

WARUNKI PRZYŁĄCZANIA MIKROGENERACJI DO SIECI NISKIEGO NAPIĘCIA W ŚWIELE OBOWIĄZUJĄCYCH PRZEPISÓW – REFERAT KONFERENCYJNY

Marian SOBIERAJSKI¹, Wilhelm ROJEWSKI²

1. Instytut Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej
tel: 71 320 44 22 fax: 71 320 26 56 e-mail: marian.sobierajski@pwr.wroc.pl
2. Instytut Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej
tel: 71 320 37 24 fax: 71 320 26 56 e-mail: wilhelm.rojewski@pwr.wroc.pl

Streszczenie: W pracy omówiono podstawowe akty prawne określające warunki przyłączania i pracy mikroźródeł w sieci rozdzielczej niskiego napięcia. Podano kryteria przyłączania mikroźródeł stosowane w Polsce i w innych krajach europejskich oraz wymagania stosownych norm i praktyczne sposoby oceny wpływu mikroźródeł na jakość energii.

Słowa kluczowe: mikrogeneracja, sieć niskiego napięcia.

1. WPROWADZENIE

W Polsce podstawowym aktem prawnym określającym warunki pracy źródeł energii w systemie elektroenergetycznym jest Ustawa Prawo energetyczne z dnia 10 kwietnia 1997r. Dostępny projekt nowej ustawy Prawo energetyczne (Wersja: 1.23), datowany jest na dzień 28.09.2012. Drugim wiążącym dokumentem jest Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. W trakcie uzgodnień parlamentarnych jest Ustawa o odnawialnych źródłach energii (OZE) [1], której projekt w najnowszej wersji (oznaczonej Wersja 2.0.1) pochodzi z 4 października 2012 r.

W praktyce krajowej w mikrogeneracji opartej na odnawialnych źródłach energii mogą znaleźć zastosowanie głównie małe turbiny wiatrowe, małe turbiny wodne i ogniwa fotowoltaiczne. Wspierane przez Ustawodawcę są także małe systemy pracujących w kogeneracji. Praktycznie mogą to być mikrosystemy wykorzystujące mikroturbiny gazowe, ogniwa paliwowe, czy silnik Stirlinga.

Ustawa o OZE wprowadza pojęcie małej instalacji i mikroinstalacji odnawialnego źródła energii.

Mała instalacja to instalacja odnawialnego źródła energii o zainstalowanej łącznej mocy elektrycznej powyżej 40 kW do 200 kW lub zainstalowanej łącznej mocy cieplnej lub chłodniczej powyżej 70 kW do 300 kW.

Mikroinstalacja to instalacja odnawialnego źródła energii o zainstalowanej łącznej mocy elektrycznej do 40 kW lub zainstalowanej łącznej mocy cieplnej lub chłodniczej do 70 kW.

Norma PN-EN 50438:2010: *Wymagania dotyczące równoległego przyłączania mikrogeneratorów do publicznych sieci rozdzielczych niskiego napięcia*, wprowadza pojęcie **mikrogeneratora**: „...generator energii elektrycznej

niezależnie od źródła energii pierwotnej, zainstalowany na stałe wraz z układami zabezpieczeń, przyłączony jednofazowo lub wielofazowo do sieci niskiego napięcia, o prądzie znamionowym nie większym niż 16A”. Oznacza to odpowiednio dla mikroźródeł jedno i trójfazowych moc 3,7 kVA i 11,1 kVA.

Ustawa o OZE mówi również, że „Wytwórca energii elektrycznej, ... , z odnawialnych źródeł energii w mikroinstalacji będący osobą fizyczną nie prowadzącą działalności gospodarczej, który wytwarza energię elektryczną, w celu zużycia na własne potrzeby, **może sprzedać nadwyżkę niewykorzystanej energii elektrycznej** wytworzonej przez niego w mikroinstalacji i wprowadzonej do sieci dystrybucyjnej”. O zamiarze przyłączenia „...Wytwórca energii elektrycznej, ciepła lub chłodu z odnawialnych źródeł energii w mikroinstalacji pisemnie informuje operatora systemu dystrybucyjnego elektroenergetycznego, na którego obszarze działania ma zostać przyłączona mikroinstalacja...”. Z drugiej strony „Przedsiębiorstwo energetyczne wykonujące działalność gospodarczą w zakresie przesyłania lub dystrybucji energii elektrycznej jest obowiązane do przyłączenia instalacji odnawialnego źródła energii do sieci,..., jeżeli istnieją techniczne i ekonomiczne warunki przyłączenia do sieci.”

