

Politechnika Śląska w Gliwicach  
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki



Politechnika  
Śląska

mgr inż. Łukasz Ziółkowski

ROZPRAWA DOKTORSKA

**Analiza energetyczna układu kogeneracyjnego z silnikiem  
ZI w zakresie zmiennych parametrów regulacyjnych**

Promotor: dr hab. inż. Grzegorz Przybyła, prof. PŚ

Promotor pomocniczy: dr hab. inż. Adrian Nocoń, prof. PŚ

Dyscyplina: Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka



Gliwice 2023

## STRESZCZENIE

Rozprawa doktorska dotyczy problemów związanych z rozwojem technologii wysokosprawnych układów mikrokogeneracji (mCHP) poprzez badania wpływu strategii sterowania tłokowym silnikiem spalinowym na uzyskaną sprawność energetyczną.

Celem rozprawy doktorskiej było zbadanie możliwości poprawy sprawności energetycznej układu kogeneracyjnego z silnikiem spalinowym o zapłonie iskrowym, szczególnie w zakresie pracy przy niskich obciążeniach (zapotrzebowaniu na moc elektryczną). Skoncentrowano się na opracowaniu metody poprawy efektywności energetycznej silnika bez ingerencji w jego konstrukcję oraz system spalania i wdrożenia jej do rozwiązania prototypowego. Skupiono się na takiej organizacji sposobu regulacji obciążenia silnika ZI, aby wpływając na typowe parametry regulacyjne jak: kąt wyprzedzenia zapłonu, skład mieszanki paliwowo-powietrznej wartość ciśnienia absolutnego w kolektorze dolotowym uzyskać możliwie najwyższą sprawność energetyczną. Wysoka wartość sprawności energetycznej jest tożsama z obniżoną wartością emisji CO<sub>2</sub> biorąc pod uwagę stosowanie paliw węglowodorowych. Ostatecznie optymalizacja parametrów regulacyjnych powinna prowadzić do uzyskania kompromisu pomiędzy osiąganą przez silnik sprawnością, a wielkością emisji substancji toksycznych jak tlenek węgla, węglowodory i tlenki azotu.

Praca ma charakter teoretyczno-doświadczalny. W rozdziałach od I do III został przedstawiony dotychczasowy stan wiedzy w zakresie podejmowanych w pracy zagadnień. W dalszej części rozprawy przeprowadzono analizę koncepcji nowego sposobu regulacji obciążenia silnika ZI. W celu pozyskania danych niezbędnych do odpowiedzi na przedstawione w pracy pytania i hipotezy badawcze, przeprowadzono badania identyfikacyjne oraz badania prototypowej jednostki mCHP w warunkach laboratoryjnych. W badaniach wykorzystywano specjalistyczną aparaturę pomiarową. Pracę podsumowuje raport z uzyskanych wyników oraz ich dyskusja.

W Rozdziale I przedstawiono aktualne otoczenie prawne polityki energetycznej Unii Europejskiej oraz politykę efektywności energetycznej Polski po 2020 r. Dalej omówiono wyniki gospodarki energetycznej Polski z 2021 roku, skupiając uwagę na obszary zainteresowań rozwoju skojarzonej produkcji ciepła i elektryczności w układach skali mikro, tj. do 50 kWel. Na końcu pierwszego rozdziału przedstawiono cel, zakres oraz tezę pracy.

Rozdział II został poświęcony zagadnieniu pracy układu mCHP w zakresie obciążeń częściowych w ujęciu dobowego zapotrzebowania na energię elektryczną. W pierwszej części tego rozdziału przedstawiono dotychczasowe strategie regulacji obciążenia. Opis regulacji ilościowej dla silnika ZI oraz jakościowej dla silnika ZS. Ponadto, na podstawie studiów literaturowych przedstawiono różne rozwiązania prowadzące do poprawy efektywności energetycznej tych silników.

Rozdział III stanowi jedną z centralnych części niniejszej pracy. W tym rozdziale podjęto próbę przedstawienia nowej regulacji hybrydowej poprzez uszczegółowiony opis zasady działania oraz analizę wybranych zagadnień związanych z trudnością spalania mieszanek ubogich, takich jak granicę palności, tętnienie momentu, pomiar i regulację prędkości obrotowej i składu mieszanki. W pierwszej części rozdziału rozważano zagadnienia teoretycznie, natomiast w drugiej części przedstawiono ich egzemplifikację w postaci laboratoryjnych badań identyfikacyjnych. Na końcu tego rozdziału skrótkowo zaprezentowano uzyskane wyniki, w tym: sprawność i poziom emisji. Całość podsumowano wnioskami z przeprowadzonych badań.

Rozdział IV dotyczy kolejnego kluczowego, z punktu widzenia niniejszej pracy, zagadnienia, którym jest budowa prototypowego układu kogeneracyjnego z silnikiem ZI. W pierwszej części czwartego rozdziału opisano uproszczony model matematyczny wg którego określono wybrane parametry energetyczne możliwe do osiągnięcia przez dostępne na rynku silniki spalinowe i wytypowano jeden z nich do badań. W kolejnych częściach w analogiczny sposób dobrano generatory asynchroniczny i synchroniczny, wymiennik ciepła niskotemperaturowego, wysokotemperaturowego oraz wymiennik ciepła oleju. Opisano

układy sterowników, nadrzędnego i silnikowego wraz z ich konfiguracjami. Na końcu przedstawiono użytą do badań specjalistyczną aparaturę pomiarową.

Rozdział V obejmuje praktyczne zastosowanie i testowanie opracowanej metody regulacji hybrydowej obciążenia silnika ZI. Przedstawiono w nim badania prototypu układu mikrokogeneracyjnego. Badania podzielono na dwa etapy. W etapie pierwszym analizowano czynniki mające wpływ na współpracę silnika spalinowego z generatorem asynchronicznym. Etap drugi dotyczył testowania układu z generatorem synchronicznym i badania połączone z analizą trwałościową silnika spalinowego. W obu etapach silnik spalinowy zasilany był dwoma paliwami tj. mieszaniną propan – butan (LPG) i gazem ziemnym (GZ). W efekcie wykonanych prac dokonano analizy wyników dotyczących mocy elektrycznej, sprawności generacji energii elektrycznej, temperatury spalin i emisji substancji szkodliwych. Przedstawiono również wyniki oraz analizę pomiarów metrologicznych wybranych elementów wewnętrznych badanego silnika.

Rozdział VI obejmuje podsumowanie niniejszej pracy, osiągniętych rezultatów i możliwych przyszłych kierunków badań. Zamieszczono w nim także badania wstępne silnika spalinowego zasilanego amoniakiem formułując przyszły problem badawczy. Rozdział ten zawiera także wnioski końcowe, w tym prowadzące do potwierdzenia postawionej w dysertacji tezy.