

Sposób integracji systemu magazynowania energii w wodorze oraz w sprężonym powietrzu

Przedmiotem wynalazku jest sposób integracji systemu magazynowania energii w wodorze oraz sprężonym powietrzu, mających zastosowanie w systemach elektroenergetycznych obejmujących wytwarzanie oraz dystrybucję energii elektrycznej.

System magazynowania i wykorzystania energii sprężonego powietrza wykorzystywano już w początkach 1949 roku.

Z amerykańskiego opisu patentowego US7389644 znany jest układ wykorzystujący energię sprężonego powietrza w okresie zwiększonego zapotrzebowania na energię elektryczną. W układzie takim ciśnienie w zbiorniku sprężonego powietrza dochodzi do 100 barów, a następnie jest dławione przed ekspanderem. Niedogodnością powyższego rozwiązania jest niska sprawność magazynowania energii, wynikająca z potrzeby spalania paliwa gazowego oraz dyssypacji dużych ilości ciepła chłodzenia sprężanego powietrza na etapie ładowania systemu.

Stosowanie systemów magazynowania energii ma na celu zmagazynowanie energii elektrycznej produkowanej w nadwyżce, w okresie wysokiego potencjału źródeł energetycznych, bądź/i też niskiego na nią popytu i jej wykorzystanie w okresie występującego na nią zapotrzebowania.

Wśród najpopularniejszych wielkoskalowych rozwiązań, obok stosowanych elektrowni szczytowo-pompowych, są systemy wykorzystujące proces sprężania powietrza w okresie nadwyżki energetycznej, jego magazynowania w zbiornikach oraz jego rozprężania celem pozyskiwania energii w okresie zwiększonego na nią zapotrzebowania. Technologia magazynowania energii w sprężonym powietrzu klasyfikowana jest pod nazwą CAES (ang. *Compressed Air Energy Storage*).

Innymi rozwiązaniami zyskującymi na popularności są systemy oparte na procesach umożliwiających wykorzystanie energii pobieranej w okresie nadwyżki celem generacji wodoru. Wodór opcjonalnie wykorzystywany może być dla generacji innych

wysokoenergetycznych związków, tj. np. metanu. Konwersja do takich paliw umożliwia ich łatwiejsze magazynowanie oraz wykorzystanie w ramach szerszego spektrum technologii konwersji w energię elektryczną, np. w ramach turbin gazowych, w przypadku których spalanie wodoru jest utrudnione. Uzyskany na etapie ładowania produkt jest magazynowany, a następnie, w okresie zwiększonego zapotrzebowania na energię, podlega procesowej konwersji, ostatecznie w energię elektryczną. Systemy umożliwiające magazynowanie energii z wykorzystaniem pośredniego procesu produkcji wodoru klasyfikowane są w ramach technologii PtGtP (ang. *Power-to-Gas-to-Power*).

W przypadku autonomicznego systemu CAES podstawowym wyzwaniem umożliwiającym uzyskanie wysokich sprawności konwersji sprężonego powietrza w energię elektryczną jest zagwarantowanie warunków umożliwiających uzyskanie wysokiej pracy jednostkowej procesu ekspansji powietrza w okresie rozładowywania systemu. Możliwe jest to na drodze podgrzewu sprężonego powietrza przed jego wprowadzeniem do ekspandera. Stosowane metody decydują o klasyfikacji dwóch podstawowych rozwiązań w ramach technologii CAES, tj. systemów diabatycznych oraz adiabatycznych.

W przypadku systemów diabatycznych zagwarantowanie wysokiej temperatury gazu wprowadzanego do ekspandera realizuje się w procesie spalania doprowadzanego dodatkowo paliwa, np. gazu ziemnego w atmosferze sprężonego powietrza. W przypadku systemów adiabatycznych możliwe jest uzyskanie wysokich wskaźników pracy jednostkowej procesu rozprężania, jednak wysoki nakład energetyczny w dodatkowym paliwie zmniejsza wartości określanych wskaźników efektywnościowych. Zgodnie z ideą systemów adiabatycznych nie jest wymagane doprowadzanie do systemu dodatkowego paliwa. Uzyskiwanie stosunkowo wysokiej pracy jednostkowej w procesie rozprężania jest możliwe dzięki podgrzewowi powietrza przy wykorzystaniu ciepła, które podobnie jak sprężone powietrze zostało zmagazynowane na etapie ładowania systemu. Ciepło to jest generowane w procesie sprężania powietrza, a jego odzysk jest możliwy dzięki wykorzystaniu chłodziw zabudowywanych między sekcjami sprężarki oraz na jej wylocie. Niedogodnością rozwiązania jest konieczność zabudowy kosztownych magazynów ciepła oraz stosunkowo niska temperatura, do jakiej możliwe jest podgrzanie powietrza przed jego wprowadzeniem do ekspandera.

