

<https://doi.org/10.32056/KOMAG/KOMTECH2022.2>

Znaczenie badań i certyfikacji jednostek wytwórczych w ITG KOMAG dla zapewnienia bezpieczeństwa dostaw energii

Andrzej Figiel – Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Andrzej Niedworok – Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Marcin Talarek – Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Streszczenie: W rozdziale przedstawiono wymagania formalne i techniczne wynikające z przepisów Rozporządzenia Komisji (UE) 2016/631 z dnia 14 kwietnia 2016 r. ustanawiającego kodeks sieci dotyczący wymogów w zakresie przyłączenia jednostek wytwórczych do sieci (NC RfG). Wymóg stosowania w zakładzie wytwarzania energii wyłącznie jednostek wytwórczych, które spełniają wymagania techniczne określone w kodeksie sieci, jest jednym ze sposobów zapewnienia bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej. W rozdziale zaprezentowano również tryb i zasady potwierdzania zgodności jednostek wytwórczych z wymaganiami technicznymi na przykładzie badań i certyfikacji – procesów realizowanych w akredytowanym laboratorium badawczym i akredytowanej jednostce certyfikującej Instytutu KOMAG. Wskazano również na wybrane aspekty bezpieczeństwa, które powinny być uwzględnione w procesie projektowania jednostek wytwórczych energii.

Słowa kluczowe: jednostki wytwórcze, moduły wytwarzania energii, kodeks sieci, badania, certyfikacja

Impact of testing and certification of generating units at ITG KOMAG for ensuring the security of energy supplies

Abstract: This chapter presents the formal and technical requirements under the provisions of Commission Regulation (EU) 2016/631 of 14 April 2016 establishing a network code on requirements for grid connection of generators (NC RfG). The requirement to use at a generation facility only generating units that meet the technical requirements set out in the Network Code on Requirements for Generators (NC RfG) is one way to ensure safety of electricity supply. The chapter also presents the procedure and principles for confirming the compliance of generating units with technical requirements on the example of testing and certification - processes carried out at the accredited testing laboratory and accredited certification unit of the KOMAG Institute. It also points out selected safety aspects that should be taken into account in the design process of power generation units.

Keywords: power generation units, power generation modules, network code, testing, certification

1. Wprowadzenie

W celu zapewnienia uczciwych warunków konkurencji na rynku wewnętrznym energii elektrycznej, bezpieczeństwa systemu oraz integracji odnawialnych źródeł energii elektrycznej ustanowiono w Unii Europejskiej rozporządzenie Komisji (UE) 2016/631 z dnia 14 kwietnia 2016 r. ustanawiające kodeks sieci dotyczący wymogów w zakresie przyłączenia jednostek wytwórczych do sieci [1], tzw. kodeks NC RfG. Rozporządzenie dotyczy zakładów wytwarzania energii przez operatorów elektroenergetycznych systemów przesyłowych.

Dostosowanie się do wymagań kodeksu sieci, w szczególności ma na celu:

- utrzymanie bezpieczeństwa dostaw energii,
- ustanowienie niedyskryminujących zasad dotyczących dostępu do sieci w ramach wewnętrznego rynku energii elektrycznej,

- zobowiązanie organów regulacyjnych do opracowania obiektywnych i niedyskryminujących przepisów technicznych ustalających minimalne wymogi dotyczące projektu technicznego i eksploatacji modułów wytwarzania energii na potrzeby przyłączenia do systemu przesyłowego,
- ułatwienie integracji odnawialnych źródeł energii,
- przyłączanie do sieci urządzeń charakteryzujących się odpowiednią odpornością, tak aby eliminować zakłócenia (odpowiednia reakcja modułów wytwarzania energii na odchylenia od napięcia referencyjnego 1 dla jednostek względnych pu i częstotliwości znamionowej) oraz pomagać w zapobieganiu poważnym przerwom w dostarczaniu energii elektrycznej oraz umożliwiającymi łatwe przywrócenie działania systemu po jego załamaniu,
- ustalenie różnych poziomów wymagań dla poszczególnych typów jednostek wytwórczych, określonych w oparciu o poziom napięcia w punkcie przyłączenia oraz ich maksymalną moc wytwórczą.

Wszystkie nowe jednostki wytwórcze wprowadzane do stosowania w zakładach wytwarzania energii muszą spełniać wymagania kodeksu sieci NC RfG. Operatorzy systemu elektroenergetycznego wymagają potwierdzenia spełnienia wymagań zapewniających bezpieczeństwo użytkowania jednostek wytwórczych poprzez dostarczenie certyfikatów zgodności (certyfikatów NC RfG), wydanych przez akredytowane jednostki certyfikujące. Z tego powodu Instytut KOMAG zbudował infrastrukturę badawczą, wdrożył metody badawcze (Laboratorium Badań Stosowanych) oraz program certyfikacji jednostek wytwórczych (Zakład Badań Atestacyjnych Jednostka Certyfikująca) a następnie uzyskał akredytację Polskiego Centrum Akredytacji w odniesieniu do badań i certyfikacji jednostek wytwórczych w oparciu o kryteria kodeksu sieci NC RfG. Podjęte działania umożliwiają uzyskanie certyfikatów zgodności dla jednostek wytwórczych wymaganych przez operatorów systemu elektroenergetycznego w krajowej jednostce certyfikującej.

