



Ocena falowników fotowoltaicznych instalacji prosumenckich na zgodność z kodeksem sieci NC RfG oraz wymogami Operatorów Systemów Dystrybucyjnych

dr inż Krzysztof Chmielowiec

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza



Wprowadzenie



Piknik OZE 2021

Rada Naukowa przy TAURON Dystrybucja S.A. organizuje Piknik OZE 2021 poświęcony oddziaływaniu odnawialnych źródeł energii, a w szczególności elektrowni fotowoltaicznych (PV) na pracę sieci elektroenergetycznej i gotowości elementów instalacji fotowoltaicznych do współpracy z siecią na warunkach wynikających z sukcesywnie wprowadzanych do obowiązywania właściwych Kodeksów Sieci. Wydarzenie będzie obejmować część seminaryjną oraz część eksperymentalną, która tym razem będzie dotyczyć badań falowników dedykowanych do prosumenckich instalacji PV.



Wiodące zagadnienia

- Ocena spełniania przez inwertery wymogów kodeksów sieciowych RfG oraz identyfikacja możliwości efektywniejszego prowadzenia ruchu sieci
- Jakość energii elektrycznej z prosumenckich odnawialnych źródeł energii - emisyjność zakładów oraz odporność sieci elektroenergetycznej na ich oddziaływanie
- Poradnik dla prosumenta

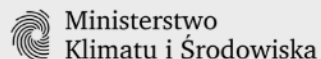
Seminarium online 16 czerwca 2021 r.

- ▶ program
- ▶ link do nagrania z wydarzenia

Wydarzenie organizują

TAURON Dystrybucja S.A. oraz uczelnie współpracujące ze spółką w ramach Rady Naukowej:

- ▶ Akademia Górniczo-Hutnicza
- ▶ Politechnika Wrocławska
- ▶ Politechnika Śląska
- ▶ Politechnika Opolska
- ▶ Politechnika Częstochowska



Piknik OZE 2021 został objęty honorowymi patronatami:
Ministra Klimatu i Środowiska Michała Kurtyki oraz Ministerstwa Rozwoju, Pracy i Technologii



Rozwój energetyki rozproszonej
w klastrach energii
(KlastER)

www.er.agh.edu.pl

www.tauron-dystrybucja.pl/piknik-oze



Wprowadzenie



1. Celem przeprowadzonych badań była ocena porównawcza dostępnych na polskim rynku falowników fotowoltaicznych w zakresie:
 - efektywności energetycznej
 - warunków współpracy z elektroenergetyczną siecią dystrybucyjną
2. Do badań wytypowano falowniki 1-fazowe ($P_{AC,n} \sim 3 \text{ kW}$) oraz 3-fazowe ($P_{AC,n} \sim 5-6 \text{ kW}$)
3. Badania realizowano w oparciu o wymagania obowiązujących w Polsce norm m.in.:
 - PN-EN 50549-1:2019 Wymagania dla instalacji generacyjnych przeznaczonych do równoległego przyłączenia do publicznych sieci dystrybucyjnych*
 - PN-EN 50530:2010/A1:2013-07 Całkowita sprawność falowników fotowoltaicznych*
 - PN-EN 62116:2014 Falowniki fotowoltaiczne włączone do publicznej sieci energetycznej. Procedura ochrony przed zanikiem napięcia*oraz przepisów:
 - kodeks sieci NC RfG, Instrukcja Ruchu i Eksploatacji Sieci Dystrybucyjnej (IRiESD)
4. Badania przeprowadzono w **Centrum Energetyki AGH**



Wprowadzenie



POLSKA NORMA

ICS 29.160.20
PN-EN 50549-1

Wprowadza
EN 50549-1:2019, IDT
Zastępuje
PN-EN 50438:2014-02

Wymagania dla instalacji generacyjnych przeznaczonych do równoległego przyłączenia do publicznych sieci dystrybucyjnych

Część 1: Przyłączanie do sieci dystrybucyjnej nN
Instalacje generacyjne aż do typu B i włącznie z nim

Normy



II
(Akty o charakterze nieustawodawczym)

ROZPORZĄDZENIA

ROZPORZĄDZENIE KOMISJI (UE) 2016/631
z dnia 14 kwietnia 2016 r.
ustanawiające kodeks sieci dotyczący wymogów w zakresie przyłączenia jednostek wytwórczych do sieci
(Tekst mający znaczenie dla EOG)

KOMISJA EUROPEJSKA,

uwzględniając Traktat o funkcjonowaniu Unii Europejskiej,

uwzględniając rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 714/2009 z dnia 13 lipca 2009 r. w sprawie warunków dostępu do sieci w odniesieniu do transgranicznej wymiany energii elektrycznej i uchylające rozporządzenie (WE) nr 1228/2003 (¹), w szczególności jego art. 6 ust. 11, a także mając na uwadze, co następuje:

a także mając na uwadze, co następuje:

- (1) Szybkie ukończenie budowy w pełni funkcjonującego i wzajemnie połączonego wewnętrznego rynku energii ma kluczowe znaczenie dla utrzymania bezpieczeństwa dostaw energii, zwiększenia konkurencyjności oraz zapewnienia wszystkim konsumentom możliwości nabywania energii po przystępnych cenach.
- (2) Rozporządzenie (WE) nr 714/2009 ustanawia niedyskryminacyjne zasady dotyczące dostępu do sieci w odniesieniu do transgranicznej wymiany energii elektrycznej w celu zapewnienia właściwego funkcjonowania rynku wewnętrznego energii elektrycznej. W art. 5 dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/72/WE (²) zobowiązano ponadto państwa członkowskie lub – w przypadku gdy państwa członkowskie tak postanowiły – organy regulacyjne do zapewnienia m.in. opracowania obiektywnych i niedyskryminujących przepisów

Rozporządzenia EU

INSTRUKCJA RUCHU I EKSPLOATACJI SIECI DYSTRYBUCYJNEJ

9. DODATKOWE WYMAGANIA DLA MIKROINSTALACJI

9.1. Wymagania techniczne

9.1.1. Wymagania w zakresie regulacji mocy biernej

9.1.1.1. Wymagania ogólne:

Mikroinstalacja przyłączona przez falownik ma być zdolna do pracy w normalnych warunkach eksploatacji w paśmie tolerancji napięcia od 0,85 U_n do 1,1 U_n z następującą mocą bierną:

- a) zgodnie z krzywą charakterystyki zadanej przez TAURON Dystrybucja w obrębie współczynników przesunięcia fazowego podstawowych harmonicznych napięcia i prądu od $\cos \varphi = 0,9_{ind}$ do $\cos \varphi = 0,9_{poj}$, gdzie moc