Niedogodnością systemu PtGtP jest długi łańcuch procesowy, który przy stosunkowo niskich sprawnościach procesów jednostkowych, takich jak proces generacji wodoru, proces metanizacji oraz proces generacji energii elektrycznej decyduje o niskiej sprawności całkowitej systemu magazynowania energii. Niskie sprawności wymienionych procesów jednostkowych są wynikiem generowania w ramach każdego z nich

dużych ilości ciepła, którego użyteczne wykorzystanie jest zazwyczaj mocno ograniczone w przypadku wielkoskalowych systemów magazynowania energii. W przypadku generatorów wodoru predysponowanych do pracy w ramach systemów magazynowania energii (elektrolizery alkaliczne oraz PEM) ciepło jakie można odzyskać z procesu elektrolizy jest ciepłem niskotemperaturowym, o mocno ograniczonych walorach użytkowych.

Proces metanizacji jest procesem egzotermicznym. Temperatury realizacji procesu silnie zależą od parametrów pracy reaktora i na ogół przekraczają poziom 200 °C. W przypadku braku podmiotów zainteresowanych zakupem ciepła odzyskanego z procesu metanizacji zasadne wydaje się jego rozproszenie w otoczeniu.

Wykorzystanie metanu celem produkcji energii elektrycznej może mieć miejsce w silnikach spalinowych, turbinach gazowych oraz ogniach paliwowych. Niezależnie od wybranej technologii procesowi transformacji energii chemicznej metanu do energii elektrycznej towarzyszy generacja dużych ilości ciepła. Posiadanie prócz metanu również tlenu pozwala na zaplanowanie technologii oxyspalania, a więc spalania paliwa w mieszaninie tlenu oraz dwutlenku węgla mającego za zadanie stabilizację procesu spalania. Technologia oxyspalania umożliwia uzyskanie spalin stanowiących mieszaninę dwutlenku węgla oraz wody w postaci gazowej. Spaliny o wysokim ciśnieniu kierowane są do ekspandera gazowego, gdzie wykonują pracę. Temperatura po procesie ekspansji w dużej mierze zależy od takich parametrów jak stosunek tlenu oraz dwutlenku węgla w mieszaninie zastosowanej jako utleniacz oraz poziomów ciśnienia przed i po procesie ekspansji. Charakterystyka spalin opuszczających ekspander gazowy umożliwia przeprowadzenie nisko energochłonnego procesu separacji dwutlenku węgla, wymagającego wychłodzenia spalin dla uzyskania kondensacji pary wodnej. Odzyskana woda może być powtórnie wykorzystana w procesie elektrolizy. Ciepło odzyskane ze strumienia spalin opuszczających ekspander gazowy, w odróżnieniu od ciepła odzyskiwanego w procesie metanizacji, może być ciepłem wysokotemperaturowym, które może być efektywnie wykorzystane. Okresowe dysponowanie strumieniem ciepła istotnie ogranicza jednak możliwości jego efektywnego wykorzystania poza systemem magazynowania energii.

Celem wynalazku jest efektywne wykorzystanie strumieni ciepła oraz chłodu identyfikowanych w ramach dwóch systemów magazynowania energii: CAES oraz PtGtP i w ten sposób zwiększenie skumulowanej sprawności magazynowania energii. Cel ten osiągnięto na drodze cieplnej integracji dwóch systemów, co prowadzi do opracowania koncepcji systemu hybrydowego.

Sposób integracji systemu magazynowania energii w wodorze oraz sprężonym powietrzu polega na tym, że na etapie rozładowywania systemu ciepło odzyskane z procesu metanizacji oraz ciepło odzyskane ze spalin opuszczających ekspander gazowy wykorzystywane jest celem podgrzewu powietrza sprężonego przed jego wprowadzeniem do ekspandera powietrznego oraz tym, że chłód uzyskany po rozprężeniu powietrza w ekspanderze powietrznym wykorzystywany jest dla głębokiego wychłodzenia spalin oraz w konsekwencji tego uzyskania wyższych czystości produktów w ramach separatora, którego zadaniem jest odseparowanie pary wodnej od dwutlenku węgla.

Sposób integracji według wynalazku przedstawiono na rysunku, który przedstawia schemat systemu integrującego dwie technologie magazynowania energii.

Sposób integracji według wynalazku oparty jest o dwa systemy magazynowania, w których wyróżnia się procesy identyfikowane w klasycznie rozumianym systemie CAES oraz systemie PtGtP, w ramach którego wytworzony wodór przy udziale dwutlenku węgla podlega reakcji syntezy, której produktami jest metan oraz woda.

W skład hybrydowego systemu magazynowania wchodzi: generator wodoru, instalacja uzdatniania wody, zespół motospżęzarek: powietrza, wodoru (opcjonalnie) oraz tlenu (opcjonalnie), zbiorniki: powietrza, wodoru, tlenu oraz wody, reaktor syntezy metanu, komora spalania, zespół ekspanderów spalinowego oraz powietrznego, separator $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$, wymienniki ciepła integrujące dwa podsystemy, sprężarki CO_2 , pompy.

W cyklu pracy systemu hybrydowego wyróżnić można trzy etapy: etap ładowania, etap magazynowania oraz etap rozładowywania.