W dalszych częściach niniejszego rozdziału omówiono wymagania techniczne określone w kodeksie NC RfG, tryb i zasady potwierdzania zgodności jednostek wytwórczych z wymaganiami technicznymi przez akredytowane laboratorium badawcze i akredytowaną jednostkę certyfikującą Instytutu KOMAG oraz wybrane aspekty związane z bezpieczeństwem, które powinny być uwzględnione w procesie projektowania jednostek wytwórczych energii.

2. Wymagania dla modułów wytwarzania energii

Wymagania odnośnie do kodeksu sieci NC RfG dla jednostek wytwórczych różnią się w zależności od poziomu napięcia w punkcie przyłączenia oraz ich maksymalnej mocy wytwórczej. W kodeksie ustalono cztery typy jednostek wytwórczych (modułów wytwarzania energii), oznaczonych jako typy A, B, C i D (Tabela 1). Dla każdego typu określono wymagania, które są uwzględniane podczas projektowania i oceny zgodności jednostek wytwórczych.

Wartości graniczne poziomu napięcia i progów mocy maksymalnej dla modułów wytwarzania energii typu A, B, C, D

Tabela 1

Typ jednostki wytwórczej (moduł wytwarzania energii)	A	B	C	D
Napięcie w punkcie przyłączenia	< 110 kV	< 110 kV	< 110 kV	≥ 110 kV
Wartość graniczna progu mocy maksymalnej w Europie kontynentalnej	0,8 kW	1 MW	50 MW	75 MW
Wartość graniczna progu mocy maksymalnej w Polsce*	0,8 kW	0,2 MW	10 MW	75 MW
* Wartości zaproponowane przez krajowych operatorów systemów dystrybucyjnych i zatwierdzone przez Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki (URE) – Decyzja Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki DRE.WOSE.7128.184.3.2018.Z z dnia 16 lipca 2018 r.				

Kodeks sieci NC RfG ustala ogólne wymagania dla każdego typu nowych (wprowadzanych do obrotu handlowego i stosowania) modułów wytwarzania energii. W odniesieniu do modułów wytwarzania energii typu A mają zastosowanie wymagania na poziomie podstawowym, jaki jest niezbędny do zapewnienia zdolności wytwórczych przy ograniczonej, automatycznej reakcji i minimalnej regulacji przez operatora systemu. Ich spełnienie powinno zagwarantować brak znaczącego spadku wytwarzanej energii w określonych stanach pracy systemu, ograniczając tym samym do minimum możliwość wystąpienia zdarzeń krytycznych, jak również konieczność podejmowania szerokiej interwencji podczas zdarzeń krytycznych dla systemu.

Wymagania do modułów wytwarzania energii typu B dotyczą szerszego zakresu automatycznej, dynamicznej reakcji łagodzącej skutki zdarzeń systemowych oraz zapewniają wyższy poziom regulacji przez operatora systemu.

Spełnienie wymagań przez moduły wytwarzania energii typu C zapewnia przewidywalną, stabilną i dynamiczną reakcję w czasie rzeczywistym, zarówno w stanach normalnych, jak i awaryjnych, jaka jest niezbędna do eliminowania zakłóceń w systemie oraz odpowiedniego reagowania na nie, tak aby zapewnić bezpieczeństwo dostaw energii.

Wymagania mające zastosowanie do modułów wytwarzania energii typu D dotyczą instalacji wytwórczych przyłączonych pod sieci pod wyższym napięciem (nie niższym od 110 kV), mające wpływ na regulację i działanie całego systemu. Ich spełnienie powinno zapewniać stabilną pracę wzajemnie połączonych instalacji w ramach jednego systemu przez wykorzystanie potencjału wytwórczego w całej Europie.

W dalszej części rozdziału, zostaną omówione szczegółowe wymagania oraz weryfikacja ich spełnienia w toku badań i certyfikacji prowadzonej przez Instytut KOMAG, jakie powinny spełnić moduły wytwarzania energii typu A i typu B, przyłączone do sieci w sposób niesynchroniczny lub poprzez układy energoelektroniki i które posiadają jeden punkt przyłączenia do systemu przesyłowego, systemu dystrybucyjnego, w tym zamkniętego systemu dystrybucyjnego, lub systemu HVDC (sieci wysokiego napięcia prądu stałego – ang. high voltage direct current) modułu parku energii PPM (ang. Power Park Module).

W zakładzie wytwarzania energii można zastosować wyłącznie moduły wytwarzania energii, które spełniają wymagania kodeksu sieci NC RfG [2].

3. Badania i certyfikacja jednostek wytwórczych

Polskie Towarzystwo Przesyłu i Rozdziału Energii Elektrycznej (PTPiREE) - stowarzyszenie zrzeszające operatorów elektroenergetycznych systemów dystrybucyjnych i operatora systemu przesyłowego oraz pracowników branży energetycznej, w ramach wdrażania przepisów kodeksu sieci NC RfG opracowało dokument określający warunki i procedury wykorzystania certyfikatów w procesie przyłączenia modułów wytwarzania energii do sieci elektroenergetycznych [3].

Zgodnie z tym dokumentem certyfikacji podlegają:

- jednostki wytwórcze, zdefiniowane jako najmniejsze zestawy urządzeń i instalacji, które są w stanie generować energię elektryczną niezależnie (i samodzielnie) od innych jednostek rozmieszczonych w ramach modułu wytwarzania energii i/lub zakładu wytwarzania energii (np. w przypadku farmy wiatrowej będzie to pojedyncza turbina wiatrowa),
- komponenty, zdefiniowane jako część jednostki wytwórczej i/lub modułu wytwarzania energii i/lub zakładu wytwarzania energii, niezbędne do zapewnienia danej zdolności technicznej całego modułu wytwarzania energii.

