

# Funkcjonalność stacji elektroenergetycznych w dystrybucji energii elektrycznej w nowym polskim systemie elektroenergetycznym przy braku paliw kopalnych

Functionality of Electric Power Substation in Electric Energy Distribution in the Polish Electric Power System with no Fossil Fuels

Sławomir Cieślík

**Słowa kluczowe:** nowy system elektroenergetyczny, transformacja energetyczna Polski, nowa rola stacji

Funkcjonalność stacji elektroenergetycznych w polskim systemie elektroenergetycznym na poziomie średniego napięcia zmienia się od kilku lat. Obecnie na tę zmianę największy wpływ ma rozwój generacji rozproszonej i możliwości magazynowania energii. W niedalekiej przyszłości nastąpi brak paliw kopalnych. Nieunikniona jest transformacja polskiej energetyki ze stanu obecnego do stanu postulowanego w przyszłości. Aby proces ten był efektywny, konieczna jest zmiana wyobrażenia o funkcjonowaniu całego systemu, w tym również stacji elektroenergetycznych. Artykuł ten jest przyczynkiem w dyskusji uzasadniającej niezwłoczne podjęcie określonych działań w celu wypracowania racjonalnej i merytorycznie uzasadnionej strategii transformacji polskiej energetyki. Strategia ta pozwoli na ścisłe określenie funkcjonalności stacji elektroenergetycznych współpracujących z sieciami dystrybucyjnymi w nowym polskim systemie elektroenergetycznym, wtedy gdy nie będzie już paliw kopalnych. W artykule pokazano wybrane aspekty przyszłej funkcjonalności stacji, które rysują się na podstawie dzisiejszej wiedzy i stanu techniki.

**Keywords:** new power system, transformation of Polish energy, new role of substations

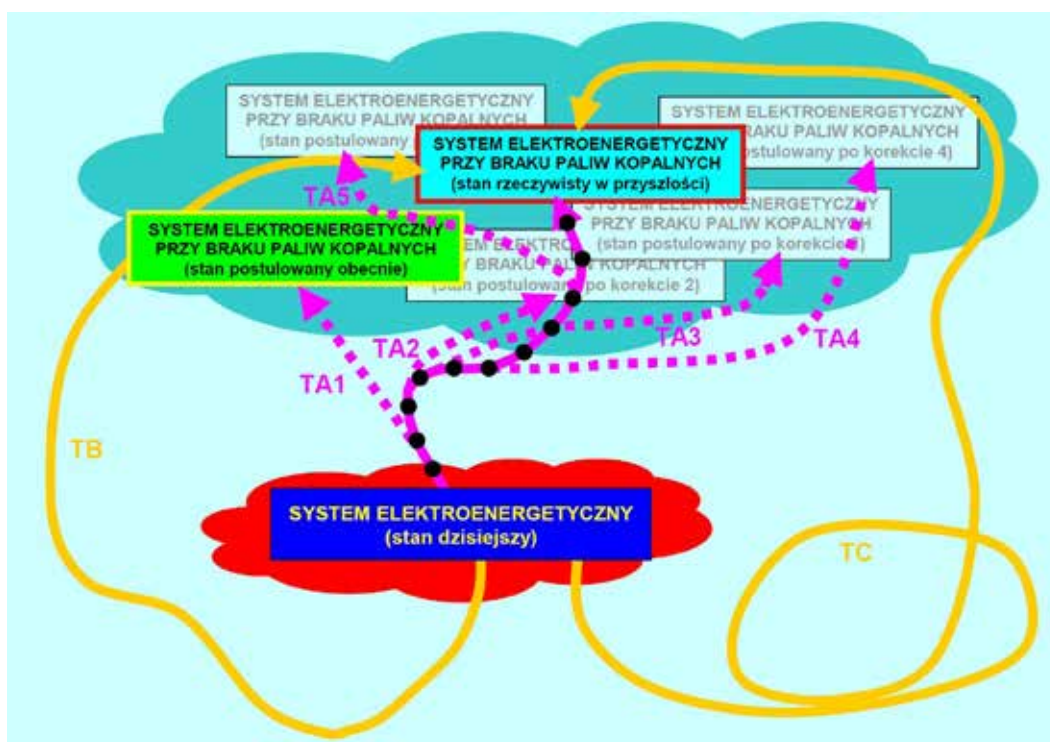
The functionality of power substations in the Polish power system (at the level of medium voltage) has been changing for several years. Currently, the development of distributed generation and energy storage capacity has the greatest impact on this change. There will be a lack of fossil fuels in the near future. The transformation of the Polish energy sector from the current state to the new state is inevitable. For this process to be effective, it is necessary to change the imagination of the functioning of the entire system, including power substations. This article is a contribution to the discussion justifying the immediate undertaking of specific actions in order to develop a rational and substantively justified strategy for the transformation of the Polish energy sector. This strategy will allow for precise definition of the functionality of power substations cooperating with distribution networks in the new Polish power system when there will be no more fossil fuels. The article presents selected aspects of the future functionality of the station, which are based on today's knowledge and the state of the art.

**Aspekty środowiskowe, ale głównie wyczerpywanie się dostępnych złóż paliw kopalnych (węgiel kamienny i brunatnego, ropy naftowej i gazu naturalnego) spowodują w niedalekiej przyszłości zmianę struktury i zmianę funkcji Krajowego Systemu Elektroenergetycznego. Funkcjonalność jest tutaj rozumiana jako zespół funkcji i usług tego systemu.**

Państwa europejskie mają z reguły już wypracowane koncepcje dostosowania się do nowych warunków, niektóre już je nawet wdrażają, inne intensywnie nad nimi pracują. Niestety, są kraje europejskie, które nie mają żadnego pomysłu w tym zakresie i nie interesują się przyszłością w perspektywie dłuższej niż cztero- lub pięcioletniej.

Posiadanie wspomnianej wyżej koncepcji (lub kilku wariantów) daje podstawę do określenia stanu postulowanego w zakresie struktury i funkcjonowania nowego systemu elektroenergetycznego przy braku paliw kopalnych. Pozwala również na odpowiedzialny wybór właściwej strategii transformacji energetyki ze stanu obecnego do stanu postulowanego. Te dwa elementy (koncepcja nowego systemu oraz strategia transformacji) są kluczowe (minimum konieczne) dla podmiotów krajowej gospodarki w sektorach wytwarzania, przesyłu i dystrybucji energii, aby świadomie i właściwie (racjonalnie i z uzasadnieniem technicznym) planować rozwój systemu.

Na rys. 1 przedstawiono ideę przykładowych trajektorii systemu elektroenergetycznego ze stanu obecnego do nowego stanu bez paliw kopalnych. Stan rzeczywisty systemu w przyszłości nie jest obecnie



Rys. 1. Ideowe przedstawienie przykładowych trajektorii transformacji z obecnego stanu systemu elektroenergetycznego do stanu przyszłego przy braku paliw kopalnych

Fig. 1. Ideological examples of trajectories of power system transformation from current state to the future in the absence of fossil fuels

znany. Natomiast ważne jest, aby już teraz obrać drogę (trajektoria oznaczona na rys. 1 jako „TA”), która przynajmniej będzie prowadziła w kierunku „chmury”, obejmującej kształt przyszłego systemu elektroenergetycznego. Tworząc kolejne wersje stanów postulowanych (wynikają one z przyszłych korekt uwzględniających wszystkie procesy zachodzące w otoczeniu) przechodzi się z trajektorii TA1 na TA2, następnie na: TA3, TA4, TA5 i w końcu osiągnięty zostanie stan nowego systemu elektroenergetycznego przy braku paliw kopalnych. Oczywiście proces transformacji wiąże się z określonymi nakładami (finansowymi, pracy, sił, itp.). Nakłady te zaznaczono symbolicznie na rys. 1 w postaci czarnych punktów (każdy punkt wiąże się z określonymi nakładami – obraz bardzo uproszczony). W tym miejscu należy zaznaczyć, że nie każdy nakład można nazwać inwestycją.