Ważnym zapisem jest Art. 38.1. „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 we wcześniej wydanych warunkach przyłączenia, przyłączenie do sieci odbywa się na podstawie zgłoszenia przyłączenia mikroinstalacji** złożonego w przedsiębiorstwie energetycznym, do którego sieci ma zostać przyłączona mikroinstalacja i po zainstalowaniu odpowiednich układów zabezpieczających i licznika inteligentnego. **W innym przypadku przyłączenie mikroinstalacji do sieci dystrybucyjnej odbywa się na podstawie umowy o przyłączenie do sieci.**”

Zgłoszenie przyłączenia mikroinstalacji powinno zawierać w szczególności: 1) oznaczenie podmiotu ubiegającego się o przyłączenie oraz rodzaj i moc mikroinstalacji,

2) informacje niezbędne do zapewnienia spełnienia przez mikroinstalację wymagań technicznych i eksploatacyjnych.

W podobny sposób dopuszcza się przyłączanie mikrogeneracji wg procedury „za powiadomieniem” w większości krajów europejskich. Dotyczy to jednak przyłączania pojedynczego mikrogeneratora o prądzie znamionowym nie przekraczającym 16 A. Takiej procedury nie stosuje się natomiast w takich krajach jak: Austria, Szwajcaria, Czechy, Niemcy, Hiszpania, Finlandia, Francja, Włochy, Norwegia i Szwecja.

W przypadku instalacji wymagającej podpisania umowy o przyłączenie do sieci, warunki takiej umowy określa odpowiedni operator systemu dystrybucyjnego. Zwykle, operator sieci dystrybucyjnej w warunkach przyłączenia określa punkt przyłączenia do sieci PCC (Point of Common Coupling), sposób przyłączenia, wymagania dotyczące układów łączeniowych i zabezpieczeń mikroźródeł, wymagania odnośnie do zarządzania mocą czynną i bierną generowaną, sterowania generacją mocy czynnej podczas zmian częstotliwości w sieci.

Wydanie warunków przyłączenia traktowane jest, jako obietnica zawarcia umowy, dlatego operator sieci dystrybucyjnej wcześniej dokonuje oceny wpływu przyłączenia mikrogeneracji do sieci na warunki pracy tej sieci. Uwzględnia się następujące zagadnienia związane, z jakością energii elektrycznej: odchylenia i zmiany poziomu napięcia, szybkie

zmiany napięcia, migotanie światła, harmoniczne, asymetria napięcia, zaburzenia (załamania) komutacyjne, zakłócenia transmisji sygnałów, wpływ na prądy zwarcioowe.

Istotnym zapisem Ustawy o OZE (Rozdział 8.) jest wprowadzenie pojęcia **instalatora mikroinstalacji**, uprawniającego do wykonywania mikroinstalacji. Ustawa precyzuje cały szereg warunków formalnych, jakie musi spełniać osoba zwana „instalatorem”, natomiast główne warunki merytoryczne to odbycie stosownego szkolenia i złożenie z wynikiem pozytywnym egzaminu udokumentowanego stosownym świadectwem.

