

**Maria Gołębiowska**  
tłumacz przysięgły języka angielskiego  
TP/2403/06

ul. Ogrodowa 23  
59-220 Legnica  
tel.: 505 911 716

## TŁUMACZENIE UWIERZYTELNIONE Z JĘZYKA ANGIELSKIEGO

---

[Logo]: DNV

**SOFAR 255KTL-HV**

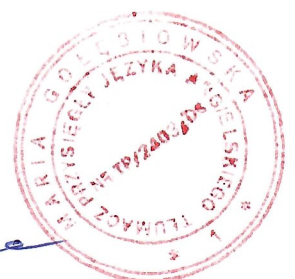
### **Raport z certyfikacji Wymagania kodeksu sieci dla jednostek wytwarzania energii typu A, B, C, D – Polska**

**Shenzhen SOFARSOLAR Co., Ltd.**

**Nr raportu: CR-GCC-DNVGL-SE-0124-08256-A072-0**

**Data: 26 kwietnia 2022 r.**

*Maria Gołębiowska*



[Logo]: DNV

Nazwa projektu: SOFAR 255KTL-HV  
Tytuł raportu: Raport z certyfikacji  
Wymagania kodeksu sieci dla jednostek wytwarzania energii typu A, B, C, D – Polska  
Klient: Shenzhen SOFARSOLAR Co., Ltd.  
11/F., Gaoxinqi Technology Building, No.67 Area,  
Xingdong Community, Xin'an Sub-district, Bao'an District, Shenzhen City, Chiny  
Osoba kontaktowa: Hui Wang  
Email: wanghui@sofarsolar.com  
Data wydania: 26 kwietnia 2022 r.  
Nr projektu: 10305583  
Nr raportu: CR-GCC-DNVGL-SE-0124-08256-A072-0  
Obowiązująca umowa (umowy) stanowiąca podstawę sporządzenia niniejszego raportu: (218984-SFA-20210726)

DNV Energy Systems  
Renewables Certification  
Germanischer Lloyd  
Industrial Services GmbH  
Brooktorkai 18  
20457 Hamburg  
Niemcy  
Tel.: +49 40 36149-0

Cel: Weryfikacja zgodności z kodeksem sieci falownika fotowoltaicznego SOFAR 255KTL-HV firmy SOFARSOLAR

|                                     |                                |                                    |  |
|-------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|--|
| Sporządził:                         | Aleksandra Voss                | Sprawdził i zatwierdził:           | Podpisany cyfrowo przez: Artur Zbroński      |
| [Podpis czytelny]: A. Voss          | 2022.04.27 09:41:08<br>+02'00' | [Podpis czytelny]: Zbroński        | Zbroński<br>Data: 2022.04.27 08:45:34+02'00' |
| Aleksandra Voss<br>Starszy Inżynier |                                | Artur Zbroński<br>Starszy Inżynier |  |

Copyright © DNV 2022. Wszelkie prawa zastrzeżone. O ile nie uzgodniono inaczej na piśmie: (i) Niniejsza publikacja, ani żadna jej część, nie może być kopiowana, powielana ani przekazywana w jakiegokolwiek formie lub przy użyciu jakichkolwiek środków, zarówno cyfrowo, jak i w inny sposób; (ii) Klient zobowiązany jest do zachowania treści niniejszej publikacji w poufności; (iii) Osoby trzecie nie powinny opierać się na jej treści; oraz (iv) DNV nie zobowiązuje się do zachowania należytej staranności wobec jakiegokolwiek osoby trzeciej. Odwoływanie się do części niniejszej publikacji, które może prowadzić do błędnej interpretacji, jest zabronione.

Dystrybucja przez DNV:

OTWARTY. Nieograniczona dystrybucja wewnętrzna i zewnętrzna.

Wyłącznie do wykorzystania WEWNĘTRZNEGO.  
Wewnętrzny dokument DNV.

POUFNY. Dystrybucja w ramach DNV zgodnie z obowiązującą umową.\*

TAJNY. Dostęp wyłącznie dla osób upoważnionych.

\*Określony zakres dystrybucji: DNV Renewables Certification

Słowa kluczowe:

GCC, DNVGL-SE-0124, moduł wytwarzania energii, moduł parku energii, certyfikacja sprzętu, RfG, falownik fotowoltaiczny, falownik PV, Polska

| Wyd. nr | Data       | Powód wydania    | Sporządził:     | Sprawdził i zatwierdził: |
|---------|------------|------------------|-----------------|--------------------------|
| 0       | 2022-04-26 | Pierwsze wydanie | Aleksandra Voss | Artur Zbroński           |

*Mania Cyfrowa*

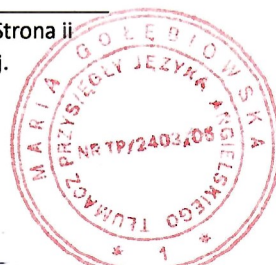


[Logo]: DNV

## Spis treści

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1   | STRESZCZENIE   | 1  |
| 2   | KRYTERIA OCENY   | 1  |
| 3   | ZAKRES OCENY   | 2  |
| 3.1 | Informacje ogólne  | 2  |
| 3.2 | Paragrafy NC RfG /D/ wchodzące w zakres oceny  | 2  |
| 4   | INFORMACJE OGÓLNE  | 2  |
| 4.1 | Schematyczny opis jednostki wytwarzania energii  | 2  |
| 4.2 | Dane techniczne głównych komponentów   | 2  |
| 4.3 | Wykonane badania, konfiguracja badań   | 4  |
| 5   | WERYFIKACJA ZGODNOŚCI Z KODEKSEM SIECI   | 5  |
| 5.1 | Zakres częstotliwości  | 5  |
| 5.2 | Zdolność wytrzymania prędkości zmiany częstotliwości (RoCoF)   | 5  |
| 5.3 | Zaprzestanie generacji mocy czynnej  | 6  |
| 5.4 | Zdalna regulacja mocy czynnej  | 7  |
| 5.5 | Tryb pracy modułu wytwarzania energii, w którym generowana moc czynna zmniejsza się w odpowiedzi na wzrost częstotliwości systemu powyżej określonej wartości (LFSM-O) | 8  |
| 5.6 | Tryb pracy modułu wytwarzania energii, w którym generowana moc czynna zwiększa się w następstwie spadku częstotliwości systemu poniżej określonej wartości (LFSM-U)    | 12 |
| 5.7 | Pozostanie w pracy podczas zwarcia   | 14 |
| 5.8 | Wprowadzenie szybkiego prądu zwarciovego   | 16 |
| 5.9 | Odbudowa mocy czynnej po zwarciu   | 21 |
| 6   | WARUNKI  | 22 |
| 7   | WNIOSKI  | 22 |
| 8   | LITERATURA   | 23 |

*Monika Górecka*





[Logo]: DNV

## 1. STRESZCZENIE

Celem niniejszego raportu certyfikacyjnego jest udokumentowanie oceny zgodności z kodeksem sieci następującej jednostki wytwarzania energii: falownik SOFAR 255KTL-HV firmy SofarSolar, określonej w punkcie 4.2 niniejszego raportu z certyfikacji.

Ocenę przeprowadzono na podstawie następujących sprawozdań z badań pomiarowych i informacji:

- Sprawozdanie z badań: 10305241-SHA-TR-12-A, akredytacja zgodnie z normą ISO17025 /1/
- Informacje producenta przekazane przez SOFARSOLAR /6/

Badania przeprowadzono na urządzeniu SOFAR 255KTL-HV. Sprawozdanie z badań /1/ oraz odnośne informacje producenta /6/ zostały poddane ocenie zgodnie z kryteriami oceny zawartymi w przepisach wymienionych w punkcie 2. Przekazano również informacje uzupełniające w ramach korespondencji z producentem /9/.

Wynik oceny został przedstawiony na końcu niniejszego raportu z certyfikacji i stanowi rekomendację w ramach ostatecznej decyzji o certyfikacji.

## 2. KRYTERIA OCENY

Ocenę przeprowadzono na podstawie następujących kryteriów w zakresie określonym punkcie 3.

- /A/ Specyfikacja usługi DNVGL-SE-0124: Certyfikacja zgodności z kodeksem sieci, DNV GL, marzec 2016 r.
- /B/ Warunki i procedury wykorzystania certyfikatów w procesie przyłączenia modułów wytwarzania energii do sieci elektroenergetycznych, wersja 1.2, PTPIREE, z dnia 28 kwietnia 2021 r. (dalej: PTPIREE 2021-04).
- /C/ 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 (NC RfG), PSE S.A., z dnia 18 grudnia 2018 r. zatwierdzone Decyzją Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki DRE.WOSE.7128.550.2.2018.ZJ z dnia 2 stycznia 2019 r. (dalej: PSE 2018-12).
- /D/ Rozporządzenie Komisji (UE) 2016/631 z dnia 14 kwietnia 2016 r. ustanawiające kodeks sieci dotyczący wymogów w zakresie przyłączenia jednostek wytwórczych do sieci, opublikowane w Dzienniku Urzędowym Unii Europejskiej L112/1, Komisja Europejska, 27.04.2016. (dalej: NC RfG).





[Logo]: DNV

### 3. ZAKRES OCENY

#### 3.1 Informacje ogólne

Ocena obejmuje wymagania mające zastosowanie do modułów parku energii (PPM) typu A-B-C-D, dla których zgodnie z Polskimi przepisami dotyczącymi certyfikacji /B/ wymagany jest certyfikat sprzętu, jak szczegółowo określono w punkcie 3.2. Ocena obejmuje wymagania pełne zdefiniowane w sposób wyczerpujący w NC RfG /D/ oraz wymagania niepełne, które zostały doszczegółowione na podstawie przepisów krajowych dla Polski zawartych w PSE 2018-12 /C/.

Zakres oceny obejmuje:

- Kompletność dokumentacji i badań pomiarowych
- Wiarygodność otrzymanej dokumentacji
- Zgodność warunków badania dokumentów z tymi wymienionymi w punkcie 2
- Ocenę wyników badań pomiarowych w zakresie wymogów dokumentów wymienionych w punkcie 2.

#### 3.2 Paragrafy NC RfG /D/ wchodzące w zakres oceny

Tabela 3-1 Zakres oceny i wyniki

| Parametr   | NC RfG /D/           | PSE 2018-12 /C/       | Typ A | Typ B | Typ C | Typ D | Wynik oceny (**) |
|--|----------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|------------------|
| Zakres częstotliwości  | 13.1 (a)             | 13.1 (a)(i)           | x     | x     | x     | x     | Zgodny           |
| Zdolność wytrzymania prędkości zmiany częstotliwości (RoCoF), df/dt  | 13.1 (b)             | 13.1 (b)              | x     | x     | x     | x     | Zgodny           |
| Zdalne zaprzestanie generacji mocy czynnej   | 13.6                 | 13.6                  | x     | x     |       |       | Zgodny           |
| Zdalna regulacja mocy czynnej  | 14.2                 | 14.2 (b)              |       | x     |       |       | Zgodny           |
| Tryb pracy modułu wytwarzania energii, w którym generowana moc czynna zmniejsza się w odpowiedzi na wzrost częstotliwości systemu powyżej określonej wartości (LFSM-O) | 13.2(*)              | 13.2 (a), (b), (f)    | x     | x     | x     | x     | Zgodny           |
| Tryb pracy modułu wytwarzania energii, w którym generowana moc czynna zwiększa się w następstwie spadku częstotliwości systemu poniżej określonej wartości (LFSM-U)    | 15.2 (c)             | 15.2 (c)(i)           |       |       | x     | x     | Zgodny           |
| Zdolność wytrzymania zapadów napięcia (FRT) dla przyłączy poniżej 110 kV   | 14.3                 | 14.3 (a)(i), (b)      |       | x     | x     | x     | Zgodny           |
| Zdolność wytrzymania zapadów napięcia (FRT) dla przyłączy powyżej 110 kV   | 16.3                 | 16.3 (a)(i), (c)      |       |       |       | x     | Zgodny           |
| Wprowadzenie szybkiego prądu zwarcowego, zwarcia symetryczne i niesymetryczne  | 20.2(b), (c) 21.3(e) | 20.2(b), (c) 21.3 (e) |       | x     | x     | x     | Zgodny           |
| Odtwarzanie mocy czynnej po usunięciu zwarcia  | 20.3                 | 20.3 (a)              |       | x     | x     | x     | Zgodny           |

(\*) Art. 13 ust. 2 pkt b) ma zastosowanie wyłącznie do modułów parku energii typu A zgodnie z NC RfG.

