



■ Prof. dr hab. inż. Waldemar Skomudek,  
Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej,  
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

# Znaczenie rozwoju sieci elektroenergetycznych w procesie transformacji energetycznej

Treść artykułu nawiązuje do energetyki, która napędza gospodarkę światową we wszystkich jej dziedzinach. Niemniej jednak na przestrzeni lat podlega przekształceniom wynikającym chociażby z rozwoju techniki i innowacyjnych technologii. Obecnie znajdujemy się w okresie takich właśnie zmian, które traktujemy jako zaawansowany i dynamicznie przebiegający proces transformacji energetycznej. Z założenia proces ten zmierza do osiągnięcia bardziej konkurencyjnego, bezpiecznego i zrównoważonego systemu elektroenergetycznego oraz osiągnięcia długoterminowego celu ograniczenia emisji gazów cieplarnianych.

Od momentu pierwszych doświadczeń z elektrycznością prowadzonych w XVIII w. stawała się ona coraz ważniejszym czynnikiem we wszystkich obszarach naszego życia. To właśnie za sprawą energii elektrycznej dokonana się w okresie końca XVIII i początku XIX w. rewolucja przemysłowa, czyli przemysłowe przejście od produkcji manufakturowej do produkcji przemysłowej, zastąpienie ręcznej produkcji produktu produkcją maszynową, wprowadzenie automatyzacji procesów produkcyjnych, w wielu przypadkach sprowadzając rolę pracownika do funkcji nadzorca realizacji procesu. Dokonujące się na przestrzeni lat przekształcanie się społeczeństwa

tradycyjnego w społeczeństwo przemysłowe następowało na gruncie stale wzrastającego zapotrzebowania na energię elektryczną, co z kolei wyzwało potrzebę wytworzenia coraz większej jej ilości. Trwające od dziesiątków lat uzależnianie społeczeństw od energii elektrycznej w żadnym wypadku nie omija lat bieżących XXI w. Jednak, istnieje zasadnicza różnica w przesłankach zaspokojenia potrzeb energetycznych społeczności sprzed prawie 200 lat wobec czasów nam najbliższych. O ile początkowy okres upowszechniania elektryczności był inspirowany w szczególności niebywałą poprawą standardów życia ludności i rozwoju przemysłu, przy ów-

częśnie pełnym zaspokojeniu potrzeb paliwowych, to obecnie wytwarzanie coraz większej ilości energii stanowi nie lada wyzwanie. Dzieje się tak głównie za przyczyną wyczerpywania się zasobów paliwa kopalnego, konieczności podejmowania działań na rzecz osiągnięcia neutralności klimatycznej oraz konieczności zadbania o bezpieczeństwo infrastruktury krytycznej.

Obecnie, istnieje powszechne przekonanie, że era rozwoju opartego na wykorzystaniu paliw kopalnych kończy się. Nowym trendem jest rozwój energetyki rozproszonej i niskoemisyjnej, opartej przede wszystkim na odnawialnych źródłach energii. Zmianie ulega także kon-

cepcja zaopatrywania społeczeństwa w energię elektryczną. Zamiast budować elementy energetyki wielkoskalowej opartej na dużych blokach energetycznych (bez względu na przyjętą technologię generacji), budować długie magistralne linie przesyłowe oraz prowadzić nadmierną rozbudowę sieci dystrybucyjnych promuje się energetykę rozproszoną w formie małych jednostek generacji, tworzenia obszarów lokalnej produkcji i konsumpcji energii (autokonsumpcja energii elektrycznej), lokalizowanych w pobliżu odbiorcy końcowego i opartych na odnawialnych źródłach energii (ogniwa fotowoltaiczne, mikrowiatraki, mikrobiogazownie, kolektory słoneczne, spalarnie odpadów komunalnych, elektrownie wodne na niewielkich ciekach wodnych i in.).

Doświadczenia ostatnich kilku lat potwierdzają przekonanie, że źródła rozproszone stanowią istotną formułę uzupełnienia dostaw energii na terenach zurbanizowanych. Znaczenie tych źródeł szybko wzrasta głównie za przyczyną możliwości uzyskania lokalnie poprawy ciągłości dostaw energii, co ma bezpośredni związek z poprawą lokalnego bezpieczeństwa energetycznego. Ponadto, coraz częściej deklarowana chęć uzyskania obszarowej samowystarczalności energetycznej to kierunek, w którym chce podążać coraz więcej krajowych Jednostek Samorządu Terytorialnego.