2. KRYTERIA PRZYŁĄCZANIA MIKROŹRÓDEŁ DO SIECI NISKIEGO NAPIĘCIA

W praktyce potrzebne jest sformułowanie możliwie prostych i jednoznacznych kryteriów określających sposób przyłączenia mikroźródła do sieci, jego maksymalną moc oraz wymagania dotyczące dopuszczalnego wpływu na wskaźniki, jakości energii elektrycznej. W tabelicy 1. zamieszczono wybrane normy związane z pracą mikroźródeł w sieci rozdzielczej niskiego napięcia, natomiast w tabelicy 2 zestawiono praktyczne kryteria i wymagania stosowane w kilku krajach w odniesieniu do mikrogeneracji przyłączanej do sieci niskiego napięcia.

Tabela 1. Wybrane normy EMC związane z jakością energii w sieci niskiego napięcia.

Numer normy	Tytuł normy
PN-EN 61000-2-2:2004	Poziomy kompatybilności zaburzeń przewodzonych małej częstotliwości i sygnałów przesyłanych w publicznych sieciach zasilających niskiego napięcia
PN-EN 61000-2-4:2003	Poziomy kompatybilności zaburzeń przewodzonych małej częstotliwości w sieciach zakładów przemysłowych
PN-EN 61000-3-2:2007	Poziomy dopuszczalne emisji harmonicznych prądu (fazowy prąd zasilający odbiornika $\leq 16A$)
PN-EN 61000-3-12:2012	Poziomy dopuszczalne emisji harmonicznych prądu dla odbiorników o znamionowym prądzie fazowym $> 16 A$ i $\leq 75 A$ przyłączonych do publicznej sieci zasilającej niskiego napięcia
PN-EN 61000-3-3:2011	Ograniczanie zmian napięcia, wahań napięcia i migotania światła w publicznych sieciach zasilających niskiego napięcia, powodowanych przez odbiorniki o fazowym prądzie znamionowym $\leq 16 A$ przyłączone bezwarunkowo
PN-EN 61000-3-11:2004	Ograniczanie zmian napięcia, wahań napięcia i migotania światła w publicznych sieciach zasilających niskiego napięcia. Urządzenia o prądzie znamionowym $\leq 75 A$ podlegające podłączeniu warunkowemu
PN-EN 61800-3:2008	Elektryczne układy napędowe mocy o regulowanej prędkości -- Część 3: Wymagania dotyczące EMC i specjalne metody badań
PN-EN 50160:2010	Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach elektroenergetycznych
PN-EN 50438:2010	Wymagania dotyczące przyłączania mikrogeneratorów do publicznych sieci rozdzielczych

Tabela 2. Porównanie, stosowanych w kilku krajach europejskich, kryteriów i wymagań dotyczących przyłączenia mikrogeneracji do sieci niskiego napięcia [2]

Kraj	Napięcie V	Max. moc kW(kVA)	Max. moc kW(kVA)	Zmiany napięcia Δu	Szybkie zmiany napięcia Δu_a	Migotanie światła	Asymetria U_2/U_1	Harmoniczne.
-	-	źródło 1-fazowe	źródło 3-fazowe	%	%	P_{st}, P_{It}	%	I_h/I_1
Niemcy	230/400	$\leq 4,6$ kVA	$> 4,6$ kVA, dodatkowy podział: (≤ 30 kVA) (> 30 kVA)	$\leq 3,0$	$\leq 3,0$	$\leq 0,5$	$\leq 2,0$	EN61000-3-2 EN 61000-3-12
Włochy	230/400	≤ 6 kW	> 6 kW dodatkowy podział: (≤ 20 kW) (> 20 kW)	$\leq 3,0$	$\leq 3,0$	$\leq 0,5$	$\leq 2,0$	EN61000-3-2 EN 61000-3-12
Hiszpania	230/400	≤ 5 kW	> 5 kW < 100 kW $< S_{nTSN/nN}$	$\leq 3,0$	$\leq 5,0$	$\leq 0,5$	$\leq 2,0$	EN61000-3-2 EN 61000-3-12

W krajach, w których wcześniej rozwinęła się mikrogeneracja dopracowano się praktycznych wymagań w odniesieniu do wyposażania tych źródeł w układy sterowania. Przykładem są tu Niemcy, gdzie stosuje się trzy podstawowe zasady [3].