(\*\*) Należy również zwrócić uwagę na odnośne warunki zgodności określone w punkcie 6.

### 4. INFORMACJE OGÓLNE

#### 4.1 Schematyczny opis jednostki wytwarzania energii

Falownik fotowoltaiczny SOFAR 255KTL-HV firmy SofarSolar służy do konwersji energii elektrycznej generowanej przez moduły fotowoltaiczne (DC – prąd stały) na trójfazowy prąd zmienny (AC). Urządzenie pracuje przy znamionowym napięciu wyjściowym 800 V i wyjściowej znamionowej mocy czynnej 255 kW.

Dane elektryczne jednostki wytwarzania energii podsumowano w następnym punkcie.

#### 4.2 Dane techniczne głównych komponentów

Poniżej przedstawiono dane techniczne głównych komponentów urządzenia SOFAR 255KTL-HV zgodnie z informacjami przekazanymi przez producenta /6/.



[Logo]: DNV

**Tabela 4-1 Specyfikacje ogólne**

| Jednostka wytwarzania energii | SOFAR 255KTL-HV |
|-------------------------------|-----------------|
| Liczba faz                    | 3               |
| Znamionowa moc pozorna        | 255 kVA         |
| Znamionowa moc czynna         | 255 kW          |
| Napięcie znamionowe AC        | 800 Vac         |
| Częstotliwość znamionowa      | 50Hz            |

**Tabela 4-2 Wejście DC**

| Jednostka wytwarzania energii | SOFAR 255KTL-HV |
|-------------------------------|-----------------|
| Min. napięcie MPPT            | 500 Vdc         |
| Maks. napięcie MPPT           | 1500 Vdc        |
| Maks. napięcie wejściowe DC   | 1500 Vdc        |
| Maks. prąd wejściowy DC       | 12 x 30 A       |

**Tabela 4-3 Wersja oprogramowania**

| Jednostka wytwarzania energii | SOFAR 255KTL-HV |
|-------------------------------|-----------------|
| Wersja oprogramowania         | V000001         |

#### Transformator jednostki

Transformator nie jest częścią jednostki wytwarzania energii, dlatego nie został uwzględniony w ocenie.

#### Ochrona sieci

Ochrona nie jest objęta zakresem certyfikacji.

#### Ustawienia regulacji

Interfejs regulacji pozwala na wybór różnych zestawów parametrów w polu „Kod kraju”, które zawierają domyślne ustawienia na podstawie określonych kodeksów sieci i wymogów obowiązujących w danym kraju. Dla celów certyfikacji ocenie w zakresie funkcji objętych zakresem certyfikacji został poddany zestaw parametrów oznaczony „12” na interfejsie wyświetlacza. Ustawienia są domyślnie ustawione zgodnie z wymaganiami dla typu D, co oznacza, że będą one również zgodne z wymaganiami dla typu A, B i C.

Należy zauważyć, że zgodność może zostać osiągnięta również przy zastosowaniu innych zestawów parametrów i ustawień regulacji, jednak zmiany ustawień regulacji mają wpływ na zachowanie regulacji falownika, które z kolei może mieć wpływ na zgodność. Ostateczne ustawienia winny zostać uzgodnione na poziomie projektu w porozumieniu z właściwym operatorem systemu.

Ustawienia zabezpieczeń nie zostały uwzględnione w ocenie. Ponieważ mogłyby one wpływać na zgodność ocenianych funkcji, powinny zostać poddane dalszej ocenie na poziomie projektu.

*Monie Licholund*





[Logo]: DNV

### 4.3 Wykonane badania, konfiguracja badań

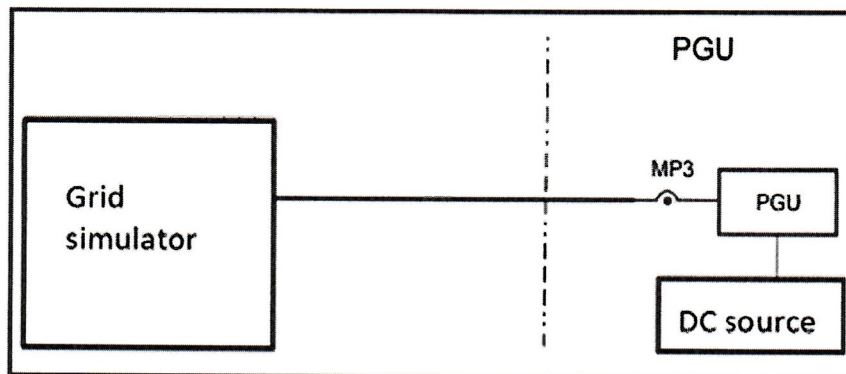
Badania dla celów niniejszej oceny przedstawione w sprawozdaniu z badań /1/ wykonano w okresie od 21 października 2021 r. do 23 lutego 2022 r. w laboratorium SOFARSOLAR w Shenzhen w Chinach. Badania przeprowadzono zgodnie z indywidualnie opracowanym planem badań /2/ sporządzonym przez DNV Renewable Certification z powodu braku standardowych wytycznych dotyczących badań dla polskich wymagań. Plan badań został opracowany na podstawie wymagań polskiego kodeksu sieci, jak określono w punkcie 3.

Wszystkie badania przeprowadzono zgodnie z akredytacją ISO-17025 na urządzeniu SOFAR 255KTL-HV.

Tabela 4-4 Wykonane badania opisane w sprawozdaniu z badań /1/

| Badanie  | Sprawozdanie z badań |
|--|----------------------|
| Zakres częstotliwości  | Punkt 3.1 w /1/      |
| Zdolność wytrzymania prędkości zmiany częstotliwości (RoCoF), $df/dt$  | Punkt 3.2 w /1/      |
| Zdalne zaprzestanie generacji mocy czynnej   | Punkt 3.3 w /1/      |
| Zdalna regulacja mocy czynnej  | Punkt 3.4 w /1/      |
| Tryb pracy modułu wytwarzania energii, w którym generowana moc czynna zmniejsza się w odpowiedzi na wzrost częstotliwości systemu powyżej określonej wartości (LFSM-O) | Punkt 3.5 w /1/      |
| Tryb pracy modułu wytwarzania energii, w którym generowana moc czynna zwiększa się w następstwie spadku częstotliwości systemu poniżej określonej wartości (LFSM-U)    | Punkt 3.6 w /1/      |
| Zdolność do pozostania w pracy podczas zwarcia (FRT)   | Punkt 4 w /1/        |
| Wprowadzenie szybkiego prądu zwarciovowego, zwarcia symetryczne i niesymetryczne   | Punkt 4 w /1/        |
| Odtwarzanie mocy czynnej po usunięciu zwarcia  | Punkt 4 w /1/        |

Badania przeprowadzono z wykorzystaniem zasilania prądem stałym (DC) do symulacji modułu fotowoltaicznego oraz symulatora sieci do symulacji sieci energetycznej i sieci przesyłowej. Rysunek 4-1 przedstawia uproszczony schemat konfiguracji badania. Pomiary zostały wykonane w punkcie MP3 na poziomie niskiego napięcia.



Rysunek 4-1 Schemat jednoliniowy konfiguracji badania

[Legenda do rysunku:

PGU – jednostka wytwarzania energii

Grid symulator – symulator sieci

DC source – źródło prądu stałego (DC)]

*Moniecki*





[Logo]: DNV

## 5 WERYFIKACJA ZGODNOŚCI Z KODEKSEM SIECI

### 5.1 Zakres częstotliwości

#### 5.1.1 Wprowadzenie

Wymagania dotyczące zakresu częstotliwości określone dla Europy kontynentalnej w art. 13 ust. 1 lit. a) ppkt i NC RfG /D/ oraz krajowej specyfikacji dla Polski PSE 2018-12 /C/ zostały podsumowane w Tabeli 5-1.

**Tabela 5-1 Zakres częstotliwości: wymagania**

| Zakres częstotliwości | Wymagany czas pracy |
|-----------------------|---------------------|
| 47,5 Hz-48,5 Hz       | 30 min.             |
| 48,5 Hz-49,0 Hz       | 30 min.             |
| 49,0 Hz-51,0 Hz       | Nieograniczony      |
| 51,0 Hz-51,5 Hz       | 30 min.             |

#### 5.1.2 Konfiguracja i opis badania

Badania przeprowadzono z wykorzystaniem zasilania prądem stałym (DC) do symulacji modułu fotowoltaicznego oraz symulatora sieci do symulacji sieci energetycznej i sieci przesyłowej.

Badania przedstawione w punkcie 3.4 sprawozdania z badań poddane ocenie /1/ przeprowadzono zgodnie z indywidualnie opracowanym planem badań /2/ na podstawie normy EN 50549-10:2021 (projekt), punkt 5.2.1.

Celem badania było potwierdzenie, że testowany sprzęt jest w stanie pozostać podłączony do sieci i pracować w określonych zakresach częstotliwości. Wartość zadana częstotliwości roboczej została ustawiona na określone wartości, a działanie obserwowano co najmniej przez czas określony w Tabeli 5-2.

#### 5.1.3 Podsumowanie oceny

Tabela 5-2 przedstawia badany czas pracy określony w sprawozdaniu z badań /1/. W tym czasie poddany badaniu falownik nie odłączył się od sieci, ani nie wykazywał oznak niestabilności.

**Tabela 5-2 Badania zakresu częstotliwości**

|                | Wartość częstotliwości | Czas pracy | Czynnik mocy | Wykonane badania /1/  |
|----------------|------------------------|------------|--------------|-----------------------|
| f <sub>1</sub> | 47,5 Hz                | 30 min.    | 1            | >36 min. przy 47,5 Hz |
| f <sub>2</sub> | 51,5 Hz                | 30 min.    | 1            | >39 min. przy 51,5 Hz |

Badanie dla zakresu 48,5-49 Hz nie zostało wykonane, ponieważ badaniu poddano gorsze parametry (47,5 Hz), a wymagany czas pracy jest ten sam. Badanie dla zakresu 49-51 Hz nie zostało wykonane, ponieważ jest to normalny zakres pracy i wszystkie pozostałe badania zostały wykonane w tym zakresie częstotliwości.

Na podstawie przeprowadzonych badań można potwierdzić, że zdolność falownika do zachowania połączenia z siecią oraz pracy w zakresach częstotliwości i okresach jest zgodna z określonymi wymaganiami.

### 5.2 Zdolność wytrzymania prędkości zmiany częstotliwości (RoCoF)

#### 5.2.1 Wprowadzenie

W odniesieniu do zdolności wytrzymania prędkości zmiany częstotliwości określonej w art. 13 ust. 1 lit. b) NC RfG /D/ oraz krajowej specyfikacji dla Polski PSE 2018-12 /C/, jednostka wytwarzania energii musi mieć zdolność do zachowania połączenia z siecią oraz do pracy przy prędkościach zmiany częstotliwości nie większych niż:

$$\left| \frac{df_{max}}{dt} \right| = 2,0 \left[ \frac{Hz}{s} \right].$$

gdzie wartość ta mierzona byłaby jako wartość średnia w przesuwającym oknie pomiarowym o długości 500 ms.

*Marysię Kukuła*



[Logo]: DNV

Wymóg  $\left| \frac{df_{max}}{dt} \right| = 2.0 \left| \frac{Hz}{s} \right|$  jest wymaganiem minimalnym. W przypadku, gdy wykorzystywana technologia umożliwia połączenie z siecią oraz pracę przy większych wartościach prędkości zmian częstotliwości, nie jest dopuszczalne ograniczanie pracy jednostki wytwarzania energii do wielkości zdefiniowanej powyżej, o ile nie wynika to z uzgodnionej nastawy zabezpieczenia od utraty sieci (ang. Lost of Mains – LOM).