W etapie pierwszym nadwyżka produkowanej energii służy do produkcji wodoru w ramach generatora wykorzystującego proces elektrolizy oraz do napędu sprężarek powietrza. Produktem pobocznym procesu elektrolizy jest tlen. Trzy wymienione produkty etapu pierwszego są magazynowane w specjalnie dla nich dobranych zbiornikach (w zależności od skali systemu budowanych jako naziemne lub podziemne). Dla zmniejszenia wymaganych pojemności magazynowych wodorów oraz tlenu mogą podlegać procesowi sprężania.

Na etapie drugim energia elektryczna nie jest ani doprowadzana, ani odprowadzana z systemu, a produkty etapu pierwszego oraz woda odzyskana w etapie rozładowywania są zmagazynowane w zbiornikach.

W etapie trzecim wodór, przy udziale dwutlenku węgla, który dla inicjacji etapu doprowadzany jest z zewnątrz, wykorzystywany jest w ramach reaktora syntezy. Produktem głównym jest metan, natomiast produktem ubocznym jest woda, która trafia do zbiornika magazynowego. Ciepło generowane w reaktorze wykorzystywane jest dla

podgrzewu części powietrza zasilającego ekspander powietrza, co stanowi pierwszy element integrujący dwa podsystemy (CAES oraz PtGtP). Wyprodukowany metan kierowany jest do komory spalania, gdzie jest spalany w atmosferze tlenu oraz dwutlenku węgla, którego rolą jest stabilizacja procesu spalania oraz zagwarantowanie odpowiednich temperatur procesu. Spaliny wysokotemperaturowe stanowiąc głównie mieszaninę CO₂ oraz H₂O kierowane są do ekspandera, gdzie wykonują pracę napędzając generator energii elektrycznej. Spaliny po opuszczeniu ekspandera charakteryzują się wysoką temperaturą, która pozwala na przeponowy podgrzew powietrza kierowanego do ekspandera powietrznego, wcześniej zmagazynowanego w zbiorniku ciśnieniowym. Wymiennik ciepła, gdzie realizowany jest proces wymiany ciepła jest drugim elementem integrującym dwa podsystemy systemu hybrydowego. Spaliny po oddaniu ciepła kierowane są do separatora, w ramach którego na drodze wychładzania gazu następuje kondensacja wody, skutkiem czego jest jej odseparowanie od gazów (w tym głównie CO₂). Sprężone powietrze podgrzane w ramach dwóch wymienników ciepła: pierwszego pozwalającego na odzysk ciepła reakcji syntezy oraz drugiego zabudowanego na spalinach opuszczających ekspander gazowy, trafia do ekspandera powietrznego, gdzie wykonuje pracę. Przy odpowiednio dobranych parametrach powietrza zasilającego ekspander (odpowiednio niskiej temperatury oraz wysokiego ciśnienia) temperatura powietrza po procesie ekspansji może być znacznie niższa od temperatury powietrza atmosferycznego. Taka temperatura predysponuje powietrze dla jego wykorzystania w ramach separatora spalin będących produktem oxypalania, co wpłynie na zmniejszenie potrzeb własnych podsystemu PtGtP. Wychłodzenie tych spalin do niższej temperatury umożliwi intensyfikację wymiany ciepła oraz głębsze wychłodzenie spalin, a tym samym uzyskanie czystszych produktów separacji.

Integracja dwóch systemów magazynowania energii w ramach systemu hybrydowego skutkuje zachowaniem indywidualnych cech tych systemów przy równoczesnej likwidacji niedogodności układów analizowanych autonomicznie, co przyczynia się do zwiększenia sprawności procesu magazynowania energii.

Zaletą rozwiązania według wynalazku jest uniknięcie wysokich strat energii w systemach magazynowania energii opartych na wykorzystaniu podstawowych procesów identyfikowanych w ramach dwóch klasycznych metod magazynowania energii, tj. CAES oraz PtGtP i w konsekwencji tego uzyskanie wyższych wskaźników efektywności termodynamicznej oraz możliwość ograniczenia kosztów poniżej poziomu wynikającego z budowy dwóch niezależnych systemów magazynowania o tym samym potencjale magazynowym co system hybrydowy. Taka możliwość wynika z wykorzystania w ramach systemu hybrydowego wspólnych elementów dla dwóch podsystemów, a tym samym

braku konieczności wyposażania podsystemu CAES w: regeneracyjny wymiennik ciepła, indywidualnej komory spalania oraz podsystemu PtGtP w: system rozpraszania ciepła reakcji metanizacji oraz ciepła spalin opuszczających ekspander gazowy, systemu chłodzenia gazów w ramach separatora dwutlenku węgla oraz pary wodnej. W ramach systemu hybrydowego istnieją przesłanki dla instalacji jednego silnika napędzającego wszystkie sprężarki oraz jednego generatora energii elektrycznej współpracującego z ekspanderem gazowym oraz powietrznym.

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized initial 'G' followed by several cursive letters, possibly 'GOMY'.