



Eksperyment naukowy – budowa modelu magazynu energii w sprężonym powietrzu (CAES) dla studentów PW.

Studenckie Koło Magazynowania Energii

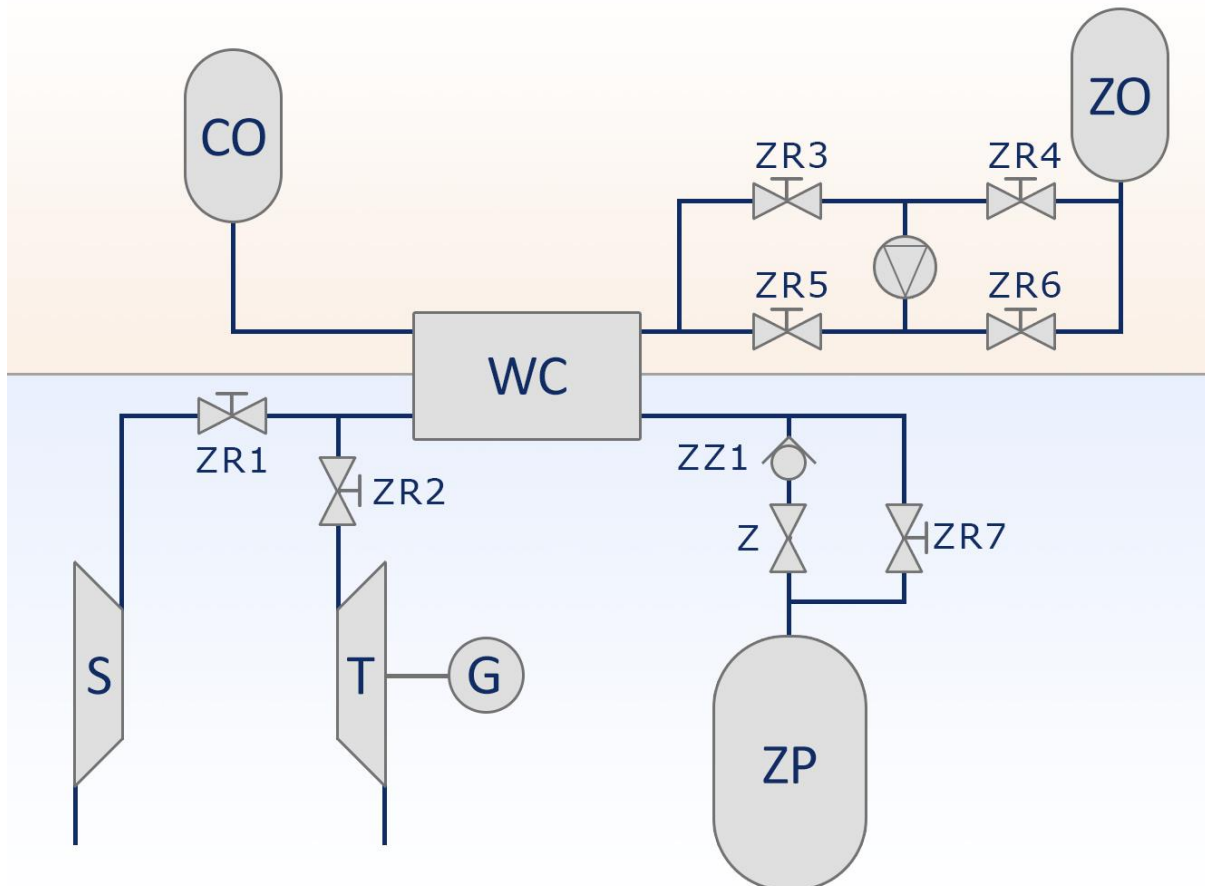
Opis ogólny

Zagadnienie magazynowania energii na średnią i dużą skalę zyskuje coraz większą wagę w nowoczesnej energetyce. Dla źródeł odnawialnych takich jak wiatr czy słońce gdzie dostępność wytwarzanej mocy uzależniona jest od warunków środowiska naturalnego, magazynowanie jest niezbędne do synchronizacji wytwarzania z zapotrzebowaniem. Obecnie, przy braku magazynów, współczynnik wykorzystania mocy turbin wiatrowych nie przekracza 25% w skali roku. Zatem zastąpienie elektrowni ciepłych (węgiel, gaz, atom) przez odnawialne źródła energii uzależnione jest od możliwości magazynowania. Kolejnym niezwykle istotnym problemem technicznym systemów energetycznych są duże wahania dziennej krzywej poboru/wytwarzania mocy. Rezultatem są: obniżenie ogólnej sprawności wytwarzania, wzrost kosztów wytwarzania, wzrost emisji, możliwe braki zasilania (blackouty). Przy zastosowaniu magazynów dużej skali część energii konsumowanej w dzień mogłaby być produkowana i magazynowana w nocy przy znacznie niższych kosztach i wyższej sprawności wytwarzania. Zmagazynowana energia stanowiłaby także zasób bezpieczeństwa w razie wystąpienia niedoboru mocy w sieci. Jedną z niewielu istniejących technologii magazynowania energii cechujących się zarówno wysoką możliwą mocą oddawania (rzędu 100-1000 MW) jak i dużą pojemnością (rzędu godzin pracy przy podanej mocy) jest magazynowanie energii w sprężonym powietrzu (**Compressed Air Energy Storage**). Technologia ta zatem ma potencjał do rozwiązania wyżej wspomnianych problemów w energetyce.

Przedmiotem opisywanego projektu jest rozwinięcie koncepcji, obliczenie oraz budowa magazynu CAES w małej, laboratoryjnej skali. Kluczowymi elementami instalacji są: sprężarka, która spręża powietrze do zbiornika podczas ładowania, zbiornik sprężonego powietrza oraz turbina napędzana sprężonym powietrzem podczas rozładowania magazynu. Cechą projektowanej instalacji wpływającą w największym stopniu na poprawę całościowej sprawności magazynu będzie jego adiabatyczność. W każdym magazynie typu CAES podczas