Zatem, czy nowe trendy rozwoju systemu elektroenergetycznego gwałtownie nasycanego wysoce rozproszoną generacją nisko lub zeroemisyjną, przyłączaną w szczególności w warstwie sieci dystrybucyjnych niskiego i średniego napięcia, a także w dobie fenomenalnej skali zbierania i analizowania danych, które pozwalają na odkrywanie wzorców zachowania na poziomie skomplikowanych procesów technologicznych, indywidualnych użytkowników i ich populacji w dowolnej skali liczebności wskazują na potrzebę jakiegokolwiek jeszcze zaangażowania w rozwój sieci elektroenergetycznych?

Uważam, że w krótkiej indywidualnej ocenie zmian gospodarczych zachodzą-

cych w kraju, na przestrzeni co najmniej minionej dekady, warto krytycznie podejść do sformułowania odpowiedzi na tak sformułowane pytanie.

### Transformacja energetyczna jest procesem ciągłym

Odejście od paliw kopalnych w wytwarzaniu energii elektrycznej na rzecz masowej budowy odnawialnych źródeł

energii, stanowi jeden z najistotniejszych elementów procesu transformacji krajowej energetyki. Nie oznacza to jednak wyłącznie elektryfikacji użytkowników końcowych. Celem tego procesu jest przede wszystkim oparcie nowoczesnej elektroenergetyki na odnawialnych technologiach generacji aniżeli na paliwach kopalnych. Dzięki temu możliwe będzie osiągnięcie wzrostu efektywności wykorzystania energii pierwotnej już na etapie jej wytwarzania. Mimo, iż odchodzenie



Fot. Maayan Nemanov on unsplash

w kraju od paliwa węglowego w energetyce trwa już od wielu lat, to jednak nie należy doszukiwać się w tym procesie sensacji, gdyż od zawsze paliwo węglowe stanowiło gwarancję naszego bezpieczeństwa energetycznego. I obecnie, mimo dynamicznie rozwijającej się energetyki odnawialnej i niskoemisyjnej, rola węgla kamiennego i brunatnego w krajowym miksie energetycznym nie uległa fundamentalnej zmianie. Zmiana w takim wymiarze będzie możliwa dopiero wówczas, gdy generacja węglowa - głównie w pasmach podstawowego pokrycia zapotrzebowania na energię elektryczną, co w przypadku naszych potrzeb wiąże się z mocą dyspozycyjną na poziomie ok. kilkunastu GW - zostanie zastąpiona niskoemisyjnymi źródłami wytwarzającymi energię elektryczną w innych niż węglowa technologiach, np. generacja jądrowa.

Obecnie, panuje już powszechne przekonanie, że kończy się era rozwoju opartego na wykorzystaniu paliw kopalnych. Natomiast przewagę zyskała energetyka odnawialna działająca w rozproszeniu. Z dostępnych prognoz wynika, że źródła rozproszone stanowiąc będą ważną formułę uzupełnienia dostaw energii na terenach zurbanizowanych. Znaczenie tych źródeł szybko wzrasta, głównie za przyczyną możliwości uzyskania lokalnie poprawy ciągłości dostaw energii. A to ma bezpośredni związek z poprawą lokalnego bezpieczeństwa energetycznego. Przyjęty kierunek transformacji energetycznej stał się także główną przesłanką tworzenia w krajowej rzeczywistości gospodarki obiegu zamkniętego, której jednym z podstawowych celów jest uniezależnienie rozwoju gospodarki od wykorzystania zasobów nieodnawialnych, zarówno w zakresie produkcji dóbr, jak i wytwarzania energii.

Praktyka ostatnich lat wykazuje również, że masowe korzystanie z odnawialnych źródeł energii nie jest możliwe bez udziału sieci elektroenergetycznych. W procesie transformacji energetycznej są one bowiem kluczem do elektryfikacji zapotrzebowania na energię, wzrostu przepustowości sieci, integracji odnawialnych źródeł energii w syste-

mie elektroenergetycznym, a także podstawowym narzędziem do zarządzania popytem na energię. Sieci elektroenergetyczne uczestniczą w tworzeniu autonomii energetycznych, mobilizują inwestycje o wysokiej wartości dodanej i dające duży efekt pośredni. Odnosi się to w szczególności do rozwoju specjalnych stref aktywności przemysłowej, tworzenia nowych usług dla konsumentów końcowych oraz wzmocnienia jego aktywnej roli w systemie elektroenergetycznym, na przykład poprzez tworzenie OSDn-u (Operator Systemu Dystrybucyjnego Elektroenergetycznego, którego

skonale wpisuje się rozwój energetyki rozproszonej, rozumianej jako źródła wytwórcze energii pracujące w różnych technologiach, głównie dla potrzeb lokalnych i oddające jedynie nadwyżki wytworzonej energii do krajowego systemu elektroenergetycznego. Docelowo, głównym jej elementem będą samorganizujące się i spójne terytorialnie mini oraz mikro sieci, wyposażone w źródła rozproszone o dużej autonomii i o zdolnościach samoregulacyjnych. Taka lokalna energetyczna przemiana będzie wymagała stopniowej decentralizacji własnościowej i operacyjnej sieci dystry-



