

Dr inż. Emil Nowiński

Transformacja energetyki a bezpieczeństwo energetyczne Polski

Niniejszy artykuł stanowi o jakże ważnym dla naszego państwa aspekcie bezpieczeństwa energetycznego wobec rozpoczynającej się transformacji polskiej energetyki. Porusza on wątek zasobów surowców energetycznych w Polsce, możliwości ich dalszego, optymalnego wykorzystania w kontekście uwarunkowań ekologicznych i ekonomicznych, a także przedstawia nowe kierunki rozwoju technologii energetycznych.

W świetle ustawy Prawo Energetyczne z dn. 10.04.1997 r., bezpieczeństwo energetyczne to stan gospodarki umożliwiający pokrycie bieżącego i perspektywicznego zapotrzebowania odbiorców

na paliwa i energię, w sposób technicznie i ekonomicznie uzasadniony, przy zachowaniu wymagań ochrony środowiska.

Zapowiadana już od dawna transformacja energetyczna oraz zatwier-

dzenie przez Radę Europy celu, jakim jest ograniczenie emisji gazów cieplarnianych do 2030 r., o co najmniej 55% w porównaniu z poziomem z 1990 r., zaburzają nieco ład energetyczny trwający w Polsce przez ostatnie dziesięciolecie.

Jak wiadomo, główne surowce wykorzystywane w Polsce do celów energetycznych to węgiel kamienny, węgiel brunatny, gaz ziemny i ropa naftowa. Zarówno paliwo gazowe, jak również ropa naftowa są do Polski importowane w przeważającej części, natomiast węgiel, którego złóż mamy pod dostatkiem, zastępowany jest powoli innymi, „czystszyimi” źródłami energii. Ponadto, trwające konflikty i nieporozumienia pomiędzy nacjami na całym świecie (szczególnie za naszą wschodnią granicą), a także narastające niepokoje społeczne oraz groźby ataków terrorystycznych powodują, że u podstaw bezpieczeństwa energetycznego powinny leżeć własne zasoby, które w przypadku przerwania dostaw surowców importowanych, bądź destrukcji infrastruktury przesyłowej - będą stanowiły cenne źródło energii.



Ktoś powie: *Ale mamy przecież energię z wiatru i ze słońca, a nowe instalacje „rosną jak grzyby po deszczu”*. To prawda, ale są to niestabilne źródła energii, które jeszcze długo nie zabezpieczą możliwego, dość znacznego deficytu energii elektrycznej w przypadku całkowitej rezygnacji z elektrowni węglowych. Przykładem tego jest awaria elektrowni w Bełchatowie, mająca miejsce w maju 2021 r., na skutek której wyłączonych zostało 10 z 11 bloków energetycznych. Ratunkiem w tej sytuacji okazał się zwiększony import energii oraz uruchomienie bloków energetycznych pozostających w rezerwie.

Przedstawione wyżej przykłady powinny uzmysłowić powagę sytuacji, nad którą warto się raz jeszcze zastanowić i rozważyć optymalne wykorzystanie posiadanych zasobów do produkcji energii elektrycznej do czasu, aż nie zostaną one zastąpione nowoczesnymi i ekologicznymi, ale własnymi technologiami zapewniającymi bezpieczeństwo energetyczne kraju. Dlatego w tym miejscu, po raz kolejny warto przedstawić paliwa kopalne występujące w Polsce, a także możliwość ich „czystszy” wykorzystania do celów energetycznych.

■ Paliwa kopalne wykorzystywane do produkcji energii elektrycznej w Polsce

Jak już wcześniej wspomniano, głównymi paliwami kopalnymi wykorzystywanymi do produkcji energii elektrycznej w Polsce są: węgiel kamienny, węgiel brunatny, gaz ziemny i olej opałowy pochodzący z przerobu ropy naftowej.

Węgiel kamienny - to surowiec energetyczny występujący w Polsce według niektórych źródeł w ilości ok. 60 mld ton, przy rocznym, własnym zapotrzebowaniu i wydobyciu ok. 60 mln ton. Teoretycznie, paliwo to byłoby dostępne jeszcze przez ok. 1000 lat, jednakże wzrastające zapotrzebowanie na energię oraz opłacalność wydobycia i wykonywanie

coraz to głębszych odwiertów, przyczyniają się do ograniczenia dostępności węgla kamiennego w Polsce przez kilkadziesiąt kolejnych lat. Okres ten wydaje się wystarczający, biorąc pod uwagę tempo postępu technologicznego w rozwoju energetyki. Jednakże konieczność ochrony środowiska oraz życia na naszej planecie nakazują dość radykalnie zaprzestania stosowania tego rodzaju paliwa do celów energetycznych. Główną bolączką związaną ze spalaniem węgla staje się emisja CO₂ oraz pyłów i pierwiastków zawartych w paliwie, a szkodliwych dla środowiska.