Instrukcja Ruchu i Eksploatacji Sieci Dystrybucyjnej	Załącznik nr 1	Strona: 18
--	----------------	------------

Wymagania OSD



Badane falowniki fotowoltaiczne

Falowniki 1-fazowe

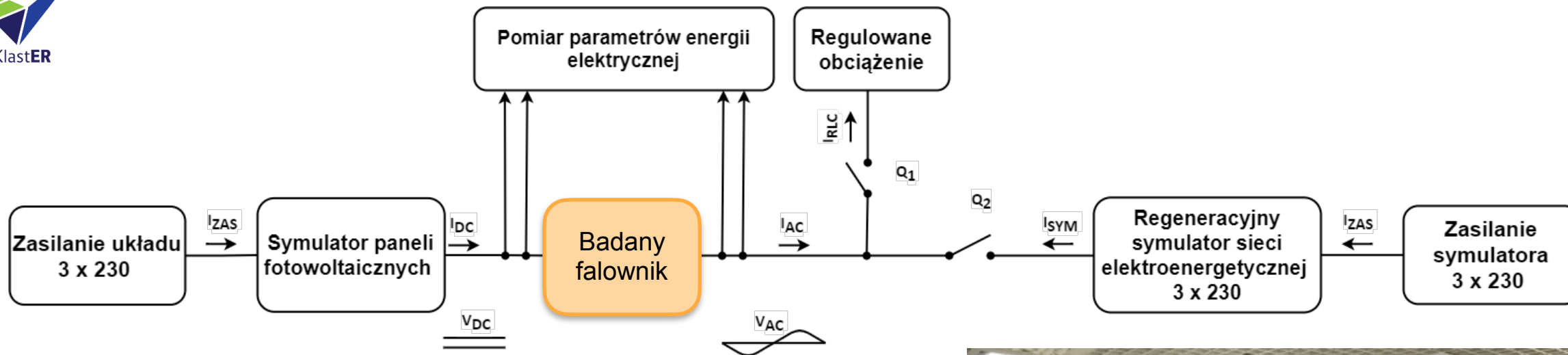
Marka/Model	P _{AC} [kW]
AC INV-1P-37	3,7
FoxESS F3600	3,6
GoodWe GW3000-XS	3
Growatt MOD 3600TL	3,6
Huawei SUN2000-3KTL-L1	3
Kostal PIKO MP Plus 3.0-2	3
Sofar Solar 2700TL-G3	2,7
SOLAX POWER X1 AIR	3
Solis-1P3.6K-4G	3,6
Solplanet ASW3000-S	3
Sungrow SG2K5-S	2,5
TWERD PS100-PV	3

Falowniki 3-fazowe

Marka/Model	P _{AC} [kW]
Afore Aton 6	6
BBECO BBE-5-PL1	5
FoxESS T5	5
Fronius Symo GEN24 6.0	6
Goodwe GW6K-DT	6
Growatt MOD 6000TL3	6
Huawei SUN2000-5KTL-M1	5
KACO 5.0 TL3	5
Kehua SPI6K-B	6
Kostal Plenticore 5.5 3F	5,5
Sermatec SMT-6K-TL-TH	6
SMA STP6.0	6
SOLAX POWER X3 MIC	6
Solis-3P6K-4G	6
Solplanet ASW5000-T	5
Sungrow SG2KTL-MT3	5
TWERD PS3000-PV	5



Stanowisko badawcze



Zespół wykonawców badań falowników PV

Efektywność energetyczna	Aleks Piszczek	AGH Kraków
NC RfG, regulacja mocy biernej	mgr inż. Łukasz Topolski	
Odporność na zapady napięcia i krótkie przerwy w zasilaniu	dr inż. Mateusz Dutka dr inż. Andrzej Firlit	
Detekcja nieintencjonalnej pracy wyspowej	dr inż. Szymon Barczentewicz dr inż. Tomasz Lerch	
Organizacja oraz nadzór nad poprawnością realizacji badań	dr inż. Krzysztof Chmielowiec	

Efektywność energetyczna falowników PV

Procedura badawcza

- PN-EN 50530:2010/A1:2013-07 - Całkowita sprawność falowników fotowoltaicznych
- Badane punkty pracy falowników:
 - ▶ 25%, 50%, 75%, 100% znamionowej mocy AC falownika ($P_{AC,n}$),
 - ▶ Napięcie U_{DC} : $U_{MPPTMAX}$, $U_{MPPTNOM}$, $U_{MPPTMIN}$ (na podstawie karty katalogowej falownika)