**Aby osiągnąć cele związane z transformacją energetyczną, należy podjąć wysiłek w zakresie dokapitalizowania sieci dystrybucyjnych, zarówno w warstwie tworzenia nowych jej elementów, jak i utrzymania i modernizacji istniejących aktywów**

sięć dystrybucyjna nie posiada bezpośredniego połączenia z siecią przesyłową (OSP). W ten sposób postrzegając toczącą się w kraju transformację energetyczną nie można na jej obecnym etapie wykluczyć z obiegu zachodzących zmian żadnego z elementów/urządzeń Krajowego Systemu Elektroenergetycznego. Natomiast należy bacznie obserwować i w porę korygować wszelkie procesy objęte transformacją, w szczególności te, które są wprost odpowiedzialne za bezpieczeństwo energetyczne kraju (np. uczestniczące w bilansowaniu potrzeb energetycznych gospodarki i społeczeństwa w chwilach znikomego wsparcia ze strony generacji OZE).

### **Sieci dystrybucyjne w procesie transformacji energetycznej**

Bez wątplenia trwająca przemiana energetyki krajowej i europejskiej, potwierdzona *Porozumieniem paryskim* w 2015 r., zmierza do pełnej dekarbonizacji i przejścia z paliw emitujących zanieczyszczenia na energię elektryczną neutralną pod względem emisji dwutlenku węgla. W realizację tego celu do-

bucyjnych na poziomie niskich i średnich napięć na rzecz podmiotów samorządowych i regionalnych, które w znaczącym stopniu będą beneficjentami rozwoju i finansowania energetyki w tym obszarze. Jednak, autonomia energetyczna wydzielonych obszarów stanie się rzeczywistością dopiero w chwili wdrożenia i rozpropagowania aktywnych sieci elektroenergetycznych, zintegrowanych z technologiami magazynowania energii w różnych technologiach. Nieodzownym elementem służącym tworzeniu autonomii energetycznej będą także inteligentne systemy zarządzania energią. Ich rolą będzie przede wszystkim efektywne bilansowanie potrzeb energetycznych obszarów autonomicznych, a tym samym łagodzenie lokalnych skutków zakłócenia dostawy energii.

Aby osiągnąć cele związane z transformacją energetyczną, należy podjąć wysiłek w zakresie dokapitalizowania sieci dystrybucyjnych, zarówno w warstwie tworzenia nowych jej elementów, jak i utrzymania i modernizacji istniejących aktywów. W procesie przemian energetycznych znaczenie sieci dystrybucyjnych nadal będzie wzrastało (według aktualnych prognoz spodziewany

roczny wzrost całkowitego zapotrzebowania na energię elektryczną w Polsce do 2030 r. przekroczy 1,3%), gdyż są one jego krytycznym elementem w działaniach prowadzących do wzrostu przepustowości sieci, zwiększenia zdolności przyłączeniowych do sieci rozproszonych odnawialnych źródeł i magazynów energii oraz instalacji hybrydowych, poprawy efektywności energetycznej, uaktywnienia usługi elastyczności (funkcja ta mogłaby ograniczyć niektóre potrzeby inwestycyjne w sieciach elektroenergetycznych, zmniejszyć poziom strat technicznych, poprawić pewność zasilania klientów) i zarządzania popytem oraz elementem umożliwiającym aktywny udział klientów w transformacji energetycznej. Są zatem, podstawą trwającej elektryfikacji.

Dokumentem, który szczegółowo precyzuje potrzeby Operatorów Sieci Dystrybucyjnych w zakresie inwestycji rzeczowych jest *Karta Efektywnej Transformacji Sieci Dystrybucyjnych Polskiej Energetyki*. Istotą tego dokumentu są w szczególności diagnoza kluczowych potrzeb związanych z pracą sieci elektroenergetycznych, określenie sposobu oraz źródeł ich finansowania oraz procesy regulacyjny OSD i legislacyjny w zakresie prowadzenia inwestycji sieciowych i pozyskiwania środków pomocowych. Szczegółowe analizy i ocena uzyskanych rezultatów wykazały, że transformacja energetyczna będzie wymagała poniesienia istotnych nakładów na rozwój sieci elektroenergetycznych. W scenariuszu - Inwestycje konieczne realizowane do 2030 r. - kalkulacja nakładów dla wszystkich inwestycji wynosi 130 mld zł. Ta niebotycznie wysoka kwota stanowi realny koszt transforma-

cji energetycznej, który po stronie podmiotów zarządzających sieciami elektroenergetycznymi, notuje obecnie deficyt na poziomie 32-35 mld zł.