Częściowym rozwiązaniem problemu wynikającego ze spalania węgla kamiennego mogłoby być jego zgazowywanie w złożach, czyli bez jego wydobycia, w sposób zaprogramowany i kontrolowany. Z kolei wypalone przestrzenie po złożach węgla mogłyby być wykorzystane jako magazyny, dwutlenku węgla pocho-

”

Planowane do wyłączenia w niedalekiej przyszłości bloki węglowe powinny stanowić niejako poligon doświadczalny w zakresie zasilania turbin parowo-gazowych, tworzenia rozwiązań hybrydowych, a także wychwytu i zagospodarowania gazów cieplarnianych i innych produktów spalania, szkodliwych dla środowiska

dzącego zarówno ze zgazowania paliwa stałego, jak również ze spalania gazu syntetycznego w blokach gazowych.

Węgiel brunatny - zasoby udokumentowane tego węgla w Polsce to ok. 23 mld ton, natomiast jego roczne wydobycie wynosi ok. 63 tys. ton. Pomimo niższych kosztów wydobycia w odniesieniu do węgla kamiennego, węgiel brunatny posiada mniejszą kaloryczność, a także gorsze parametry gazów pochodzących z jego spalania. Podobnie jak w przypadku węgla kamiennego, możliwe jest także jego zgazowywanie w złożach.

Oba wymienione rodzaje węgla w pełni zabezpieczają obecne i przyszłe potrzeby energetyczne państwa polskiego, pomimo częściowego importu tego surowca.

Gaz ziemny - jest paliwem wydobywanym w Polsce w ostatnich latach w ilościach ok. 4,5-4,9 mld m³ rocznie, przy czym import tego surowca wynosi ok. 19 mld m³. Wynika z tego, że prawie 75% gazu ziemnego pochodzi z dostaw zewnętrznych. Jest to dość duża wartość, a tym bardziej jest ona niepokojąca, że aż ponad 60% dostaw gazu pochodzi z Rosji. Według publikowanych danych, zasoby tego paliwa w Polsce szacuje się na ok. 75 mld m³ (w 2017 r. - ok. 90 mld m³). Biorąc pod uwagę tempo wydobycia gazu ziemnego w Polsce, proces ten może potrwać jeszcze ok. 15 lat, przy czym w miarę zwiększania popytu na gaz, a także ubożenia zasobów własnych, należało będzie zwiększać, ale także dywersyfikować dostawy tego paliwa.

Pomimo, że gaz ziemny jest paliwem bardziej kalorycznym i zdecydowanie „czystszy” od węgla kamiennego, jest

również surowcem poddawanym spalaniu, wobec czego nie jest to bezemisyjne źródło energii. Niektóre źródła podają, że wymiana bloków węglowych na bloki gazowe nie będzie opłacalna, a już na pewno będzie ona mniej bezpieczna energetycznie.

Olej opałowy - jest paliwem stosowanym w instalacjach energetycznych zarówno w gospodarstwach domowych, jak również w elektrowniach i elektrociepłowniach jako paliwo zasilające bloki węglowe we wstępnej fazie rozruchu. Rozróżnia się oleje opałowe lekkie, średnie oraz ciężkie, gdzie zasadnicza różnica wynika z gęstości tych paliw, ale także wartości opałowej, temperatury zapłonu i innych parametrów fizyczno-chemicznych, które wpływają na jego jakość.

Oleje opałowe są paliwami ciekłymi pochodzącymi z rafinacji ropy naftowej, dlatego też należy tu wspomnieć także i o tym surowcu, jakże ważnym dla całej gospodarki.