ładowania sprężone powietrze musi być schłodzone zanim zostanie zmagazynowane w zbiorniku, w przeciwnym razie sprawność oraz pojemność magazynu byłaby znacznie pogorszona. Adiabatyczność zakłada, iż ciepło odebrane od powietrza podczas sprężania/ładowania nie jest tracone lecz magazynowane w dodatkowym magazynie ciepła. Następnie ciepło to jest oddawane z powrotem do powietrza w procesie

rozładowania, podczas napływu na turbinę. W praktyce, w naszym projekcie magazynu CAES adiabatyczność jest osiągnięta dzięki zastosowaniu dodatkowego obiegu olejowego stanowiącego jednocześnie magazyn ciepła. Wszystkie elementy projektowanej instalacji są przedstawione w opisie technicznym.

Opis techniczny



Rysunek 1. Schemat ideowy systemu.

W fazie ładowania sprężarka (S) podnosi ciśnienie i temperaturę powietrza pobranemu z atmosfery. Przez otwarty zawór ręczny 1 (ZR1) powietrze przepływa do wymiennika ciepła (WC) gdzie oddaje ciepło przepływającemu olejowi z zimnego zbiornika (ZO) do ciepłego (CO) (przy otwartych zaworach ZR4 i ZR5). Sprężone powietrze przepływa dalej zaworem ZR8 do zbiornika.

W fazie rozładowywania magazynu, przy zamkniętym zaworze ZR7 powietrze przepływa zaworem redukcyjnym Z1, gdzie jego ciśnienie jest redukowane do poziomu 3 bar, przez zawór zwrotny ZZ1 do wymiennika ciepła, gdzie jest ogrzewane przez gorący olej, przepływający ze zbiornika ciepłego CO do zimnego ZO. Powietrze następnie, przy zamkniętym zaworze ZR1, a otwartym ZR2, przepływa na turbinę, gdzie wykonuje pracę, wprawiając w ruch wał turbiny, który następnie napędza generator produkując moc elektryczną.

Do budowy naszego stanowiska będziemy potrzebować sprężarki tłokowej o małej mocy. Sprężarki takie znajdują zastosowanie przy czyszczeniu, malowaniu metodą natryskową czy pompowaniu kół. Maszyny te osiągają zadowalające nas ciśnienia maksymalne (do 8 bar) oraz wydatki czynnika (0,012 kg/s) oraz są dostępne w wymaganym przedziale cenowym (do 500 PLN).

Wymiennik ciepła będzie zaprojektowany oraz wykonany przez członków Koła z powodu braku dostępnych na rynku rozwiązań o wymaganych parametrach pracy. Będzie to wymiennik przeciwprądowy, płaszczowo-rurowy, z powietrzem płynącym w rurkach oraz olejem w płaszczu.