Zagregowane miary efektywności energetycznej falowników PV

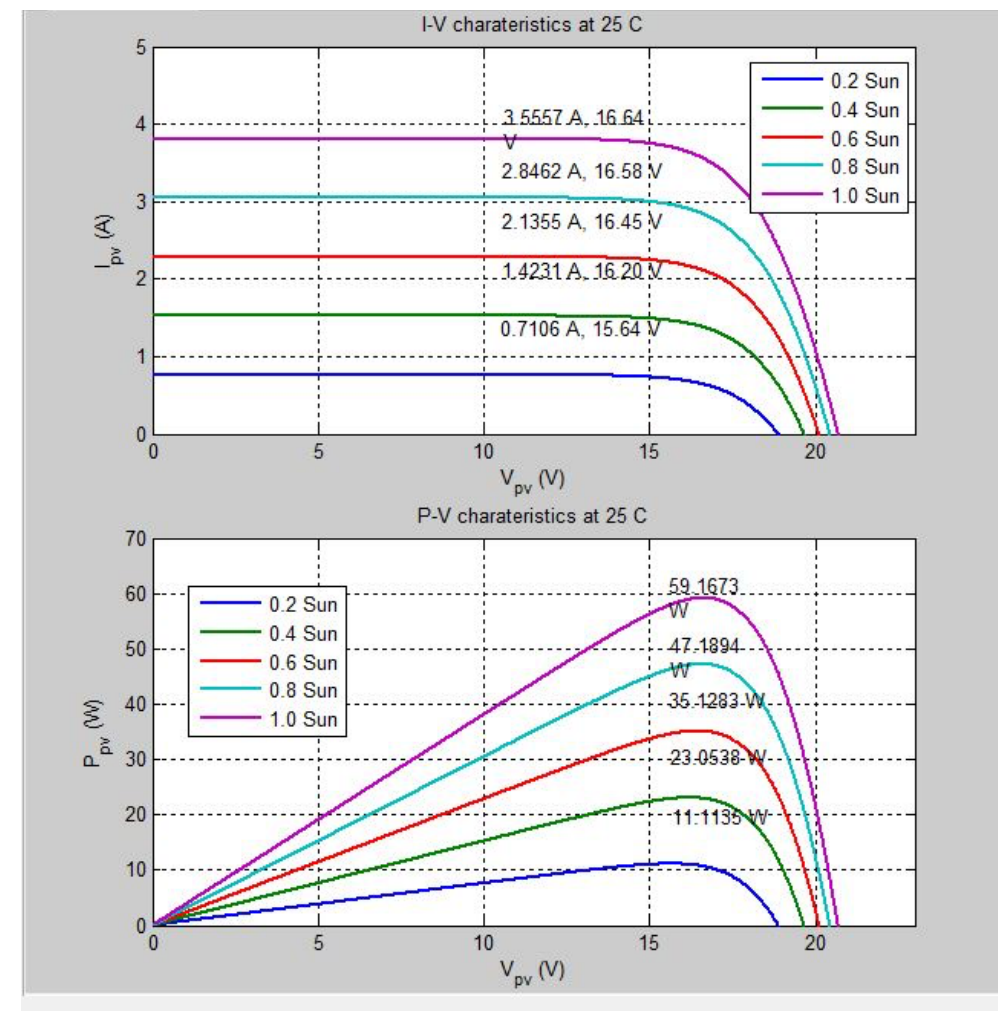
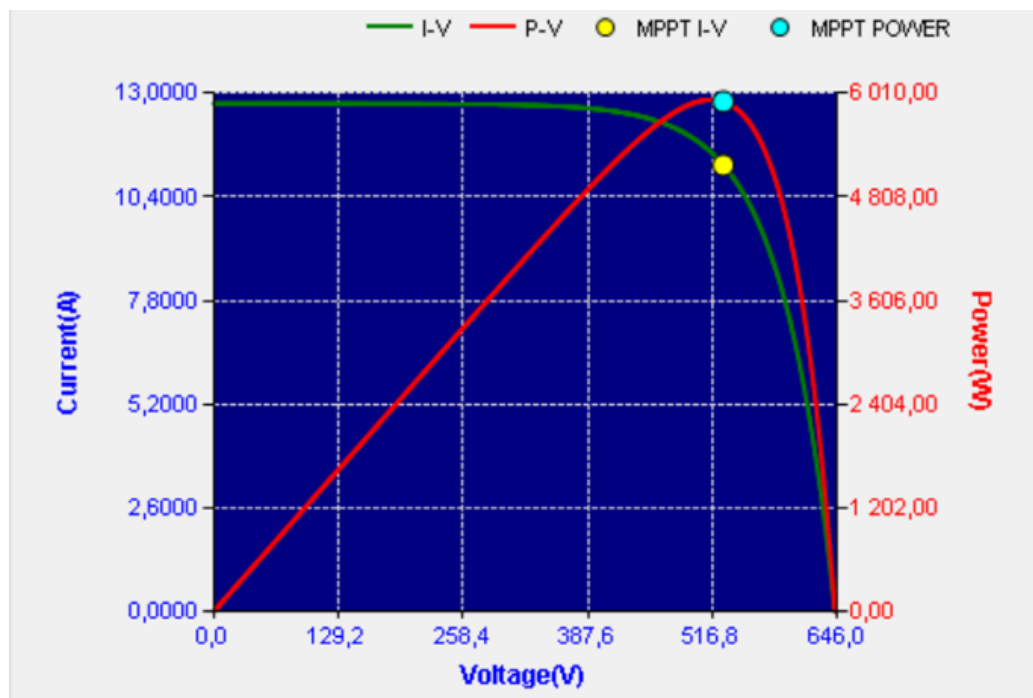
Euro Efficiency = $0.03 \times \text{Eff}5\% + 0.06 \times \text{Eff}10\% + 0.13 \times \text{Eff}20\% + 0.1 \times \text{Eff}30\% + 0.48 \times \text{Eff}50\% + 0.2 \times \text{Eff}100\%$.

CEC Efficiency = $0.04 \times \text{Eff}10\% + 0.05 \times \text{Eff}20\% + 0.12 \times \text{Eff}30\% + 0.21 \times \text{Eff}50\% + 0.53 \times \text{Eff}75\% + 0.05 \times \text{Eff}100\%$.