Inwestycja powinna być rozumiana jako przeznaczenie nakładów (najczęściej finansowych) na powiększenie lub odtworzenie zasobów (majątkowych, technicznych, itp.), które stanowią pewną wartość. Nieprzemysłane i nieuzasadnione przeznaczanie nakładów finansowych na powiększenie lub odtworzenie zasobów, które do niczego i nikomu nie będą potrzebne należy nazwać bezmyślnym wydawaniem pieniędzy a nie inwestowaniem. W tym kontekście trajektorie TB i TC pokazane na rys. 1, jeżeli myślowo nałożymy na nie czarne punkty (nakłady), pokazują obraz transformacji, która czeka te kraje europejskie, które wykazują ignorancję w kontekście przygotowania systemu elektroenergetycznego do funkcjonowania w nowych (bez paliw kopalnych) warunkach.

W dalszej części artykułu uwaga będzie skoncentrowana na aspektach dotyczących funkcjonalności stacji elektroenergetycznych współpracujących z sieciami dystrybucyjnymi średniego i niskiego napięcia, w nowym polskim systemie elektroenergetycznym bez paliw kopalnych. W ostatnich latach działania praktycznie wszystkich polskich operatorów systemów elektroenergetycznych (w tym przesyłowego), którzy populistycznie chwalią się inwestycjami, są raczej chaotyczne i nie mają uzasadnienia w długoterminowej perspektywie. Decydującą winę w tym zakresie w Polsce ponosi władza ustawodawcza i wykonawcza. Niezależnie od opcji politycznej politycy mają stosunkowo krótkie perspektywy ograniczone wyborami na kolejne kadencje, nie są zainteresowani rzetelną współpracą ze specjalistami z energetyki i elektroenergetyki.

Wobec indolencji polityków, wydawało się, że jedyną drogą, która może przygotować polską energetykę na nieuchronne zmiany jest działanie wytwórców energii, operatorów systemów energetycznych i kadry naukowej na polskich uczelniach technicznych. Niestety, politycy skutecznie zablokowali również takie działania. Uzależnienie politycznych podmiotów gospodarki w zakresie szeroko rozumianej energetyki (prezesi powoływani, a co ważniejsze również odwoływani przez polityków) uniemożliwia im własną inicjatywę, szczególnie której wyniki mogą wykazać niezasadność narzuconych i przekazanych do realizacji zadań. Kolejny minister swoimi decyzjami skutecznie odcina dużą grupę kadry naukowej, która chciałaby zajmować się przyszłością polskiej energetyki. Są oni zmuszani do publikacji w zagranicznych czasopismach (publikacje w polskich czasopismach lub dyskusje naukowe na konferencjach nie dają „punktów”, a dla Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego są w zasadzie najważniejsze), które mają zasięg światowy. Ale kto na świecie jest zainteresowany rozwojem polskiego sektora energetycznego, jeśli sama Polska się tym nie interesuje? Odpowiedzią na to pytanie jest odrzucanie publikacji w tym temacie przez redaktorów czasopism zagranicznych.

Może jednak Polska ma wypracowaną politykę energetyczną, w której uwzględniono już te zagadnienia, które omówiono wyżej?

## POLITYKA ENERGETYCZNA POLSKI

Państwo polskie ignoruje problem przyszłości energetycznej Polski. W ostatnich latach wydane zostały dwa teksty [10, 11], których nie można nazwać dokumentami, choćby z tego powodu, że do ich autorstwa nikt ze specjalistów się nie przyznaje (we wprowadzeniu podano informację, że polityka energetyczna państwa jest opracowana przez ministra energii, nie podano żadnych nazwisk). Minister może wprowadzić do obiegu prawnego dowolny tekst, ale w przypadku zagadnień energetycznych ma to swoje szczególne konsekwencje. Po pierwsze, nie ma naukowego i merytorycznego uzasadnienia dla proponowanych w tych tekstach zapisów, co może doprowadzić do katastrofy energetycznej w Polsce w perspektywie kilkudziesięciu lat. Po drugie, uzależnienie politycznych podmiotów gospodarki w zakresie wytwarzania,

przesyłu i dystrybucji energii powoduje, że nie dopuszcza się do prowadzenia badań i analiz naukowo-technicznych, które mogą prowadzić do innych wniosków niż sformułowane w jedynie słusznych tekstach.

Nie wiadomo, na jakiej podstawie określono kierunki w horyzoncie ponad 20 lat, gdy wskaźniki określane jako „globalną miarę realizacji celu PEP2040” sformułowano najdalej do roku 2033 (czyli najwyżej 13 lat). Jest to dowód na to, że nie ma skonkretyzowanej wizji polskiego systemu elektroenergetycznego w perspektywie kilkudziesięciu lat. Wśród ośmiu kierunków polityki energetycznej Polski (PEP2040) wskazano, m.in.: optymalne wykorzystanie własnych zasobów energetycznych (chodzi oczywiście głównie o węgiel, jeden ze wskaźników określa 60-procentowe użycie węgla w wytwarzaniu energii elektrycznej w roku 2030, gdy np. Niemcy planują całkowite wyeliminowanie węgla do roku 2038) oraz dywersyfikację dostaw gazu i ropy naftowej oraz rozbudowę infrastruktury sieciowej. Minister (autor PEP2040) nie zadał sobie pytania, czy wymienione dwa kierunki są uzasadnione w kontekście wyczerpywania się zasobów paliw kopalnych (węgla, ropy naftowej i gazu). Jeżeli uwzględnić ten oczywisty fakt, to do jakiej struktury systemu elektroenergetycznego Polski będą zmierzać podmioty gospodarcze, realizując narzucone przez ministra kolejne trzy kierunki: rozbudowy infrastruktury wytwórczej i sieciowej energii elektrycznej, rozwoju rynków energii oraz rozwoju ciepłownictwa i kogeneracji?

Konkluzja jest następująca: Polska nie ma poważnej, przemyślanej i ugruntowanej merytorycznie polityki energetycznej obejmującej perspektywę kilkudziesięciu lat. Bowiem, bez sformułowania koncepcji nowego polskiego systemu elektroenergetycznego (minimum na rok 2050), nie jest możliwe odpowiedzialne zaproponowanie strategii transformacji polskiej energetyki, a tym bardziej przyjęcie odpowiedzialnej polityki energetycznej Polski na kolejne dziesięciolecia.