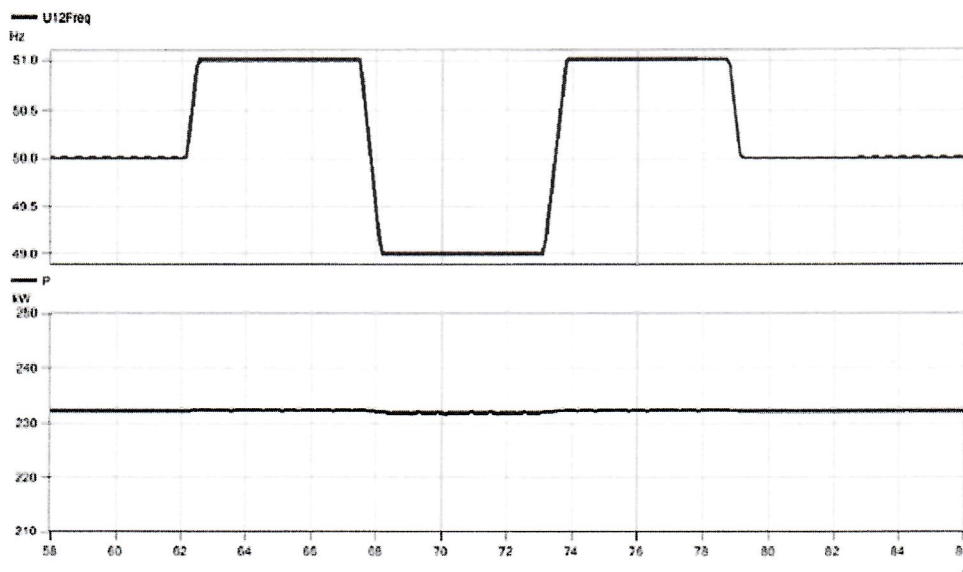
### 5.2.2 Konfiguracja i opis badania

Badania przeprowadzono z wykorzystaniem zasilania prądem stałym (DC) do symulacji modułu fotowoltaicznego oraz symulatora sieci do symulacji sieci energetycznej i sieci przesyłowej.

Badania przedstawione w punkcie 3.2 sprawozdania z badań /1/ dotyczące zdolności wytrzymania prędkości zmiany częstotliwości przeprowadzono zgodnie z indywidualnie opracowanym planem badań /2/ na podstawie normy EN 505499-10:2021 (projekt), punkt 5.3.1. Badania przeprowadzono jako serię trzech skoków częstotliwości, jak przedstawiono na rysunku 5-1, z których każdy wykonany był przy prędkości zmiany częstotliwości co najmniej 2 Hz/s.

### 5.2.3 Podsumowanie oceny

Badania zdolności wytrzymania prędkości zmiany częstotliwości opisane w sprawozdaniu z badań /1/ potwierdzają zdolność do pozostania w pracy podczas dryfu częstotliwości od 51 Hz do 49 Hz przy gradientach co najmniej  $\pm 2$  Hz/s. Jak pokazano na rysunku 5-1, falownik pozostaje w pracy przy gradientach częstotliwości do  $+2,834/-2,946$  Hz/s zachowując stabilność działania. Można potwierdzić, że dolność falownika do wytrzymania prędkości zmiany częstotliwości jest zgodna z określonymi wymaganiami.



Rysunek 5-1 Wyniki badania zdolności wytrzymania prędkości zmiany częstotliwości (RoCoF) z uwzględnieniem częstotliwości sieci (górny wykres) i mocy wyjściowej (dolny wykres) /1/

## 5.3 Zaprzestanie generacji mocy czynnej

### 5.3.1 Wprowadzenie

Wymagania ogólne w zakresie zaprzestania generacji mocy czynnej określa art. 13 ust. 6 NC RfG /D/. Dalsze specyfikacje dla Polski określa art. 13 ust. 6 PSE 2018-12 /C/. Jednostka musi być wyposażona w interfejs logiczny (port wejściowy), aby umożliwić zaprzestanie generacji mocy czynnej w ciągu pięciu sekund od przyjęcia polecenia w porcie wejściowym.

*Monika...*





[Logo]: DNV

Wymaga się od jednostki wytwarzania energii przystosowania do zdalnego sterowania obiektem przez właściwego operatora systemu (OS) w zakresie zaprzestania generacji mocy czynnej. Standardy telekomunikacyjne określa właściwy OS. Właściwy OS musi mieć również prawo do określenia wymagań dla sprzętu w celu umożliwienia zdalnego sterowania takim obiektem.

Ponieważ w kryteriach oceny zastosowanych dla celów tej certyfikacji wymienionych w art. 13 ust. 6 PSE 2018-12 /C/ nie podano określonych standardów komunikacyjnych, zgodność z wszelkimi standardami telekomunikacyjnymi należy poddać dalszej ocenie na poziomie projektu.

### 5.3.2 Konfiguracja i opis badania

Badania przeprowadzono z wykorzystaniem zasilania prądem stałym (DC) do symulacji modułu fotowoltaicznego oraz symulatora sieci do symulacji sieci energetycznej i sieci przesyłowej.

Badania przedstawione w punkcie 3.3 sprawozdania z badań /1/ dotyczące zaprzestania generacji mocy czynnej przeprowadzono zgodnie z indywidualnie opracowanym planem badań /2/. Falownik był obsługiwany zdalnie w celu dokonania oceny jego zdolności do zaprzestania generacji mocy czynnej w ciągu 5 sekund. Do sterowania zdalnego wykorzystano wejście RS485 (Modbus) falownika. Sygnał zaprzestania generacji mocy czynnej został wysłany za pośrednictwem PC. Okres czasu został zmierzony od momentu przyjęcia polecenia zaprzestania generacji mocy czynnej do momentu redukcji mocy czynnej do zera.

### 5.3.3 Podsumowanie oceny

Wyniki badania przedstawione w sprawozdaniu z badań /1/ wykazują zdolność falownika do redukcji mocy czynnej w ciągu 0,841 sekundy od przyjęcia zdalnego sygnału polecającego zaprzestanie generacji mocy czynnej.

Podczas badań przy użyciu dedykowanego oprogramowania wygenerowano zewnętrzny sygnał, który został zdalnie przesłany do falownika przy użyciu wejścia RS485 (Modbus). Zgodnie z informacją producenta /6/ istnieje dodatkowa możliwość wykorzystania cyfrowego IO do uzyskania zdalnego zaprzestania generacji mocy czynnej.

Na podstawie wykonanych badań można potwierdzić zgodność z określonymi wymaganiami.

## 5.4 Zdalna regulacja mocy czynnej

### 5.4.1 Wprowadzenie

Wymagania ogólne w zakresie zdalnej regulacji mocy czynnej określa art. 14 ust. 2 lit. b NC RfG /D/. Dalsze specyfikacje dla Polski określa art. 14 ust. 2 PSE 2018-12 /C/. Jednostka musi być wyposażona w interfejs logiczny (port wejściowy), aby umożliwić regulację wyjściowej mocy czynnej po przyjęciu polecenia w porcie wejściowym.

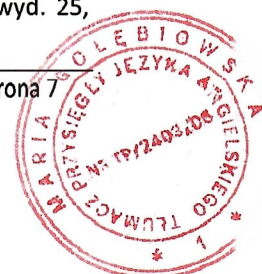
Wymaga się zdolności jednostki wytwarzania energii do zdalnego sterowania obiektem w zakresie redukcji mocy czynnej na polecenie właściwego operatora systemu. Wymóg redukcji pozostaje aktywny również w przypadku, gdy źródło energii pierwotnej jest niewystarczające do osiągnięcia zadanej wartości ograniczenia. W celu umożliwienia zdalnego sterowania generowaną mocą czynną poprzez dodatkowe urządzenia należy spełnić standardy telekomunikacyjne określone i opublikowane przez właściwego operatora systemu.

Ponieważ w kryteriach oceny zastosowanych dla celów tej certyfikacji wymienionych w art. 13 ust. 6 PSE 2018-12 /C/ nie podano określonych standardów komunikacyjnych, zgodność z wszelkimi standardami telekomunikacyjnymi należy poddać dalszej ocenie na poziomie projektu.

Ponieważ art. 14 ust. 2 lit. b nie określa dokładności, można zauważyć, że wymaganie dotyczące dokładności określone w art. 15 ust. 2 lit. a) PSE 2018-12 /C/ dla modułów parku energii typu C i D wynosi  $\leq 2\% P_{SET}$ .

### 5.4.2 Konfiguracja i opis badania

Badania przedstawione w punkcie 3.4 sprawozdania z badań /1/ dotyczące zdalnej regulacji mocy czynnej przeprowadzono zgodnie z indywidualnie opracowanym planem badań /2/ w oparciu o FGW TG3, wyd. 25, rozdział 4.1.2. Do sterowania zdalnego wykorzystano wejście RS485 (Modbus) falownika.

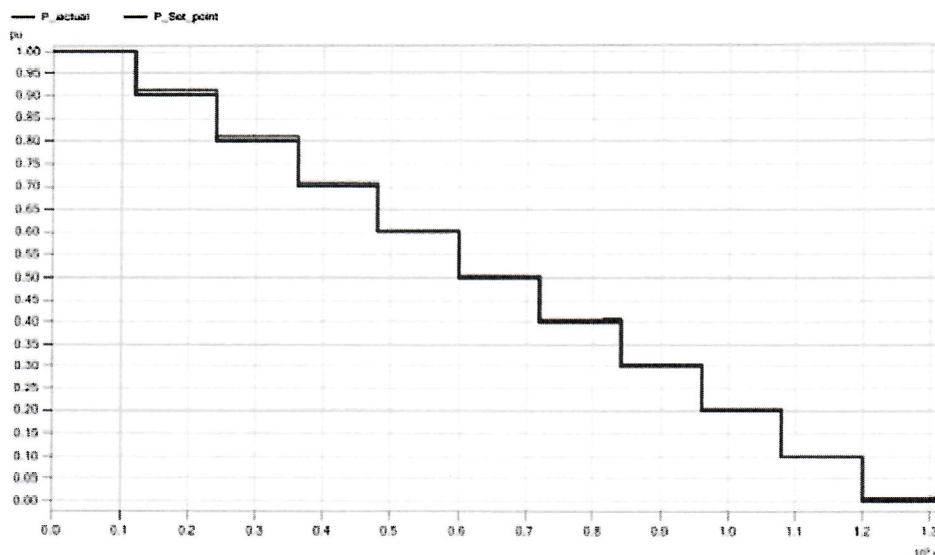




[Logo]: DNV

### 5.4.3 Podsumowanie oceny

Wyniki badania przedstawione w punkcie 3.4 sprawozdania z badań /1/ wykazują, że falownik ma zdolność do osiągnięcia zdalnie modyfikowanej wartości nastawy mocy czynnej w zakresie od 100% do 0%, jak pokazano na rysunku 5-2. Maksymalne odchylenia od nastawy wynosiły 1,08%  $P_n$  i 3,06%  $P_{set}$ .



Rysunek 5-2 Zdalna regulacja mocy czynnej, wyniki badania ze sprawozdania z badań /1/

Do sterowania zdalnego wykorzystano wejście RS485 (Modbus) falownika. Sygnał zdalnej regulacji mocy czynnej został wysłany za pośrednictwem PC.

Funkcja i dokładność muszą ostatecznie zostać zapewnione na poziomie projektu z uwzględnieniem standardów komunikacji wymaganych przez właściwego operatora systemu oraz pełnej sieci komunikacyjnej obiektu. W ramach oceny możliwej do przeprowadzenia na poziomie jednostki w oparciu o specyfikacje określone w PSE 2018-12, wykonane badania potwierdzają, że falownik może spełniać wymagania. Prosimy zapoznać się z odnośnym warunkiem określonym w punkcie 6.

### 5.5 Tryb pracy modułu wytwarzania energii, w którym generowana moc czynna zmniejsza się w odpowiedzi na wzrost częstotliwości systemu powyżej określonej wartości (LFSM-O)

#### 5.5.1 Wprowadzenie

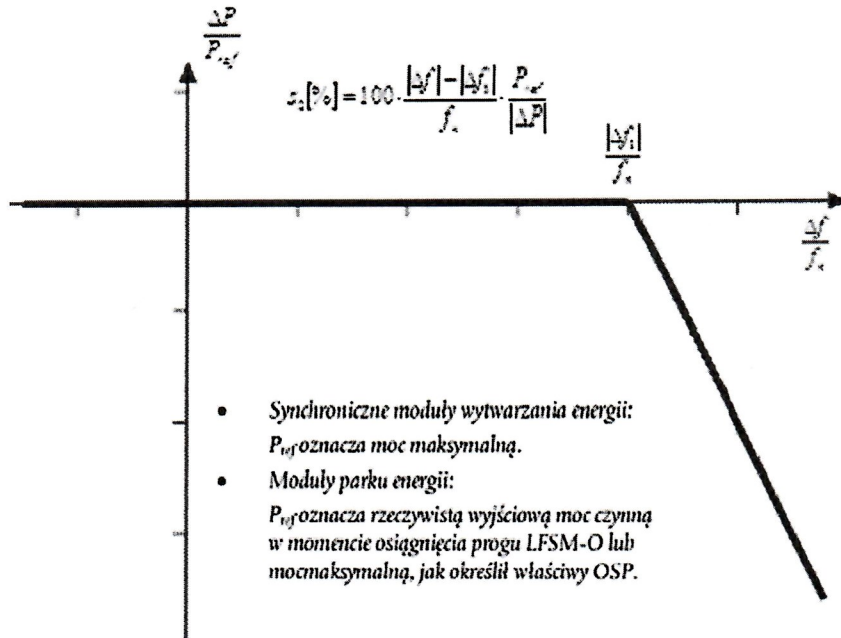
Wymagania dotyczące zdolności modułu wytwarzania energii do pracy w trybie LFSM-O określa art. 13 ust. 2 NC RfG /D/. Dalsze specyfikacje krajowe określają odnośne przepisy PSE 2018-12 /C/.

