

MIKROINSTALACJE PROSUMENCKIE W POLSCE – KORZYŚCI I ZAGROŻENIA

Sławomir CIEŚLIK

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
Wydział Telekomunikacji Informatyki i Elektrotechniki
ul. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz
tel.: +48 52 340-85-60 e-mail: slawcies@utp.edu.pl

Streszczenie: W Polsce wprowadzono ustawowe ułatwienia rozwoju mikroinstalacji prosumenckich. Ułatwienia mają charakter formalno-prawny oraz finansowy (możliwość uzyskania dofinansowania realizacji inwestycji lub preferencyjna cena za energię elektryczną wprowadzaną do sieci). Aspekty techniczne eksploatacji elektroenergetycznych sieci dystrybucyjnych z generacją rozproszoną (mikroinstalacjami prosumenckimi) nie są praktycznie rozważane. W referacie dokonano oceny korzyści i zagrożeń wynikających z istnienia mikroinstalacji prosumenckich w kontekście technicznego funkcjonowania sieci z tego typu generacją. Analizowano problemy, które będą musieli rozwiązywać operatorzy sieci oraz wyjaśniono pojawiające się obawy odbiorców energii elektrycznej, którzy są przyłączeni do elektroenergetycznej sieci dystrybucyjnej z mikroinstalacjami prosumenckimi, dotyczące zwiększenia opłat za energię elektryczną.

Słowa kluczowe: generacja rozproszona, mikroinstalacje, praca sieci nn.

1. WPROWADZENIE

1.1. Generacja rozproszona w Polsce

Generacja rozproszona jest dynamicznie rozwijającą się gałęzią elektroenergetyki, głównie z powodu dążenia do optymalnego wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych. Prof. Piotr Kacejko w swojej książce [1] określił w sposób opisowy istotę generacji rozproszonej. Specyfika generacji rozproszonej nie leży w zastosowanej technologii ani w wielkości mocy źródła. Jej istota, czyli właśnie rozproszenie wynika ze sposobu usytuowania w systemie elektroenergetycznym. Ważną cechą wytwarzania rozproszonego jest jego niezależność od scentralizowanego planowania rozwoju systemu i niepodleganie centralnemu (ani obszarowemu) dysponowaniu mocą.

W Polsce operatorzy sieci dystrybucyjnych mają znaczące doświadczenie w prowadzeniu ruchu i eksploatacji elektroenergetycznych sieci dystrybucyjnych z generacją rozproszoną na poziomie napięcia średniego. Rozwój generacji rozproszonej w polskich elektroenergetycznych sieciach dystrybucyjnych trwa od początku lat 90-tych ubiegłego wieku, kiedy umożliwiono przyłączanie do sieci średniego napięcia jednostki wytwórcze o mocach znamionowych nawet powyżej 100 kW. Były to głównie turbozespoły wiatrowe. Przez ostatnie dwadzieścia pięć lat zmianie ulegało prawo, nastąpił dynamiczny postęp w technologiach stosowanych w produkcji turbozespołów

wiatrowych, a co najważniejsze zmieniła się mentalność elektroenergetyczna zarówno indywidualnych wytwórców energii elektrycznej, jak i operatorów systemów elektroenergetycznych. Energa-Operator SA, Oddział w Toruniu jest przykładem nowoczesnego koncernu, w którym przemyślany rozwój elektroenergetyki wiatrowej w elektroenergetycznych sieciach dystrybucyjnych średniego napięcia jest postrzegany jako jeden ze sposobów skutecznego zwiększenia udziału energii ze źródeł odnawialnych w krajowym bilansie elektroenergetycznym, przy optymalnym wykorzystaniu istniejącej infrastruktury elektroenergetycznej [2].

Największe zmiany w procedurach przyłączeniowych nastąpiły w roku 2010, po nowelizacji prawa energetycznego. Przyłączenie do sieci elektroenergetycznej średniego napięcia farmy wiatrowej odbywa się w następujących etapach: 1. złożenie wniosku wraz z wymaganymi załącznikami, 2. weryfikacja kompletności wniosku, 3. rozpatrzenie złożonego wniosku (wydanie lub odmowa wydania warunków przyłączenia), 4. podpisanie umowy o przyłączenie. Istotną zmianę w procedurze wnioskowania o warunki przyłączenia stanowiły dwie kwestie. Wnioskodawca oprócz innych dokumentów jest zobowiązany do dostarczenia wypisu i rysunku z miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego albo, w przypadku braku takiego planu, decyzję o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu dla nieruchomości określonej we wniosku, jeżeli jest ona wymagana na podstawie przepisów o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym. Drugim kluczowym elementem jest wpłata zaliczki na poczet opłaty za przyłączenie w wysokości 30 zł za każdy 1 kW mocy przyłączeniowej.

