 167 w. 8 dół Jako główne źródło biomasy dla układów OZE przyjmuje się biomasę leśną. Biorąc pod uwagę kierunek prac legislacyjnych w UE, jak Autorka widzi w przyszłości problem klasyfikowania biomasy leśnej jako OZE?
30. s. 169 tab. 54 W strukturze zainstalowanej mocy elektrycznej proponowanego klastra energii zdecydowanie dominują źródła fotowoltaiczne i wiatrowe. Jak to przełoży się na zdolność klastra do dostawy regulacyjnych usług systemowych?
31. s. 176 ostatni akapit Autorka definiuje zysk EBIDTA jako „zysk zwiększony o amortyzację” i twierdzi, że „jest on obliczany jako suma zysku operacyjnego i amortyzacji”, natomiast ze wzoru 5.11 wynika, że jest on obliczany jako różnica przychodów i kosztów. Opis sposobu obliczania powinien odpowiadać zależnościom opisanym wzorami.
- We wzorze podano, że stosuje się sumowanie przychodów i kosztów – powinna być różnica.
- Wielokrotnie w pracy przytrafia się literówka: zamiast „EBIDTA” jest „EBITDA” (np. wiersz 7 od dołu).
32. s. 178 wzór 5.16 EBIT jest zapisany jako EBIDTA powiększona o amortyzację. Powinna być pomniejszona.
33. s. 189 wzór 5.59 Początkowe przepływy inwestycyjne (PI) we wzorze nie są dyskontowane, co oznacza, że nie będą rozłożone w czasie. W przypadku większości inwestycji energetycznych ich realizacja ma charakter wieloletni i konieczne jest uwzględnienie zamrożenia nakładów inwestycyjnych. W przypadku klastra energii będzie podobnie.
34. s. 189 We wzorze na obliczanie NPV (5.59) stopa dyskonta oznaczana jest jako „d”. Przy kolejnym wskaźniku IRR mowa o stopie dyskonta oznaczanej jako „r”. Dlaczego zróżnicowano te wartości?

35. s. 190 wzór 5.60 Wskaźnik rentowności oznaczany jest jako „PI”. To samo oznaczenie zastosowano we wzorze 5.59 jako oznaczenie początkowych przepływów inwestycyjnych.
36. s. 191 wzory 5.61 i 5.63 NPV dla projektu i NPV dla kapitału własnego to różne wartości, więc powinny mieć zróżnicowane oznaczenia (np. przez dodanie odpowiedniego indeksu).  
  
Sposób obliczania NPV na podstawie wzoru 5.61 zakłada dyskontowanie rozłożonych w czasie nakładów inwestycyjnych, podczas, gdy wzór 5.59 tego nie zakładał.
37. s. 192 w. 4-5 dół Dlaczego w analizie wrażliwości przyjęto takie same zakresy możliwej zmienności dla wszystkich badanych zmiennych? Czy oznacza to, że Autorka tak samo szacuje ryzyko ich zmienności?
38. s.198 Tab. 59 Otrzymane wskaźniki opłacalności inwestycyjnej tylko w niewielkim stopniu przekraczają wartości graniczne. Należałoby ocenić projekt jako dość ryzykowny.
39. s. 199 Przedstawianych jest 5 scenariuszy obliczeniowych. Nie zostały one dostatecznie opisane przez precyzyjne wskazanie założeń.
40. s. 202 rys. 37-38 Uzyskano duży udział układów fotowoltaicznych w pełnieniu usługi DSR. Dla jakich warunków pogodowych możliwy jest ten efekt? Zdolności produkcyjne takich układów w warunkach polskich to ok. 1000 h/a.
41. s. 206 Tytuł podrozdziału 5.2.6 („Model techniczno-ekonomiczny”) jest bardzo zbliżony do tytułu rozdziału głównego 5 („Model techniczno-ekonomiczny MSE”).
42. s. 209 ostatni akapit Po raz kolejny objaśniany jest termin EBIDTA (uwaga 30).
43. s. 210 w. 5 góra EBT jest objaśniane jako „earnings before interest”. Powinno być „earnings before taxes” (zysk przed opodatkowaniem).
44. s. 210 w. 13 dół Podano wartość EBIT z dokładnością do pojedynczych groszy. Dokładność danych wprowadzonych do rachunku nie pozwala na osiągnięcie tak precyzyjnego wyniku.  
  