Jednostka wytwarzania energii musi mieć zdolność do zapewnienia odpowiedzi częstotliwościowej mocy czynnej zgodnie z rysunkiem 5-3 przy następujących parametrach progu częstotliwości możliwych do wyboru: 50,2 Hz–50,5 Hz, wartość domyślna: 50,2 Hz oraz ustawieniach statyzmu: 2–12%, wartość domyślna: 5%. Czas aktywowania mocy w odpowiedzi na zmianę częstotliwości dłuższy niż 2 sekundy musi mieć uzasadnienie techniczne, a jednostka musi mieć zdolność do stabilnej pracy w trybie LFSM-O, gdy moc czynna spada do minimalnego poziomu regulacji. Jak określono dla Polski, do wyliczenia statyzmu jako wartość referencyjną  $P_{REF}$  stosuje się moc maksymalną (a nie moc rzeczywistą przed aktywacją trybu LFSM-O). Ponadto operator systemu (OS) musi mieć możliwość interweniowania i blokowania trybu LFSM-O.

Zgodnie z art. 13 ust. 2 lit. g NC RfG /D/, kiedy tryb LFSM-O jest aktywny, „nastawa LFSM-O jest nadrzędna w stosunku do wszystkich innych aktywowanych nastaw mocy czynnej”. Powyższe postanowienie nie zostało uszczegółowione w PSE 2018-12 /C/, jednak autor PTPiREE określił, że akceptuje się wdrożenia, gdzie nastawa mocy czynnej może być dalej zwiększana, ale nigdy obniżana /10/.

*M. Ciwik*





Rysunek 5-3 Zdolność modułów wytwarzania energii do odpowiedzi częstotliwościowej mocy czynnej w trybie LFSM-O. NC RfG /D/

### 5.5.2 Konfiguracja i opis badania

Badania przeprowadzono z wykorzystaniem zasilania prądem stałym (DC) do symulacji modułu fotowoltaicznego oraz symulatora sieci do symulacji sieci energetycznej i sieci przesyłowej.

Badania przedstawione w punkcie 3.5 sprawozdania z badań /1/ poddane ocenie dotyczące zdolności do pracy w trybie LFSM-O przeprowadzono zgodnie z indywidualnie opracowanym planem badań /2/ w oparciu o FGW TG3, wyd. 25 /7/. Dla celów badania częstotliwość robocza została zwiększona przez symulator sieci powodując odpowiedź jednostki wytwarzania energii na wzrost częstotliwości i w konsekwencji spadek mocy wyjściowej w wyniku pracy w trybie LFSM-O.

Badanie przeprowadzono dla trzech różnych zestawów parametrów w celu potwierdzenia zdolności do zmiany parametrów i właściwego działania dla tych ustawień.

Tabela 5-3 Ustawienia dla badań LFSM-O

|                | Ustawienia 1 | Ustawienia 2 | Ustawienia 3 |
|----------------|--------------|--------------|--------------|
| Próg aktywacji | 50,2 Hz      | 50,2 Hz      | 50,5 Hz      |
| Statyzm        | 5%           | 12%          | 2%           |

Przeprowadzono następujące zmiany skokowe częstotliwości:

Tabela 5-4 Skoki częstotliwości w ramach badań LFSM-O

| Skoki częstotliwości | Symulowana częstotliwość sieci –<br>ustawienie 1 i 2 | Symulowana częstotliwość sieci –<br>ustawienie 3 |
|----------------------|--|--|
| 1                    | 50 Hz ± 0,05 Hz                                      | 50 Hz ± 0,05 Hz                                  |
| 2                    | 50,1 Hz ± 0,05 Hz                                    | 50,4 Hz ± 0,05 Hz                                |
| 3                    | 50,3 Hz ± 0,05 Hz                                    | 50,6 Hz ± 0,05 Hz                                |
| 4                    | 50,9 Hz ± 0,05 Hz                                    | 50,9 Hz ± 0,05 Hz                                |
| 5                    | 51,4 Hz ± 0,05 Hz                                    | 51,4 Hz ± 0,05 Hz                                |
| 6                    | 50,3 Hz ± 0,05 Hz                                    | 50,6 Hz ± 0,05 Hz                                |
| 7                    | 50 Hz ± 0,05 Hz                                      | 50 Hz ± 0,05 Hz                                  |

*Marek Wójcik*



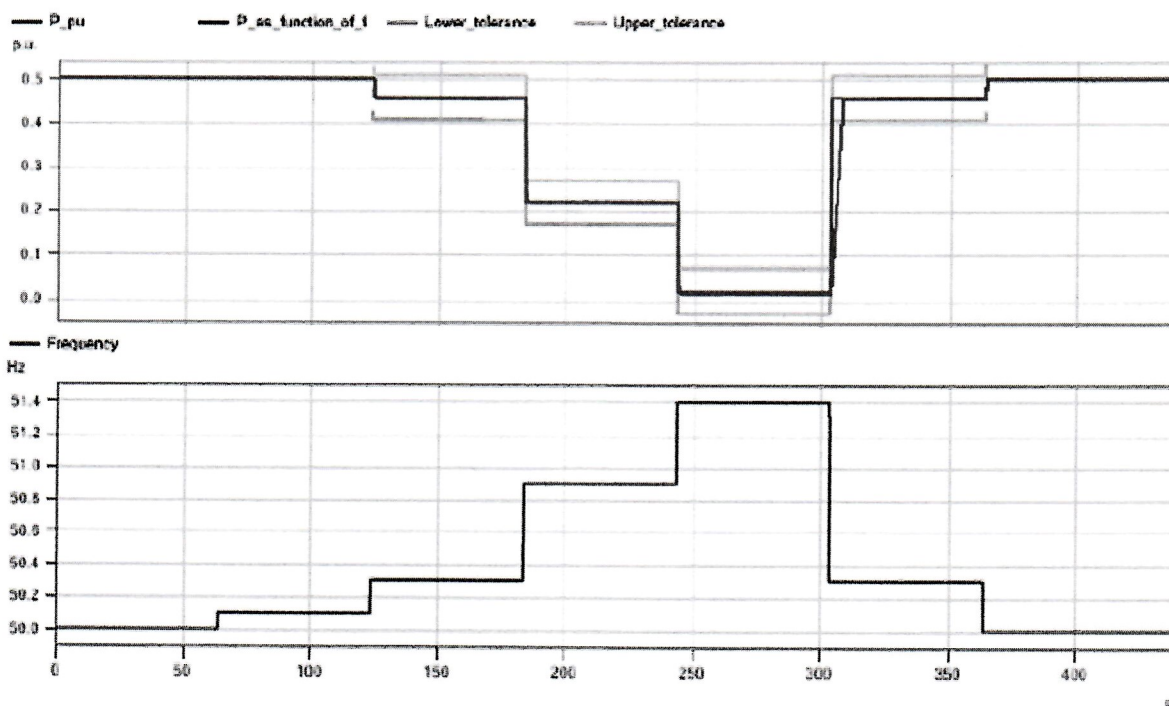


[Logo]: DNV

### 5.5.3 Podsumowanie oceny

Wybrane wyniki badań LFSM-O opisanych w sprawozdaniu z badań /1/ przedstawia rysunek 5-4 i rysunek 5-6. Pokazują one, jak moc wyjściowa (górny wykres) zmienia się w odpowiedzi na skokowe zmiany częstotliwości (dolny wykres) w zakresie od 50.0 do 51.4 Hz. Jak można zaobserwować, badana jednostka aktywuje moc w odpowiedzi na zmianę częstotliwości w czasie krótszym niż dopuszczalna zwłoka 2 sekund i wykazuje stabilne działanie podczas badania.

Jak przedstawiono na rysunku 5-5, wyniki odpowiadają zdefiniowanym charakterystykom statyzmu w zdefiniowanym zakresie tolerancji ( $\pm 5\% P_n$  jak określono w FGW TG3 /7/). Wykazano również, że falownik wykorzystuje  $P_{max}$ , czyli znamionową moc czynną (odpowiadającą znamionowej mocy pozornej) jako wartość odniesienia do obliczenia właściwej odpowiedzi LFSM-O.



Rysunek 5-4 Wyniki badania LFSM-O przedstawiające zmiany skokowe częstotliwości wejściowej (dolny wykres) i zmianę mocy wyjściowej w odpowiedzi na nie (górny wykres), statyzm: 5%, próg aktywacji: 50,2 Hz /1/

[Legenda do rysunku:

*P as function of f* – P jako funkcja f

*Lower tolerance* – dolny próg tolerancji

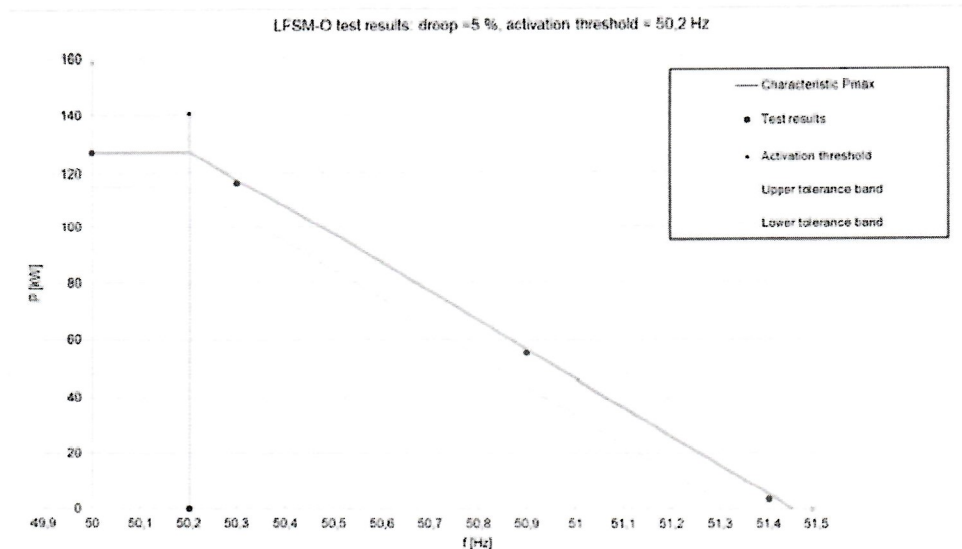
*Upper tolerance* – górny próg tolerancji

*Frequency* – częstotliwość]

*Maria Golebiewska*







Rysunek 5-5 Wyniki badania LFSM-O przedstawiające wynik badania (pomarańczowe kropki) w porównaniu do wymaganej charakterystyki statyzmu (niebieska linia), statyzm: 5%, próg aktywacji: 50,2 Hz. Na podstawie danych z /1/

[Legenda do rysunku:

LFSM-O test results: droop: 5%, activation threshold: 50.2 Hz – Wyniki badania LFSM-O statyzm: 5%, próg aktywacji: 50,2 Hz

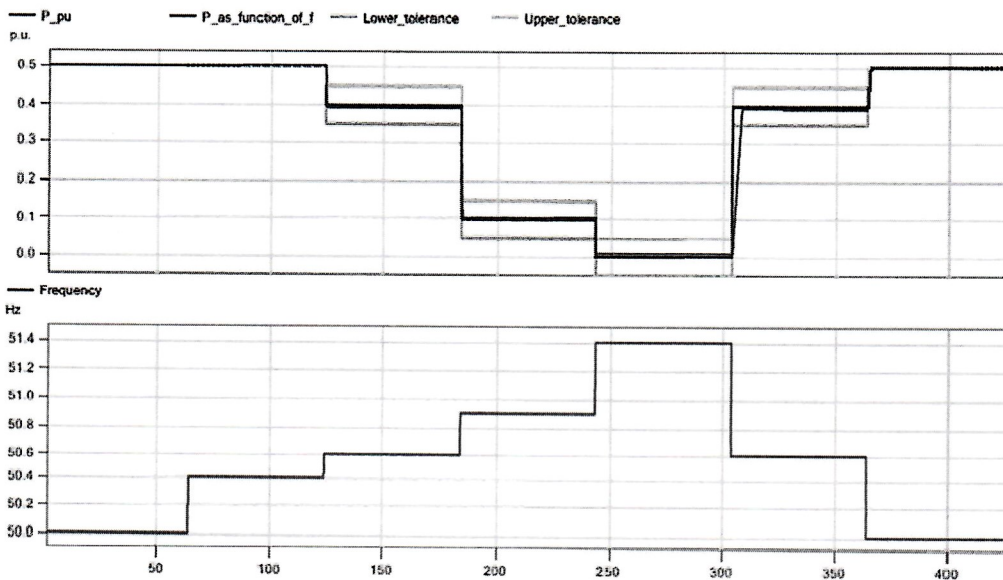
Characteristic Pmax – charakterystyka Pmax