Realizacja przyłączeń elektrowni/farm wiatrowych do sieci dystrybucyjnych średniego napięcia pozwoliła na eksperymentalną weryfikację funkcjonowania takiego układu elektroenergetycznego [3, 4]. W artykule [4] przedstawiono przykład oceny wpływu jednostki wytwórczej małej mocy na elektroenergetyczną sieć dystrybucyjną średniego napięcia. Badania teoretyczne przed przyłączeniem jednostki wykonano z wykorzystaniem symulacji komputerowej, badania eksperymentalne z wykorzystaniem aparatury pomiarowej na uruchomionym obiekcie. Celem badań symulacyjnych była ocena możliwości przyłączenia danej jednostki wytwórczej do

sieci, natomiast badań eksperymentalnych ocena współpracy eksploatowanej farmy wiatrowej z siecią elektroenergetyczną.

Polska elektroenergetyka, w roku 2015 posiada znaczące własne doświadczenie w zakresie funkcjonowania sieci dystrybucyjnych z generacją rozproszoną na poziomie napięcia średniego.

1.2. Mikroinstalacje prosumenckie w Polsce

W roku 2012 znówelizowano ustawę [5] wprowadzając pewne ułatwienia w przyłączaniu mikroinstalacji wytwórczych w sieciach elektroenergetycznych, szczególnie niskiego napięcia. „Mały trójpak energetyczny” wprowadził definicję mikroinstalacji, rozumianej jako odnawialne źródło energii, o łącznej mocy zainstalowanej elektrycznej nie większej niż 40 kW, przyłączone do sieci elektroenergetycznej o napięciu znamionowym niższym niż 110 kV lub o łącznej mocy zainstalowanej cieplnej nie większej niż 120 kW. Za przyłączenie mikroinstalacji, którą planuje się przyłączyć do elektroenergetycznej sieci dystrybucyjnej nie pobiera się opłaty. W przypadku, gdy podmiot ubiegający się o przyłączenie mikroinstalacji do sieci dystrybucyjnej jest przyłączony do sieci jako odbiorca końcowy, a moc zainstalowana mikroinstalacji, o przyłączenie której ubiega się ten podmiot, nie jest większa niż określona w wydanych warunkach przyłączenia, przyłączenie do sieci odbywa się na podstawie zgłoszenia przyłączenia mikroinstalacji. Zapis ten ogranicza moc zainstalowaną mikroinstalacji z 40 kW (definicja) do wartości mocy określonej w warunkach przyłączenia odbiorcy końcowego. Na podstawie zgłoszenia, złożonego w przedsiębiorstwie energetycznym, do sieci którego ma być przyłączona mikroinstalacja, to przedsiębiorstwo instaluje odpowiednie układy zabezpieczające i układ pomiarowo-rozliczeniowy. Koszt instalacji układu zabezpieczającego i układu pomiarowo-rozliczeniowego ponosi operator elektroenergetycznego systemu dystrybucyjnego.

W roku 2015 uchwalono długo oczekiwaną ustawę o odnawialnych źródłach energii [6], która od razu stała się kontrowersyjna. Niech o tym świadczy fakt, że Prezydent RP podpisał tę ustawę 11 marca 2015 r., a Ministerstwo Gospodarki, w dniu 18 marca 2015 r. przedstawiło zakres zmian w tekście ustawy. Krytyczne uwagi na temat tej ustawy przedstawiono również w artykule [7].

Ustawa [7] zawiera wszystkie wykazane wyżej elementy „Małego trójpaku energetycznego”. Natomiast w tekście tej ustawy nie ma sformułowania „prosument”. W ujęciu energetycznym, prosument jest to użytkownik i konsument energii, który również wytwarza energię w celu jej konsumowania we własnym zakresie, wytwarza energię na własny użytek. Taka jest też idea promowania odnawialnych źródeł energii, aby pozyskana energia była spożytkowana najlepiej w miejscu jej pozyskania. Ewentualna nadwyżka energii powinna być wprowadzona do wspólnej sieci dystrybucyjnej.

Mikroinstalacja prosumencka jest to instalacja stanowiąca wyodrębniony zespół urządzeń służących do wytwarzania energii i wyprowadzania mocy, o łącznej mocy zainstalowanej elektrycznej nie większej niż 40 kW, przyłączonych w jednym miejscu z instalacją odbiorczą energii, w których energia elektryczna lub ciepło są wytwarzane z jednego rodzaju odnawialnych źródeł energii, a także magazyn energii elektrycznej przechowujący wytworzoną energię elektryczną, połączony z tym zespołem urządzeń.

W Polsce, w roku 2015, eksploatowanych jest stosunkowo niedużo mikroinstalacji prosumenckich. Zatem doświadczeń własnych w tym zakresie w Polsce jeszcze nie ma.

2. ŹRÓDŁA ENERGII W MIKROINSTALACJACH PROSUMENCKICH

W publikacji Instytutu Energetyki Odnawialnej [8] jako kluczowe technologie prosumenckie podaje się: kolektory słoneczne, kotły na biomasę, pompy ciepła, mikroukłady kogeneracyjne na biogaz i biopłyiny, moduły fotowoltaiczne, mikroelektrownie wiatrowe i mikroelektrownie wodne. W zakresie pozyskiwania energii elektrycznej należy rozważyć cztery ostatnie technologie.