Certyfikat komponentu jest wydawany przez upoważnioną jednostkę certyfikującą na podstawie badań typu.

Certyfikat jednostki wytwórczej jest wydawany przez upoważnioną jednostkę certyfikującą na podstawie:

- pełnego testu jednostki wytwórczej (podstawowa metoda),
- testu układu elektrycznego KPT - komponentów podlegających testowaniu, wchodzących w skład jednostki wytwórczej.

Dopuszcza się zastąpienie pełnego testu jednostki wytwórczej badaniem typu komponentów (badaniem układu elektrycznego komponentów), wybranych z uwzględnieniem technologii wytwarzania i charakterystyki źródła (panele fotowoltaiczne, turbina wiatrowa, turbogenerator).

W procesie certyfikacji modułów wytwarzania energii preferowane są rzeczywiste badania pomiarowe wielkości fizycznych związanych z daną właściwością, wykonywane przez akredytowane laboratorium badawcze, spełniające wymagania normy PN-EN ISO/IEC 17025:2018-02, którego zakres akredytacji obejmuje wykonywane badania. Wyniki i sposób przeprowadzenia badań pomiarowych są jednoznacznie określone i opisane w sprawozdaniu z badań, które na żądanie właściwego operatora systemu powinno być mu dostarczone.

Zakład Badań Atestacyjnych Jednostka Certyfikująca wdrożył program certyfikacji jednostek wytwórczych. Certyfikacja jednostek wytwórczych (modułów wytwarzania energii) jest realizowana w ramach akredytacji udzielonej przez Polskie Centrum Akredytacji (zakres akredytacji nr AC 023), według następujących dokumentów odniesienia:

- rozporządzenie Komisji (UE) 2016/631 z dnia 14 kwietnia 2016 r. ustanawiające kodeks sieci dotyczący wymogów w zakresie przyłączenia jednostek wytwórczych do sieci [1] - oznaczenie skrótowe dokumentu NC RfG,
- Wymogi Ogólnego Stosowania wynikające z rozporządzenia komisji UE 2016/631 z dnia 14 kwietnia 2016 r. ustanawiającego kodeks sieci dotyczący wymogów w zakresie przyłączenia jednostek wytwórczych do sieci - zatwierdzone decyzją Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki DRE.WOSE.7128.550.2.2018.ZJ z dnia 2 stycznia 2019 r. [4],
- norma PN-EN 50549-1:2019-02 [5].

Podstawą wydania certyfikatu zgodności dla jednostek wytwórczych są badania realizowane przez Laboratorium Badań Stosowanych Instytutu KOMAG, które jako pierwsze laboratorium w Polsce, uzyskało akredytację Polskiego Centrum Akredytacji (zakres akredytacji nr AB 665) w odniesieniu badań jednostek wytwórczych przyłączanych do sieci elektroenergetycznej, zdefiniowanych w kodeksie sieci NC RfG. Infrastruktura badawcza laboratorium umożliwia realizację kompleksowych badań jednostek wytwórczych, takich jak inwertery PV, inwertery współpracujące z turbinami wodnymi i wiatrowymi, w zakresie wymagany w programie certyfikacji zaakceptowanym przez Polskie Centrum Akredytacji.

Zakres badań, których przeprowadzenie jest konieczne do uzyskania certyfikatu zgodności dla jednostek wytwórczych typu A przedstawiono w tabeli 2.

Zakres badań jednostek wytwórczych typu A

Tabela 2

Lp.	Badanie	Wymagania kodeksu sieci NC RfG	Wymagania normy PN-EN 50549-1: 2019-02
1	Zdolność do zachowania połączenia z siecią oraz pracy w zakresach częstotliwości i okresach określonych w art. 13 ust. 1 lit a ppkt (i) kodeksu sieci NC RfG dla obszaru synchronicznego – Europa kontynentalna.	art. 13 ust. 1 lit a ppkt (i)	pkt 4.4.2
2	Zdolność wytrzymywania prędkości zmiany częstotliwości (ROCOF – ang. Rate of Change of Frequency), df/dt.	art. 13 ust. 1 lit b	pkt 4.5.2
3	Zdolność do aktywowania rezerwy mocy czynnej w odpowiedzi na wzrost częstotliwości w trybie LFSM-O (ang. Limited frequency sensitive mode – overfrequency), przy progu częstotliwości i ustawieniach statyzmu określonych przez właściwego OSP (Operator Systemu Przesyłowego).	art. 13 ust. 2 lit a, c, d, e, f, g	pkt 4.6.1
4	Maksymalny spadek zdolności do generacji mocy przy spadku częstotliwości	art. 13 ust. 4	pkt 4.4.3
5	Zaprzestanie generacji mocy czynnej w ciągu pięciu sekund od przyjęcia polecenia w porcie wejściowym (interfejs logiczny).	art. 13 ust. 6	pkt 4.11.1
6	Warunki, na jakich moduł wytwarzania energii ma zdolność do automatycznego przyłączenia się do sieci – zakresy częstotliwości, w których automatyczne przyłączenie jest dopuszczalne, odpowiednia zwłoka czasowa oraz maksymalny dopuszczalny gradient wzrostu generowanej mocy czynnej.	art. 13 ust. 7	pkt 4.10.2 i 4.10.3