Podobnie kolejne wyniki są podawane z nadmierną dokładnością.
45. s. 217 w. 2-3 góra Podaje się, że koszt kapitału obcego wynosił 4,52%. Na tym poziomie wyznaczono stopę dyskonta 4,52% (np. s. 217, ostatni wiersz). Dlaczego przyjmuje się koszt kredytu inwestycyjnego na poziomie stopy dyskonta?

46. s. 218 rys. 43 i 44 Wyniki przedstawia się dla trzech scenariuszy. Nie zostały one właściwie zdefiniowane przez podanie założeń. Na stronie 217 podaje się, że scenariusze zostały wyznaczone „zgodnie z analizą przeprowadzoną w 5.2.2 (tab. 67). W rozdziale 5.2.2 nie ma tabeli o takim numerze. Tab. 67 można znaleźć w rozdziale 5.2.5 i podano w niej zyski z pełnienia usług systemowych oznaczone jako „zysk 1”, „zysk 2” i „zysk 3”, ale nie wskazano których scenariuszy dotyczą („optymistyczny”, „realny”, „pesymistyczny”).
47. s. 224 objaśnienia do wzoru 5.3.2 Jako jednostkę jednostkowych nakładów inwestycyjnych (SCI) podaje się Euro/toe. Powinno być odniesienie do mocy, a nie do energii.  
IDC jest współczynnikiem zamrożenia kapitału w okresie budowy, a nie jak błędnie podano „oprocentowaniem nakładów inwestycyjnych...”.  
FC objaśniono dwukrotnie.  
VOM powinno być objaśnione jako „równoważne **pozapaliwowe** jednostkowe koszty eksploatacyjne zmienne”.
48. s. 225 objaśnienia do wzoru 5.3.3 Objaśnienie „r” jako „stopy oprocentowania” jest niewystarczające. Jakie oprocentowanie należy podstawić w tym wzorze? Na podstawie jakiego oprocentowania powinno być liczone zamrożenie nakładów w okresie budowy obiektu?
49. s. 225 wzór 5.3.6 Dlaczego wykonuje się uśrednienie ceny z zastosowaniem średniej arytmetycznej? Przy zróżnicowanych wolumenach usług świadczonych przez technologie w różnych cenach zasadne jest obliczanie średniej ważonej.  
Brak objaśnienia oznaczenia „ $x_n$ ” występującego we wzorze.
50. s. 226 Przy wyznaczaniu progów rentowności przyjęto liniowe charakterystyki kosztów wytwarzania energii. W przypadku większości technologii wytwarzania energii elektrycznej charakterystyki kosztów wytwarzania wykazują silną nieliniowość. Jak Autorka szacuje wpływ uproszczenia polegającego na linearyzacji charakterystyk na dokładność uzyskiwanych wyników?
51. s. 227 wzór 5.3.10 Jak Autorka uzasadnia uśrednianie ilościowych progów rentowności dla dostępnych technologii? Łączny potencjał układu zależy od sumy zdolności technologii składowych.
52. s. 231 w. 8-9 góra Dlaczego przy obliczaniu kosztów emisji CO<sub>2</sub> przyjęto jednostkowe opłaty za korzystanie ze środowiska?
53. s. 231 Sposób wyznaczenia dobowego wykresu zapotrzebowania jest