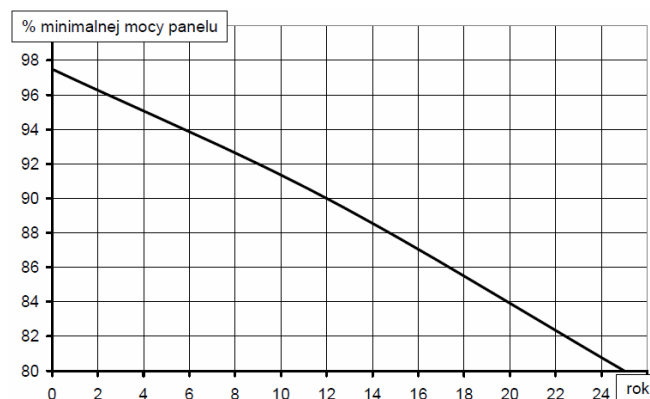
2.1. Mikroelektrociepłownie przydomowe

Wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła w skojarzeniu, w mikroelektrociepłowni z wysoką sprawnością przetwarzania energii chemicznej ogniwa paliwowego lub gazu ziemnego, a najlepiej bezpośrednio zasilanych wodorem, jest wspaniałą ideą z dużą perspektywą obniżenia kosztów energii w instalacjach prosumenckich. Obecnie jednak nie ma dostępnego, sprawdzonego rozwiązania komercyjnego tego typu układów.

2.2. Mikroinstalacje fotowoltaiczne

Moduły fotowoltaiczne wydają się być kluczowymi rozwiązaniami w zakresie mikroinstalacji prosumenckich w Polsce. Nie jest to spowodowane korzystnym bilansem ekonomicznym, głównie ze względu na cenę paneli fotowoltaicznych w ogóle i warunki klimatyczne w Polsce, ale dostępnością do źródła energii i brakiem emisji hałasu.

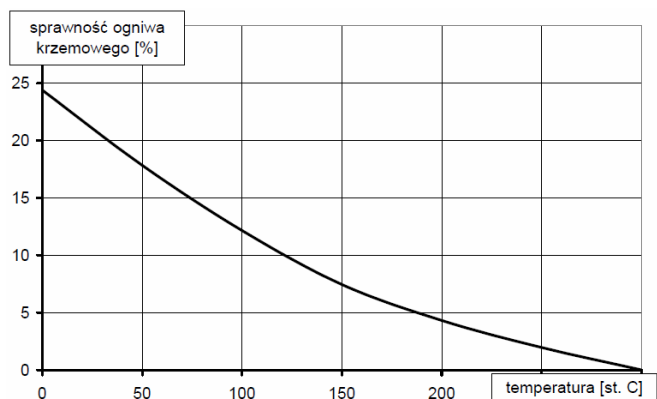
W kartach katalogowych polikrystalicznych paneli fotowoltaicznych można znaleźć informacje dotyczące gwarancji na produkt (10 lat) oraz na liniową moc (25 lat, rys. 1).



Rys. 1. Przebieg gwarantowanej wydajności polikrystalicznego panelu fotowoltaicznego (na podstawie karty katalogowej panelu oferowanego w Polsce)

Zmniejszenie wydajności panelu w funkcji czasu jego eksploatacji, przy uwzględnieniu dość niskiej wartości sprawności (ok. 14%), jest jednym z czynników obniżających korzyści z jego stosowania. Kolejnym czynnikiem niekorzystnym jest zmniejszenie sprawności panelu na skutek wzrostu jego temperatury (rys. 2). Złudnym jest pogląd, że panel fotowoltaiczny pracuje z maksymalną mocą w okresie lipca i sierpnia, w dniach występowania największych upałów w Polsce. Są już doświadczenia polskich prosumentów, zwłaszcza z okresu upalnych wakacji

roku 2015, które wskazują, że w tych okresach panele pracowały z mocą wyraźnie mniejszą od wartości mocy STC P_{max} w Wp. W jednej z instalacji fotowoltaicznych zainstalowanych w Województwie Kujawsko-Pomorskim w dniu 18 lipca 2015 r. (temperatura maksymalna powietrza 35 °C) uzyskano moc maksymalną (godz. 12⁰⁰) równą ok. 78,4% mocy zainstalowanej (sumy mocy STC P_{max} w Wp). W tej samej instalacji w dniu 21 czerwca 2015 r. (temperatura maksymalna powietrza 19 °C) uzyskano moc maksymalną (godz. 13⁰⁰) równą ok. 97,5% mocy zainstalowanej.



Rys. 2. Wpływ temperatury krzemowego ogniw fotowoltaicznego na jego sprawność

2.3. Hydroelektrownie małej mocy

W zastosowaniu mikroturbin wodnych do pozyskiwania energii z cieką wodnego zasadniczą przeszkodą jest uzyskanie pozwolenia na korzystanie z tego cieką. W przypadku mikroinstalacji prosumenckich ograniczeniem w zastosowaniu tego typu technologii jest brak cieków wodnych dostępnych dla większej liczby np. gospodarstw domowych na osiedlu domków jednorodzinnych. Hydroelektrownie małej mocy w mikroinstalacjach prosumenckich mogą być realizowane w małych gospodarstwach rolnych lub ogrodniczych, które mają dostęp do cieką wodnego. W warunkach polskich nie przewiduje się znaczącego udziału hydroelektrowni w pozyskiwaniu energii w mikroinstalacjach prosumenckich.