Test results – wyniki badania

Activation threshold – próg aktywacji

Upper tolerance band – górny próg tolerancji

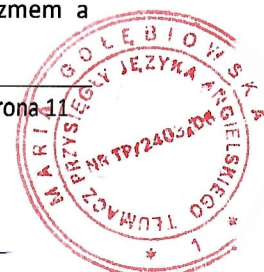
Lower tolerance band – dolny próg tolerancji]



Rysunek 5-6 Wyniki badania LFSM-O przedstawiające zmiany skokowe częstotliwości wejściowej (dolny wykres) i zmianę mocy wyjściowej w odpowiedzi na nie (górny wykres), statyzm: 2%, próg aktywacji: 50,5 Hz /1/

W ramach badań wykorzystano trzy zestawy parametrów, co potwierdziło możliwość ustawienia parametrów w wymaganym zakresie. Należy zauważyć, że statyzm jest regulowany poprzez zbocze nadmiernej częstotliwości, który stanowi procent Pmax/Hz. Wartość ta, która definiuje profil statyzmu LFSM-O, może zostać ustawiona wyłącznie jako liczba całkowita. W poniższej tabeli 5-5 przedstawiono zależność pomiędzy statyzmem a zboczem nadmiernej częstotliwości.

*Handwritten signature*



[Logo]: DNV

Tabela 5-5 Ustawienia statyzmu

| Zbocze nadmiernej częstotliwości (1-300%Pn/Hz) | Statyzm (%)  |
|--|--|
| 40   | 5  |
| 17   | 12 (dokładna wartość statyzmu w ustawieniu 17 wynosi 11,76%) |
| 100  | 2  |

Ponadto parametr początku nadmiernej częstotliwości stanowi ustawienie dla progu aktywacji.

Ponadto wykazano, że regulacja LFSM-O jest nadrzędna, kiedy tryb LFSM-O jest aktywny, zgodnie z informacjami producenta /6/. Inne aktywowane nastawy mocy czynnej mogą dalej obniżać wyjściową moc czynną, ale wartość mocy wyjściowej nie może przekroczyć krzywej charakterystyki LFSM-O. Powyższe wdrożenie nie jest w pełni zgodne z wymaganiami NC RfG /D/, jednak jest dopuszczalnym wdrożeniem dla Polski, co zostało potwierdzone przez PTPIREE w wiadomości email/10/.

W odniesieniu do możliwości zdalnego blokowania trybu LFSM-O oraz zdolności do realizacji pracy interwencyjnej, zgodnie z wymogami określonymi w art. 13 ust. 2 lit. a) PSE 2018-12, w informacjach producenta /6/ SOFARSOLAR deklaruje, że zdalne wyłączenie funkcji jest możliwe poprzez aplikację lub interfejs portu RS485, co zostało uznane za wystarczające rozwiązanie. Lokalne ustawienia dostępu zdalnego i protokoły komunikacyjne muszą być uzgadniane na poziomie projektu.

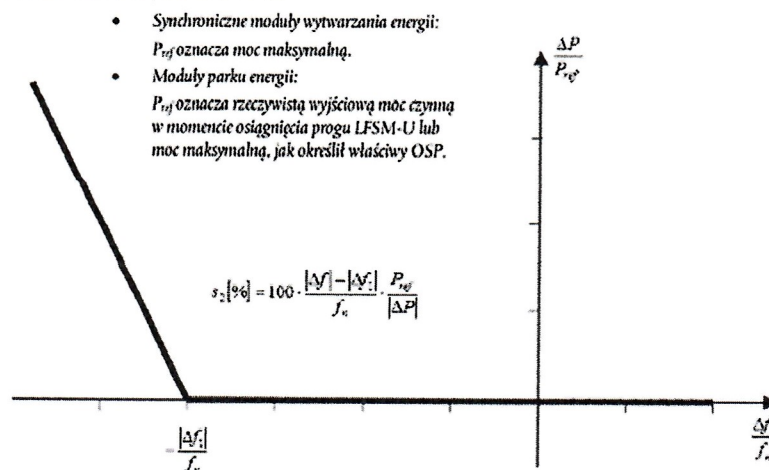
Na podstawie wykonanych badań i przekazanych informacji można potwierdzić zgodność z określonymi wymaganiami.

## 5.6 Tryb pracy modułu wytwarzania energii, w którym generowana moc czynna zwiększa się w następstwie spadku częstotliwości systemu poniżej określonej wartości (LFSM-U)

### 5.6.1 Wprowadzenie

Wymagania dotyczące zdolności modułu wytwarzania energii do pracy w trybie LFSM-U określa art. 15 ust. 2 NC RfG /D/. Dalsze specyfikacje krajowe określają odnośnie przepisów PSE 2018-12 /C/.

Jednostka wytwarzania energii musi mieć zdolność do zapewnienia odpowiedzi częstotliwościowej mocy czynnej zgodnie z rysunkiem 5-7 przy następujących parametrach progu częstotliwości możliwych do wyboru: 49,5 Hz – 49,8 Hz, wartość domyślna: 49,8 Hz oraz ustawieniach statyzmu: 2–12%, wartość domyślna: 5%. Czas aktywowania mocy w odpowiedzi na zmianę częstotliwości dłuższy niż 2 sekundy musi mieć uzasadnienie techniczne, a jednostka musi mieć zdolność do stabilnej pracy w trybie LFSM-U aż do jego mocy maksymalnej. Jak określono dla Polski, do wyliczenia statyzmu jako wartość referencyjną  $P_{REF}$  stosuje się moc maksymalną (a nie moc rzeczywistą przed aktywacją trybu LFSM-U). Ponadto operator systemu (OS) musi mieć możliwość interweniowania i blokowania trybu LFSM-U.



Rysunek 7-5 Zdolność modułów wytwarzania energii do odpowiedzi częstotliwościowej mocy czynnej w trybie LFSM-U. NC RfG /D/

*M. Kujawa*





[Logo]: DNV

### 5.6.2 Konfiguracja i opis badania

Badania przeprowadzono z wykorzystaniem zasilania prądem stałym (DC) do symulacji modułu fotowoltaicznego oraz symulatora sieci do symulacji sieci energetycznej i sieci przesyłowej.

Badania przedstawione w punkcie 3.6 sprawozdania z badań /1/ poddane ocenie dotyczące zdolności do pracy w trybie LFSM-U przeprowadzono zgodnie z indywidualnie opracowanym planem badań /2/ w oparciu o FGW TG3, wyd. 25 /7/. Dla celów badania częstotliwość robocza została obniżona przez symulator sieci powodując odpowiedź jednostki wytwarzania energii na spadek częstotliwości i w konsekwencji wzrost mocy wyjściowej w wyniku pracy w trybie LFSM-U.

Tabela 5-6 Ustawienia dla badań LFSM-U

|                | Ustawienia 1 | Ustawienia 2 | Ustawienia 3 |
|----------------|--------------|--------------|--------------|
| Próg aktywacji | 49,8         | 49,8         | 49,5         |
| Statyzm        | 5%           | 12%          | 2%           |

Przeprowadzono następujące zmiany skokowe częstotliwości:

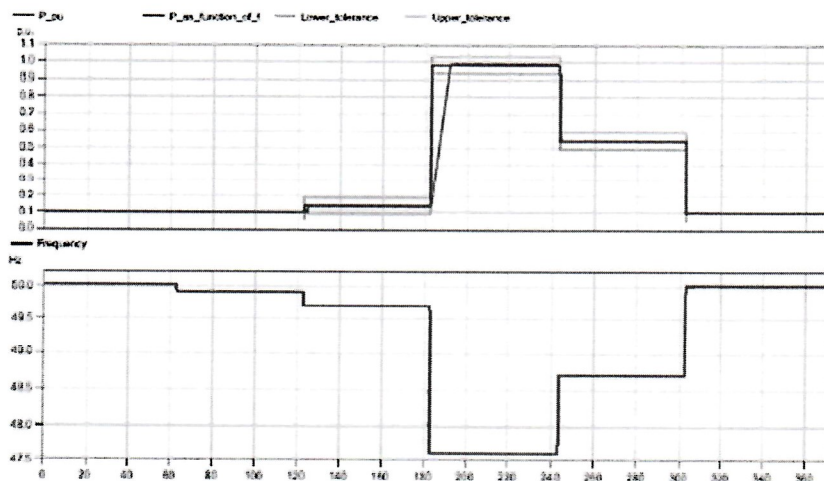
Tabela 5-7 Skoki częstotliwości w ramach badań LFSM-U

| Skoki częstotliwości | Symulowana częstotliwość sieci –<br>ustawienie 1 i 2 | Symulowana częstotliwość sieci –<br>ustawienie 3 |
|----------------------|--|--|
| 1                    | 50 Hz $\pm$ 0,05 Hz                                  | 50 Hz $\pm$ 0,05 Hz                              |
| 2                    | 49,9 Hz $\pm$ 0,05 Hz                                | 49,6 Hz $\pm$ 0,05 Hz                            |
| 3                    | 49,7 Hz $\pm$ 0,05 Hz                                | 49,4 Hz $\pm$ 0,05 Hz                            |
| 4                    | 47,6 Hz $\pm$ 0,05 Hz                                | 47,6 Hz $\pm$ 0,05 Hz                            |
| 5                    | 48,7 Hz $\pm$ 0,05 Hz                                | 48,7 Hz $\pm$ 0,05 Hz                            |
| 6                    | 50 Hz $\pm$ 0,05 Hz                                  | 50 Hz $\pm$ 0,05 Hz                              |

### 5.6.3 Podsumowanie oceny

Wybrane wyniki badań LFSM-U opisanych w sprawozdaniu z badań /1/ przedstawia rysunek 5-8. Pokazuje on, jak moc wyjściowa (górny wykres) zmienia się w odpowiedzi na skokowe zmiany częstotliwości (dolny wykres) w zakresie od 50,0 do 47,6 Hz. Jak można zaobserwować, badana jednostka aktywuje moc w odpowiedzi na zmianę częstotliwości w czasie krótszym niż dopuszczalna zwłoka 2 sekund i wykazuje stabilne działanie podczas badania.

Jak przedstawiono na rysunku 5-9, wyniki odpowiadają zdefiniowanym charakterystykom statyzmu w zdefiniowanym zakresie tolerancji ( $\pm 5\% P_n$  jak określono w FGW TG3 /7/). Wykazano również, że falownik wykorzystuje  $P_{max}$ , czyli znamionową moc czynną (odpowiadającą znamionowej mocy pozornej) jako wartość odniesienia do obliczenia właściwej odpowiedzi LFSM-U.