Ilość wydobywanej w Polsce ropy naftowej stanowi niespełna 4% krajowego zapotrzebowania tego surowca, dlatego śmiało można stwierdzić, że jesteśmy w zasadzie w pełni uzależnieni od jego importu. W 2017 r. w Polsce wydobyto prawie 1 mln ton „czarnego złota”, gdzie w tym samym czasie kupiono z zagranicy ok. 25 mln ton ropy. Kierunki dostaw surowca są bardzo różne, choć podobnie jak w przypadku gazu ziemnego, większość importu pochodzi z Rosji. Na liście dostawców ropy naftowej do Polski znajdują się takie państwa jak: Arabia Saudyjska, Irak, Kazachstan, Norwegia, Wielka Brytania oraz Stany Zjednoczone. Wielkość udokumentowanych zasobów ropy naftowej w Polsce również nie jest imponująca i wynosi ok. 20 mln ton w 87 złóżach. Jak łatwo policzyć, przy obecnym poziomie wydobywania ropy naftowej w kraju, wystarczy jej jeszcze na około 20 lat.

Należy też sądzić, że wraz ze wzrostem poziomu elektromobilności, zapotrzebowanie na ten surowiec będzie spadało, co nie oznacza, że zmniejszy się popyt na energię. Energia pochodząca ze spalania paliw płynnych będzie musiała zostać w dość szybkim czasie zastąpiona energią elektryczną, potrzebną chociażby do ładowania akumulatorów w pojazdach.

Obecny poziom wytwarzania i dystrybucji energii elektrycznej w Polsce nie pozwoli na całkowitą rezygnację z paliw płynnych i gazowych służących do zasilania pojazdów elektrycznych, a należy mieć także na uwadze rosnącą konsumpcję prądu z domowych gniazdek elektrycznych.

Bezpieczeństwo energetyczne kraju to nie tylko zapewnienie energii gospodarstwom domowym i pojazdom. Kluczową rolę odgrywa tu przemysł i ciągłość produkcji, dla których istnieje realna potrzeba zapewnienia stabil-

nych dostaw energii o wysokiej mocy (huty, rafinerie, stocznie, kopalnie, itp.). Stabilne dostawy energii to także warunek konieczny dla prawidłowego funkcjonowania służb związanych z bezpieczeństwem państwa, obronnością, opieką zdrowotną, a także szkolnictwem, czy chociażby wszechobecnych systemów i sieci informatycznych.

Niestety, ale budowane ostatnio na szeroką skalę farmy wiatrowe i fotowoltaiczne nie zapewniają bezpieczeństwa energetycznego dla wyżej wymienionych obszarów, dlatego też poniżej przedstawione zostaną innowacyjne formy produkcji, bądź konwersji energii na elektryczną.

■ Nowoczesne źródła i metody wytwarzania lub magazynowania energii

Obecnie na świecie znanych jest bardzo wiele metod wytwarzania energii elektrycznej. Niektóre z nich są nadzwyczaj proste i wynikają z właściwości fizyczno-chemicznych ciał stałych lub cieczy, wykorzystując do tego chociażby szereg napięciowy (elektrochemiczny) pierwiastków. Inne właściwości ciał, takie jak piezo-, piro-, czy foto-elektryczność wykorzystywane są już w technologiach produkcji energii elektrycznej z mniejszą lub większą skutecznością. Ze względu na złożoność przyczyn (niska sprawność, zbyt niska moc, niska sprawność, zagrożenia środowiskowe, czy niestabilność układu), proponowanych jest coraz więcej systemów hybrydowych, gdzie istnieje konieczność zamiany jednego rodzaju energii w drugi. Zwykle takie kompleksowe rozwiązania polegające na konwersji energii są rozwiązaniami nieekonomicznym jeśli chodzi o koszty produkcji, instalacji i utrzymania w porównaniu z produkcją i przesyłem energii elektrycznej.

Mając świadomość rosnącego zapotrzebowania na energię, a także skutków jakie niesie za sobą spalanie paliw kopal-

nych i topniejące ich złoża, z dużym rozmachem podejmowane są kroki mające na celu zabezpieczenie obecnych i przyszłych pokoleń w nową, nisko-, bądź bezemisyjną energię. Niektóre z tych obiecujących rozwiązań przedstawiono poniżej.

■ Generatory wodoru

Wodór jest gazem posiadającym wysokie ciepło spalania i wysoką wartość opałową (120 MJ/kg). W porównaniu do gazu ziemnego (ok. 33 MJ/m³) oraz węgla kamiennego (24-33 MJ/kg), kaloryczność wodoru jest nawet 4-krotnie wyższa. Niezaprzeczalną zaletą wodoru jest także to, że podczas jego spalania powstaje woda, a nie dwutlenek węgla. Obecnie, wytwarzanie wodoru jest nieopłacalne. Świadczy o tym współczynnik EROEI (*Energy Returned on Energy Invested*), a więc różnica między nakładem energii dostarczonej, a energią, którą z niego możemy uzyskać. Dla wodoru współczynnik ten wynosi ok. 0,8, a granica opłacalności wynosi 1. Mimo tego, jest to bardzo perspektywiczna technologia, która w przyszłości może zrewolucjonizować rynek energii.