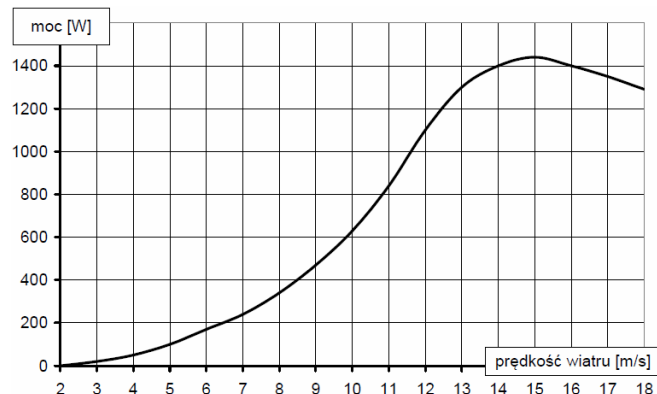
2.4. Elektrownie wiatrowe małej mocy

W Polsce oferuje się mikroelektrownie wiatrowe do pozyskiwania energii elektrycznej z energii wiatru w instalacjach przydomowych. Jednak przeznaczenie tego typu elektrowni jest raczej do instalacji pracujących autonomicznie, bez połączenia z publiczną elektroenergetyczną siecią dystrybucyjną. Z technicznego punktu widzenia jest oczywiście możliwe przyłączenie tego typu źródeł do sieci, ale może być problem z uzyskaniem certyfikatu bezpieczeństwa.

Problemem eksploatacyjnym mikroelektrowni wiatrowych jest charakterystyka mocy w funkcji prędkości wiatru oraz hałas. Dla przykładu na rysunku 3 przedstawiono charakterystykę mocy mikro turbiny wiatrowej o mocy znamionowej 1000 W w funkcji prędkości wiatru. Zastosowano generator z neodymowymi magnesami trwałymi. Z charakterystyki wynika wyraźnie, że dla prędkości wiatru poniżej 10 m/s można uzyskać najwyżej 60% mocy znamionowej. Biorąc pod uwagę napięcie (48 V) konieczne jest stosowanie energoelektronicznego przekształtnika podwyższającego napięcie i pozwalającego

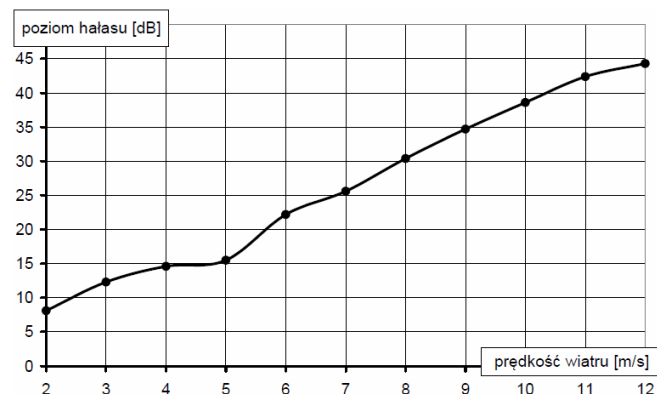
na połączenie z siecią napięcia przemiennego 230 V o częstotliwości 50 Hz.

W ofercie dystrybutora tego produktu podaje się, że jest możliwość łatwego montażu tej mikro turbiny wiatrowej np. na wysięgniku rurowym bezpośrednio do ściany budynku.



Rys. 3. Charakterystyka mocy mikro turbiny wiatrowej o mocy znamionowej 1000 W w funkcji prędkości wiatru (na podstawie karty katalogowej produktu oferowanego w Polsce)

Średnica koła wiatrowego ok. 2 m, natomiast waga generatora ok. 22 kg. Pomiar hałasu wykonano stojąc bezpośrednio pod elektrownią zamontowaną na maszcie 6 m. Wyniki pomiarów hałasu (na podstawie danych w ofercie) przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Poziom hałas mikro turbiny wiatrowej o mocy znamionowej 1000 W umieszczonej na wysokości 6 m (na podstawie karty katalogowej produktu oferowanego w Polsce)

3. KORZYŚCI ZASTOSOWANIA MIKROINSTALACJI PROSUMENCKICH W SYSTEMIE ZASILANIA AGLOMERACJI PODMIEJSKICH I WIEJSKICH

Aglomeracje podmiejskie i wiejskie zasilane są z węzłów elektroenergetycznej sieci dystrybucyjnej średniego napięcia. Ze stacji transformatorowych SN/nn wyprowadzane są linie elektroenergetyczne niskiego napięcia zasilające bezpośrednio poszczególne gospodarstwa. Ograniczenie poboru energii elektrycznej z sieci średniego napięcia zasilającej aglomerację podmiejską lub wiejską wpływa pozytywnie na istniejącą infrastrukturę średniego napięcia. Obniżenie poboru energii z sieci średniego napięcia nie powoduje konieczności ograniczenia zużycia energii w gospodarstwach (szczególnie przy efektywnym wykorzystaniu energii ze źródeł energii

odnawialnej). Specyfika terenów podmiejskich i wiejskich bardzo często pozwala na stosowanie mikroinstalacji prosumenckich, zwłaszcza opartych na fotowoltaice.