## PROBLEM BRAKU PALIW KOPALNYCH

Aktualne prognozy wystarczalności paliw kopalnych na świecie wskazują - że przy zakładanym poziomie zużycia energii - węgla wystarczy na ok. 130 lat, ropy naftowej na 50 lat i gazu ziemnego również na ok. 50 lat. Mowa o zasobach światowych i w tym kontekście perspektywa nawet 100 lat jest już bardzo bliska. Czynnikiem decydującym w pozyskiwaniu paliw kopalnych będą koszty ich wydobywania (nie licząc nawet kosztów dodatkowych związanych z ich spalaniem), które rosną, ponieważ „łatwe” do wydobycia złoża się kończą już teraz. W związku z tym zasadne jest założenie, że w roku 2050 nie będzie już żadnych paliw kopalnych i w tej perspektywie należy określić strukturę i funkcjonowanie Krajowego Systemu Elektroenergetycznego. Tak naprawdę, czy ten stan nastąpi w tym roku, czy 10 lub 20 lat później nie ma większego znaczenia. Pewne jest, że w stosunkowo niedługim czasie to nastąpi, a cały sektor polskiej energetyki będzie musiał się do tego dostosować. Jednostek wytwórczych, a zwłaszcza infrastruktury sieciowej nie buduje się na 20 czy 30 lat, zatem trzeba wiedzieć do jakiego stanu zmierzamy i odpowiednio do opracowanej strategii, stopniowo wdrażać nowoczesne rozwiązania. Żeby wypracować strategię transformacji polskiej energetyki, niezbędne jest opracowanie koncepcji struktury i funkcjonowania systemu elektroenergetycznego w warunkach braku paliw kopalnych.

## ZARYS NOWEGO POLSKIEGO SYSTEMU ELEKTROENERGETYCZNEGO

### Filary nowego systemu

Nowy Krajowy System Elektroenergetyczny powinien opierać się na trzech filarach: zdecydowanie zwiększonej efektywności energetycznej wszystkich teraźniejszych i przyszłych obszarów (sektorów)

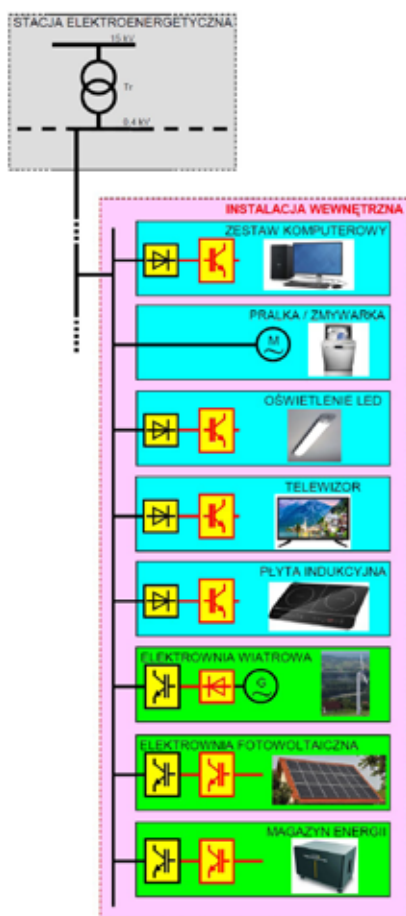
wytwarzania, przesyłania, magazynowania i użytkowania energii elektrycznej, korzystanie ze źródeł energii odnawialnej z możliwie największą sprawnością energetyczną (wyeliminowanie wielostopniowego przetwarzania energii, w tym spalania na rzecz przetwarzania jednostopniowego) oraz wykorzystaniu sztucznej inteligencji i technik wirtualizacji do optymalnego, w tym znaczeniu efektywnego zarządzania systemem wytwarzania, przesyłania, magazynowania i użytkowania energii elektrycznej. Te trzy filary muszą być osadzone na mocnym gruncie pod względem następujących, wszystkich trzech aspektów (energetycznym, środowiskowym i ekonomicznym). Wszystkie działania w tym zakresie muszą obowiązkowo uwzględniać te trzy elementy. Z tego wynika cały katalog działań w różnych obszarach nauki oraz zaawansowanej techniki i inżynierii, których celem jest opracowanie: koncepcji nowego polskiego systemu elektroenergetycznego na rok 2050, trajektorii, drogi transformacji polskiej energetyki ze stanu teraźniejszego do stanu postulowanego w roku 2050.

### Problem polskiego górnictwa węglowego

Mowa jest o warunkach, w których nie ma już paliw kopalnych, w tym węgla kamiennego i brunatnego. W Polsce górnictwo węglowe jest mocno osadzone w świadomości społeczeństwa. Zatem, odpowiedzialna strategia transformacji polskiej energetyki musi odpowiednio wcześniej rozpocząć racjonalne i bezpieczne „wygaszenie” sektora górnictwa węglowego w Polsce. Rozwiązaniem tego problemu może być zmniejszanie już od dziś, a docelowo w roku 2050 zaniechanie, szeroko rozumianego inwestowania (a raczej nieuzasadnionego wydawania pieniędzy) w ten sektor. To szeroko rozumiane inwestowanie obejmuje oprócz wymiaru bezpośredniego finansowania również znaczące ograniczenie (lub zlikwidowanie) kształcenia nowych kadr w zawodach związanych bezpośrednio z tą branżą oraz nie zatrudnianie nowych pracowników. Pracownicy aktualnie zatrudnieni będą w sposób naturalny uczestniczyli w stopniowym procesie „wygaszania” sektora górnictwa węglowego. Do realizacji tego, ale również i innych rozwiązań w przedmiotowym temacie niezbędne jest wprowadzenie racjonalnej i merytorycznie przemyślanej edukacji na każdym poziomie. W tym zakresie niezwykle pomocne mogą być różnego rodzaju stowarzyszenia (np. Stowarzyszenie Elektryków Polskich).

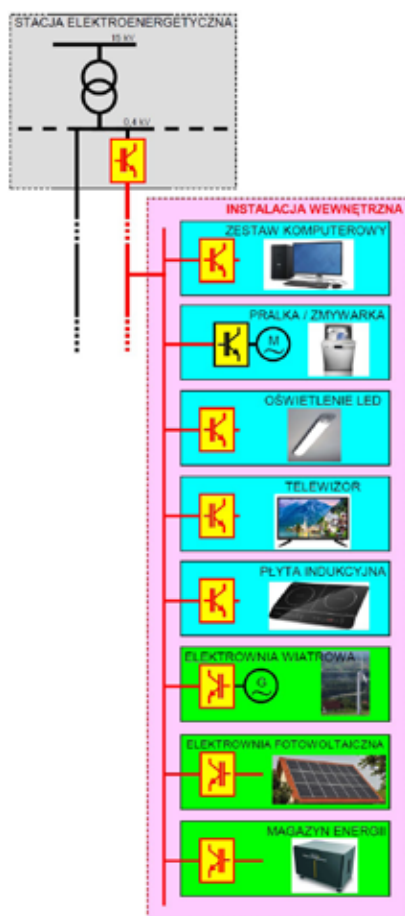
Trudniejszym do rozwiązania problemem będzie zastąpienie jednostek wytwórczych energii elektrycznej opartych na paliwach kopalnych (gdy już ich nie będzie). Z uwagi na to, że inwestycje energetyczne są projektowane na kilkudziesięcioletnie okresy użytkowania, nie powinno się już inwestować (wydawać pieniędzy) w budowę nowych tego typu obiektów. „Wygaszanie” polskiego sektora węglowego spowoduje, że konieczne będzie zapewnienie węgla dla nadal pracujących jednostek wytwórczych. Zmniejszanie wydobycia węgla w Polsce powinno być uzupełniane importem (już i tak dziś Polska importuje w dużej ilości węgiel rosyjski). Naturalne jest, że ze względów głównie społecznych, lepiej i bezpieczniej jest gwałtownie ograniczyć import węgla (po wyeliminowaniu tych jednostek wytwórczych) niż gwałtownie „wygasić” polski sektor górnictwa węglowego.