Efektywność energetyczna falowników PV

Procedura badawcza

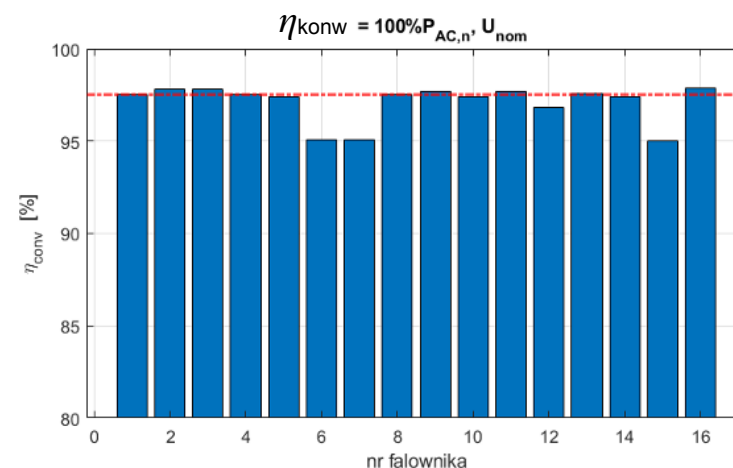
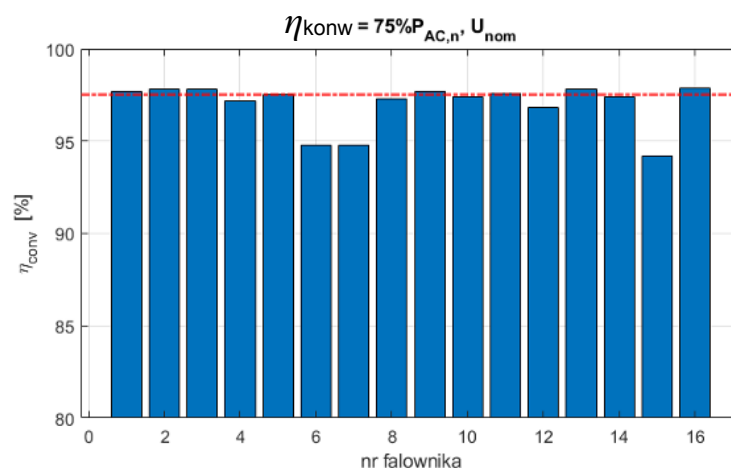
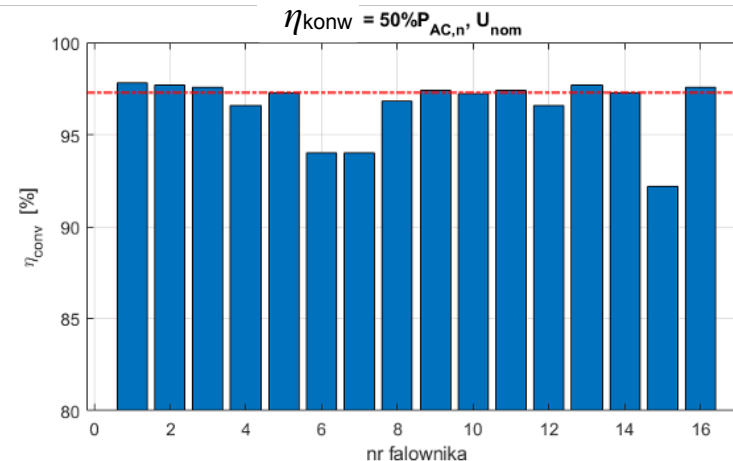
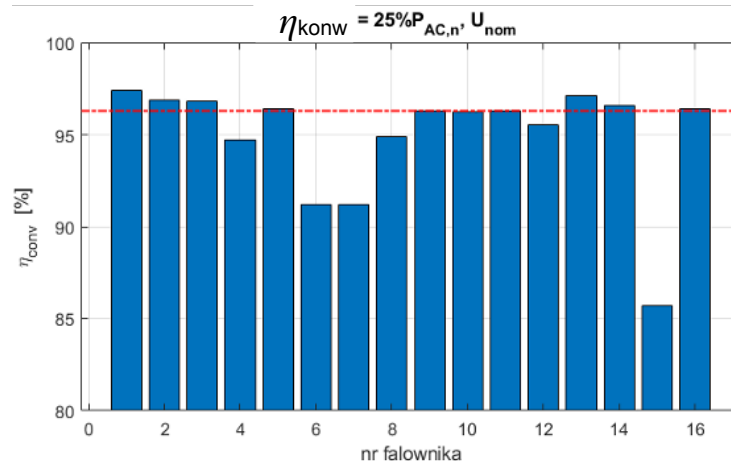


de.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/61388-solar-pv-characteristics-using-m-code

Efektywność energetyczna falowników PV

Sprawność konwersji energii elektrycznej falowników 3-fazowych

% $P_{AC,n}, U_n$	Mediana
25%	96,3%
50%	97,3%
75%	97,5%
100%	97,5%



A.Piszczyk, "Efektywność energetyczna falowników fotowoltaicznych",

AGH Kraków, Seminarium Pikniku OZE, 16.06.2021



Efektywność energetyczna falowników PV

Sprawność MPPT (stan ustalony)

Dla danego poziomu generacji została obliczona jako

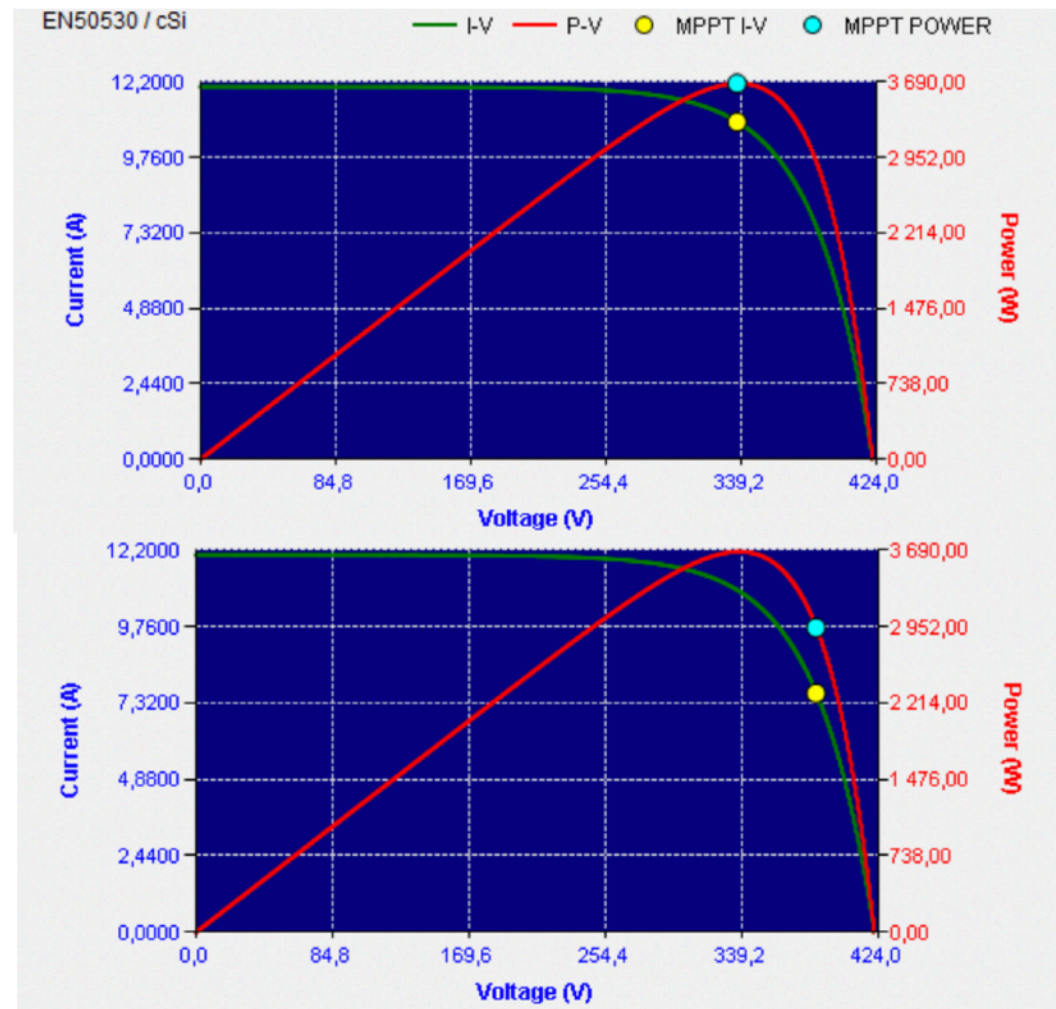
$$\eta_{\text{MPPT}} = \frac{I_{\text{DC}} \cdot U_{\text{DC}}}{P_{\text{MPP}}} \cdot 100\%$$

gdzie:

I_{DC} - prąd na wejściu

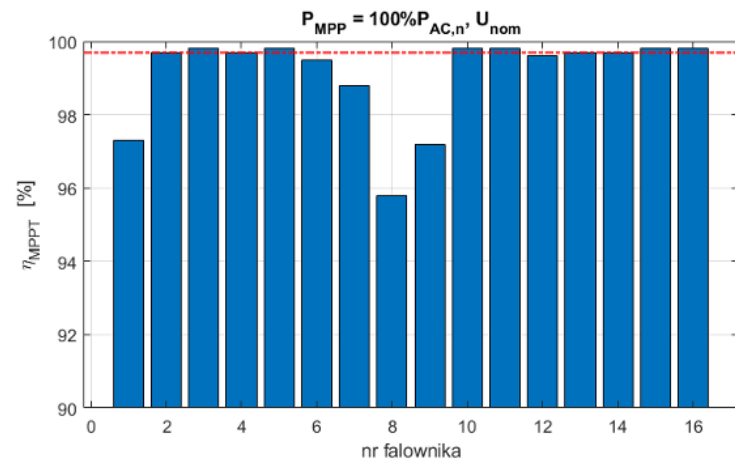
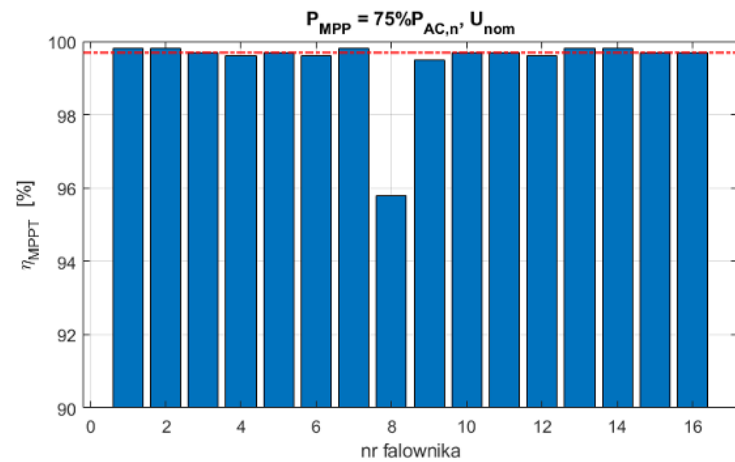
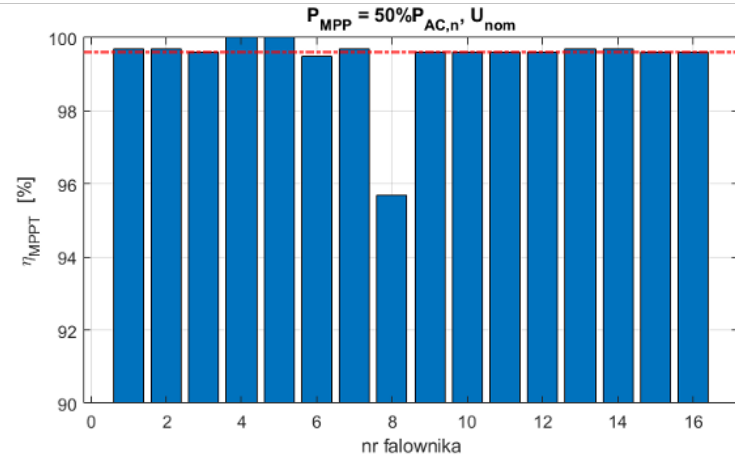
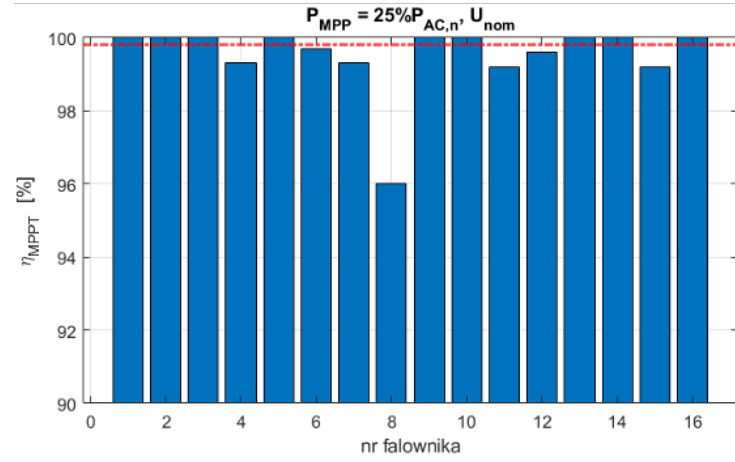
U_{DC} - napięcie na wejściu