Przywołane fakty są kolejnym potwierdzeniem wymogu prowadzenia ciągłych inwestycji w infrastrukturę sieciową. Zjawisko to potęguje dynamika zmian zachodzących na szeroko rozumianym rynku energii elektrycznej - generacja, przesył i dystrybucja energii elektrycznej, handel energią elektryczną, bezpieczeństwo. Inwestycje nowe oraz odtworzeniowe majątku sieciowego są również istotnym elementem budowy przewagi konkurencyjnej na rynku energii elektrycznej w zakresie zapewnienia bezpieczeństwa, niezawodności i ciągłości dostaw energii.

## Podsumowanie

Transformacja sektorowa spowodowała konieczność redefiniowania potrzeb rozwojowych przesyłowej i dystrybucyjnych sieci elektroenergetycznych. Kluczowe wyzwania związane z siecią elektroenergetyczną to realizacja inwestycji sieciowych, bezpieczeństwo dostaw, cyfryzacja i automatyzacja sieci oraz integracja zasobów rozproszonych, w szczególności zmiennej generacji OZE. Istotną przesłanką wytyczającą kierunek rozwoju tych sieci nadal będzie technika i innowacyjna technologia oparta na inteligentnych systemach wsparcia.

Wzrost zapotrzebowania w kraju na energię elektryczną wobec rosnących ograniczeń generacji konwencjonalnej z powodów klimatycznych i poprawy efektywności energetycznej zmusza do poszukiwania rozwiązań, które umożliwią dobowe wyrównywanie obciążeń i uży-

skanie oszczędności w zużyciu energii. Takie działanie stwarza właściwy klimat dla rozwoju systemów, których domeną są rozwiązania rynkowego zarządzania popytem.

W perspektywie najbliższych lat nadal należy spodziewać się progresu w generacji opartej na źródłach odnawialnych, zarówno po stronie prosumenckiej, jak i farm fotowoltaicznych, czy też wiatrowych. Wzrastać będzie także udział generacji OZE w krajowym miksie energetycznym, co będzie wyzwaniem po stronie bieżącego bilansowania systemu elektroenergetycznego.

Należy spodziewać się także gwałtownego wzrostu zapotrzebowania na magazyny energii (elektrownie szczytowo-pompowe, magazynowanie energii w postaci skroplonych lub sprężonych gazów, magazynowanie energii z pośrednią konwersją do energii chemicznej wodoru, mikro magazyny chemiczne i in.), co wynika z przyrostu w krajowym systemie elektroenergetycznym energii pochodzącej z generacji OZE.

Należy spodziewać się przyrostu zorganizowanych lokalnych (miejskich, gminnych, czy powiatowych) inicjatyw w postaci klastrów, wspólnot energetycznych oraz indywidualnych inwestorów (przybliżenie odnawialnych źródeł energii do odbiorców). Inicjatywy te są szansą budowy nowych obszarów aktywności dla działających lokalnie przedsiębiorców, a także do szybszego wzrostu gospodarczego na terenach ich działania. Tego rodzaju inicjatywy skłaniały jednak głównie Operatorów Sieci Dystrybucyjnych oraz jednostki sprzedażowe do zmiany podejścia w procesie zarządzania aktywami (sieć dystrybucyjna) i produktem (energia elektryczna). □

### Literatura:

1. W. Ehrenhalt: *Kierunki transformacji polskiej energetyki*. *Energetyka - Społeczeństwo - Polityka* 2/2018 (8). Stowarzyszenie Energii Odnawialnej, Warszawa 2018 r.
2. *Karta Efektywnej Transformacji Sieci Dystrybucyjnych Polskiej Elektroenergetyki*. Warszawa, 2022 r.
3. Z. Hanzelka, W. Skomudek: *Strategia rozwoju energetyki rozproszonej w Polsce do 2040 roku - obszar techniczno-technologiczny*. *Energetyka Rozproszona Zeszyt 8/2022*.
4. T. Młynarski: *Unia Europejska w procesie transformacji energetycznej*. *Krakowskie Studia Międzynarodowe*, XVI: 2019 nr 1, Uniwersytet Jagielloński w Krakowie, Kraków 2019 r.
5. E. Nowiński: *Transformacja energetyki a bezpieczeństwo energetyczne Polski*. *Nowa Energia* nr 3(79)/2021.
6. W. Skomudek: *Wpływ energetyki rozproszonej na proces kształtowania elektroenergetycznego systemu dystrybucyjnego*. *Energetyka Rozproszona Zeszyt 5-6/2021*.
7. G. Wojtkowska-Łodej i in.: *Transformacja rynków energii. Gospodarka - Klimat - Technologia*. Raport z realizacji projektu nr SONP/SP/469426/2020 (okres realizacji projektu - 01.10.2020 r. 31.09.2022 r., SGH Warszawa).