4. Badania jednostek wytwórczych

W celu potwierdzenia zgodności jednostek wytwórczych z wymaganiami technicznymi kodeksu sieci NC RfG przeprowadzane są badania laboratoryjne [6, 7, 8]. Opis przebiegu badań, istotnych z punktu widzenia potwierdzenia spełnienia wymagań kodeksu sieci NC RfG, zaprezentowano na przykładzie badań przekształtnika sieciowego typu EW-400-100-1A-H, produkcji ENEL-PC. Badany trójfazowy przekształtnik sieciowy o znamionowej mocy pozornej 100 kVA jest zintegrowany z przekształtnikiem generatorowym typu PTN-SA-100-H, współpracującym z generatorem synchronicznym przeznaczonym do stosowania w elektrowniach wodnych. Zakres badań, wymaganych w programie certyfikacji jednostek wytwórczych, obejmował w szczególności badania zakresu częstotliwości roboczej, badania odporności na szybką zmianę częstotliwości (ROCOF) oraz badania odpowiedzi mocą na podwyższoną częstotliwość (LFSM-O).

4.1. Badania zakresu częstotliwości roboczej

Zgodnie z wymaganiami Rozporządzenia Komisji (UE) 2016/631 z dnia 14 kwietnia 2016 r. ustanawiającego kodeks sieci dotyczący wymogów w zakresie przyłączenia jednostek wytwórczych do sieci (NC RfG) – Artykuł 13 p. 1. a) – moduł wytwarzania energii musi mieć zdolność do zachowania połączenia z siecią oraz pracy w zakresach częstotliwości określonych w tabeli 3. Badania zakresu częstotliwości roboczej przeprowadzono w odniesieniu do wymagań p. 4.4.2 normy PN-EN 50549-1:2019-02 w punktach stanowiących granice zakresu częstotliwości.

Minimalne czasy, w których moduł wytwarzania energii musi być zdolny do pracy przy różnych częstotliwościach, odbiegających od wartości znamionowej, bez odłączenia od sieci

Tabela 3

Obszar synchroniczny	Zakres częstotliwości [Hz]	Czas pracy
Europa kontynentalna	47,5 ÷ 48,5	określa każdy OSP, ale nie mniej niż 30 minut
	48,5 ÷ 49,0	określa każdy OSP, ale nie mniej niż okres dla 47,5 ÷ 48,5
	49,0 ÷ 51,0	Nieograniczony
	51,0 ÷ 51,5	30 minut

W wyniku przeprowadzonych badań potwierdzono spełnienie wymagań zestawionych w tabeli 3. Warunki pracy obiektu badanego w trakcie testów oraz wyniki badań zaprezentowano w tabeli 4.

Wyniki badania zakresu częstotliwości roboczej

Tabela 4

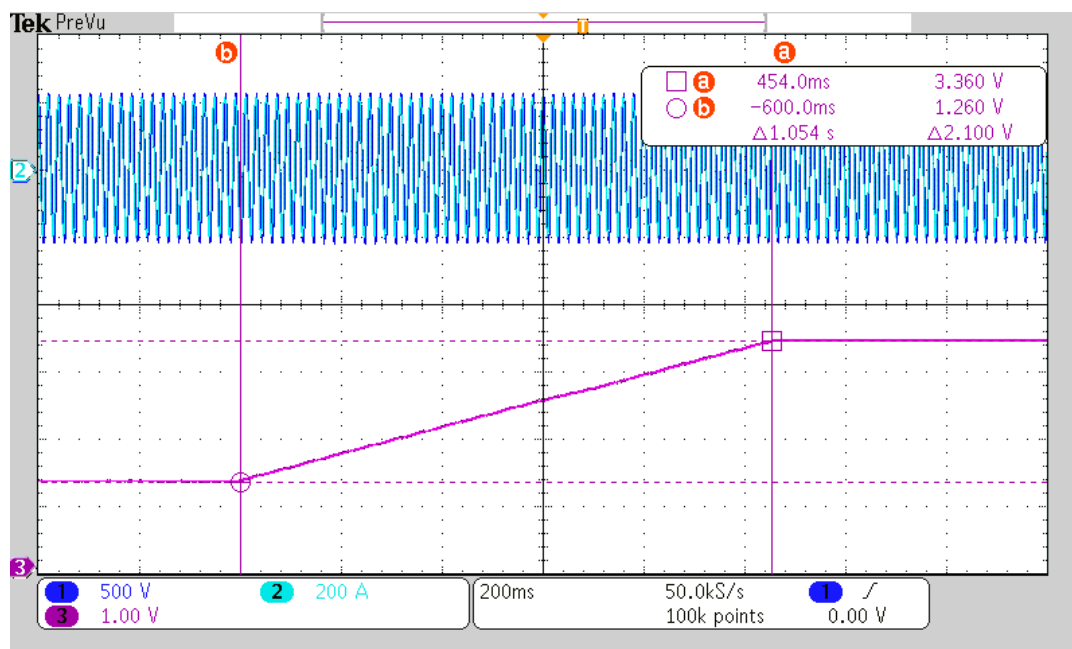
Sekwencja badania	Częstotliwość ¹⁾ f_{EUT} [Hz]	Napięcie ¹⁾ U_{EUT} [V]	Moc wyjściowa ¹⁾ P_{EUT} [kW]	Okres działania (zmierzony)	Spełnienie wymagań
Test 1	47,50	340,15	100,34	47 min	+
Test 2	48,51	339,91	100,31	64 min	+
Test 3	49,02	439,76	100,13	83 min	+
Test 4	51,50	439,44	100,02	45 min	+

¹⁾ Wartość uśredniona za okres 1 minuty,
 Test 1: $U_{EUT} = 0,85 U_n$; $f_{EUT} = 47,5$ Hz, $P_{EUT} = 1,00 S_n$,
 Test 2: $U_{EUT} = 0,85 U_n$; $f_{EUT} = 48,5$ Hz, $P_{EUT} = 1,00 S_n$,
 Test 3: $U_{EUT} = 1,1 U_n$; $f_{EUT} = 49,0$ Hz, $P_{EUT} = 1,00 S_n$,
 Test 4: $U_{EUT} = 1,1 U_n$; $f_{EUT} = 51,5$ Hz, $P_{EUT} = 1,00 S_n$.