Celowe jest opracowanie nowej struktury wysokoefektywnego systemu elektroenergetycznego zasilania aglomeracji podmiejskiej lub wiejskiej z generacją rozproszoną (mikroinstalacje) oraz nowego sposobu sterowania funkcjonowaniem takiego systemu w aspekcie efektywności energetycznej [9]. Zagadnienie to w pełni wpisuje się w aktualne potrzeby prosumentów, a uzyskane rezultaty funkcjonowania proponowanych rozwiązań praktycznych stanowiłyby wymierne korzyści poprawy efektywności energetycznej, również w zakresie pozyskiwania energii ze źródeł energii odnawialnej.

Niezbędne jest opracowanie struktury systemu elektroenergetycznego zasilania aglomeracji podmiejskiej lub wiejskiej, który powinien stanowić przykład systemu elektroenergetycznego z generacją rozproszoną, współpracującego z elektroenergetyczną siecią dystrybucyjną średniego napięcia. Rozważane powinny być warunki pracy takiego układu bez magazynów i z magazynami energii elektrycznej z możliwością wprowadzania energii elektrycznej do sieci dystrybucyjnej średniego napięcia i bez takiej możliwości.

Istotnym zagadnieniem jest również opracowanie wytycznych do formalno-prawnych uwarunkowań tworzenia podmiotów (wspólnot aglomeracyjnych) do planowania, zamawiania, zakupowania i rozliczania energii elektrycznej oraz wyznaczenie optymalnych rozwiązań w zakresie aktywnego monitoringu i smart meteringu.

Dzięki zastosowaniu tranzystorowych (IGBT, MOSFET) przekształtników energoelektronicznych nie jest konieczna przebudowa sieci wewnętrznych gospodarstw, a ponadto przy odpowiednim sterowaniu przekształtników rozmieszczonych w sieci niskiego napięcia zasilającej aglomerację, możliwe jest wysokoefektywne sterowanie przepływem energii wewnątrz tej sieci (rozważa się również możliwość wprowadzania ewentualnej nadwyżki energii do sieci średniego napięcia). Zastosowanie tranzystorowych przekształtników z szeregowymi obwodami rezonansowymi [10] pozwala na osiągnięcie wysokich sprawności przetwarzania energii elektrycznej w przekształtnikach DC/AC sprzęgających jednostki wytwórcze z siecią elektroenergetyczną.

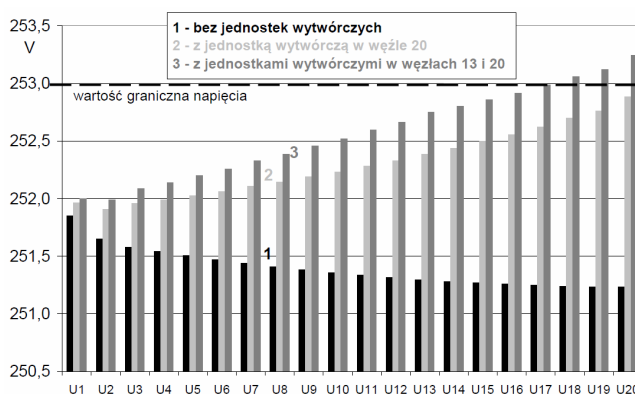
Rozwojem badań w tym zakresie zainteresowani są prosumenci i odbiorcy energii elektrycznej skupieni w aglomeracji miejskiej lub wiejskiej oczekujący podwyższenia efektywności pracy systemu elektroenergetycznego zasilania tę aglomerację w trzech aspektach: energetycznym, ekonomicznym i środowiskowym.

4. ZAGROŻENIA WYNIKAJĄCE Z ZASTOSOWANIA MIKROINSTALACJI PROSUMENCKICH

Zapisy ustaw [5, 6] narzucają przedsiębiorstwu energetycznemu obowiązek przyłączenia mikroinstalacji prosumenckiej bez żadnych warunków przyłączenia. Można dalej przeczytać, że przyłączane mikroinstalacje muszą spełniać wymagania techniczne i eksploatacyjne określone w odpowiednim artykule ustawy [5] (art. 7a, ust. 1). Natomiast szczegółowe warunki przyłączenia, wymagania techniczne oraz warunki współpracy mikroinstalacji z systemem elektroenergetycznym określają przepisy wydane na podstawie odpowiedniego artykułu tej ustawy (art. 9 ust. 3).

Jest to pierwsze realne zagrożenie dla prawidłowego funkcjonowania elektroenergetycznych sieci dystrybucyjnych niskiego napięcia z generacją rozproszoną. Bezpośrednią przyczyną tego zagrożenia jest naturalny proces fizyczny, w którym po przyłączeniu jednostki wytwórczej (generowana energia do sieci) wzrasta wartość napięcia w węzłach tej sieci. Problem ten był analizowany przez autora w publikacji [11].

