

Prof. dr hab. inż. Maciej Chorowski,
Katedra Kriogeniki i Inżynierii Lotniczej, Politechnika Wroclawska

Kogeneracja i trigeneracja w transformacji polskiej energetyki

Podstawą wytwórczej części polskiego systemu elektroenergetycznego są węglowe elektrownie i elektrociepłownie. Około 12% energii elektrycznej wytwarza się w węglowej kogeneracji, co jest możliwe dzięki wyposażeniu dużych miast w rozległe sieci ciepłownicze. Na system elektroenergetyczny składają się również elektrociepłownie gazowe, elektrownie wodne, elektrownie wiatrowe, fotowoltaiczne. Energetyka tworzy spójny system dzięki wysoko- średnio- i niskonapięciowym liniom przesyłu oraz dystrybucji energii elektrycznej. Na system elektroenergetyczny mają również bezpośredni lub pośredni wpływ stosowane w ciepłownictwie pompy ciepła, ciepłownie geotermalne, biogazownie, instalacje solarne i technologie wschodzące, jak np. elektromobilność.

Obecny kształt polskiego systemu elektroenergetycznego musi ulec transformacji wynikającej zarówno z przyczyn technicznych, jak i regulacyjnych. Przyczyny techniczne to m. in. starzejący się park maszynowy w części wytwórczej i przesyłowej elektroenergetyki, brak krajowych zasobów paliw o akceptowalnej cenie wydobycia, zmiana charakteru odbiorców energii elektrycznej, elektromobilność. Przyczyny regulacyjne to przede wszystkim reakcja na wymogi polityki klimatycznej UE, regulacje dot. swobody obrotu i przesyłu energii elektrycznej. Transformacja musi postrzegać energetykę łącznie, czyli bez podziału na zawodową, odnawialną, kogenerację, ciepłownictwo, itd. Wydzielenie z systemu elektroenergetycznego np. kogeneracji, czy fotowoltaiki, nieuchronnie prowa-

dzi do deformacji mixu energetycznego, gdyż wzrost jednej z technologii od pewnego poziomu zaczyna istotnie wpływać na pozostałe zainstalowane technologie wytwórcze energii elektrycznej i wprowadza zaburzenia do systemu,

często znoszące korzyści wynikające z rozwoju nowych metod. W szczególności dotyczy to elektrowni wiatrowych i fotowoltaicznych, których dyspozycyjność jest często nieprzewidywalna nawet w bardzo krótkiej perspektywie czasowej.



fol. NE

Faktyczny brak magazynów energii elektrycznej powoduje, że energia elektryczna ze źródeł odnawialnych staje się bardziej obciążeniem dla systemu, niż jego wsparciem.

Jedną z szans dla udanej transformacji polskiej energetyki jest nowe podejście do kogeneracji, która powinna stać się mechanizmem regulacyjnym, równocześnie zachowując rentowność wytwarzania energii elektrycznej. Istotą kogeneracji jest wzrost efektywności wykorzystania paliwa pierwotnego, gdyż skojarzone wytwarzanie energii elektrycznej i ciepłej charakteryzuje się wyższą sprawnością termodynamiczną od wytwarzania rozdzielonego. Dotychczasowe jednostki kogeneracyjne projektowane były tak, aby zapewnić wymaganą moc cieplną, a energia elektryczna stanowiła produkt uboczny, co do zasady zawsze wykorzystywany. Kogeneracja w dotychczasowym ujęciu nie pełni roli regulacyjnej w systemach elektroenergetycznych. Wynika to przede wszystkim z niskiej sprawności termodynamicznej wytwarzania energii elektrycznej bez wykorzystania ciepła. Sprawność ta jest co najmniej o 10% niższa od sprawności elektrowni zawodowych. Istotne są też problemy ze zrzutem ciepła przy braku popytu na ciepło sieciowe. Projektując duże systemy kogeneracyjne zakładano, że ewentualne niedobory energii elektrycznej będą występowały w okresie zimowym i będą skorelowane z popytem na ciepło. Ze względu na brak zapotrzebowania na ciepło w okresie letnim, wielkomijskie elektrociepłownie nie są ekonomicznie uzasadnionymi uczestnikami rynku mocy.

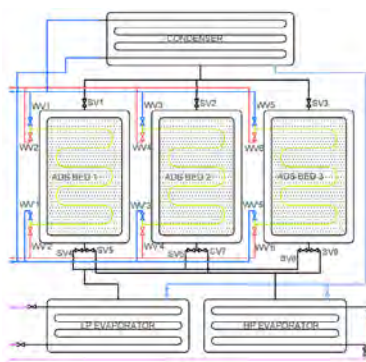
Obecnie największe zagrożenie braku energii elektrycznej występuje w okresie letnim, kiedy elektrownie kogeneracyjne są praktycznie wyłączone. Dla przykładu 26 czerwca 2019 r. Polska Sieci Elektroenergetyczne poinformowały, że właśnie padł nowy rekord zapotrzebowania na moc, który wyniósł ok. 24 200 MW. Także tego dnia Polska sprowadziła najwięcej mocy elektrycznej w historii - 2,7 GW. Import energii był ko-