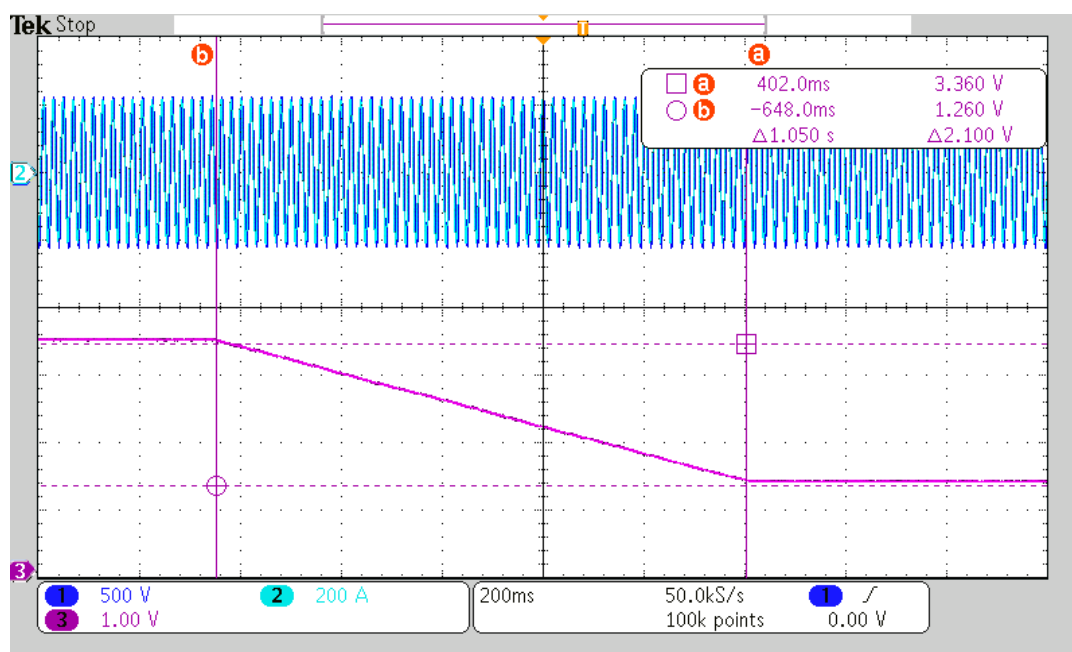
4.2. Badania odporności na szybką zmianę częstotliwości (ROCOF)

Zgodnie z wymaganiami Rozporządzenia Komisji (UE) 2016/631 z dnia 14 kwietnia 2016 r. ustanawiającego kodeks sieci dotyczący wymogów w zakresie przyłączenia jednostek wytwórczych do sieci (NC RfG) – Artykuł 13 p. 1. b) – w odniesieniu do zdolności wytrzymania prędkości zmiany częstotliwości, moduł wytwarzania energii musi mieć zdolność do zachowania połączenia z siecią oraz do pracy przy prędkościach zmiany częstotliwości do wartości określonej przez właściwego OSP, chyba, że odłączenie zostało spowodowane zadziałaniem zabezpieczenia dedykowanego do identyfikacji, poprzez analizę prędkości zmian częstotliwości, przy pracy wyspowej. Właściwy operator systemu, w porozumieniu z właściwym OSP, określa nastawy powyższego zabezpieczenia. Badania przeprowadzono w odniesieniu do wymagań p. 4.5.2 normy PN-EN 50549-1:2019-02. Odporność ROCOF oznacza, że jednostki wytwórcze w tej instalacji wytwórczej pozostają połączone z siecią dystrybucyjną i mogą działać, gdy częstotliwość w sieci dystrybucyjnej zmienia się z określoną szybkością [5].

Zarejestrowane podczas badań przykładowe oscylogramy prezentują zachowanie się jednostki wytwórczej przy zmianie częstotliwości z określoną szybkością (rysunki 1 i 2). Zestawienie uzyskanych wyników zaprezentowano w tabeli 5.



Rys. 1. Oscylogram zarejestrowany podczas badań ROCOF jednostki wytwórczej przy wzroście częstotliwości od 48,5 Hz do 51 Hz z szybkością +2,4 Hz/s



Rys. 2. Oscylogram zarejestrowany podczas badań ROCOF jednostki wytwórczej przy spadku częstotliwości od wartości 51 Hz do wartości 48,5 Hz z szybkością -2,4 Hz/s

Wyniki badań odporności na szybką zmianę częstotliwości (ROCOF)

Tabela 5

Napięcie U_{EUT} [V]		390,48		
Moc wyjściowa P_{EUT} [kW]		100,25		
Numer pomiaru	Częstotliwość f_{EUT} [Hz]		Zmiana częstotliwości [Hz/s]	Wynik badania
	Początkowa	Końcowa		
1	48,5	51,0	+2,0	Brak odłączenia od sieci
2	51,0	48,5	-2,0	Brak odłączenia od sieci
3	48,5	51,0	+2,4	Brak odłączenia od sieci
4	51,0	48,5	-2,4	Brak odłączenia od sieci
5	48,5	51,0	+2,6	Odłączenie od sieci
6	51,0	48,5	-2,6	Odłączenie od sieci

W wyniku przeprowadzonych badań potwierdzono odporność badanego przekształtnika sieciowego na szybką zmianę częstotliwości (ROCOF).