Regulacja mocy biernej:

- dla systemów o mocy $S_{max} \leq 3,68$ kVA $\cos\phi$ w przedziale od 0,95poj do 0,95ind

- dla systemów o mocy $3,68 \text{ kVA} < S_{\max} \leq 13,8 \text{ kVA}$ regulacja według zadanej charakterystyki $\cos\varphi(P)$ lub zadany przez OSD $\cos\varphi$ w przedziale od 0,95poj do 0,95ind,
- dla systemów o mocy $S_{\max} > 13,8 \text{ kVA}$ regulacja według zadanej charakterystyki $\cos\varphi(P)$ lub zadany przez OSD $\cos\varphi$ w przedziale od 0,9poj do 0,9ind.

Regulacja mocy czynnej w funkcji częstotliwości:

- dla wszystkich rozpatrywanych przypadków automatyczna redukcja mocy czynnej przy $f > 50,2 \text{ Hz}$ wg zadanej charakterystyki $P(f)$.

Zdalne sterowanie mocą czynną:

- ograniczanie generacji dla systemów o mocy $S_{\max} > 100 \text{ kW}$ wymuszane przez operatora sieci dystrybucyjnej.

W Polsce brak jest dotychczas jednolitych i szczególnych wymagań oraz kryteriów przyłączania mikroźródeł do sieci niskiego napięcia. Praktyka jest taka, że operatorzy sieci dystrybucyjnej w opracowanych IRiESD zawierają cząstkowe wymagania wybrane w oparciu o dostępne dane zagraniczne i skromne, jak dotychczas, własne doświadczenia. Przykładowo, IRiESD Tauron Dystrybucja S.A. określa maksymalną moc mikroźródła przyłączanego do sieci nN w następujący sposób:

- do 3 kW – jednofazowo lub wielofazowo,
- od 3 kW do 10 kW – tylko wielofazowo. (graniczna wartość 10 kW jest mniejsze od przyjętej w Ustawie o OZE mocy mikroinstalacji 40 kW).

W IRiESD podstawowym wymaganiem dla źródeł przyłączanych do sieci nN jest spełnienie warunku, aby całkowita moc przyłączeniowa wszystkich źródeł (pracujących lub planowanych do przyłączenia) nie przekroczyła mocy znamionowej transformatora zainstalowanego w stacji SN/nN ($S_{\Sigma\max} \leq S_{n\text{TSN/nN}}$). Również moc przyłączeniowa wszystkich generatorów przyłączonych bezpośrednio (lub przez wydzieloną linię) do stacji transformatorowej SN/nN nie powinna przekraczać mocy szacowanego lub zmierzonego obciążenia transformatora.

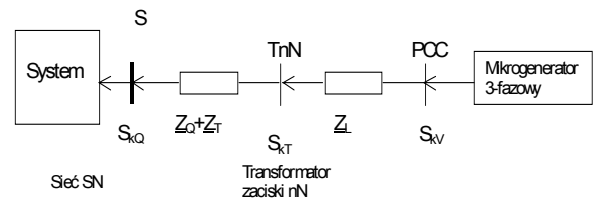
3. OCENA WPŁYWU PRZYŁĄCZENIA MIKROŹRÓDEŁ NA JAKOŚĆ ENERGII

Przeprowadzenie oceny wpływu przyłączenia mikroźródeł do sieci wymaga zebrania danych o warunkach sieciowych w planowanym punkcie przyłączenia (dane linii, moc zwarciova, poziom napięcia w różnych stanach obciążenia sieci) oraz danych jednostek generacji. Przy ocenie możliwości przyłączenia złącze w sieci nN jest traktowane jako punkt PCC.

Poniżej przedstawiono w skrócie wymagania przepisów i sposób oceny wpływu przyłączenia mikroźródeł na zmiany napięcia, wahania napięcia (dynamiczne zmiany napięcia), migotanie światła (flicker), asymetrię napięć i emisję harmonicznych.