- akapit 1 dół słabo uzasadniony. Jak Autorka definiuje dobę średnią, dla której prowadzone są obliczenia? Zmienność dobową zapotrzebowania istotnie się zmienia w cyklu rocznym i tygodniowym.
- Jak interpretować „maksymalne zużycie energii w ciągu roku”?
54. s. 234-235 Dlaczego analizy prowadzone są na wykresach uporządkowanych, a nie na chronologicznych? Układy fotowoltaiczne mogą produkować energię i mają zdolność do świadczenia rezerw mocy tylko w porze dziennej. Obszar ich zdolności produkcyjnych jest trudny do wskazania na wykresie uporządkowanym.
55. s. 241 punkt 7 Bazowanie tylko na krajowych zasobach energii nie pozwoli osiągnąć celów europejskiej polityki klimatycznej.
56. s. 242 w. 7 góra Sformułowanie „obecnie rynek techniczny w Polsce nie istnieje” jest niefortunne w kontekście treści zawartych w rozprawie.
57. s. 246 w. 8 góra Teza, że powstawanie MSE będzie skutkować „zmniejszeniem zapotrzebowania na usługi systemowe” nie wynika z rozważań przedstawionych w pracy. Omawiane w pracy ograniczone zdolności regulacyjne odnawialnych źródeł energii (które mają stanowić podstawę MSE) powodują, że w miarę wzrostu ich udziału w systemie zapotrzebowanie na świadczenie usług regulacyjnych rośnie.
58. s. 254-255 Porównywanie technologii energetycznych tylko na podstawie nakładów inwestycyjnych daje niewielkie możliwości poprawnego wnioskowania. Zasady porównywania technologii energetycznych i stosowane w tym celu wskaźniki zostały omówione przed Doktorantką na str. 169-170 recenzowanej rozprawy.

Ponadto zauważyłem szereg drobniejszych usterek korektorskich i zaznaczyłem je w tekście oraz na marginesach w otrzymanym do zaopiniowania egzemplarzu rozprawy.

## 5. Ocena pracy jako rozprawy doktorskiej

Biorąc pod uwagę zawartość pracy stwierdzam, że Doktorantka w sposób wystarczający sformułowała problem naukowy, który następnie rozwiązała przy użyciu odpowiednio dobranych metod. Prezentowany w rozprawie zakres i poziom wiedzy Doktorantki w zakresie dyscypliny naukowej, której dotyczy praca, jest wystarczający zarówno w zakresie teoretycznym jak również aplikacyjnym.

Rozprawa została zredagowana z należytą starannością (niektóre zastrzeżenia podano w uwagach szczegółowych). Doktorantka opanowała technikę pisania prac naukowych oraz wykazała, że potrafi samodzielnie prowadzić pracę naukową.

Mogę stwierdzić, że Autorka wykazała umiejętności:

- formułowania i rozwiązywania problemu naukowego,
- przyjmowania uzasadnionych założeń,
- wykorzystania i rozwijania właściwych podejść metodycznych,
- rozwiązywania postawionych zadań,
- przekonującej prezentacji uzyskanych rezultatów.


Pod względem formalnym poziom rozprawy jest zadowalający. Terminologia jest w zasadzie poprawna i zgodna z obowiązującymi normami. W tekście znajdują się odpowiednie odnośniki do rysunków, tablic i cytowanych pozycji bibliograficznych. Konsekwentnie stosowane są jednostki SI.

Recenzowana rozprawa wykazuje ponadto umiejętność samodzielnego tworzenia metodyki badań oraz prowadzenia pracy naukowej i wystarczającą ogólną wiedzę teoretyczną Doktorantki w **dyscyplinie naukowej energetyka (odpowiadającej dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka wg klasyfikacji określonej w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z 2018 r.)**.

## 6. Wniosek końcowy

Reasumując niniejszą recenzję stwierdzam, że rozprawa mgr Anny Wronki pt. „*Analiza możliwości pełnienia wybranych usług systemowych przez mikrosystemy energetyczne*” **spełnia w stopniu wystarczającym wymagania odnośnie do prac doktorskich** zawarte w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z późn. zm. (Dz. U. 2017 poz. 1789), Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzenia czynności w przewodzie doktorskim, postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. 2018 poz. 261) oraz art. 179 ust. 1 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1669).

Dlatego też wnoszę o **dopuszczenie Autorki do publicznej obrony i kolejnych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie naukowej energetyka, odpowiadającej dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych i dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka wg klasyfikacji określonej w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z 2018 roku.**

  
09.01.2020