Naszym zbiornikiem będzie butla gazowa 33 kg o pojemności 75l. Ciśnienia w takich butlach mogą osiągać nawet 30 bar, czyli kilkakrotnie więcej niż nam potrzeba. Pojemność pozwala na pracę magazynu w trybie ładowania i rozładowywania przez mniej więcej 30 sekund. Butla będzie posiadała zawór odcinający dopływ powietrza.

Miniaturowa turbina także zostanie zaprojektowana oraz wykonana przez członków Koła. Będzie to turbina Tesli, z powodu możliwości zastosowania tej konstrukcji dla małych mocy oraz prostoty i ekonomiczności wykonania. Turbina będzie działać na ciśnieniu 3 bar, a jej przewidywana moc wyniesie około 70 W.

Zadaniem zaworu redukcyjnego jest utrzymywanie stałego ciśnienia i przepływu w części instalacji znajdującej się za nim. Umieszczony jest on przed wymiennikiem ciepła dzięki czemu możemy użyć tańszych zaworów z dopuszczalną temperaturą poniżej 100 °C. W fazie rozładowywania magazynu, ciśnienie przed zaworem, wraz z wypływem powietrza ze zbiornika będzie się zmniejszało z maksymalnego poziomu 8 do poziomu 4 bar, a za zaworem będzie utrzymywane na stałym poziomie 3 bar. Dzięki temu moc produkowana przez turbinę będzie stała.

Armatura to wszelkie przewody, zawory oraz łączniki występujące pomiędzy podzespołami bazowymi systemu i pełniące funkcję łącznika. Maksymalne parametry, takie jak temperatura czy ciśnienie (300 °C, 8 bar), w naszej instalacji będą na poziomie, który nie będzie przysparzał problemów konstrukcyjnych. W części gdzie temperatura dochodzi do maksymalnego poziomu (po lewo od wymiennika ciepła na Rysunku 1.) zastosowane będą rury stalowe, które będą musiały wytrzymać zarówno wysoką temperaturę jak i ciśnienie. Po prawej stronie od wymiennika ciepła, gdzie temperatura nie będzie przekraczać 40 °C będą zastosowane zwykłe przewody elastyczne wykonane np. z poliuretanu, co ułatwi wykonanie instalacji.

Zbiorniki na olej będą zaprojektowane przez członków Koła. Pojemność zbiorników będzie wraz z zapasem wynosiła 50l. Pompa olejowa użyta w projekcie to pompa służąca do wypompowywania oleju ze zbiorników. Parametry pracy oleju po prawej stronie od wymiennika ciepła pozwalają na użycie właśnie takiego rozwiązania.

Wartość dydaktyczna

Jak już zostało wspomniane, kwestia magazynowania energii pełni coraz ważniejszą rolę w nowoczesnej energetyce. Istotne jest zatem, aby to zagadnienie było coraz częściej poruszane na studiach inżynierskich na kierunku Energetyka na naszej uczelni. Jak dotąd wydział MEiL nie dysponuje laboratorium magazynowania energii, więc jego stworzenie byłoby bardzo cenne z dydaktycznego punktu widzenia. Projektowany oraz konstruowany przez nas model magazynu CAES będzie miał istotny wkład w tej mierze dzięki możliwości wykorzystania podczas laboratoriów. Model zawiera wszystkie kluczowe elementy występujące w pełnoskalowym systemie oraz przemiany termodynamiczne czynnika jak w prawdziwych instalacjach w dużej skali, współpracujących z siecią elektroenergetyczną. Całkowity proces ładowania i rozładowania magazynu będzie trwał kilka minut co wpisuje się w ograniczony czas zajęć. Dzięki możliwości wykonania dokładnych pomiarów (temperatur, ciśnień, przepływów) podczas zajęć, studenci będą mogli wyznaczyć charakterystyki pracy nie tylko samego magazynu, ale także pracy w stanach ustalonych i nieustalonych podzespołów takich jak sprężarka czy turbina. Są to urządzenia wykorzystywane powszechnie w bardzo wielu dziedzinach techniki i dokładna wiedza o nich jest kluczowa dla inżyniera z tej branży. Dodatkowo model zawiera cechę adiabatyczności, która jest jedną z najważniejszych metod poprawy termodynamicznej sprawności magazynu typu CAES.