3.1. Układ mikrogenerator - system

Rozpatrzmy mikrogenerator 3-fazowy przyłączony do stacji transformatorowej SN/nN za pomocą linii o impedancji Z_L , rys. 1. Węzeł PCC jest węzłem, w którym mikrogenerator wprowadza do sieci nN moc czynną i bierną. Rozpatrywany jest wariant pesymistyczny, tzn. pomijane jest obciążenie sieci.



Rys. 1. Schemat ideowy przyłączenia mikrogeneracji do systemu elektroenergetycznego

Moc zwarciova w węzle PCC wynosi

$$S_{kV} = \frac{U_{nN}^2}{|Z_Q + Z_T + Z_L|} \quad (1)$$

gdzie: U_{nN} – znamionowe napięcie sieci niskiego napięcia, Z_Q – impedancja zewnętrznego systemu, Z_T – impedancja transformatora SN/nN, Z_L – impedancja linii łączącej mikrogenerator z transformatorem SN/nN.

Moc zespolona mikrogeneracji wynosi

$$\underline{S}_G = \sqrt{3} U_G I_G \cos \varphi + j \sqrt{3} U_G I_G \sin \varphi = P_G + j Q_G \quad (2)$$

gdzie: φ – kąt mocy mikrogeneracji.

3.2. Powolne zmiany napięcia

W praktyce europejskiej przyjmuje się, że w normalnym układzie pracy sieci zmiana poziomu napięcia spowodowana pracą wszystkich jednostek wytwórczych w sieci nN nie powinna przekroczyć w żadnym z punktów tej sieci 3% poziomu napięcia, jaki występuje bez generacji [3].

Zmiany napięcia w punkcie PCC spowodowane generacją można wyznaczyć ze wzoru:

$$\Delta U \cong R \frac{S_G}{U_G} \cos \varphi + X \frac{S_G}{U_G} \sin \varphi \quad (3)$$

Jeżeli kąt $\varphi = \varphi_{ind} > 0$, to mikrogenerator wytwarza moc bierną indukcyjną ($Q_{Gind} > 0$). Napięcie na zaciskach generatora przy indukcyjnym współczynniku mocy będzie zawsze wyższe od napięcia systemu.

Jeżeli kąt $\varphi = -\varphi_{poj} < 0$, to mikrogenerator wytwarza moc bierną pojemnościową ($Q_{Gpoj} < 0$).

Jeżeli kąt $\varphi = 0$, to mikrogenerator wytwarza tylko moc czynną.

Praktyczny warunek na dopuszczalne procentowe zmiany napięcia ma postać:

$$\Delta u = \frac{S_G (R \cos \varphi + X \sin \varphi)}{U_{nN}^2} 100\% \leq 3\% \quad (4)$$

Wpływ wielu mikroźródeł na poziom napięcia w punktach ich przyłączenia określa się poprzez superpozycje zmian napięcia powodowanych pracą poszczególnych mikroźródeł, przy czym należy uwzględnić właściwy współczynnik mocy generowanej przez poszczególne mikroźródła.

3.3. Wahania napięcia

Wahania napięcia w punkcie przyłączenia spowodowane operacjami łączeniowymi mikroźródła w normalnych warunkach pracy sieci nie powinny przekroczyć 3% napięcia znamionowego sieci w punkcie przyłączenia. Największa skokowa zmiana napięcia wystąpi w czasie rozruchu mikrogeneratora.

Konieczny do spełnienia warunków ma postać:

$$\Delta u_a = \frac{k_r S_{nG} \cos(\psi - \varphi_r)}{S_{kV}} 100\% \leq 3\% \quad (5)$$

gdzie: $\psi = \arctg\left(\frac{X}{R}\right)$ – kąt impedancji zwarciowej sieci

widzianej z zacisków mikrogeneratora, indukcyjny kąt mocy w czasie rozruchu $\varphi_r = \varphi_{rind} > 0$, pojemnościowy kąt mocy w czasie rozruchu $\varphi_r = -\varphi_{rpoj} < 0$

$k_r = \frac{I_r}{I_{nG}}$ – współczynnik rozruchu.