Niestety prowadzone działania w Polsce w tym temacie są na ścieżce, która prowadzi do nieuniknionego „zderzenia ze ścianą”. Dwa przykłady. Rząd i PGE (zależna od rządu) planują uruchomienie odkrywkowej kopalni węgla brunatnego w Złoczewie. Złoże znajduje się ok. 350 m pod ziemią. Chodzi o przedłużenie funkcjonowania elektrowni w Bełchatowie, która jest największą elektrownią na węgiel brunatny na świecie (niestety jest postrzegana również jako największy truciciel w UE). Węgiel z obecnie eksploatowanej odkrywki skończy się za kilkanaście lat, zatem ok. roku 2035 elektrownia będzie pozbawiona paliwa. Budowa nowej kopalni ma trwać ok. 10 lat i kosztować ok. 17 mld zł, przy czym szacuje się [9], że uruchomienie odkrywki na planowanych terenach spowoduje straty w działalności



Rys. 2. Schemat ideowy fragmentu przykładowej sieci dystrybucyjnej niskiego napięcia zasilającej m.in. instalację gospodarstwa domowego (prosumenta)

Fig. 2. The schematic diagram of a fragment of an exemplary LV distribution network including household installation (or prosumer installation)



Rys. 3. Schemat ideowy fragmentu przykładowej sieci dystrybucyjnej niskiego napięcia zasilającej m.in. instalację stałoprądową gospodarstwa domowego (prosumenta)

Fig. 3. The schematic diagram of a fragment of an exemplary LV distribution network with DC line feeding the household installation (or prosumer installation)

rolniczej na poziomie ok. 35 mld zł. Drugim przykładem jest nieuzasadniony upór w dążeniu do budowy bloku energetycznego o mocy 1 GW w Elektrowni Ostrołęka C, który ma być zasilany węglem kamiennym. Obecnie, po wydaniu już znaczących środków finansowych, budowa została wstrzymana i wykonywane są analizy. Jest to kolejny, typowy przykład niekompetencji i ignorancji polskich polityków w zakresie energetyki.

### Popyt na energię elektryczną

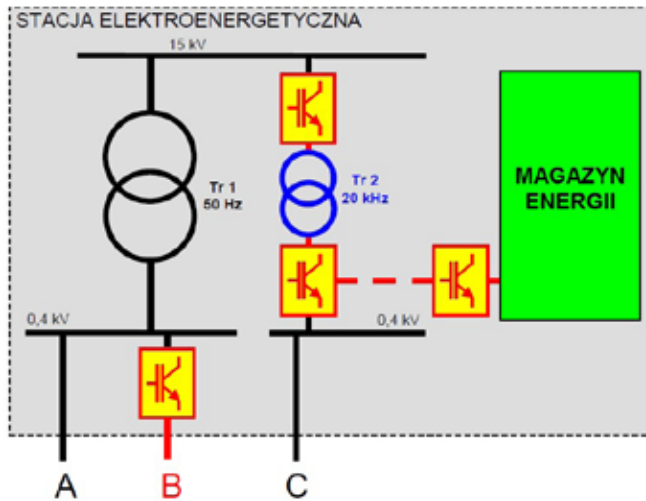
Kolejnym, może nawet kluczowym, aspektem jest prognoza i rzeczywisty poziom popytu na energię elektryczną w nowym systemie elektroenergetycznym. Aby móc przewidywać zmiany zapotrzebowania na energię w kolejnych latach do roku 2050, należy ocenić, czy czynniki zwiększające popyt, tj. rosnąca liczba urządzeń, elektromobilność itp. będą miały silniejszy wpływ niż czynniki zmniejszające popyt na energię, związane z efektywnością energetyczną. W [7], autorzy piszą, że w pięciu na dziewięć scenariuszy dotyczących przyszłej niemieckiej energetyki zakłada się w horyzoncie lat 2030-2035 niewielki spadek, a w czterech pozostałych utrzymanie lub niewielki wzrost konsumpcji energii elektrycznej. Nie jest to zaskakujące, jeżeli odpowiednio wcześniej wprowadzi się edukację na odpowiednim poziomie oraz mechanizmy do wdrażania innowacyjnych wysokoefektywnych rozwiązań w energetyce we wszystkich sektorach: wytwarzania, przesyłania, dystrybucji, magazynowania i użytkowania energii elektrycznej. Należy zauważyć, że część energochłonnego przemysłu związana z przetwórstwem paliw kopalnych nie będzie już istniała.

### Infrastruktura techniczna nowego systemu

Dzisiaj, w świadomości prawie całego społeczeństwa, wliczając w to również specjalistów z energetyki, nie ma innego wyobrażenia infrastruktury sieciowej i instalacyjnej niskiego napięcia jak tylko na prąd przemienny. Tymczasem, gdy zastanowimy się, jakie urządzenia są obecnie przyłączane do elektroenergetycznych instalacji niskiego napięcia (np.: oświetlenie LED, zasilacze urządzeń elektronicznych, moduły fotowoltaiczne) i jakie niedługo będą (samochody elektryczne), to musimy dojść do wniosku, że w zdecydowanej większości są to urządzenia, które bezpośrednio potrzebują zasilania stałoprądowego. Przyłączając je do sieci/instalacji przemiennoprądowej, musimy stosować przekształtniki energoelektroniczne (prostowniki, przetwornice itp.). Dodatkowo pojawiają się problemy, m.in.: kompensacji mocy biernej (już niektórzy dostawcy energii elektrycznej próbują obciążać indywidualnych odbiorców końcowych dodatkowymi opłatami za moc bierną), wyższych harmonicznych prądów i napięć, zakłóceń elektromagnetycznych, wahań napięcia. Czy nie warto w nowym polskim systemie elektroenergetycznym, na poziomie niskiego napięcia wprowadzić sieci i instalacje stałoprądowe? Znikną niektóre problemy, a do zasilania np. silników indukcyjnych będzie się stosowało przekształtniki prądu stałego na przemienny (będzie ich mniej niż teraz ogólnie rozumianych prostowników).

Jeżeli tak, to co z elektroenergetycznymi sieciami średnich napięć (następnie również wysokich)? Może również warto rozważyć przejście na prąd stały? Dotyczyć to może też elektroenergetycznej sieci przesyłowej, mamy przecież duże doświadczenie w wysokonapięciowych łączach prądu stałego (kabel podmorski do Szwecji). Na te pytania





Rys. 4. Schemat ideowy struktury transformatorowej stacji elektroenergetycznej z energoelektronicznym transformatorem, linią prądu stałego i magazynem energii

Fig. 4. Schematic diagram of the structure of the transformer power station with power electronic transformer, DC line and energy storage

bez szczegółowej analizy nie można dziś odpowiedzieć. Zauważmy, że zastosowanie przekształtników energoelektronicznych pozwala na swobodną współpracę podsystemów stałoprądowych z podsystemami przemiennoprądowymi. Dodatkową zaletą jest znacznie większa sterowalność całego systemu, co ma szczególne znaczenie w zarządzaniu przepływami energii. Analizie należy również poddać zakres rozbudowy i funkcjonalność w nowym systemie elektroenergetycznych sieci, dziś nazywanych przesyłowymi i dystrybucyjnymi. Wszystko na to wskazuje, że w najbliższych latach będzie się intensywnie rozwijała energetyka obywatelska. Przy odpowiednio ukierunkowanej edukacji, w stosunkowo krótkim czasie społeczeństwo będzie bardziej świadome w zakresie efektywnego użytkowania energii elektrycznej, ale również możliwości jej pozyskiwania w lokalnych jednostkach wytwórczych wykorzystujących źródła energii odnawialnej. Rozwój technologii magazynowania energii (w tym przyłączanie do sieci magazynów energii w samochodach elektrycznych) w sieciach niskiego napięcia (również na prąd stały) oraz zastosowanie sztucznej inteligencji