P_{MPP} - moc paneli fotowoltaicznych



Efektywność energetyczna falowników PV

Sprawność MPPT (stan ustalony) falowników 3-fazowych



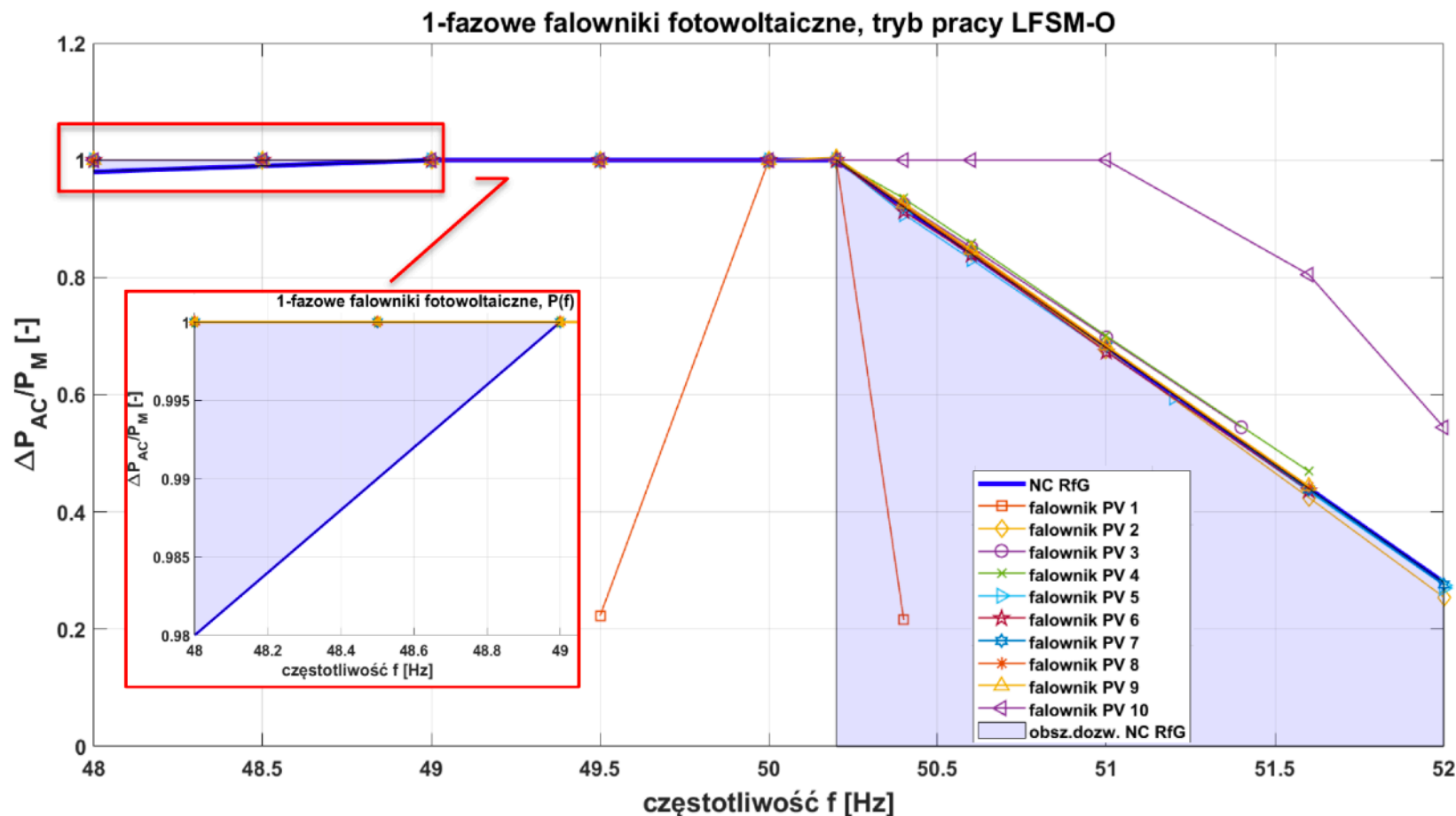
A.Piszczyk, "Efektywność energetyczna falowników fotowoltaicznych",

AGH Kraków, Seminarium Pikniku OZE, 16.06.2021



Zgodność falowników PV wymogami OSD

Charakterystyka $P(f)$ kodeksu NC RfG

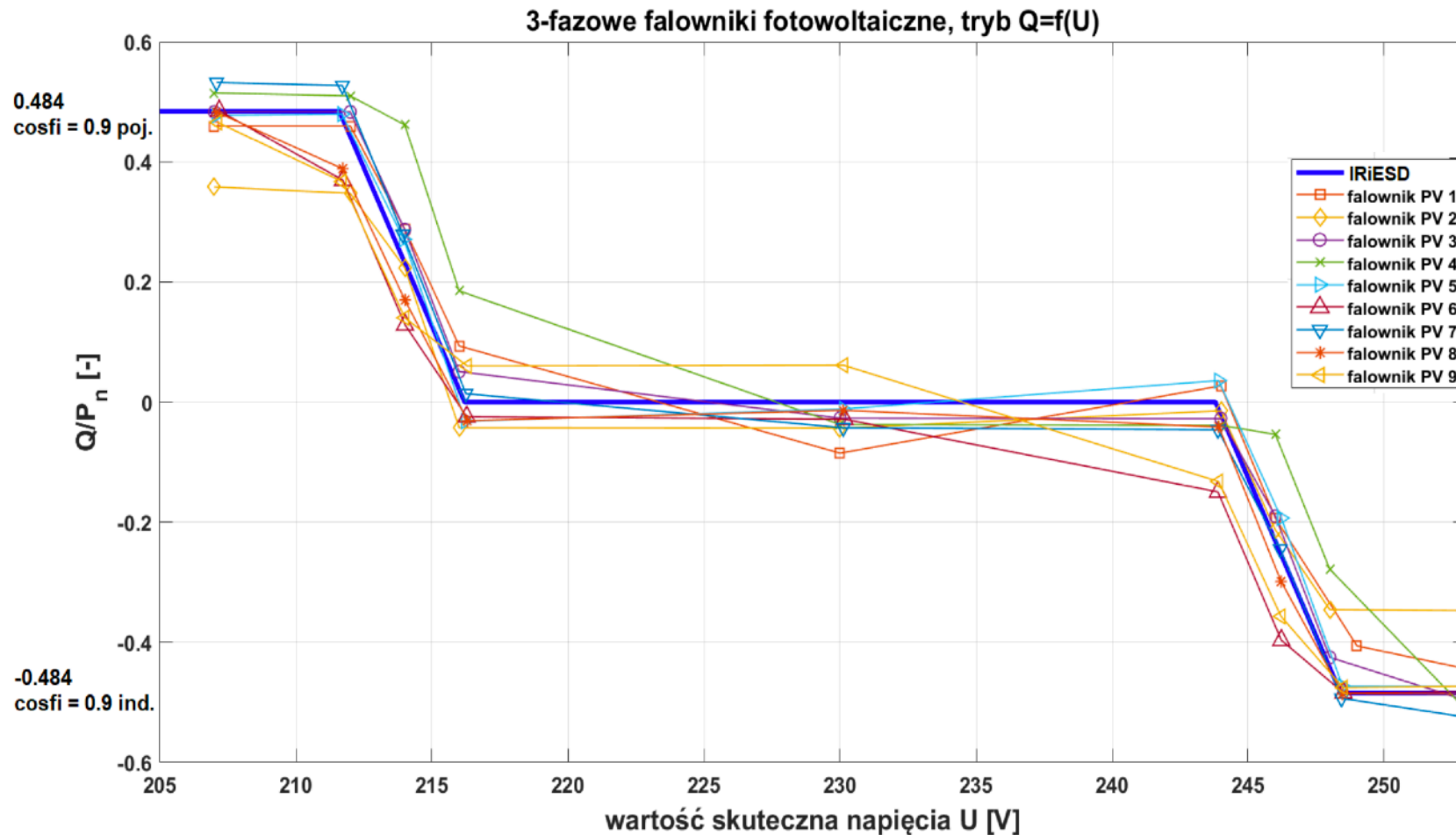


ΔP_{AC} – wymagana zmiana mocy czynnej na wyjściu falownika fotowoltaicznego,

P_M – moc czynna na wyjściu falownika fotowoltaicznego przy częstotliwości sieci równej 50,2 Hz.