nieczny, aby rezerwa mocy nie spadła poniżej bezpiecznego minimum. Łączna moc zainstalowana polskich elektrowni przekracza 44,6 GW. Mimo to pokrycie o niemal połowę niższego zapotrzebowania odbiorców 26 czerwca okazało się wyzwaniem [1]. Charakterystyczne jest to, że praktycznie cała dyspozycyjna moc pochodziła od elektrowni ciepłych, które zapewniły 20,4 GW. Udział elektrowni wiatrowych wyniósł 0,7 GW, wodnych 0,3 GW, a pozostałych (w tym fotowoltaiki) był znikomy, rzędu 0,1 GW.

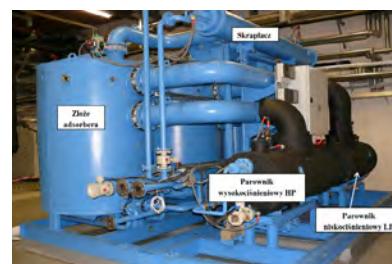
Ciepło i energia elektryczna cechują się przeciwieństwami. Energia elektryczna jest wolna od entropii i podlega nieograniczonej konwersji do innych form energii, np. ciepła lub energii mechanicznej. Ciepło jest nośnikiem entropii i jego konwersja na energię mechaniczną lub elektryczną podlega ograniczeniu Carnota oraz wymaga realizacji obiegów termodynamicznych. Energia elektryczna jest łatwa w przesyłaniu na duże odległości i trudna w magazynowaniu. Ciepło daje się stosunkowo łatwo magazynować, natomiast przesył ciepła na duże odległości, np. z południa na północ Polski nie jest uzasadniony ani technicznie, ani ekonomicznie.

Sektorem, który będzie podlegał w Polsce szybkiej transformacji jest ciepłownictwo. Wylimitowane zostaną liczne kotły małej i średniej mocy, które istotnie przyczyniają się do zanieczyszczenia środowiska. Ze względów termodynamicznych uzasadnione jest, aby

ciepłownie były zastępowane elektrociepłowniami. Oznacza to, że kogeneracja będzie charakteryzować się coraz większym rozproszeniem oraz coraz mniejszymi mocami generatorów elektrycznych podłączonych do sieci na coraz niższych napięciach. Skróci się też dystans pomiędzy miejscem wytwarzania energii ciepłej, a jej odbiorcą. Pozwoli to na magazynowanie energii ciepłej w bezpośrednim sąsiedztwie jednostki kogeneracyjnej oraz jej późniejsze wykorzystanie. Rozproszenie kogeneracji i zbliżenie jednostek wytwórczych do odbiorców ciepła pozwala na zmianę paradygmatu działania kogeneracji. Mianowicie elektrociepłownia z dostawcy energii ciepłej z ubocznym produktem jakim jest energia elektryczna, zmienia się w równoczesnego gwaranta dostaw energii elektrycznej oraz ciepłej. Jest to możliwe poprzez zamianę problemu nierozwiązanego jakim jest magazynowanie energii elektrycznej, na problem rozwiązany jakim jest magazynowanie energii ciepłej. O ile w okresie zimowym energia ciepła może zostać wykorzystana bezpośrednio, o tyle w okresie letnim nie jest możliwe, aby została ona zużyta w stopniu umożliwiającym jednostkom kogeneracyjnym pełnienie roli regulacyjnej w systemie elektroenergetycznym. Istnieje więc zapotrzebowanie na technologię, która umożliwi wykorzystanie ciepła sieciowego o temperaturze wynoszącej około 65°C. Technologią taką jest trigeneracja oznaczająca równoczesne



a)



b)

Rys. 1. Trójłożowa, dwuparownikowa chłodziarka adsorpcyjna przystosowana do pracy w układach odsalania, a - schemat, b - chłodziarka we Wrocławskim Parku Technologicznym

fol. autora

” Ze względów termodynamicznych uzasadnione jest, aby ciepłownie były zastępowane elektrociepłowniami. Oznacza to, że kogeneracja będzie charakteryzować się coraz większym rozproszeniem oraz coraz mniejszymi mocami generatorów elektrycznych podłączonych do sieci na coraz niższych napięciach

wytwarzanie energii elektrycznej, ciepła i chłodu. Uściślając, ciepło wytworzone w kogeneracji jest w części lub całości konwertowane na chłód w lewobieźnym obiegu termodynamicznym wykorzystującym tzw. sprężarki termiczne.

Bezpośrednia konwersja ciepła na chłód jest możliwa przy wykorzystaniu technologii sorpcyjnych, przy czym chłodziarki adsorpcyjne, wykorzystujące parę roboczą woda - bromek litu, wymagają zasilania ciepłem o temperaturze w zasadzie nie niższej od 80°C, natomiast chłodziarki adsorpcyjne, wykorzystujące parę roboczą woda - silikażel, mogą być zasilane ciepłem o temperaturze 60-65°C.