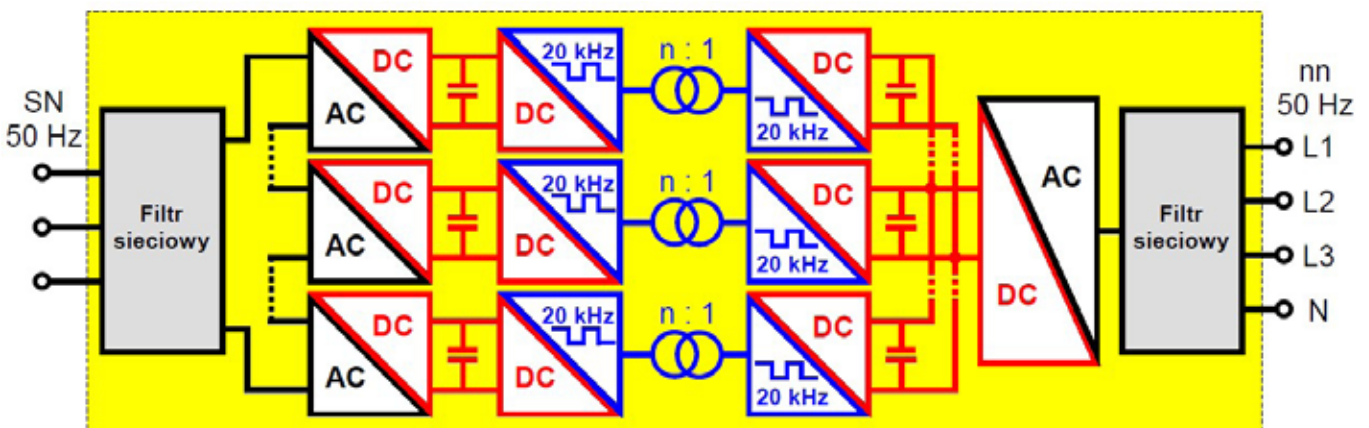
spowoduje, że będą się tworzyły samowystarczalne obszary energetyczne, które będą się łączyły z innymi tego typu obszarami za pomocą terminali dostępowych (może również na prąd stały). Są zatem duże szanse na to, że historia rozwoju energetyki zatoczy koło i powróci do samowystarczalnych lokalnych podsystemów elektroenergetycznych z możliwością kontrolowanego połączenia z innymi lokalnymi podsystemami.

## NOWA FUNKCJONALNOŚĆ STACJI ELEKTROENERGETYCZNYCH I SIECI DYSTRYBUCYJNYCH W PRZYSZŁYM SYSTEMIE ELEKTROENERGETYCZNYM

### Stacje elektroenergetyczne i sieci dystrybucyjne

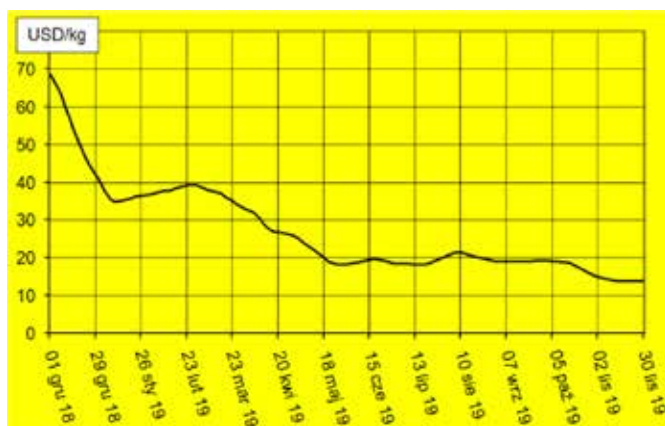
Stacja elektroenergetyczna jest to zespół urządzeń służących do przetwarzania i rozdziału (stacja transformatorowo-rozdziałcza) albo tylko do rozdziału (stacja rozdziałcza) energii elektrycznej. W pierwszym wymienionym rodzaju stacji jednym z głównych elementów jest transformator elektroenergetyczny. Cechą charakterystyczną stacji elektroenergetycznych jest to, że we wspólnym pomieszczeniu lub na wspólnej konstrukcji wsporczej znajdują się zespoły urządzeń do przetwarzania lub rozdziału energii wraz z niezbędnymi urządzeniami pomocniczymi. Stacje elektroenergetyczne zasilające sieci dystrybucyjne niskiego napięcia do tej pory wyposażane były w transformatory SN/nn z możliwością regulacji napięcia w stanie beznapięciowym. Obecnie generacja rozproszona oraz możliwość magazynowania energii powoduje, że w głębi sieci, oprócz podmiotów będących odbiorcami energii elektrycznej, mogą być podmioty wprowadzające energię elektryczną do sieci oraz prosumenci, którzy mogą pobierać i wprowadzać energię elektryczną. Wówczas istnieje możliwość przepływu energii elektrycznej w tej sieci, również w kierunku głównego punktu zasilającego. Zjawiska fizyczne występujące w takich stanach pracy sieci, a zwłaszcza ich skutki powodują konieczność zmiany wyobrażenia o funkcjonowaniu stacji elektroenergetycznych w sieciach dystrybucyjnych.

Głębsza analiza współczesnych odbiorników energii elektrycznej, również w gospodarstwach domowych, co zostało już wyżej zasygnalizowane, prowadzi do wniosku, że w zasadzie większość odbiorników potrzebuje bezpośredniego zasilania napięciem stałym. Urządzenia wytwarzania energii elektrycznej, szczególnie tworzące energetykę prosumencką też w zasadzie pracują na napięciu stałym. Magazyny energii również pracują na napięciu stałym. Praktycznie wszyst-



Rys. 5. Koncepcja modułowego trójfazowego transformatora energoelektronicznego (na podstawie [1])

Fig. 5. The concept of modular three-phase power electronics transformer (based on [1])



Rys. 6. Zmiana ceny pentoksydu wanadu w Chinach (na podstawie [4])

Fig. 6. The change in vanadium pentoxide price in China (based on [4])

kie urządzenia, które wymagają sterowania ich pracą (w tym napędy elektryczne z silnikami indukcyjnymi) zasilane są przekształtnikami energoelektronicznymi, w których jednym z elementów jest prostownik (zatem znowu napięcie stałe). Okazuje się, że obecnie z uwagi na fakt, że mamy ogólnie dostępną sieć prądu przemiennego, niezbędne jest stosowanie układów prostowników, a tylko nieliczne odbiorniki zasilane są napięciem przemiennym. Może należy odwrócić sytuację (zmienić dotychczasowe wyobrażenie o funkcjonowaniu elektroenergetycznych sieci dystrybucyjnych niskiego napięcia) i rozważyć rozwój sieci prądu stałego? Do tych nielicznych odbiorników, które wymagają zasilania bezpośrednio napięciem przemiennym (trójfazowy silnik indukcyjny) należy stosować przekształtniki energoelektroniczne (falowniki). Ten aspekt również wpływa na nową rolę stacji elektroenergetycznych w sieciach dystrybucyjnych.