Zgodność falowników PV wymogami OSD

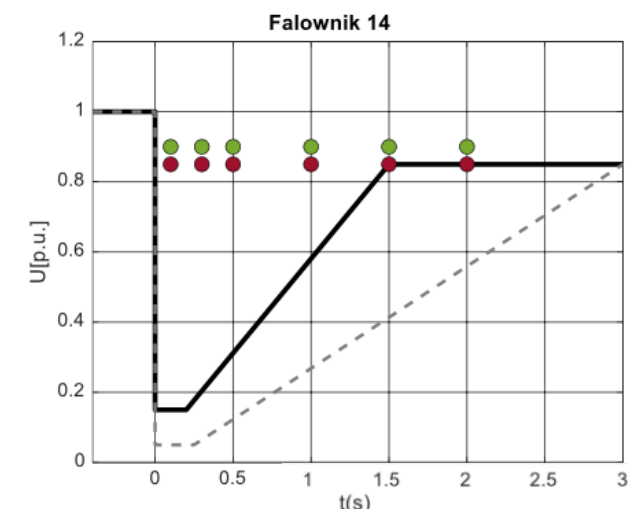
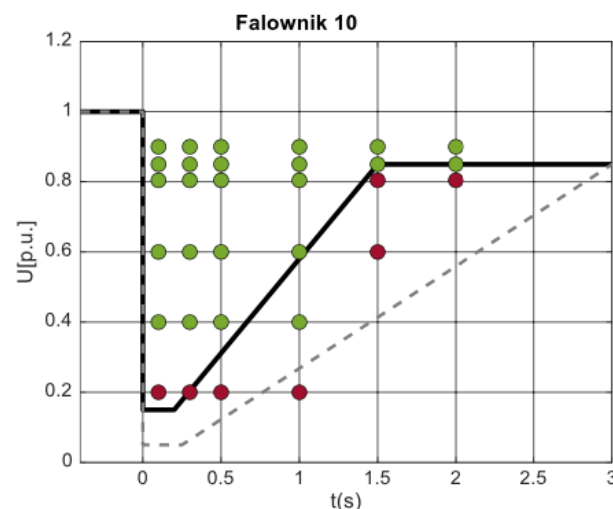
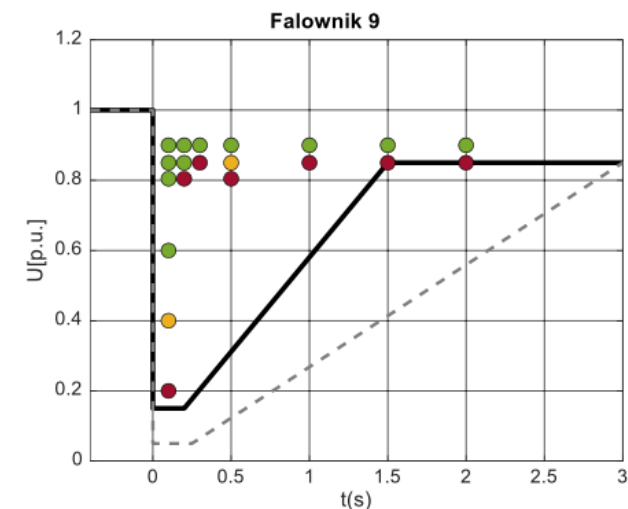
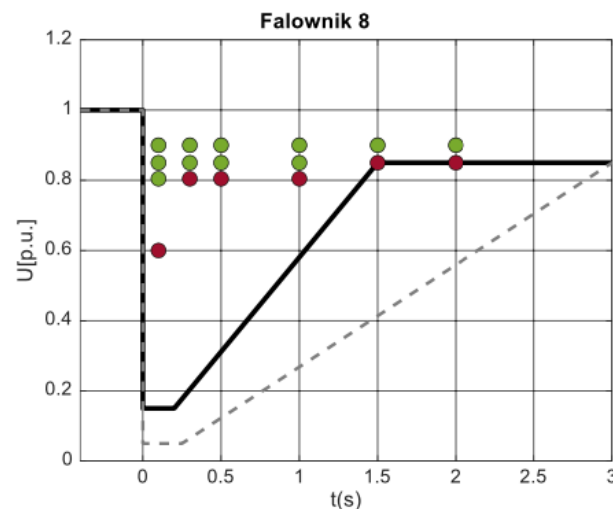
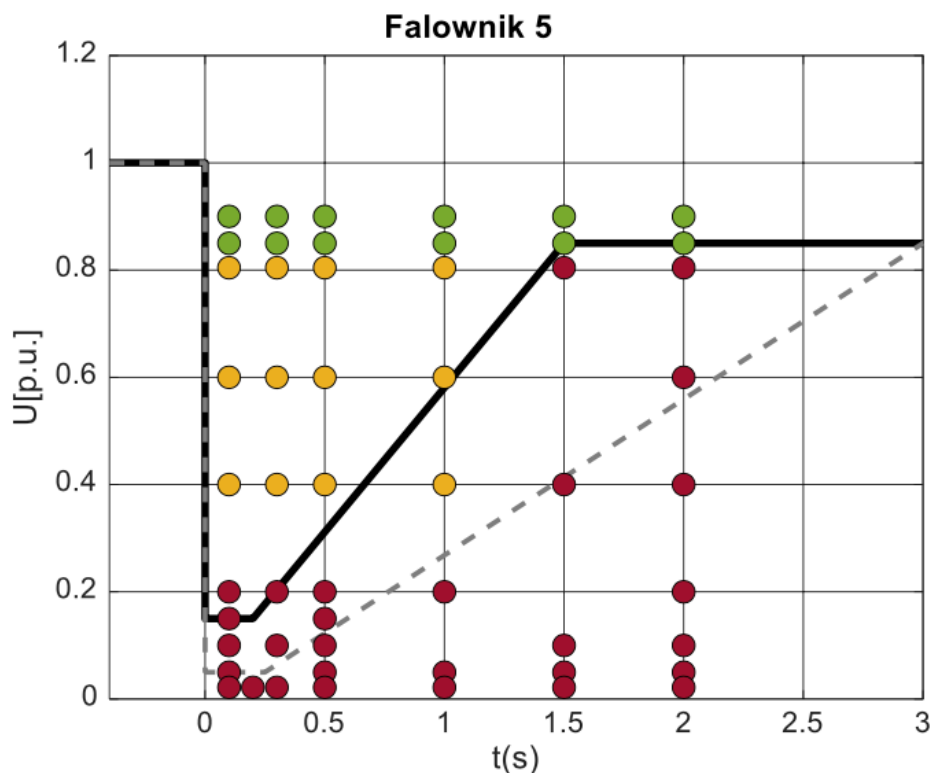
Regulacja mocy biernej