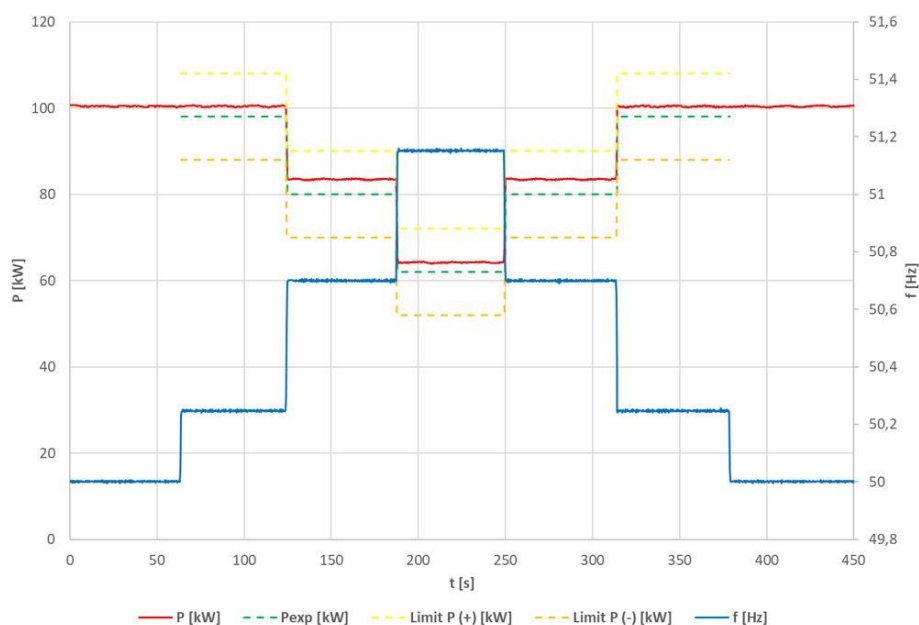
4.3. Badania odpowiedzi mocą na podwyższoną częstotliwość (LFSM-O)

Badania odporności mocą czynną na podwyższoną częstotliwość przeprowadzono w odniesieniu do wymagań p. 4.6.1 normy PN-EN 50549-1:2019-02 oraz art. 13, ust. 2 – NC RfG:

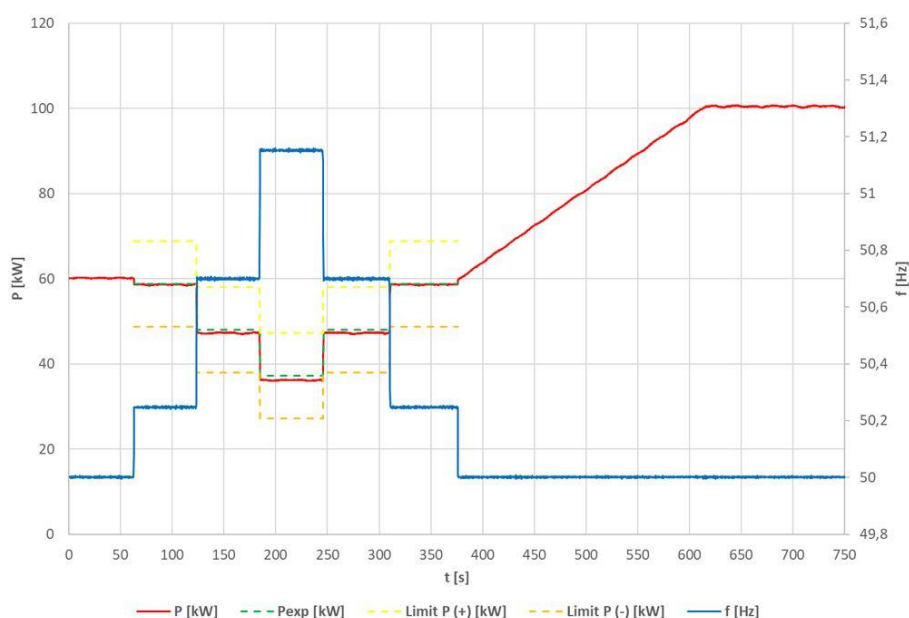
- moduł wytwarzania energii musi mieć zdolność do aktywowania rezerwy mocy czynnej w odpowiedzi na wzrost częstotliwości zgodnie z rysunkiem 1, przy progu częstotliwości i ustawieniach statyzmu określonych przez właściwego OSP,
- zamiast zdolności, o której mowa powyżej, właściwy OSP może zezwolić w ramach swojego obszaru regulacyjnego na automatyczne odłączenie i przyłączenie modułów wytwarzania energii typu A przy różnych poziomach częstotliwości, które w idealnej sytuacji powinny być rozłożone równomiernie, powyżej progu częstotliwości określonego przez właściwego OSP, w przypadku gdy jest w stanie wykazać wobec właściwego organu regulacyjnego, przy współpracy z właścicielami zakładów wytwarzania energii, że wywołuje to ograniczone skutki transgraniczne i umożliwia zachowanie takiego samego poziomu bezpieczeństwa pracy systemu we wszystkich stanach jego pracy,
- próg częstotliwości aktywacji trybu LFSM-O (f_1) musi się mieścić w zakresie 50,2 Hz – 50,5 Hz,
- ustawienia statyzmu (s) muszą się mieścić w zakresie 2 – 12%,
- moduł wytwarzania energii musi mieć zdolność do aktywowania mocy w odpowiedzi na zmianę częstotliwości przy jak najkrótszej zwłoce początkowej. Jeżeli powyższa zwłoka wynosi więcej niż dwie sekundy, właściciel zakładu wytwarzania energii musi ją uzasadnić, przedstawiając właściwemu OSP uzasadnienie techniczne,
- właściwy OSP może wymagać, aby po osiągnięciu minimalnego poziomu regulacji moduł wytwarzania energii miał zdolność do utrzymania pracy na tym poziomie lub dodatkowego zmniejszenia generowanej mocy czynnej,