Kolejna nowa funkcjonalność stacji elektroenergetycznych związana jest z magazynowaniem energii. Rozwój technologii magazynowania energii przyczyni się do budowy magazynów w mikroinstalacjach prosumenckich, ale również w stacjach transformatorowych, szczególnie w kontekście funkcjonowania klastrów energii oraz spółdzielni energetycznych. Ustawa [13] wprowadza pojęcie klastra energii jako cywilnoprawne porozumienie, w skład którego mogą wchodzić osoby fizyczne, osoby prawne, jednostki naukowe, instytuty badawcze lub jednostki samorządu terytorialnego, dotyczące wytwarzania i równoważenia zapotrzebowania, dystrybucji lub obrotu energią z odnawialnych źródeł energii lub z innych źródeł lub paliw, w ramach sieci dystrybucyjnej o napięciu znamionowym niższym niż 110 kV, na obszarze działania tego klastra nieprzekraczającym granic jednego powiatu lub 5 gmin. Obszarowe i strukturalne funkcjonalności klastrów, ale również konieczność zarządzania pracą sieci przez operatorów systemów dystrybucyjnych powoduje zwiększone zainteresowanie możliwościami sterowania pracą elektroenergetycznych sieci dystrybucyjnych, również na poziomie niskiego napięcia. Nowelizacja ustawy [13] wprowadziła m.in. pojęcie spółdzielni energetycznej, spółdzielni w rozumieniu ustawy Prawo spółdzielcze (Dz.U. z 2017 r. poz. 1560 i 1596), której przedmiotem działalności jest wytwarzanie energii elektrycznej lub biogazu, lub ciepła w instalacjach odnawialnego źródła energii i równoważenie zapotrzebowania energii elektrycznej lub biogazu, lub ciepła, wyłącznie na potrzeby własne spółdzielni energetycznej i jej członków, przyłączonych do zdefiniowanej obszarowo sieci dystrybucyjnej elektroenergetycznej o napięciu znamionowym niższym niż 110 kV lub sieci dystrybucyjnej gazowej, lub sieci ciepłowniczej. Spółdzielnia energetyczna działa na

obszarze jednego operatora systemu dystrybucyjnego elektroenergetycznego lub sieci dystrybucyjnej gazowej lub ciepłowniczej, zapatrujących w energię elektryczną, biogaz lub ciepło wytwórców i odbiorców będących członkami tej spółdzielni, których instalacje są przyłączone do sieci danego operatora lub do danej sieci ciepłowniczej. Obszar działania spółdzielni energetycznej ustala się na podstawie miejsc przyłączenia wytwórców i odbiorców będących członkami tej spółdzielni do sieci dystrybucyjnej elektroenergetycznej lub sieci dystrybucyjnej gazowej, lub sieci ciepłowniczej.

Obecnie są już doświadczenia z funkcjonowania klastrów energii w Polsce. Na szczególną uwagę zasługują doświadczenia klastra „Ostrowski Rynek Energii” [6], który ma własną sieć dystrybucyjną. Posiadanie własnej sieci dystrybucyjnej przez podmiot inny niż Operator Sieci Dystrybucyjnej w dotychczasowym rozumieniu, stawia nowe wymagania również w stosunku do funkcjonalności stacji elektroenergetycznych.

Kolejnym ważnym wątkiem związanym z nową funkcjonalnością stacji elektroenergetycznych jest wykorzystanie pozyskiwanej energii elektrycznej ze źródeł energii odnawialnej do wytwarzania wodoru na cele energetyczne. W Instytucie Inżynierii Elektrycznej na Uniwersytecie Technologiczno-Przyrodniczym w Bydgoszczy powstała praca dyplomowa inżynierska [8], w której dokonano analizy aktualnego stanu i przyszłych możliwości wykorzystania wodoru do generowania energii elektrycznej. Oprócz technologii wytwarzania wodoru opartych na paliwach kopalnych (reforming parowy, częściowe natlenianie, reforming autotermiczny, gazyfikacja), obecnie rozwijane są inne technologie, wykorzystujące źródła energii odnawialnej, w tym elektrolizę.

### Spór między Thomasem Edisonem i Nikolą Teslą nadal aktualny

Pod koniec XIX w. miał miejsce głośny spór pomiędzy dwoma geniuszami elektryki dotyczący kierunku rozwoju elektrotechniki, a dokładniej czy ma on się opierać na prądzie stałym czy zmiennym. Dziś, w elektroenergetyce panuje przekonanie, a na pewno przyzwyczajenie, że sieci i urządzenia muszą być na prąd przemienny. Przyjrzyjmy się bliżej aktualnemu stanowi tego zagadnienia, w tym co jest najbliższe, mianowicie w instalacjach indywidualnych odbiorców końcowych (gospodarstwach domowych). Na rys. 2 przedstawiono fragment przykładowej sieci elektroenergetycznej niskiego napięcia zasilający instalację gospodarstwa domowego z uwzględnieniem prosumenta.

Głębsza analiza współczesnych odbiorników energii elektrycznej, choćby na podstawie uproszczonego rys. 2 prowadzi do wniosku, że w zasadzie większość odbiorników działa przy bezpośrednim zasilaniu napięciem stałym. Urządzenia wytwarzania energii elektrycznej (tworzące energetykę prosumencką) też w zasadzie działają bezpośrednio na napięciu stałym. Magazyny energii również pracują na napięciu stałym. Praktycznie wszystkie urządzenia, które wymagają sterowania ich pracą (w tym napędy elektryczne z silnikami indukcyjnymi) zasilane są przez przekształtniki energoelektroniczne, w których jednym z elementów jest prostownik (napięcie stałe). Ogólnie dostępna sieć jest siecią prądu przemiennego, zatem niezbędne jest stosowanie układów prostowników, a tylko nieliczne odbiorniki zasilane są bezpośrednio napięciem przemiennym. Celowe jest rozważenie wprowadzenia linii prądu stałego, które wyprowadzane będą z pól liniowych stacji elektroenergetycznych. Taki przykład pokazano na rys. 3. W polu liniowym stacji zainstalowany jest przekształtnik energoelektroniczny o możliwości dwukierunkowego przepływu energii elektrycznej. Przy takim podejściu, do odbiorników, które wymagają zasilania bezpośrednio napięciem przemiennym (np. trójfazowy silnik indukcyjny) należy stosować przekształtniki energoelektroniczne (falowniki).

## Rozwój elektromobilności, magazyny energii i energoelektroniczne transformatory SN/nn

Jeszcze do niedawna operatorzy sieci dystrybucyjnych skupiali się na optymalnym doborze mocy transformatorów w stacjach elektroenergetycznych do profili mocy wynikających z zapotrzebowania odbiorców z uwzględnieniem prosumentów. Wiele transformatorów SN/nn zostało wymienionych na mniejsze moce znamionowe (mniejsze straty energii spowodowane pracą niedociążonego transformatora). Instalowanie układów szybkiego ładowania akumulatorów pojazdów elektrycznych o mocach jednostkowych 50-100-150 kW wymusza konieczność pracy transformatorów w stacjach, w stosunkowo krótkich okresach (pół godziny, godzina), ze stosunkowo dużą mocą, rzędu nawet kilkuset kilowatów. Ten aspekt powoduje, że jest to kolejna nowa rola stacji elektroenergetycznych w sieciach dystrybucyjnych.