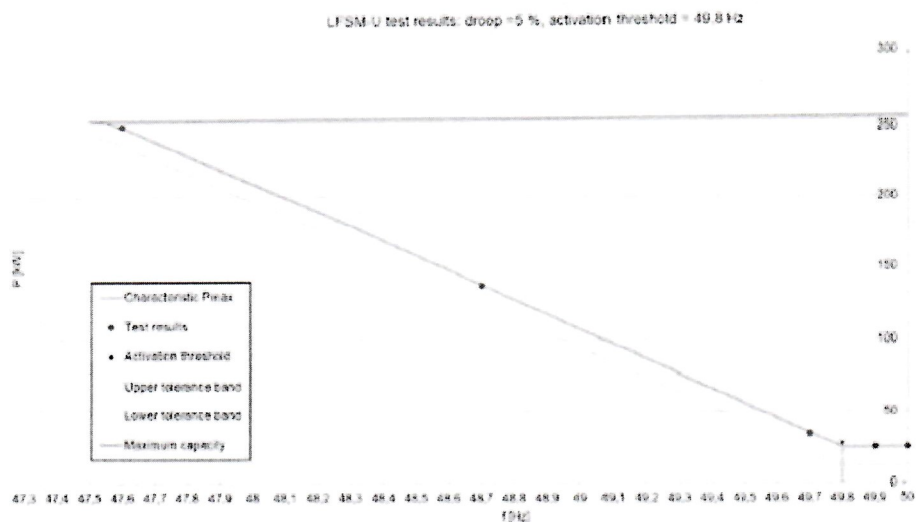
Rysunek 5-8 Wyniki badania LFSM-U przedstawiające zmiany skokowe częstotliwości wejściowej (dolny wykres) i zmianę mocy wyjściowej w odpowiedzi na nie (górny wykres), statyzm: 5%, próg aktywacji: 49,8 Hz /1/

*Monika Jankowska*





[Logo]: DNV



**Rysunek 5-9 Wyniki badania LFSM-U przedstawiające wynik badania (pomarańczowe kropki) w porównaniu do wymaganej charakterystyki statyzmu (niebieska linia), statyzm: 5%, próg aktywacji: 49,8 Hz. Na podstawie danych z /1/**

W ramach badań wykorzystano trzy zestawy parametrów, co potwierdziło możliwość ustawienia parametrów w wymaganym zakresie. Należy zauważyć, że statyzm jest regulowany poprzez zbocze zbyt niskiej częstotliwości, który stanowi procent  $P_{max}/Hz$ . Wartość ta, która definiuje profil statyzmu LFSM-U, może zostać ustawiona wyłącznie jako liczba całkowita. W poniższej tabeli 5-8 przedstawiono zależność pomiędzy statyzmem a zboczem zbyt niskiej częstotliwości.

**Tabela 5-8 Ustawienia statyzmu**

| Zbocze zbyt niskiej częstotliwości (1-300%Pn/Hz) | Statyzm (%)  |
|--|--|
| 40   | 5  |
| 17   | 12 (dokładna wartość statyzmu w ustawieniu 17 wynosi 11,76%) |
| 100  | 2  |

Ponadto parametr końca zbyt niskiej częstotliwości stanowi ustawienie dla progu aktywacji.

W odniesieniu do możliwości zdalnego blokowania trybu LFSM-U, zgodnie z wymogami określonymi w art. 15 ust. 2 lit. c) pkt.1 PSE 2018-12, w informacjach producenta /6/ SOFARSOLAR deklaruje, że zdalne wyłączenie funkcji jest możliwe poprzez aplikację lub interfejs portu RS485, co zostało uznane za wystarczające rozwiązanie. Lokalne ustawienia dostępu zdalnego i protokoły komunikacyjne muszą być uzgadniane na poziomie projektu.

Na podstawie wykonanych badań i przekazanych informacji można potwierdzić zgodność z określonymi wymaganiami.

## 5.7 Pozostanie w pracy podczas zwarcia

### 5.7.1 Wprowadzenie

Wymagania ogólne dotyczące zdolności do pozostawania w pracy podczas zwarcia (FRT) dla jednostek wytwarzania energii typu D zostały określone w art. 16 ust. 3 NC RfG /D/. Dalsze specyfikacje dla Polski zostały określone w art. 16 ust. 3 lit. a) pkt (i) i lit. c) PSE 2018-12 /C/, w tym specyfikacja profilu FRT przedstawionego na rysunku 5-10. Odrębne i mniej restrykcyjne wymagania zostały określone dla jednostek wytwarzania energii typu B w art. 14 ust. 3 /D/ oraz art. 14 ust. 3 lit. a) pkt (i) i (b) w /C/, co przedstawia również rysunek 5-9.

Jednostka wytwarzania energii musi mieć zdolność do zachowania połączenia z siecią i utrzymania stabilnej pracy dla pola powyżej profilu FRT w celu zapewnienia stabilnego przywrócenia systemu podczas zwarcia.

*Marcel Kubiś*



[Logo]: DNV

### 5.7.2 Konfiguracja i opis badania

Badania przeprowadzono na podstawie planu badań sporządzonego przez DNV /2/ zgodnie z normami DNVGL-ST-0125 i IEC 61400-21-1:2019. Badania zostały podsumowane w tabeli 5-9.

Badania przeprowadzono z wykorzystaniem zasilania prądem stałym (DC) do symulacji modułu fotowoltaicznego oraz symulatora sieci do symulacji sieci energetycznej. Metodologia badań jest zgodna z FGW TG3 Rev. 25 /7/.

**Tabela 5-9 Wykonane badania FRT /1/**

| Nr badania | Nr badania powtórzonego | Nr ref. plan badań | Rodzaj zwarcia (3-fazowe /2-fazowe) | Pozostałe napięcie w % | Czas trwania w ms | Wyjściowa moc czynna w pu | Współczynnik K | Ustawienia specjalne        |
|------------|-------------------------|--------------------|-------------------------------------|------------------------|-------------------|---------------------------|----------------|-----------------------------|
| 10         | 11                      | 0-1                | 3                                   | 3                      | 320               | >0,9                      | 2              |                             |
| 12         | 13                      | 0-2                | 3                                   | 3                      | 320               | 0,1 – 0,3                 | 0              |                             |
| 14         | 15                      | 0-3                | 2                                   | 3                      | 320               | >0,9                      | 2              |                             |
| 16         | 17                      | 0-4                | 2                                   | 3                      | 320               | 0,1 – 0,3                 | 2              |                             |
| 18         | 19                      | 20-1               | 3                                   | 20                     | 900               | >0,9                      | 2              | -                           |
| 20         | 21                      | 20-2               | 3                                   | 20                     | 900               | 0,1 – 0,3                 | 0              | maks. pojem.*)              |
| 22         | 23                      | 20-3               | 2                                   | 20                     | 900               | >0,9                      | 2              | -                           |
| 24         | 25                      | 20-4               | 2                                   | 20                     | 900               | 0,1 – 0,3                 | 2              | -                           |
| 26         | 27                      | 6                  | 3                                   | 50                     | 1760              | >0,9                      | 2              | -                           |
| 28         | 29                      | 7                  | 3                                   | 50                     | 1760              | 0,1 – 0,3                 | 3              | maks. induk.*)              |
| 48         | 49                      | 8                  | 2                                   | 50                     | 1760              | >0,9                      | 3              | zmiana faz zwarcia na AC**) |
| 32         | 33                      | 9                  | 2                                   | 50                     | 1760              | 0,1 – 0,3                 | 2              | -                           |
| 34         | 35                      | 10                 | 2                                   | 50                     | 2500              | >0,5                      | 2              | odłączenie jednostki        |
| 36         | 37                      | 11                 | 3                                   | 70                     | 2280              | >0,9                      | 2              | -                           |
| 38         | 39                      | 12                 | 3                                   | 70                     | 2280              | 0,1 – 0,3                 | 2              | maks. pojem.*)              |
| 40         | 41                      | 13                 | 3                                   | 70                     | 2280              | >0,1                      | 4              | maks. induk.*)              |
| 42         | 43                      | 14                 | 2                                   | 70                     | 2280              | >0,9                      | 2              | maks. pojem.*)              |
| 50         | 51                      | 15                 | 2                                   | 70                     | 2280              | >0,1                      | 4              | pełne obciążenie            |
| 46         | 47                      | 16                 | 3                                   | 87                     | 10000             | >0,9                      | 2              | pełne obciążenie            |

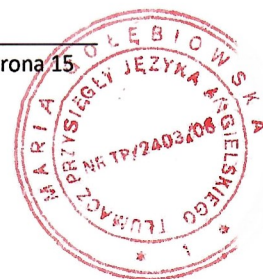
\*) Badania przeprowadzone przy maksymalnej przedzakłóceniowej mocy biernej pojemnościowej i indukcyjnej, co powodowało ograniczenie mocy czynnej dla przypadków pełnego obciążenia.

\*\*\*) Badaniu poddano inną kolejność faz zamiast zwarcia między domyślnymi fazami B i C, zbadano zwarcie między A i C.

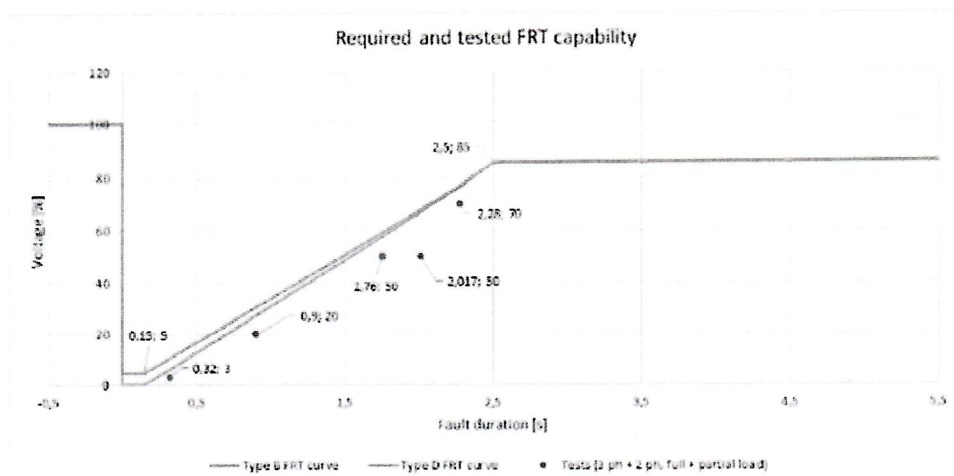
### 5.7.3 Ocena

Rysunek 5-10 poniżej przedstawia podsumowanie przeprowadzonych badań udokumentowanych w części 4 sprawozdania z badań /1/ oraz profil FRT zgodnie z polskimi wymaganiami.

Jak szczegółowo przedstawiono w tabeli 5-9, badania wykonano dla zwarć trójfazowych i dwufazowych zarówno przy pełnej, jak i częściowej mocy. Falownik został poddany badaniu również przy napięciu 50% do momentu odłączenia (w 2,017 s). Wykonano również badania w celu sprawdzenia prawidłowości wyzwalania zwarć w różnych fazach. Jak wykazały badania, falownik ma zdolność do pozostawania w pracy podczas zwarć symetrycznych i niesymetrycznych bez odłączenia przez czas dłuższy niż wymagany, co przedstawia poniższy rysunek.







**Rysunek 5-10 Podsumowanie wykonanych badań FRT (szare kropki), oraz polskie wymagania LVRT (pozostanie w pracy podczas zapadów napięcia) dla typu B (niebiska linia) i typu D (czerwona linia)**

[Legenda do rysunku: Required and tested FRT capability – wymagana i zbadana zdolność FRT; Voltage – napięcie; Fault duration – czas trwania zwarcia; Type B FRT curve – profil RFT dla typu B; Type D FRT curve – profil RFT dla typu D; Tests – badania; full + partial load – pełne + częściowe obciążenie]

Na podstawie wykonanych badań i przekazanych informacji można potwierdzić zgodność z wymaganiami dla polskiej sieci.

## 5. 8 Wprowadzenie szybkiego prądu zwarciovego

### 5.8.1 Wprowadzenie

Jak określono w art. 20 ust. 2 lit. b) NC RfG /D/ oraz uszczegółowiono dla Polski w odnośnych artykułach PSE 2018-12 /C/, jednostka wytwarzania energii powinna być zdolna do generacji dodatkowego, szybkiego prądu zwarciovego, zgodnie z charakterystyką statyczną przedstawioną na rysunku 5-12 podczas zwarc symetrycznych, z nastawialną wartością współczynnika K w zakresie 2-10. Ponadto

- 90% dodatkowego prądu biernego powinno zostać wygenerowane w czasie 60 ms (czas narastania) oraz
- Wartość docelowa tego prądu powinna być osiągnięta z dokładnością -10%/+20% w czasie 100 ms (czas regulacji).

Przy zwarciach skutkujących zapadem napięcia poniżej 20% dopuszcza się brak generacji dodatkowego prądu biernego.<sup>1</sup>

Zdolność do wprowadzenia szybkiego prądu zwarciovego jest również wymagana podczas zwarc niesymetrycznych zgodnie z art. 20 ust. 2 lit. c) NC RfG /D/ oraz PSE 2018-12 /C/. Jak określono przedmiotowa zdolność ma być zapewniona „przy spełnieniu wymagań w zakresie parametrów statycznych i dynamicznych jak dla zwarc symetrycznych oraz uwzględnieniu ograniczeń wynikających z niesymetrycznego obciążenia”. Na tej podstawie, przyjęto następującą interpretację:

- Szybki prąd zwarciovowy powinien zostać wprowadzony w fazach objętych obniżką napięcia. Dodatkowa regulacja prądu biernego kolejności przeciwnej jest preferowana, nawet jeżeli nie jest to wyraźnie wymagane.
- Szybki prąd zwarciovowy powinien spełniać te same wymagania jak w przypadku zwarc symetrycznych w odniesieniu do charakterystyki statycznej (współczynnik K) oraz charakterystyki dynamicznej (czas narastania i czas regulacji).
- Ograniczenie szybkiego prądu zwarciovego jest dopuszczalne w celu niedopuszczenia do przeciążenia z powodu niesymetrycznego obciążenia (np. przekroczenie wartości progowej prądu fazowego).