Bardziej zgrubne, lecz pesymistyczne, oszacowanie wpływu załączenia mikrogeneratora na nagłe zmiany napięcia wyraża warunek

$$\Delta u_a = \frac{k_r S_{maxG}}{S_{kV}} 100\% \leq 3\% \quad (6)$$

Jeśli współczynnik k_r nie jest wyznaczany na podstawie dokładnych danych mikrogeneratora, to zwykle przyjmuje się wartości referencyjne:

- $k=1,2$ dla jednostek generacji przyłączanych przez inwerter,
- $k=1,2$ dla generatorów synchronicznych,
- $k=4$ dla generatorów asynchronicznych włączanych do sieci po doprowadzeniu do 95-105% prędkości synchronicznej,
- $k=8$ dla generatorów asynchronicznych z rozruchem silnikowym (włączanych do sieci jako silnik).

3.4. Migotanie światła

Oceny uciążliwości migotania światła wprowadzanego do sieci przez mikroźródła dokonuje się na podstawie wskaźników: krótkotrwałego P_{st} i długotrwałego P_{lt} . Zapisy norm określają następujące wymagania:

$$P_{st} < 1,0, \quad P_{lt} < 0,65 \quad (7)$$

Spełnienie tych wymagań przez przyłączane mikroźródło powinno być potwierdzone przez producenta stosownym certyfikatem zgodności lub przez podanie maksymalnej dopuszczalnej wartości impedancji zwarciowej sieci Z_{kmax} , do której można przyłączyć urządzenie. Zastępcza impedancja sieci widziana z punktu przyłączenia PCC powinna być mniejsza od impedancji Z_{kmax} .

3.4. Harmoniczne

Dla mikroźródeł o prądzie znamionowym do 16A przyjmuje się dopuszczalne poziomy harmonicznych w prądzie, jak dla odbiorników zakwalifikowanych do urządzeń klasy A wg normy PN-EN 61000-3-2:2007.

Dla mikroźródeł o prądzie znamionowym od 16 do 75A można wykorzystać zapisy normy dla odbiorników o tym zakresie prądów, tj. normy PN-EN 61000-3-12:2012.

Spełnienie wymagań przez przyłączane mikroźródło powinno być potwierdzone przez producenta stosownym certyfikatem zgodności lub wynikami pomiarów wykonanych przez akredytowane laboratorium.

3.5. Asymetria napięć

Podstawę oceny poziomu asymetrii napięć stanowi stosunek wartości składowej przeciwnej napięcia do składowej zgodnej. Norma PN-EN 61000-2-2:2004 dopuszcza 2% składowej przeciwnej napięcia w odniesieniu do składowej zgodnej. Asymetrię wywołaną przez przyłączanie jednofazowych odbiorników lub źródeł energii można w praktyce oszacować przez stosunek mocy przyłączonego urządzenia jednofazowego do trójfazowej mocy zwarciowej w miejscu przyłączenia

$$k_{u2} = \frac{U_2}{U_1} 100\% = \frac{S_{max}}{S_{kV}} 100\% \quad (8)$$

4. BIBLIOGRAFIA

1. Ustawa o OZE. Projekt z 4 października 2012 r.
2. GIZ Stadler Ingo: Study about international standards for the connection of small distributed generators to the power grid, Developed by Cologne University of Applied Science to Deutsche Gesellschaft fur Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, June 2011.
3. VDE 4105:2011-08 Power generation systems connected to the low-voltage distribution network. Technical minimum requirements for the connection to the parallel operation with low-voltage distribution networks. FNN Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE

CONDITIONS OF THE MICROGENERATOR CONNECTION TO THE LOW VOLTAGE NETWORK TAKING INTO ACCOUNT VALID RULES – CONFERENCE PAPER

Key-words: microgeneration, low voltage network

Connection of microgenerators to the low voltage network affects the electrical energy quality. In the paper, the basic relationships have been led out to compute voltage deviations and fluctuations. The basic criteria of microgeneration connecting to low voltage network have been given. The valid rules and practices applied in Europe and Poland have been described.