Na rysunku 5 przedstawiono wartości skuteczne napięć fazowych w węzłach przykładowej elektroenergetycznej linii nn dla trzech przypadków. Pierwszy przypadek dotyczy zasilania odbiorów bez jednostek wytwórczych. Odbiory w poszczególnych węzłach pobierają moc ok. 450 W (trzy fazy). Stacja transformatorowa SN/nn znajduje się niedaleko głównego punktu zasilania, zatem w rozpatrywanej linii występują stosunkowo duże wartości napięć fazowych (251-252 V). Wartości napięć w każdym węźle sieci są mniejsze od wartości granicznej 253 V (poziom napięcia zaznaczony linią przerywaną na rys. 5), wynikającej z instrukcji ruchu i eksploatacji sieci dystrybucyjnych nn (+10% napięcia znamionowego sieci).



Rys. 5. Wartości skuteczne napięć fazowych w węzłach przykładowej linii dla trzech przypadków [11]

Drugi przypadek polega na uruchomieniu jednostki wytwórczej przyłączonej do linii w węźle nr 20 (na końcu rozpatrywanej linii) i jej praca z mocami -15 kW i $+15$ var (trzy fazy, moce tylko samej jednostki wytwórczej, oczywiście w węźle będzie moc pomniejszona o moc odbioru). Następuje wzrost wartości napięć we wszystkich węzłach linii, ale nadal w żadnym węźle wartość napięcia nie przekracza wartości granicznej.

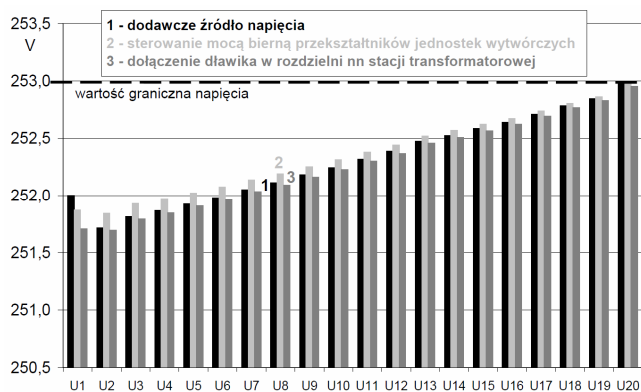
Komentarza wymaga kwestia znaków przy podawanych wartościach mocy. Znak „minus” mocy czynnej lub biernej oznacza, że moc jest oddawana (do sieci) z instalacji danego węzła, znak „plus” mocy czynnej lub biernej oznacza, że moc jest pobierana (z sieci) przez instalację danego węzła.

Przypadek trzeci, to przyłączenie jednostki wytwórczej w mikroinstalacji w węźle nr 13 i jej praca z mocami -5 kW i $+5$ var (trzy fazy). Zwiększa się wartość napięcia we wszystkich węzłach rozpatrywanej linii. Jednak wartości napięć w węzłach nr: 18, 19 i 20 przekraczają wartość graniczną. Taki stan pracy sieci elektroenergetycznej nie jest dopuszczalny. W praktyce, w takim przypadku zadziała zabezpieczenie nadnapięciowe, ale w mikroinstalacji wytwórczej w węźle nr 20. Jednym z technicznych rozwiązań jest ograniczenie mocy wprowadzanej do sieci w węzłach nr 13 i/lub 20 tak, aby wartości napięć były mniejsze od wartości granicznej. Nie jest to łatwe w praktyce, ponieważ każdy z prosumentów zainteresowany

jest jak największą ilością energii elektrycznej wprowadzanej do sieci (aspekty finansowe). Operator sieci nie miał możliwości wpływu na wartość mocy jednostek wytwórczych (nie ma warunków przyłączenia, jest tylko zgłoszenie przyłączenia mikroinstalacji). Mikroinstalacja jest własnością prosumenta i jest jego instalacją wewnętrzną, zatem nie jest możliwe oddziaływanie operatora na urządzenia (np. przekształtniki energoelektroniczne) w wewnętrznej instalacji prosumenta. Jednak to operator musi zastosować takie rozwiązania techniczne i prawne, które pozwolą na pracę prosumenckich mikroinstalacji z mocą mniejszą od umownej praktycznie w każdych warunkach pracy sieci.

Tak powstał problem regulacji napięcia w elektroenergetycznych sieciach dystrybucyjnych nn. Do tej pory regulacja napięcia w tego typu sieciach odbywała się okresowo poprzez zmianę przekładni transformatora w stacji SN/nn (zmiana położenia zaczepów uzwojeń). Transformatory w stacjach SN/nn nie są wyposażone w podnapięciowe przelączniki zaczepów (tak jak transformatory w stacjach WN/SN), które umożliwiłyby regulację napięcia w czasie pracy sieci.

Jednym ze sposobów regulacji napięcia w elektroenergetycznych sieciach dystrybucyjnych nn jest wprowadzenie w początkowym odcinku linii wyprowadzanej ze stacji SN/nn dodatkowego źródła napięcia [11]. Odpowiednie wysterowanie tego źródła powoduje, że poprzez wprowadzenie napięcia dodatkowego można regulować wartości napięć w węzłach linii. Efekt zastosowania tego sposobu pokazano na rysunku 6, wartości napięć oznaczone numerem 1.