Na rys. 4 pokazano schemat ideowy rozwiązania mieszanego transformatorowej stacji elektroenergetycznej z energoelektronicznym transformatorem, linią prądu stałego i magazynem energii. Takie rozwiązanie pozwala na optymalny dobór mocy klasycznego transformatora (Tr 1), przetwarzającego energię elektryczną na częstotliwości 50 Hz, do profili zapotrzebowania przez odbiorców i prosumentów. Z sekcji zasilanej klasycznym transformatorem wyprowadzone są linie prądu przemiennego (A) oraz prądu stałego (B), wg koncepcji wcześniej opisanej.

Nowym elementem jest energoelektroniczny transformator, w razie potrzeby sprzęgnięty obwodem prądu stałego z magazynem energii. Takie transformatory są opisywane w literaturze, np. [1, 2]. W artykule [1] przedstawiono koncepcję budowy i działania energoelektronicznego transformatora SN/nn. Zaproponowano rozwiązanie trójstopniowego energoelektronicznego transformatora dystrybucyjnego o budowie modułowej, jak przedstawiono na rys. 5.

Dwa stopnie aktywne: AC-DC po stronie SN oraz DC-AC po stronie nn zapewniają możliwość kompensacji mocy biernej i kształtowania parametrów napięcia. Stopień pośredni transformatora energoelektronicznego, dzięki zastosowaniu izolowanych przetwornic DC-DC z szybkimi przyrządami półprzewodnikowymi, zapewnia możliwość szybkiej regulacji przepływu energii pomiędzy stroną pierwotną i wtórną. Widoczne na schemacie transformatory (rys. 5) pracują na częstotliwości rzędu kilkudziesięciu kiloherców. Od strony średniego napięcia przetwornice AC-DC połączone są szeregowo, natomiast od strony niskiego napięcia równolegle. Przedstawiona koncepcja pozwala na transformowanie energii elektrycznej od strony średniego napięcia na stronę niskiego napięcia.

Tego typu rozwiązanie można zastosować do zasilania linii elektroenergetycznych prądu przemiennego, do których podłączone są układy do ładowania samochodów elektrycznych. Dodatkową korzyścią,

nawet w zakresie regulacji napięcia, jest możliwość wyprowadzenia z obwodu pośredniczącego prądu stałego szyn do przyłączenia magazynu energii (rys. 4).

Magazyny energii w skojarzeniu ze strukturą stacji elektroenergetycznych były opisywane m.in. przez autora niniejszego artykułu, np. w [5]. Wnioski z analiz są takie, że m.in. popularne ogniwa litowo-jonowe tracą swe własności podczas procesu eksploatacji, co powoduje, że konieczna jest ciągła dostawa litu do wytwarzania akumulatorów z tego typu ogniwami. W prezentowanych zestawieniach zauważyć można, że właśnie pod względem eksploatacyjnym najlepsze parametry mają ogniwa wanadowe. Za najważniejszą i najkorzystniejszą cechę baterii wanadowych uznaje się ich praktycznie nieograniczoną pojemność, zależną tylko od objętości elektrolitów. Cechą, która odstraszała od zastosowań baterii wanadowych była stosunkowo wysoka cena wanadu, a zatem całej baterii.

Ostatnio, głównie w Chinach, intensywnie rozwija się technologia akumulatorów wanadowych (VRFB – Vanadium Redox Flow Battery). W tej technologii wykorzystuje się pentoksyd wanadu (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Jak podano w [4], cena pentoksydu wanadu w Chinach spadła w przeciągu roku o 80% (rys. 6), ale w tym samym artykule analitycy wskazują na to, że cena wanadu zbliża się do granicy kosztu produkcji oraz że Spółka Energy Fuels sprzedaje tylko niewielkie ilości wanadu, koncentrując się głównie na budowaniu zapasów V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na sprzedaż w przyszłości, aby wykorzystać ewentualne przyszłe wzrosty cen wanadu na światowych rynkach.

W prowincji Hubei (Chiny) już działa, zbudowany przez firmę VRB (Kanada), magazyn o mocy 3 MW i pojemności 12 MWh, a jego parametry na skutek dalszej rozbudowy zmieniają się do odpowiednio 10 MW i 40 MWh. W Dalian (Chiny) ma być zbudowany (2020 r.) największy magazyn energii oparty na bateriach wanadowych. Moc magazynu będzie wynosiła 200 MW, a pojemność 800 MWh. Jeżeli budowane są magazyny na tak duże moce, to w bliskiej perspektywie należy się liczyć z tym, że również w Polsce będzie można zainstalować w strukturach stacji elektroenergetycznej (lub w bezpośrednim sąsiedztwie) magazyny energii o mocy nawet kilkudziesięciu megawatów i pojemności kilkudziesięciu megawatogodzin.

## Wytwarzanie wodoru na cele energetyczne ze wspomaganie źródeł energii odnawialnej

Elektromobilność oparta na ładowaniu akumulatorów z sieci elektroenergetycznej ma możliwości rozwoju w ruchu miejskim, na stosunkowo krótkie odcinki drogi. Transport samochodowy, szczególnie pozamiejski i ciężarowy, przy braku paliw kopalnych, prawdopodobnie będzie opierał się na zastosowaniu wodoru. Obecnie problemem jest wysokosprawne wytwarzanie wodoru ze

Podstawowe dane wybranych rodzajów elektrolizy [12]

Parametr	Elektroliza alkaiczna			Elektroliza PEM			Elektroliza SOEC		
	Dziś	2030	2050	Dziś	2030	2050	Dziś	2030	2050
Sprawność [%]	63-70	65-71	70-80	56-60	63-68	64-74	74-81	77-84	77-90
Ciężenie [bar]	1-30			30-80			1		
Trwałość [tys. h]	60-90	90-100	100-150	30-90	60-90	100-150	10-30	40-60	75-100
Temperatura pracy [°C]	60-80			50-80			650-1000		
Zakres pracy [% obc. nominalnego]	10-110			0-160			20-100		
Powierzchnia jednostkowa [m <sup>2</sup> /kW]	0,095			0,048			-		



wsparciem źródeł energii odnawialnych. Może to być kolejna funkcja, którą może obsługiwać odpowiednio wyposażona i odpowiednio sterowana nowoczesna stacja elektroenergetyczna.

Proces elektrolizy polega na rozbijaniu cząsteczki wody na atomy tlenu oraz wodoru na skutek przepływu prądu stałego w roztworze wody pomiędzy katodą a anodą. Wytwarzanie wodoru przy użyciu elektrolizy stanowi obecnie ok. 0,1% rynku globalnego [8] i tak wytworzony produkt najczęściej stosowany jest w gałęziach przemysłu, gdzie wymagany jest wodór cechujący się znaczną czystością (przemysł elektroniczny, produkcja silikonu). Niezbyt duże zainteresowanie tą technologią jest spowodowane stosunkowo niską sprawnością energetyczną elektrolizy. Podjęte próby wytwarzania wodoru ze wsparciem źródeł energii odnawialnej skutkują powstaniem różnych instalacji demonstracyjnych, w których osiągnięto sprawność między 60% a 81%.