Metody produkcji wodoru można podzielić na takie, które:

- a) wykorzystują źródła energii odnawialnej:
 - elektroliza wody,
 - termoliza (rozkład termiczny wody),
 - fotoliza (fotoelektrochemiczne i fotokatalityczne metody rozkładu wody),
 - metody biologiczne,
 - gazyfikacja biomasy,
- wykorzystują paliwa kopalne:
 - reforming metanu parą wodną,
 - reforming benzyny,
 - zgazowanie węgla,
- c) produkują wodór w procesach przemysłowych.

Obecny poziom produkcji wodoru opiera się w ok. 30% na procesach przerobu ropy naftowej, w ok. 18% na gazyfikacji węgla, natomiast tylko 4% wodoru

powstaje dzięki elektrolizie. Jednakże te proporce będą się zmieniać, gdyż wiele znanych marek planuje uruchomić produkcję wodoru poprzez budowę wielkich elektrolizerów.

Wykorzystanie paliw kopalnych do produkcji wodoru powoduje zużycie większej ilości energii, niż można uzyskać z wyprodukowanego wodoru i właściwie taką samą emisją gazów cieplarnianych, jak w przypadku spalania tych paliw. Pewnym korzystniejszym rozwiązaniem byłoby zgazowanie węgla, wychwytywanie dwutlenku węgla oraz jego synteza z wodorem, na skutek czego powstałoby paliwo, które dalej może być wykorzystywane do celów energetycznych.

Taki projekt ogłoszony przez Shell i Gasunie zakłada uruchomienie produkcji wodoru z morskiej farmy wiatrowej o mocy 3-4 GW, która miałaby powstać do 2030 r. u wybrzeży Holandii. W ciągu 10 kolejnych lat moc tej farmy wiatrowej miałaby być zwiększona nawet do 10 GW, a produkcja wodoru mogłaby sięgnąć nawet 800 tys. ton rocznie.

Kolejne urządzenia do produkcji energii elektrycznej z wodoru to ogniwa paliwowe, które zbudowane są podobnie jak typowe ogniwa galwaniczne, z tą jednak różnicą, że na anodzie wykorzystują wodór oraz tlen na katodzie. Na bazie tego rozwiązania w Namie w prefekturze Fukushima powstała w 2020 r. elektrownia oparta w całości o ogniwa wodorowe. Jest to elektrownia o mocy 50 MW, która jest w stanie wytwarzać ok. 400000 MWh energii elektrycznej rocznie. Zakład posiada 114 ogniw paliwowych, do których z procesu przerobu ropy naftowej rafineria Hanwha Total Petrochemical dostarcza do 3 ton wodoru na godzinę. Wodór pompowany jest do nowej elektrowni podziemnymi rurami i podawany bezpośrednio do ogniw paliwowych.

Kolejnym przykładem wykorzystania wodoru i jego możliwej produkcji jest interakcja związków chemicznych z innymi substancjami i materiałami. W jednym z laboratoriów wykorzystano grafen jako układ modelowy do badania reakcji

wodoru z bardzo dużymi wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi. Badania te wykazały, że podłoże grafenu ma bardzo duży wpływ na proces uwodorniania. Zwiększona produkcja węglowodorów aromatycznych dzięki interakcji z grafenem spowodowała produkcję nadmiernych ilości produktu ubocznego - wodoru.

Inną metodą wykorzystania wodoru, ale również także dwutlenku węgla jest tzw. konwersja CO₂ do metanolu. Jak już wspomniano wcześniej, jest to reakcja łączenia wodoru i CO₂ w procesie chemicznym. Oprócz redukcji gazu cieplarnianego i wytworzenia nowego paliwa, metoda ta może być jedną z form magazynowania energii. Oprócz alkoholu metylowego, w reakcji syntezy wodoru z ditlenkiem węgla mogą powstawać wyższe alkohole i węglowodory wymagające selekcji produktów. Rozwój tej metod, redukcji

Taki generator opracowany przez firmę Vortex Bladeless ma wysokość 3 m i kształt wysokiego słupa z zaokrąglonym końcem. Górna część słupa jest elastyczna, dzięki czemu pod wpływem wiatru zaczyna drgać. Docelowo, firma ta planuje produkować turbiny tego typu o wysokości nawet 140 m, które generowałyby znaczące ilości energii elektrycznej.