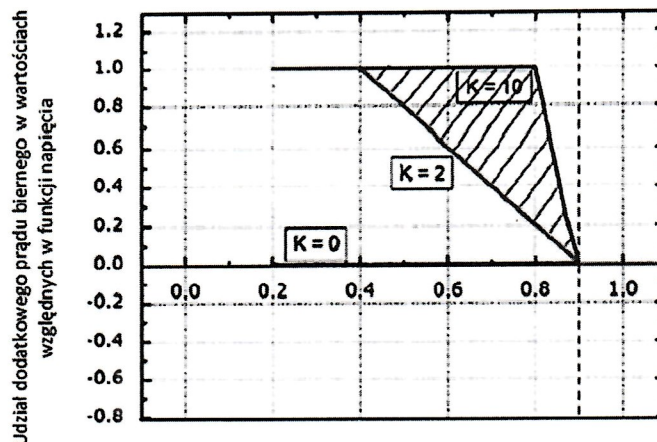
<sup>1</sup> Uwaga: Zaczepnięte z oryginału PSE 2018-12 /C/ w języku polskim. Tłumaczenie na język angielski zawiera sformułowanie: „dodatkowy prąd bierny nie dopuszczalny”.

*Marie Winkler*





[Logo]: DNV



Rysunek 5-11 Wymagana generacja prądu biernego podczas zwarcí sieciowych /C/

Ponadto zgodnie z art. 21 ust. 3 lit. e) NC RfG /D/ and PSE 2018-12 /C/ w trakcie zwarcí pierwszeństwo w generacji ma wkład mocy biernej.

### 5.8.2 Konfiguracja i opis badania

Zobacz punkt 5.7.2.

### 5.8.3 Ocena

#### Stosowana regulacja

W odniesieniu do rysunku 5-11 odpowiedź prądu biernego jednostki wytwarzania energii, zgodnie z dokumentacją producenta /6/, określono w następujący sposób:

Oczekiwany prąd bierny kolejności zgodnej i przeciwnej,  $I_{q,set}^+$  and  $I_{q,set}^-$ , podczas zwarcia można wyrazić jako:

$$(1) \quad I_{q,set}^+ = I_{q,prefault}^+ + k(0.9 - U_{fault}^+)$$

$$(2) \quad I_{q,set}^- = I_{q,prefault}^- - kU_{fault}^-$$

Gdzie:

$I_{q,set}^+$  – nastawa prądu biernego kolejności zgodnej podczas zwarcia [pu]

$I_{q,set}^-$  – nastawa prądu biernego kolejności przeciwnej podczas zwarcia [pu]

$I_{q,prefault}^+$  – prąd bierny kolejności zgodnej przed zwarcie[m] [pu]

$I_{q,prefault}^-$  – prąd bierny kolejności przeciwnej przed zwarcie[m] [pu]

k – współczynnik K, parametr regulacji [-]

$U_{fault}^+$  – napięcie kolejności zgodnej podczas zwarcia [pu]

$U_{fault}^-$  – napięcie kolejności przeciwnej podczas zwarcia [pu]

W przypadku gdy suma prądów biernych kolejności zgodnej i przeciwnej osiąga wartość progową prądu  $I_n$ , zostają one obniżone proporcjonalnie, aby nie przekroczyć wartości prądu znamionowego zgodnie z PSE 2018-12 /C/.

W odniesieniu do ustawień czynnik K może zostać ustawiony w zakresie 0 – 10, jak określił producent /6/. Do badań przyjęto wartość współczynnika K równego 0, 2, 3 i 4. Funkcja ograniczonego wsparcia sieci, bez wprowadzenia szybkiego prądu zwarciovego, jest domyślnie wyłączona.

Maniek Jurdak

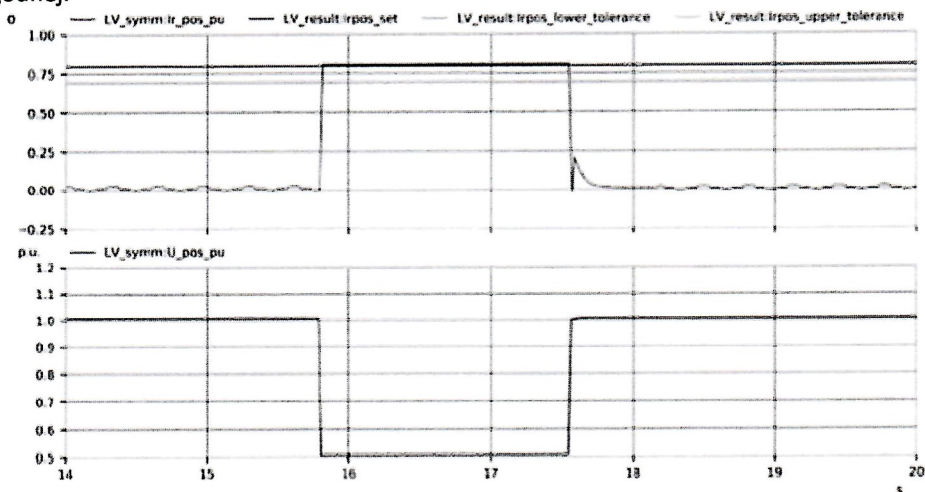


[Logo]: DNV

### Wykonane badania

Wszystkie badania wymienione w tabeli 5-9 zostały wykonane dwukrotnie bez odłączenia lub niestabilności działania podczas zwarcia lub po zwarcu. Wybrane wyniki badań zostały przedstawione na poniższych rysunkach. Jak pokazują wyniki badań, szybki prąd zwarciový jest generowany w czasie krótszym niż wymagane 60 ms czasu narastania i 100 ms czasu regulacji dla zwarć symetrycznych i niesymetrycznych i utrzymuje się podczas zwarcia. Przeprowadzono również badania w celu potwierdzenia właściwego działania bez względu na to, między którymi fazami następuje zwarcie.

Zgodnie z równaniem (1) i równaniem (2) dodatkowy prąd bierny jest proporcjonalny do współczynnika K oraz do odchyłek napięcia odpowiednio kolejności zgodnej i przeciwnej. Jak widać na rysunku 5-12, generowany prąd bierny jest proporcjonalny do odchyłek napięcia od  $0,9U_n$  z uwzględnieniem strefy nieczułości 10% w kolejności zgodnej.



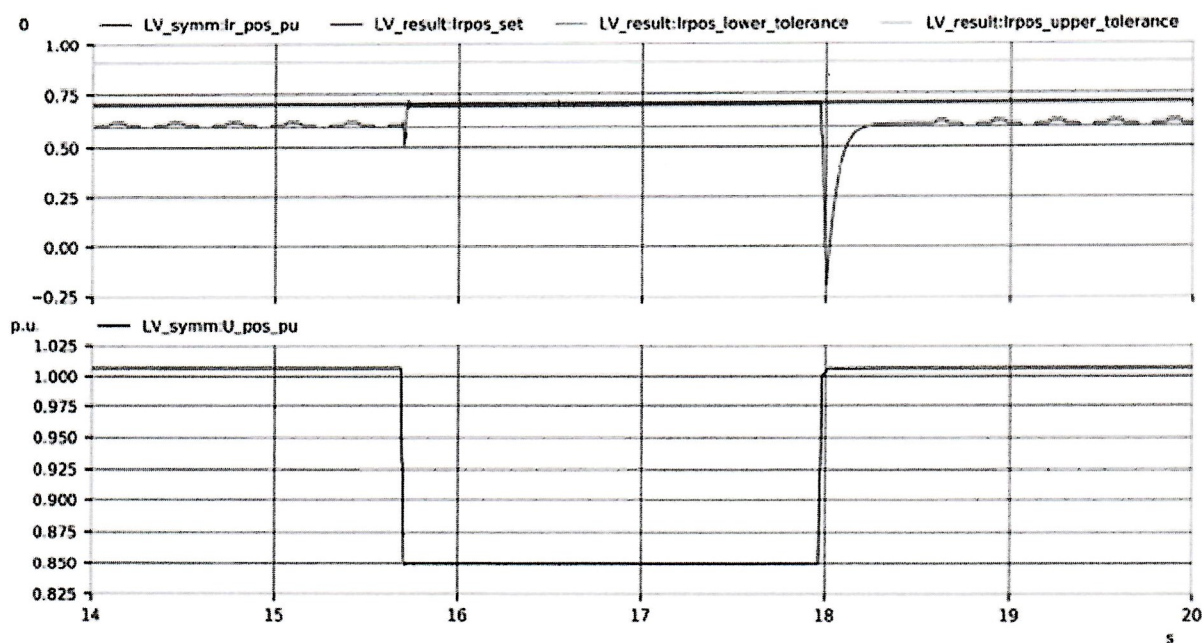
Rysunek 5-12 Badanie nr 26 (3-fazowe, pełne obciążenie, napięcie zwarciový 50%  $U_n$ ,  $K = 2$ ), wykazujące odpowiedź kolejności zgodnej /1/.

Badania wykonane z uchybem ustalonym przedzakłóceniovýj mocy biernej potwierdzają, że taki uchyb ustalony został właściwie przyjęty do wyliczenia dodatkowego prądu biernego podczas zwarcia, co można zaobserwować na rysunku 5-13 ze zgodnym uchybem przedzakłóceniovým.

*Marek J. Jędrzejewski*

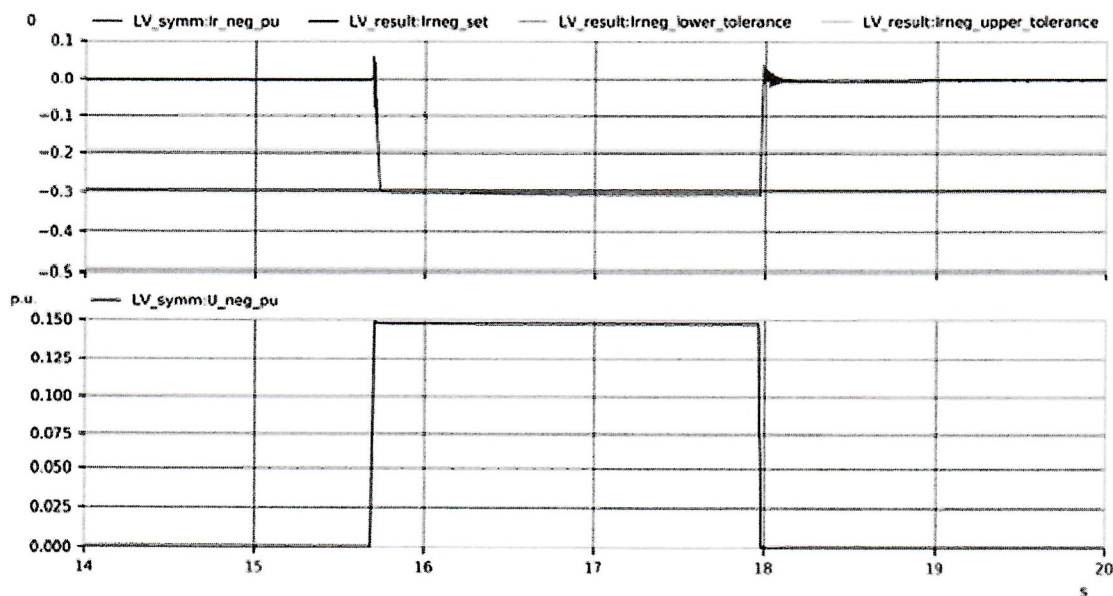


[Logo]: DNV



**Rysunek 5-13 Badanie nr 42 (2-fazowe, pełne obciążenie, napięcie zwarcia 70%  $U_n$ ,  $K = 2$ ), wykazujące odpowiedź kolejności zgodnej na zwarcie niesymetryczne ze zgodnym przedzakłóceniovym uchybem ustalonym prądu biernego /1/.**

Jak widać na rysunku 5-13, wartość prądu biernego ulega zmianom przed powrotem do wartości sprzed zwarcia. Można to zaobserwować we wszystkich badaniach wykonanych z uchybem ustalonym mocy biernej, gdzie widać, że prąd bierny wraca do wartości sprzed zwarcia w czasie krótszym niż 500 ms. Ze względu na brak określonych wymagań dla takiego działania, wyniki badania zostały zaakceptowane.