Rys. 6. Wartości skuteczne napięć fazowych w węzłach przykładowej linii z zastosowaniem trzech sposobów regulacji napięcia [11]

Wartości napięć we wszystkich węzłach rozpatrywanej linii nie przekraczają wartości granicznej. Tego typu układy są już oferowane komercyjnie. Przykładem jest 1-fazowy system LVRSysTM [12].

Drugim sposobem regulacji napięcia jest zmiana wartości mocy biernej w przekształtnikach mikroinstalacji wytwórczych. Jednak sposób ten, omawiany m.in. w [13], z przyczyn formalno-prawnych, ale i technicznych jest trudny do realizacji. Na rysunku 6 (słupki oznaczone numerem 2) pokazano efekt zmiany napięć w węzłach na skutek zmiany wartości mocy biernej w przekształtnikach jednostek wytwórczych przyłączonych w węzłach 13 (+1,0 kvar) i 20 (+3,0 kvar).

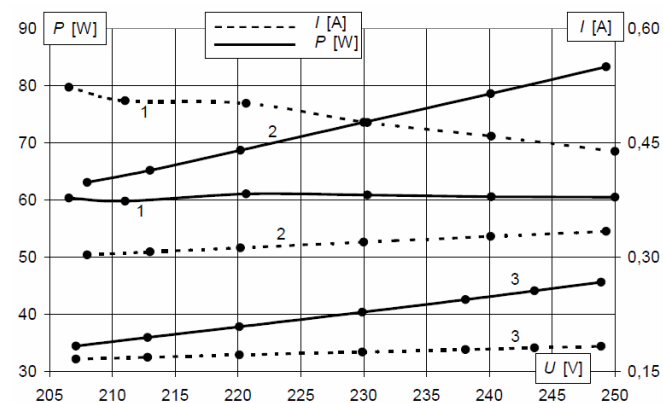
Trzeci sposób polega na dołączeniu dławika regulacyjnego, który zainstalowano w rozdzielni nn stacji transformatorowej SN/nn. Wyniki uzyskane z

zastosowaniem tego sposobu przedstawiono na rysunku 6, słupki oznaczone numerem 3. W analizowanym przypadku dławik regulacyjny pobiera z sieci (trzy fazy) moc czynną +900 W oraz moc bierną +8,96 kvar.

Kolejny problem dotyczy odbiorców energii elektrycznej, którzy są przyłączeni do elektroenergetycznej sieci dystrybucyjnej w sąsiedztwie z mikroinstalacjami prosumenckimi. Problem polega na tym, że jeżeli zwiększa się wartość napięcia w węzle linii elektroenergetycznej, spowodowana generacją jednostki wytwórczej w „sąsiednim” węzle, to należy się spodziewać zwiększenia rachunków ze energią elektryczną.

Dla specjalistów elektroenergetyków jest to problem pozorny. Faktem jest zwiększenie wartości napięcia na skutek generacji jednostki wytwórczej zainstalowanej w sąsiedztwie (np. rys. 5). Ale taki sam efekt można uzyskać jeżeli w sąsiedztwie, np. w budynku jednorodzinym z małą działalnością produkcyjną, zostaną wyłączone odbiorniki pobierające znaczną moc z sieci. Również wzrośnie wartość napięcia w węzłach, na skutek mniejszych spadków napięć w poszczególnych odcinkach linii. Dlatego w umowach przyłączeniowych instalacji odbiorczych mamy odwołanie do instrukcji ruchu i eksploatacji sieci dystrybucyjnych nn, w których dopuszcza się zmianę wartości napięcia w zakresie $\pm 10\%$ napięcia znamionowego sieci.

Nie jest też prawdziwe stwierdzenie, że wzrost wartości napięcia zasilającego odbiornik nn w każdym przypadku spowoduje zwiększenie jego mocy. Na rysunku 7 przedstawiono zależność natężenia prądu oraz mocy w funkcji napięcia zasilającego: 1) komputer osobisty, 2) halogenowe źródło światła oraz 3) świetlówkę kompaktową.



Rys. 7. Zależność natężenia prądu i mocy w funkcji napięcia zasilającego dla: 1) komputera osobistego, 2) halogenowego źródła światła oraz 3) świetlówki kompaktowej

Wyraźnie widać, że w przypadku źródeł światła następuje rzeczywiście zwiększenie pobieranej mocy na skutek zwiększenia wartości napięcia. W przypadku komputera osobistego taki wzrost mocy nie występuje. Wartość napięcia zwiększa się, ale natężenie prądu maleje, co w efekcie powoduje pozostanie wartości mocy na tym samym poziomie, niezależnie od wartości napięcia. Taki efekt uzyska się w przypadku stosowania zasilaczy z zaawansowanymi układami energoelektronicznymi (np. przetwornice impulsowe), które stabilizują napięcie lub prąd zasilający bezpośrednio odbiornik energii elektrycznej.