Znane są także inne metody generowania energii elektrycznej przy udziale chociażby pola magnetycznego, czy zjawiska tarcia. Rozwojem i badaniem tych metod zajmował się także autor, posiadając w tej tematyce dość spore doświadczenie.

■ Magazynowanie energii

Magazynowanie energii jest procesem dość trudnym i niezwykle kosztownym. Dotyczy to także wodoru, który



Transformacja energetyki oraz bezpieczeństwo energetyczne Polski to pojęcia oraz obszary działalności państwa, które muszą „stać” obok siebie

CO₂, a także wytwarzania paliwa może być bardzo perspektywiczny w kontekście rosnących cen energii i konieczności ochrony środowiska.

■ Generatory zamieniające energię mechaniczną w energię elektryczną

Do produkcji energii elektrycznej mogą być i są wykorzystywane zjawiska fizyczne, takie jak oscylacje, czy drgania własne ciał stałych, wynikające z budowy materii i sieci krystalograficznych. Generatory, których działanie oparte jest na zjawisku drgań własnych wykonane są z materiałów piezoelektrycznych. Pod wpływem własnego ciężaru, dużych gabarytów oraz impulsu w postaci np. wiatru, urządzenie takie wprawiane jest w rezonans powodując wytwarzanie energii elektrycznej.

magazynuje się głównie metodą wysokociśnieniową (od 200 do 700 bar). Rzeczywista wagowa zawartość wodoru w zbiorniku w systemach 350 bar i 700 bar wynosi odpowiednio 5,5%. Sprawa to pewne ryzyko, biorąc pod uwagę wielkość ciśnienia pod jakim znajduje się przechowywany wodór, a także jego palność. Alternatywą dla sprężania wodoru może być jego skroplenie. Niestety, jest to proces kosztowny i skomplikowany ze względu na bardzo niską temperaturę wrzenia wodoru (252,87°C) i temperaturę krytyczną wodoru (-240°C), tym bardziej, że samo sprężenie wodoru jest procesem bardzo droгим.

Przechowywanie wodoru możliwe jest również poprzez wzbogacanie gazu ziemnego wodorem na poziomie 5-20% (ang. *hydrogen-enriched natural gas*), w celu zwiększenia kaloryczności paliwa rozprzodzanego instalacją gazową.

Dużo większym zainteresowaniem inwestorów cieszą się magazyny energii elektrycznej. Mogą być nimi ogniwa galwaniczne, bądź superkondensatory.

Superkondensatory to narzędzia krótkotrwałego magazynowania energii, które bardzo szybko absorbują i uwalniają duże jej ilości. Znalazły zastosowanie we wsparciu usług sieciowych (przy stabilizacji napięcia i częstotliwości), w transporcie drogowym (w układach z silnikami spalinowymi są łączone równoległe z akumulatorami).

Bardziej perspektywiczne, choć w pełni nie wystarczające do przechowywania dużej mocy energii są akumulatory litowo-jonowe. Na bazie takich akumulatorów zbudowany został przez PGE pierwszy magazyn energii elektrycznej. Instalacja o mocy ok. 2,1 MW i pojemności 4,2 MWh została zaprojektowana w celu wspierania niezawodności lokalnej sieci dystrybucyjnej.

Jak jednak widzimy, możliwość długoterminowego i wysoce sprawnego magazynowania energii elektrycznej wysokich mocy jest bardzo ograniczona.

■ Wnioski

Transformacja energetyki oraz bezpieczeństwo energetyczne Polski to pojęcia oraz obszary działalności państwa, które muszą „stać” obok siebie. Jest to na pewno trudne przedsięwzięcie, ale nie znaczy, że jest ono nie możliwe. Niniejszy artykuł przedstawia wiele możliwości wytwarzania energii, ale też wiele

z nich zostało pominiętych. Autor celowo nie omawiał kwestii związanych z tak prężnie rozwijającą się fotowoltaiką, farmami wiatrowymi, czy też oczekiwaną przez część społeczeństwa elektrownią jądrową, gdyż jest to bardzo obszerny temat, wymagający odrębnej wypowiedzi. Pomimo tego, spektrum możliwości rozwoju programów energetycznych jest naprawdę duże. Jednakże główną bolączką w realizacji polityki energetycznej jest czas realizacji inwestycji odpowiadającej aktualnym i przyszłym potrzebom Polski oraz nakłady inwestycyjne.