- moduł wytwarzania energii musi mieć zdolność do stabilnej pracy podczas pracy w trybie LFSM-O. Kiedy tryb LFSM-O jest aktywny, nastawa LFSM-O jest nadrzędna w stosunku do wszystkich innych aktywowanych nastaw mocy czynnej.

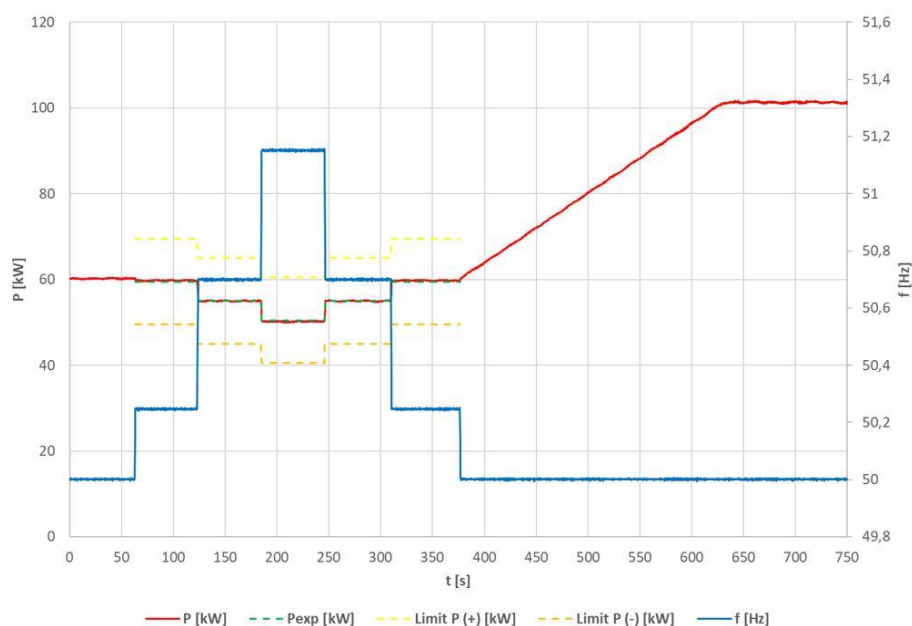
Wyniki badań zaprezentowano na rysunkach 3÷6.



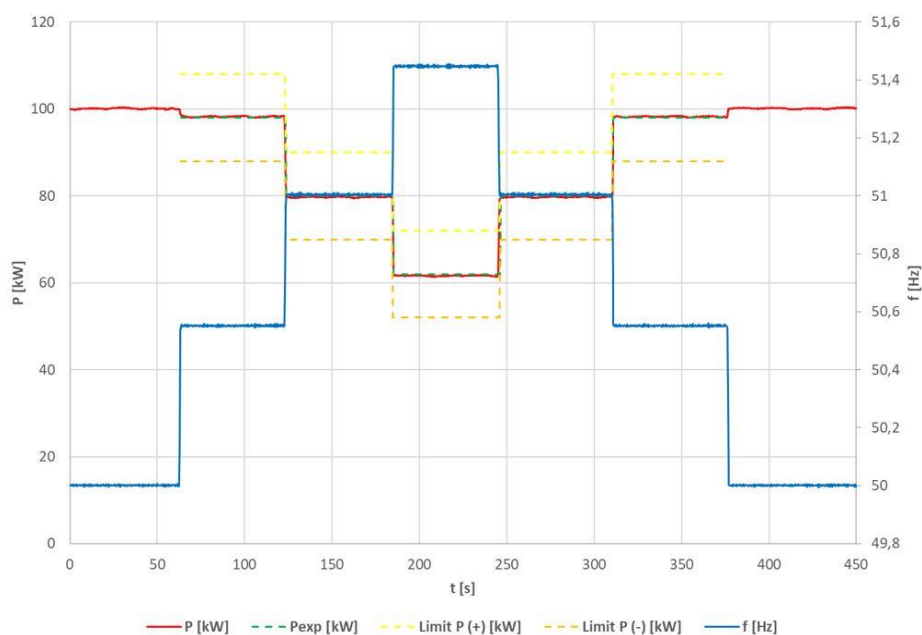
Rys. 3. Przebieg czasowy P_{EUT} , f_{EUT} dla badań odpowiedzi mocą czynną na podwyższoną częstotliwość ($f_1 = 50,2$ Hz, $f_{stop} =$ dezaktywowany, $s = 5\%$, $P_{set} > 80\% P_n$)