Ł.Topolski, "Badania falowników falowników fotowoltaicznych na zgodność z kodeksem sieci NC RfG oraz wymogami OSD",

Odporność falowników PV na zdarzenia w napięciu

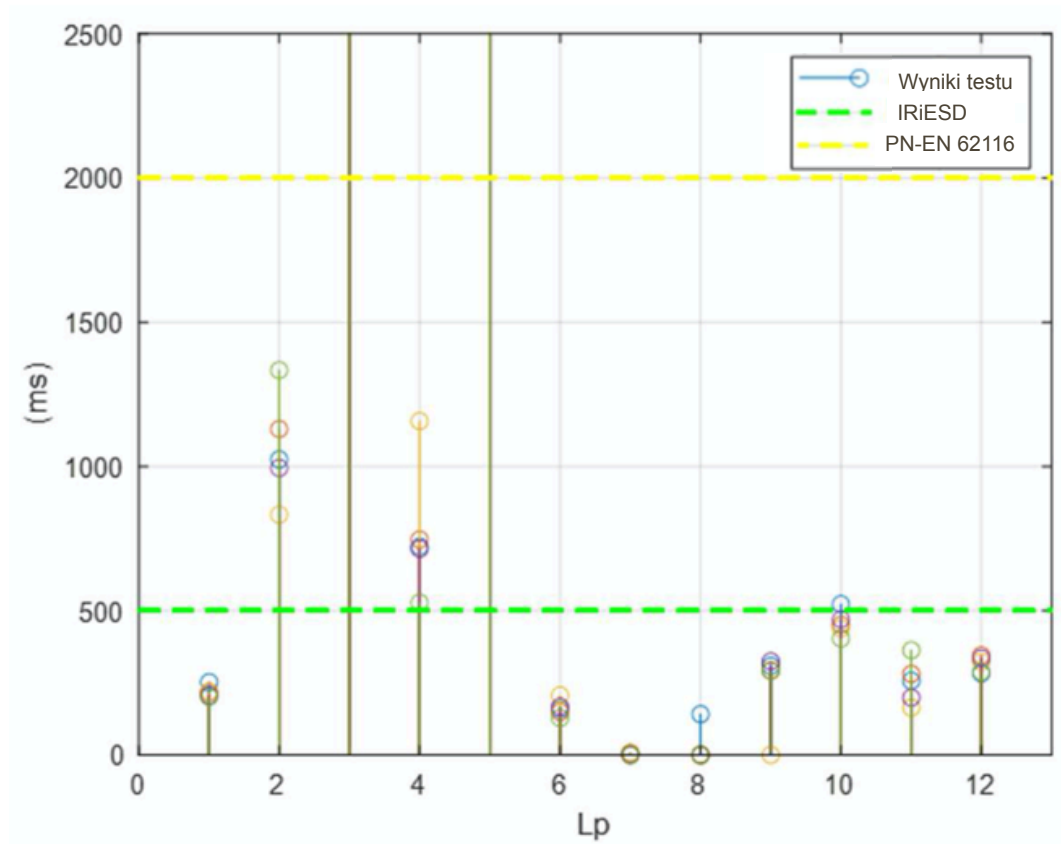
Analiza wyników



A.Firlit, M.Dutka, "Badania odporności falowników fotowoltaicznych na zapady napięcia i krótkie przerwy w zasilaniu",

Nieintencjonalna praca wyspowa falowników PV

Czasy włączeń falowników 3-fazowych



Podsumowanie



W ramach projektu KlastER GOSPOSTRATEG realizujemy rozwój kompetencji badawczo-przemysłowych laboratoriów Centrum Energetyki AGH w obszarze energetyki rozproszonej:

- badania aparatury pomiarowej, mikroźródeł oraz zasobników energii elektrycznej uwzględniając ścieżkę badań akredytowanych
- tworzenie i wdrażanie procedur testowania mikroźródeł energii elektrycznej na zgodność z wymaganiami polskich Dystrybutorów Energii Elektrycznej



Podsumowanie

Piknik OZE 2021

Rada Naukowa przy TAURON Dystrybucja S.A. organizuje Piknik OZE 2021 poświęcony oddziaływaniu odnawialnych źródeł energii, a w szczególności elektrowni fotowoltaicznych (PV) na pracę sieci elektroenergetycznej i gotowości elementów instalacji fotowoltaicznych do współpracy z siecią na warunkach wynikających z sukcesywnie wprowadzanych do obowiązywania właściwych Kodeksów Sieci. Wydarzenie będzie obejmować część seminaryjną oraz część eksperymentalną, która tym razem będzie dotyczyć badań falowników dedykowanych do prosumenckich instalacji PV.



Wiodące zagadnienia

- Ocena spełniania przez inwertery wymogów kodeksów sieciowych RfG oraz identyfikacja możliwości efektywniejszego prowadzenia ruchu sieci
- Jakość energii elektrycznej z prosumenckich odnawialnych źródeł energii - emisyjność zakładów oraz odporność sieci elektroenergetycznej na ich oddziaływanie
- Poradnik dla prosumenta

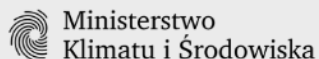
Seminarium online 16 czerwca 2021 r.

- ▶ program
- ▶ link do nagrania z wydarzenia

Wydarzenie organizują

TAURON Dystrybucja S.A. oraz uczelnie współpracujące ze spółką w ramach Rady Naukowej:

- ▶ Akademia Górniczo-Hutnicza
- ▶ Politechnika Wrocławska
- ▶ Politechnika Śląska
- ▶ Politechnika Opolska
- ▶ Politechnika Częstochowska



Piknik OZE 2021 został objęty honorowymi patronatami:
Ministra Klimatu i Środowiska Michała Kurtyki oraz Ministerstwa Rozwoju, Pracy i Technologii



Rozwój energetyki rozproszonej
w klastrach energii
(KlastER)

www.er.agh.edu.pl

www.tauron-dystrybucja.pl/piknik-oze



Dziękuję za uwagę

dr inż Krzysztof Chmielowiec

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