Jak już wspomniano, w bardzo szybkim tempie rozwija się energetyka rozproszona w postaci farm wiatrowych i ogniw fotowoltaicznych. Jest to dobre i potrzebne rozwiązanie z uwagi na bezpieczeństwo dostaw do indywidualnych odbiorców, jednakże dopóki nie powstaną wysokosprawne i wydajne magazyny energii elektrycznej, to ta forma wytwarzania energii pozostanie nadal niestabilna i niewystarczająca dla polskiego przemysłu. Jak dotychczas nie mamy innej, alternatywnej technologii zasilania hut, aniżeli energią z węgla.

Dlatego też koncepcja budowy elektrowni atomowej w Polsce, czy też małych, modułowych reaktorów atomowych powinna być urzeczywistniana. Jednakże do czasu uruchomienia „wystarczających mocy” powinniśmy w sposób optymalny korzystać z posiadanych źródeł i zasobów energii, tak aby rozwijać polską gospodarkę, ale także roz-

wijać polską myśl techniczną właśnie w aspekcie technologii energetycznych.

Planowane do wyłączenia w niedalekiej przyszłości bloki węglowe powinny stanowić niejako poligon doświadczalny w zakresie zasilania turbin parowo-gazowych, tworzenia rozwiązań hybrydowych, a także wychwytu i zagospodarowania gazów cieplarnianych i innych produktów spalania, szkodliwych dla środowiska. Nic nie powinno stać na przeszkodzie, aby produkty spalania paliw kopalnych mogły nadal uczestniczyć w procesach wytwórczych nowych form energii, podnosząc tym samym sprawność starych instalacji i obniżając koszty produkcji.

Równoległe proponuje się, aby wykorzystywać posiadany przez spółki energetyczne potencjał ludzki w zakresie badawczo-rozwojowym, tworząc w tym celu działy rozwojowe „z prawdziwego zdarzenia” i klastry. Poprzez korzystanie z jeszcze dostępnej wiedzy, doświadczeń i posiadanej infrastruktury możliwe będzie wprowadzanie innowacyjnych, ale polskich rozwiązań w dziedzinie energetyki. Aby osiągnąć zamierzone efekty należy także pamiętać o ukierunkowaniu i rozwoju przyszłych kadr już na etapie szkół zawodowych oraz na wyższych poziomach edukacji.

Bezpieczeństwo energetyczne Polski jest bardzo ważnym aspektem, od którego zależeć będą losy przyszłych pokoleń, a także i to, czy poradzimy sobie w sytuacjach kryzysowych lub nawet w konfliktach zbrojnych. □

Literatura:

- Gładysz P.: Analiza techniczna możliwości redukcji emisji dwutlenku węgla z elektrowni Bełchatów. Listopad 2018.
- Wiśniewski G., Michałowska K., Koć S.: Energetyka wiatrowa - stan aktualny i perspektywy rozwoju w Polsce. IEO. Warszawa 2012.
- Sutkowski M., Sumara A.: Gaz i węgiel w elektrowniach oraz elektrociepłowniach. Paliwa i energetyka 1/2013.
- Kotowicz J., Jurczyk M., Węcel D.: Analiza działania generatora wodoru pracującego w środowisku alkalicznym. Rynek Energii - 3/2019.
- Bajor M.: Innowacyjne metody pozyskiwania energii z odnawialnych źródeł energii. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, 1993/2017.
- Maj M., Szpor A.: Kierunki rozwoju gospodarki wodorowej w Polsce. PIE, Warszawa 2019
- Dz.U. 1997 nr 54 poz. 348. Ustawa z dn. 10.04.1997 - Prawo Energetyczne.
- Wilk A. i inni: Konwersja CO₂ do metanolu - jedna z metod magazynowania energii. Chemik 10/2016.
- Bartosik M. i inni: Magazynowanie energii elektrycznej i gospodarka wodorowa. Przegląd elektrotechniczny 1/2016.
- Lisowska-Oleksiak A., Nowak A., Wilamowska M.: Superkondensatory jako materiały do magazynowania energii.
- Ruszel M., Podmiotko S.: Bezpieczeństwo energetyczne Polski i Europy. Instytut Polityki Energetycznej. Rzeszów 2019.
- Szczerbowski R.: Bezpieczeństwo energetyczne Polski - mix energetyczny i efektywność energetyczna. Polityka energetyczna 4/2013.
- Krajowy plan na rzecz energii i klimatu na lata 2021-2030. Ministerstwo Energii, 2019.
- www.stat.gov.pl.