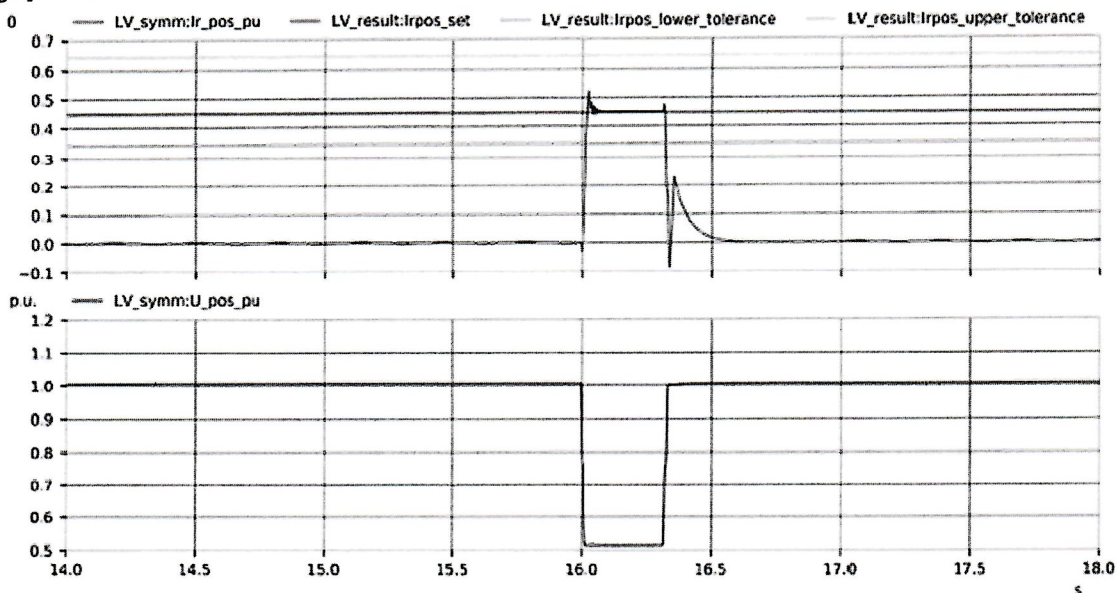
**Rysunek 5-14 Badanie nr 42 (2-fazowe, pełne obciążenie, napięcie zwarcia 70%  $U_n$ ,  $K = 2$ ), wykazujące odpowiedź kolejności przeciwniej na zwarcie niesymetryczne /1/.**

*Mane Capulcu*

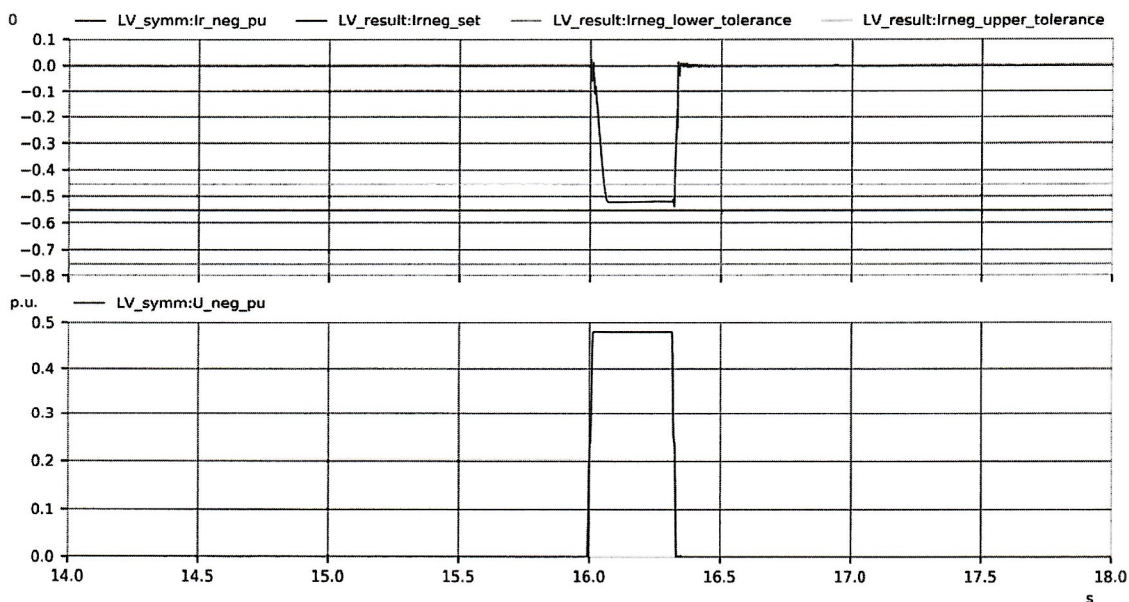




[Logo]: DNV



Rysunek 5-15 Badanie nr 16 (2-fazowe, częściowe obciążenie, napięcie zwarcia 3%  $U_n$ ,  $K = 2$ ), wykazujące odpowiedź kolejności zgodnej na zwarcie w tym ograniczenie prądu /1/.



Rysunek 5-16 Badanie nr 16 (2-fazowe, częściowe obciążenie, napięcie zwarcia 3%  $U_n$ ,  $K = 2$ ), wykazujące odpowiedź kolejności przeciwnej na zwarcie w tym ograniczenie prądu /1/.

Jak widać na rysunkach 5-15 i 5-16, wprowadzona moc w kolejności zgodnej i przeciwnej jest proporcjonalnie skalowana w celu ograniczenia całkowitej mocy biernej do 100%  $I_n$ . Bez tego ograniczenia wartość prądu biernego kolejności zgodnej przedstawionego na rysunku 5-15 wynosiłaby 78%, a wartość prądu biernego kolejności przeciwnej przedstawionego na rysunku 5-16 wynosiłaby -96%. Dzięki ograniczeniu wynoszą one odpowiednio 45% i -52%.

W trakcie zwarc pierwszeństwo w generacji ma moc bierna nad mocą czynną zgodnie z art. 21 ust. 3 lit. e) PSE 2018-12 /C/. Należy jednak zauważyć, że falownik w niektórych przypadkach ogranicza generację mocy czynnej bardziej niż to konieczne dla celów zapewnienia generacji prądu biernego. Ponieważ nie istnieją żadne odnośne wymogi zabraniające takiej sytuacji, uznano, że jest to zgodne z wymogami.

Monie Artur



[Logo]: DNV

## Podsumowanie oceny

Na podstawie wykonanych badań i przekazanych informacji można potwierdzić zgodność z wymaganiami dla polskiej sieci z zastrzeżeniem warunku określonego w punkcie 6.

## 5.9 Odbudowa mocy czynnej po zwarcia

### 5.9.1 Wprowadzenie

Jak określono w art. 20 ust. 3 NC RfG /D/ oraz wymogach szczegółowych dla Polski w art. 20 ust. 3 lit. a) PSE 2018-12 /C/, jednostka wytwarzania energii musi mieć zdolność do pozakłóceniewego odtwarzania mocy czynnej, liczonego od usunięcia zwarcia do osiągnięcia 90% mocy przedzakłóceniewej w czasie nie dłuższym niż 5 s. Nie dopuszcza się występowania nietłumionych oscylacji po odbudowie mocy czynnej.

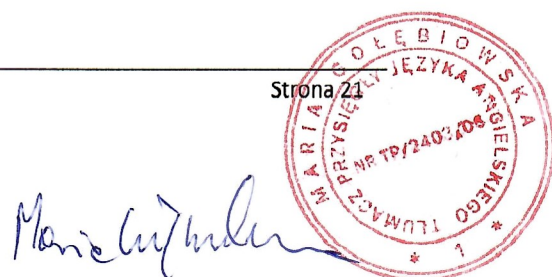
### 5.9.2 Konfiguracja badania

Zobacz punkt 5.7.2.

### 5.9.3 Ocena

We wszystkich badaniach podlegających ocenie falownik zdołał odtworzyć 90% mocy czynnej w czasie poniżej 5 s bez wystąpienia nietłumionych oscylacji. Odnotowano ponadto, że moc czynna jest obniżana do zera przed odtworzeniem przedzakłóceniewej wartości mocy czynnej, co wynikało również z obserwacji generacji prądu biernego. Ponieważ nie istnieją odnośne wymogi które nie dopuszczałyby takiej sytuacji, a 90% mocy czynnej zostaje zawsze odtworzona w czasie krótszym niż 5 s, zgodność z wymogami zostaje potwierdzona.

Na podstawie wykonanych badań i przekazanych informacji można potwierdzić zgodność z wymaganiami dla polskiej sieci.





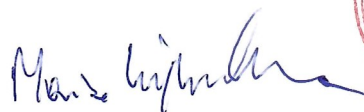
[Logo]: DNV

## 6. WARUNKI

- Zmiany w projekcie systemu, wyposażeniu lub oprogramowaniu certyfikowanych falowników fotowoltaicznych winny zostać zatwierdzone przez DNV.
- Ustawienia falownika winny ostatecznie zostać uzgodnione i sprawdzone na poziomie projektu w celu zapewnienia zgodności z kodeksem sieci, w oparciu o wymagania właściwego operatora systemu (OS). W przypadku funkcji objętych zakresem niniejszej certyfikacji więcej informacji na temat ustawień poddanych ocenie znajduje się w części *Ustawienia regulacji* w punkcie 4.2 oraz w odnośnych punktach 5.1 – 5.9.
- Możliwość zdalnej regulacji została przedstawiona na poziomie jednostki, jednak docelowo musi zostać zapewniona na poziomie projektu z uwzględnieniem wszelkich dalszych wymagań właściwego operatora systemu (OS) oraz pełnej sieci komunikacyjnej. W przypadku funkcji objętych zakresem niniejszej certyfikacji dotyczy to
  - zdalnego zaprzestania generacji mocy czynnej (zobacz punkt 5.3),
  - zdalnej regulacji nastawy mocy czynnej (zobacz punkt 5.4),
  - zdalnego blokowania i regulacji trybu LFSM-O (zobacz punkt 5.5),
  - zdalnego blokowania trybu LFSM-U (zobacz punkt 5.6),

## 7. WNIOSKI

Falownik SOFAR 255KTL-HV firmy SofarSolar opisany w punkcie 4.2 został oceniony pod względem zgodności z kryteriami oceny wyszczególnionymi w punkcie 2 w zakresie określonym w punkcie 3. Z zastrzeżeniem warunków określonych w punkcie 6, nie ma przeciwskażeń, aby uznać, że falownik SOFAR 255KTL-HV spełnia kryteria oceany wymienione w punkcie 2.







[Logo]: DNV

## O DNV

DNV jest niezależnym ekspertem w dziedzinie zarządzania ryzykiem i zapewniania bezpieczeństwa, działającym w ponad 100 krajach. Dzięki swojemu szerokiemu doświadczeniu i dogłębnej wiedzy DNV wspiera bezpieczeństwo i zrównoważone funkcjonowanie, wyznacza standardy branżowe, a także inspiruje i tworzy rozwiązania.

Bez względu na to czy ocenia projekt nowego statku, optymalizuje wydajność farmy wiatrowej, analizuje dane z czujników w gazociągu, czy też certyfikuje łańcuch dostaw firmy spożywczej, DNV zawsze umożliwi swoim klientom i ich interesariuszom podejmowanie krytycznych decyzji z pełnym zaufaniem.

Kierując się swoim celem, jakim jest ochrona życia, mienia i środowiska, DNV pomaga stawiać czoła wyzwaniom i globalnym przemianom, przed jakimi stoją dziś jego klienci i cały świat, a także jest zaufanym głosem wielu spośród najlepiej prosperujących i myślących przyszłościowo firm na świecie.

---

Poświadczam zgodność powyższego tłumaczenia z okazanym mi dokumentem w języku angielskim.

Maria Gołębiowska, tłumacz przysięgły języka angielskiego, wpisana na listę tłumaczy przysięgłych, prowadzoną przez ministra sprawiedliwości, pod numerem TP/2403/06.

Legnica, 18 kwietnia 2023 r.

Nr repertorium **114/2023**



*Maria Gołębiowska*