Rys. 4. Przebieg czasowy P_{EUT} , f_{EUT} dla badań odpowiedzi mocą czynną na podwyższoną częstotliwość ($f_1 = 50,2$ Hz, $f_{stop} =$ dezaktywowany, $s = 5\%$, $P_{set} = (40 \div 60)\% P_n$)



Rys. 5. Przebieg czasowy P_{EUT} , f_{EUT} dla badań odpowiedzi mocą czynną na podwyższonej częstotliwości ($f_1 = 50,2$ Hz, $f_{stop} =$ dezaktywowany, $s = 12\%$, $P_{set} = (40 \div 60)\% P_n$)



Rys. 6. Przebieg czasowy P_{EUT} , f_{EUT} dla badań odpowiedzi mocą czynną na podwyższonej częstotliwości ($f_1 = 50,5$ Hz, $f_{stop} =$ dezaktywowany, $s = 5\%$, $P_{set} > 80\% P_n$)

W wyniku przeprowadzonych badań potwierdzono zdolność badanego przekształtnika sieciowego do aktywacji odpowiedzi mocą czynną na podwyższonej częstotliwości przy programowalnym progu częstotliwości f_1 co najmniej między 50,2 Hz i 52 Hz włącznie, z programowalnym statyzmem w zakresie co najmniej od $s = 2\%$ do $s = 12\%$.

5. Podsumowanie

Wdrożenie przepisów Rozporządzenia Komisji (UE) 2016/631 z dnia 14 kwietnia 2016 r. ustanawiającego kodeks sieci dotyczący wymogów w zakresie przyłączenia jednostek wytwórczych do sieci (NC RfG) przyczynia się w sposób istotny do poprawy bezpieczeństwa i niezawodności krajowego systemu energetycznego. Wdrożenie zaleceń kodeksu sieci NC RfG stanowi wyzwanie dla producentów jednostek wytwórczych, którzy w pierwszej kolejności powinni uwzględnić wymagania kodeksu sieci na etapie projektowania. Potwierdzenie zgodności z wymaganiami kodeksu sieci NC RfG powierzono akredytowanym jednostkom certyfikującym. Wymóg uzyskania certyfikatu zgodności (certyfikatu NC RfG) dla nowych jednostek wytwórczych w pewnym sensie wymusił stworzenie infrastruktury badawczej i wdrożenie programów certyfikacji tych urządzeń. Wychodząc naprzeciw oczekiwaniom rynku Instytut KOMAG doprowadził do sytuacji, w której producent jednostek wytwórczych może skorzystać z usług krajowej instytucji oferującej badania pomiarowe oraz ocenę uzyskanych wyników w procesie certyfikacji. Doświadczenia uzyskane podczas badań jednostek wytwórczych, których wybrane wyniki zaprezentowano w niniejszym rozdziale, potwierdzają słuszność ustanowienia i stosowania wymagań kodeksu sieci.

Literatura

1. Rozporządzenie Komisji (UE) 2016/631 z dnia 14 kwietnia 2016 r. ustanawiające kodeks sieci dotyczący wymogów w zakresie przyłączenia jednostek wytwórczych do sieci - Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej 27.4.2016 L 112/4
2. General guidance on compliance verification – compliance testing and use of equipment certificates, ENTSO-E guidance document for national implementation of network codes on grid connection – compliance testing and application of equipment certificates in the verification proces, Revised clean version, 30 July 2021
3. Warunki i procedury wykorzystania certyfikatów w procesie przyłączenia modułów wytwarzania energii do sieci elektroenergetycznych, wersja 1.2 obowiązująca od 21.04.2021 r. – opracowanie Polskiego Towarzystwa Przesyłu i Rozdziału Energii Elektrycznej
4. Wymogi Ogólnego Stosowania wynikające z rozporządzenia komisji UE 2016/631 z dnia 14 kwietnia 2016 r. ustanawiającego kodeks sieci dotyczący wymogów w zakresie przyłączenia jednostek wytwórczych do sieci - zatwierdzone decyzją Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki DRE.WOSE.7128.550.2.2018.ZJ z dnia 2 stycznia 2019 r.
5. Norma PN-EN 50549-1:2019-02 Wymagania dla instalacji wytwórczych przeznaczonych do równoległego przyłączania do publicznych sieci dystrybucyjnych. Część 1: Przyłączanie do sieci dystrybucyjnej nN. Instalacje wytwórcze aż do typu B włącznie
6. Chmielowiec K., Topolski Ł., Piszczek A., Hanzelka Z.: Charakterystyki inwerterów fotowoltaicznych w świetle zapisów kodeksu sieciowego oraz wymagań polskich operatorów systemów dystrybucyjnych, Przegląd Elektrotechniczny, R. 97 NR 4/2021, ISSN 0033-2097
7. Paál E., Tatai Z.: "Grid Connected Inverters influence on power quality of Smart Grid," Proceedings of 14th International Power Electronics and Motion Control Conference EPE-PEMC 2010, Ohrid, 2010, pp. T6-35-T6-39, doi: 10.1109/EPEPEMC.2010.5606890
8. Yu-Jen L., Pei-Hsiu L., Hong-Hsun L.: Grid-Connected PV Inverter Test System for Solar Photovoltaic Power System Certification, IEEE PES General Meeting | Conference & Exposition, National Harbor, 201