Jeżeli wartości napięć w węzłach linii elektroenergetycznej nn będą utrzymywane w przedziale dopuszczalnym $\pm 10\%$ napięcia znamionowego sieci, to nie ma podstaw do formułowania zarzutów o niekorzystny wpływ mikroinstalacji prosumenckich na odbiorniki

„sąsiednie” w zakresie niekorzystnych skutków zwiększenia poboru mocy.

5. WNIOSKI KOŃCOWE

Prosument jest to użytkownik i konsument energii, który również wytwarza energię w celu jej skonsumowania we własnym zakresie, wytwarza energię na własny użytek. Idea prosumpcji w kontekście promowania odnawialnych źródeł energii jest korzystna i pożądana w polityce energetycznej państwa. Dąży się do stanu, w którym pozyskana energia jest spożytkowana najlepiej w miejscu jej pozyskania, a ewentualna nadwyżka energii powinna być magazynowana lub wprowadzona do wspólnej sieci dystrybucyjnej.

Przyłączanie mikroinstalacji do elektroenergetycznych sieci dystrybucyjnych nn może spowodować problemy z utrzymaniem wartości napięć we wszystkich jej węzłach na poziomie poniżej wartości dopuszczalnej. Obowiązkiem operatora sieci jest zapewnienie technicznych warunków funkcjonowania sieci zgodnie z obowiązującymi przepisami. Wymusi to potrzebę regulacji napięcia w sieciach nn z mikroinstalacjami.

Wraz z technicznym rozwojem mikroinstalacji prosumenckich niezbędne jest prowadzenie akcji edukacyjnej odbiorców energii elektrycznej, aby przez niewłaściwe, tendencyjne i wybiórcze interpretowanie faktów nie tworzyli lobby przeciwników tego typu instalacji.

6. BIBLIOGRAFIA

1. Kacejko P.: Generacja rozproszona w systemie elektroenergetycznym, Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin 2004.
2. Cieślak S., Siegert J.: Generacja rozproszona w elektroenergetycznych sieciach dystrybucyjnych – wczoraj – dziś – jutro, Rynek Energii Nr I (VI), 2011, str. 82-87.
3. Cieślak S., Zieliński K.: The analysis of switching processes of a small wind farm connected to the electric power distribution MV system, Problems of Automated Electrodrives. Theory and Practice, Lvov, 2009, pp. 334-335.
4. Cieślak S., Markiewicz A.: Ocena wpływu elektrowni wiatrowych małej mocy na elektroenergetyczną sieć dystrybucyjną średniego napięcia, Materiały XV Międzynarodowej Konferencji Naukowej APE'2001, tom IV, Jurata, 2011, str. 123-131.
5. Ustawa *Prawo Energetyczne* z dnia 10 kwietnia 1997 r., (Dz.U. 1997 nr 54 poz. 348 z późn. zm.).
6. Ustawa *o odnawialnych źródłach energii* z dnia 20 lutego 2015 r. (Dz.U. 2015, poz. 478).
7. Kacejko P., Pijarski P., Gałązka K.: Prosument – krajobraz po bitwie, Rynek Energii Nr 2 (117), 2015, str. 40-44.
8. Krajowy plan rozwoju mikroinstalacji odnawialnych źródeł energii do 2020 roku, Opracowanie Instytutu Energetyki Odnawialnej, Warszawa, 2013.
9. Cieślak S., Boniewicz P.: Prosumer micro-installation in Poland possibility analysis, Inżynieria odnawialnych Źródeł Energii, red. A. Mroziński, Bydgoszcz, 2014, pp. 307-317.
10. Mućko J.: Tranzystorowe falowniki napięcia z szeregowymi obwodami rezonansowymi, Rozprawy Nr 148, Wydawnictwa Uczelniane UTP, Bydgoszcz, 2011.
11. Cieślak S.: Regulacja napięcia w sieciach dystrybucyjnych niskiego napięcia z mikroinstalacjami, Materiały XVII Symposium „Współczesne urządzenia oraz usługi elektroenergetyczne, telekomunikacyjne i informatyczne”, Poznań, 2014, str. 24-27.
12. A-Eberle: Special Publication: It's all about finding the right voltage, May, 2013.
13. Sobierajski M., Rojewski W.: Kryteria przyłączania OZE do sieci nN, Materiały VI Konferencji Przyłączanie i Współpraca OZE z Systemem Elektroenergetycznym, Warszawa, 25-26 czerwca 2014 r., str. 73-94.

PROSUMER MICRO-INSTALLATION IN POLAND – BENEFITS AND RISKS

The Polish law facilitates the connection of prosumer micro-installations to the LV electric power network. Facilitation are formal legal and financial (the possibility for financing the investment or preferential price for electricity). Technical aspects of the distribution networks operation with distributed generation (prosumer micro-installations) are not considered. The paper assesses the benefits and risks of existence prosumer micro-installations. Technical operation states of the network with distributed generation are considered. We analyzed the problems the network operators. The paper explains the concerns of electricity consumers, who are connected to the distribution network with prosumer micro-installations, for increasing charges for electricity consumption.

Keywords: distributed generation, micro-installation, LV power networks.