W procesie elektrolizy, oprócz energii elektrycznej potrzebna jest również woda (ok. 9 litrów wody jest potrzebne do wytworzenia 1 kg wodoru). Produktem ubocznym jest tlen (8 kg tlenu z 9 litrów wody), który może być spożytkowany na m.in. cele medyczne lub przemysłowe. Elektrolizę można podzielić na trzy główne technologie: elektroliza alkaliczna, elektroliza wykorzystująca membranę protonową PEM (proton exchange membrane) oraz elektroliza ze stałym tlenkiem SOEC (solid oxide electrolyser cell). W tab. przedstawiono wybrane cechy wymienionych rodzajów elektrolizy [3, 12].

## NOWA ROLA INTERESARIUSZY SYSTEMU

Jak już wcześniej napisano, jest duże prawdopodobieństwo, że nowy system elektroenergetyczny Polski będzie zdecentralizowany. Świadome społeczeństwo zajmie się samo swoimi sprawami energetycznymi, a dzisiejsi operatorzy systemów stracą monopolistyczną pozycję, przejmując rolę służebną w stosunku do wymagających lokalnych grup interesariuszy. W ich kompetencjach będzie na pewno zapewnienie zasilania większym zakładom przemysłowym. Dziś operatorzy systemów elektroenergetycznych są monopolistami, często uzasadniając swoje decyzje bezpieczeństwem energetycznym, gdy w rzeczywistości mają na myśli swoje bezpieczeństwo w zakresie monopolu energetycznego w grupie interesariuszy tego sektora. Ich zadaniem jest zapewnienie równoprawnego dostępu do sieci elektroenergetycznej oraz ciągłości dostaw energii elektrycznej o wysokich parametrach jakościowych. W celu zapewnienia dostępu do usług dystrybucyjnych i tworzenia nowych warunków rozwoju rynku, operator musi wykonywać wiele obowiązków. Najważniejszym obowiązkiem jest zapewnienie odbiorcom ciągłego dostępu do wysokiej jakości energii elektrycznej. Oznacza to, że operator musi być przygotowany do wypełniania podobnych obowiązków w warunkach, gdy powstanie wielu prosumentów (w tym konsorcja, klastry i spółki energetyczne), gdy rozbudowane zostaną magazyny energii lub zmienią się zasady rynku energii i mocy, które obejmą również odbiorców/prosumentów końcowych, a transakcje będą się opierały na decyzjach sztucznej inteligencji.

Znacząco zmniejszy się rola operatora jako „monopolisty” w decydowaniu o przyłączeniu różnego rodzaju odbiorców/prosumentów/wytwórców energii elektrycznej, a znacząco zwiększą się wymagania w stosunku do operatora w zakresie właściwego zarządzania sieciami dystrybucyjnymi w nowej strukturze systemu elektroenergetycznego. Niektórym z poważnych interesariuszy w branży energetycznej wydaje się to mało prawdopodobne. Ale przypomnijmy sobie „pozycję” operatora (chodzi o funkcję, a nie o nazwę) pod koniec XX w. Czy wówczas ktoś pomyślał o tym, że operator nie będzie miał nic do powiedzenia, jeśli chodzi o przyłączanie mikroinstalacji wytwórczych energii elektrycznej do sieci dystrybucyjnej, ale będzie musiał stworzyć warunki do właściwej współpracy tego typu instalacji w sieci?

## WNIOSKI

- Polska nie ma obecnie racjonalnej i opartej na rzetelnych przesłankach naukowych koncepcji nowego systemu elektroenergetycznego w warunkach braku paliw kopalnych. Nie jest zatem możliwe wypracowanie odpowiedzialnej polityki energetycznej kraju, a zwłaszcza przyjęcie właściwej i uzasadnionej merytorycznie strategii transformacji polskiej energetyki.
- Sprawą pilną jest opracowanie koncepcji nowego polskiego systemu elektroenergetycznego w warunkach braku paliw kopalnych oraz opracowanie i wdrożenie bezpiecznego „wygaszania” sektora polskiego górnictwa węglowego.
- Do opracowania koncepcji nowego systemu konieczna jest zmiana wyobrażenia o strukturze i funkcjonowaniu nowoczesnych elektroenergetycznych systemów bez paliw kopalnych. Podstawową kwestią jest zwiększenie efektywności energetycznej we wszystkich sektorach energetyki (wytwarzanie, przesył, dystrybucja, magazynowanie i użytkowanie energii elektrycznej). Należy rozważyć m.in. przejście na sieci prądu stałego (nn) lub współpracujące ze sobą (przez przekształtniki energoelektroniczne) sieci prądu stałego i sieci prądu przemiennego. Analizie należy poddać lokalne (obszarowe) możliwości pozyskiwania energii ze źródeł energii odnawialnej, co będzie determinowało tworzenie się lokalnych podsystemów energetycznych oraz nowe role interesariuszy w sektorze energetycznym Polski.
- Ten artykuł należy traktować jako przyczynek w dyskusji uzasadniającej niezwłoczne podjęcie określonych działań w celu wypracowania racjonalnej i merytorycznie uzasadnionej strategii transformacji polskiej energetyki. Strategia ta pozwoli na ściśle określenie funkcjonalności stacji elektroenergetycznych współpracujących z sieciami dystrybucyjnymi w nowym polskim systemie elektroenergetycznym, wtedy gdy nie będzie już paliw kopalnych. W artykule pokazano wybrane aspekty przyszłej funkcjonalności stacji, które rysują się na podstawie dzisiejszej wiedzy i stanu techniki.

## LITERATURA

- [1] Adamowicz M. 2012. Smart MV/LV distribution transformer for Smart Grid with active prosumer participation. *Acta Energetica*, 3:4-9.
- [2] Ahmed K.Y., N.Z. Bin Yahaya, V.S. Asirvadam, N. Saad, R. Kannan, A.O. Ibrahim. 2018. Development of Power Electronic Distribution Transformer Based on Adaptive PI Controller. *IEEE Access* 6, ACCESS.2018.2861420, p. 44970.
- [3] Birol F. 2019. The Future of Hydrogen. Raport prepared by the IEA for the G20, Japan.
- [4] Bohlsen M., Vanadium Miners News For The Month Of November 2019. <https://seekingalpha.com/article/4309891, 2 lutego 2020 r.>
- [5] Cieślak S. 2019. Magazyny energii elektrycznej w klastrowych sieciach elektroenergetycznych niskiego napięcia. *Wiadomości Elektrotechniczne*, 5: 63-68.
- [6] Dembny A. 2019. Ostrowski Rynek Energii – klastr energii z własną siecią dystrybucyjną. Materiały XXV Konferencji Naukowo-Technicznej „Rynek Energii Elektrycznej”. Kazimierz Dolny.
- [7] Garbicz M., H. Sokół. 2019. Po co Niemcom Nord Stream 2? *Rynek Energii*, 3 (142): 3-8.
- [8] Kaczmarek S. 2020. Analiza aktualnego stanu i przyszłych możliwości wykorzystania wodoru do generowania energii elektrycznej. Praca dyplomowa inżynierska, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy.
- [9] Pepliński B. 2018. Skutki budowy kopalni odkrywkowej węgla brunatnego na złożu Złoczew. Ekspertyza. Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu.
- [10] Polityka energetyczna Polski do 2040 roku (Projekt, 23 listopada 2018 r.). Ministerstwo Energii. 2018.
- [11] Polityka energetyczna Polski do 2050 roku. Ministerstwo Gospodarki. 2015.
- [12] Tristán A., F. Contino, D. Coppitters. 2018. Renewable Smart Hydrogen for a Sustainable Future. Interreg North-West Europe GenComm.
- [13] Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r., o odnawialnych źródłach energii. Dz.U. 2015, poz. 478, z późniejszymi zmianami.