Na rys. 1 pokazano trójzłożową chłodziarkę adsorpcyjną. Chłodziarka ta pracująca w układzie dwuparownikowym wytwarza wodę lodową o temperaturze wynoszącej około 8°C i spełnia wymagania systemów klimatyzacyjnych. Moc chłodnicza chłodziarki wynosi 100 kW i może być ona zasilana ciepłem o parametrach ciepła sieciowego. Chłodziarka może być również wykorzystywana w układach odsalania wody morskiej lub wód kopalnianych [2].

Chłodziarka pokazana na rys. 1 była badana na stanowisku badawczym zlokalizowanym we Wrocławskim Parku Technologicznym. Przy temperatu-

rze wody zasilającej wynoszącej 62°C chłodziarka osiągnęła COP wynoszące około 0,7. Maksymalna sprawność COP chłodziarki adsorpcyjnej wykorzystującej parę roboczą woda - silikażel wynosi 0,9 [3]. Można więc stwierdzić, że technologie pozwalające na konwersję ciepła sieciowego na chłód o parametrach odpowiednich dla systemów klimatyzacyjnych są zwalidowane i mogą podlegać komercjalizacji. Technologie te umożliwiają realizację poligeneracji, czyli równoczesnego wytwarzania energii elektrycznej, ciepła, chłodu i innych użytecznych produktów, np. odsolonej słodkiej wody, gazów technicznych wydzielonych z powietrza, czy sprężonych gazów. Stwarza to dodatkowe możliwości magazynowania energii cieplnej już po jej konwersji na chłód lub inne użyteczne produkty. W krajach Bliskiego Wschodu np. produktem zawsze zbywalnym i pozwalającym na wykorzystanie chwilowych nadwyżek ciepła, w tym pochodzących z kolektorów słonecznych, jest słodka woda.

Pomimo dojrzałości technologii adsorpcyjnych umożliwiających realizację lewobieźnych obiegów termodynamicznych o parametrach pozwalających na wykorzystanie ciepła sieciowego w klimatyzacji, chłodziarki adsorpcyjne nie są rozpowszechnione. W Polsce zbudowano kilka chłodziarek adsorpcyjnych zasilanych ciepłem o parametrach ciepła sieciowego (np. w Częstochowie, Wrocławiu, Zielonej Górze), są to jednak instalacje badawcze i pilotażowe. Brak jest zastosowań komercyjnych. Jedną z przyczyn jest jednolita taryfa dla ciepła nie uwzględniająca specyfiki konwersji ciepła na chłód. Mając na uwadze, że COP chłodziarek adsorpcyjnych jest o rząd mniejsze od COP elektrycznych chłodziarek sprężarkowych, a instalacje adsorpcyjne charakteryzują duże gabaryty i koszty inwestycyjne, brak jest ekonomicznego uzasadnienia dla szybkiego rozwoju trigeneracji. Sytuacja ta może ulec zmianie w przypadku uznania instalacji kogeneracyjnych za regulacyjne jednostki wytwórcze energii elektrycznej, zdolne do wykorzystania powstałego cie-

pła w sposób bezpośredni lub pośredni z wykorzystaniem magazynów ciepła oraz technologii tri- i poligeneracyjnych.

Podsumowując można stwierdzić, że kogeneracja, a w zasadzie poligeneracja, odegra istotną rolę w transformacji polskiej energetyki pod warunkiem zmiany paradygmatu jej działania. Systemy ko-tri- i poligeneracyjne powinny stać się elastycznymi wytwórcami energii elektrycznej i zacząć pełnić rolę regulacyjną w systemie elektroenergetycznym, wykorzystując zdolność magazynowania ciepła, chłodu i innych produktów wytworzonych dzięki zużyciu ciepła pochodzącego z kogeneracji. Dzięki dojrzałym technologiom konwersji ciepła (w tym sieciowego) na chłód oraz technologiom magazynowania ciepła i chłodu, kogeneracja będzie mogła nadążać za potrzebami operatora systemu elektrycznego bez utraty zdolności gwarantowania potrzebnej ilości ciepła i chłodu. W nowej strukturze elektroenergetyki, charakteryzującej się dużym udziałem OZE, kogeneracja umożliwi zastąpienie problemu nierozwiązanego, jakim jest efektywne magazynowanie energii elektrycznej, na problemy rozwiązane - magazynowanie ciepła, chłodu, czy odsolonej wody.

LITERATURA

[1] <https://businessinsider.com.pl/finanse/rekord-importu-mocy-do-polski-2019-r/cgrh93j>.

[2] M. Chorowski, P. Pyrka, Modeling and experimental investigation of an adsorption chiller using low-temperature heat from cogeneration, Energy, Volume 92, Part 2, 1 December 2015, Pages 221-229.

[3] P. Pyrka, Badania i optymalizacja pracy trójzłożowej chłodziarki adsorpcyjnej w układzie trigeneracji, praca doktorska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Politechnika Wroclawska, 2019. □