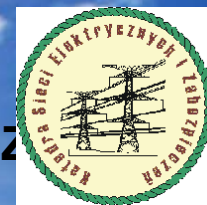




VI KONFERENCJA



ŁĄCZANIE I WSPÓŁPRACA OZE Z SYSTEMEM ELEKTROENERGETYCZNYM

----- POLSKIE TOWARZYSTWO PRZESYŁU I ROZDZIAŁU ENERGII ELEKTRYCZNEJ

# *Ocena możliwości opanowania podskoków napięcia w sieci nn o dużym nasyceniu mikroinstalacjami fotowoltaicznymi*

Piotr Kacejko, Sylwester Adamek, Marek Wancerz, Robert Jędrychowski, Wojciech Frąckiewicz  
Politechnika Lubelska



# Mikroinstalacje

---

Zgodnie z ustawą z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii:

▶ **mikroinstalacja** – instalacja odnawialnego źródła energii o łącznej mocy zainstalowanej elektrycznej nie większej niż 40 kW, przyłączona do sieci

▶ ze względu na moc instalacji, są one przyłączane do sieci niskiego napięcia, często przez odbiorców – prosumentów

ze względu na dostęp do technologii większość instalacji to układy fotowoltaiczne przyłączane za pomocą przekształtników energoelektronicznych



# Wstęp (1)

---

- ▶ Sieci elektroenergetyczne niskiego napięcia przez lata były projektowane i eksploatowane tak, by zapewnić poprawne warunki zasilania odbiorców przy jednokierunkowym przepływie mocy – od sieci wyższego napięcia do odbiorcy.
- ▶ Obserwowane od kilku lat coraz większe zainteresowanie odbiorców inwestowaniem we własne źródła zmienia te znane od lat warunki pracy sieci.
- ▶ W praktyce, coraz częściej, ze względu na wykorzystanie fotowoltaicznych źródeł energii, na profile obciążenia odbiorników nakłada się losowa (uzależniona od nasłonecznienia) generacja mikroinstalacji.



## Wstęp (2)

---

- ▶ W większości przypadków nowe warunki pracy sieci nie powodują żadnych kłopotów.
- ▶ Problemy mogą się pojawić w przypadku, gdy moc mikroinstalacji będzie duża przy jednoczesnym małym zapotrzebowaniu i niedopasowaniu sieci do jej przyjęcia.
- ▶ Konsekwencją są wówczas przekroczenia napięciowe (**podskoki napięcia w węzłach sieci**) oraz przekroczenia prądowe (przeciążenia linii i transformatorów SN/nn).



# Podskoki napięcia (1)

- ▶ Zjawisko podskoku (podbicia) napięcia jest analogiczne do zjawiska spadku napięcia występującego w liniach elektroenergetycznych.
  - ▶ Zmiana kierunku przepływu mocy powoduje zmianę znaku spadku napięcia i tym samym może wystąpić sytuacja, że miejscu wprowadzenia mocy napięcie będzie większe od napięcia na szynach stacji zasilającej.
- ▶ Zjawisko podskoku napięcia można opisać następującą zależnością:

$$\Delta U = \frac{P_g - P_L}{U_Z} R_Z + \frac{Q_g - Q_L}{U_Z} X_Z$$

## Podskoki napięcia (2)

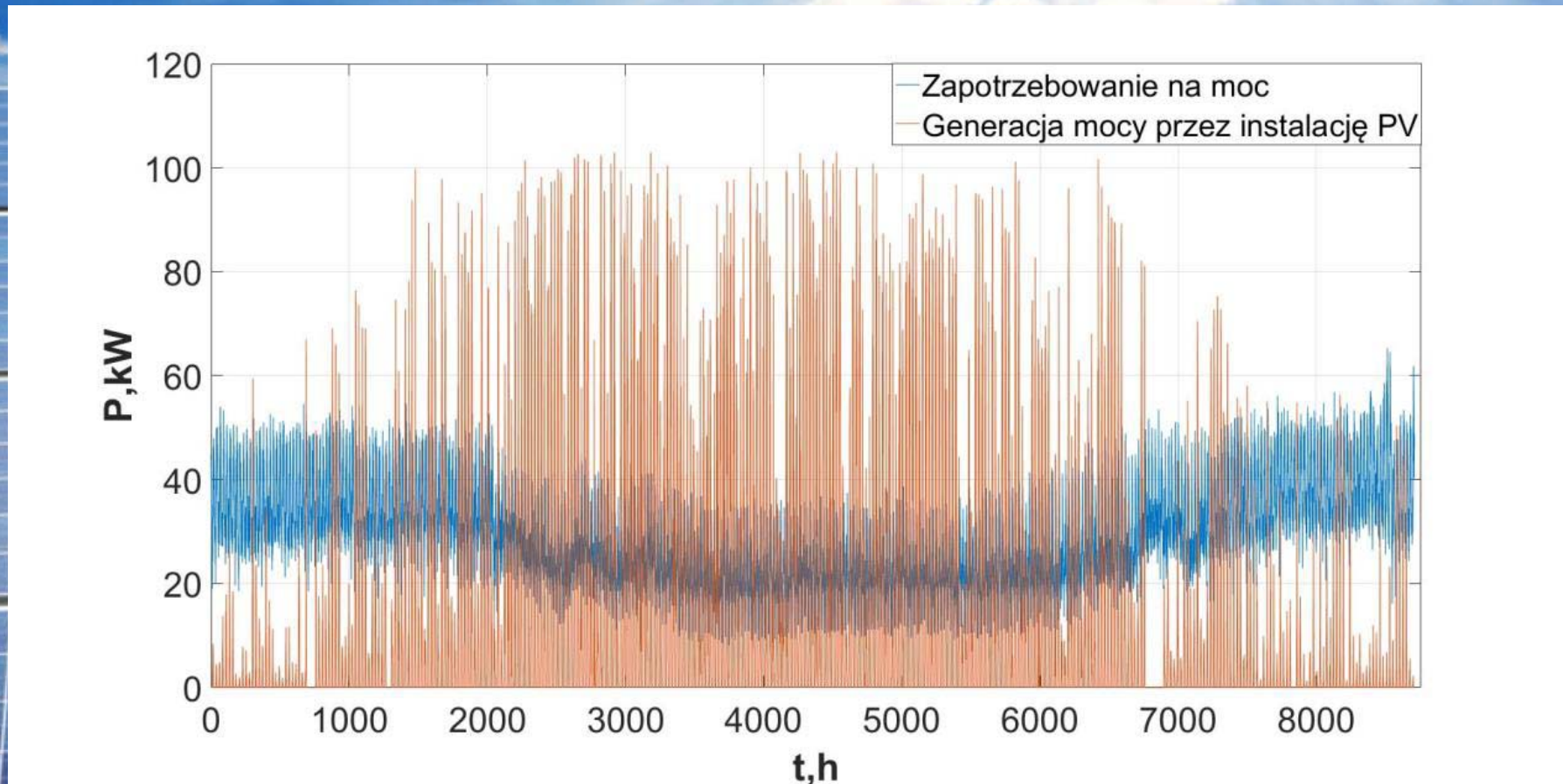
- ▶ Przeprowadzone obserwacje i pomiary w sieci niskiego napięcia z dużą liczbą mikroinstalacji wytwórczych potwierdziły prawdopodobieństwo wystąpienia groźnych podskoków napięć.
- ▶ zjawisko to wystąpiło w godzinach dużego nasłonecznienia, które nałożyło się na niski pobór mocy przez odbiorców.
- ▶ wówczas znaczna część mocy z mikroinstalacji jest przesyłana w kierunku stacji SN/nn



# Badana sieć

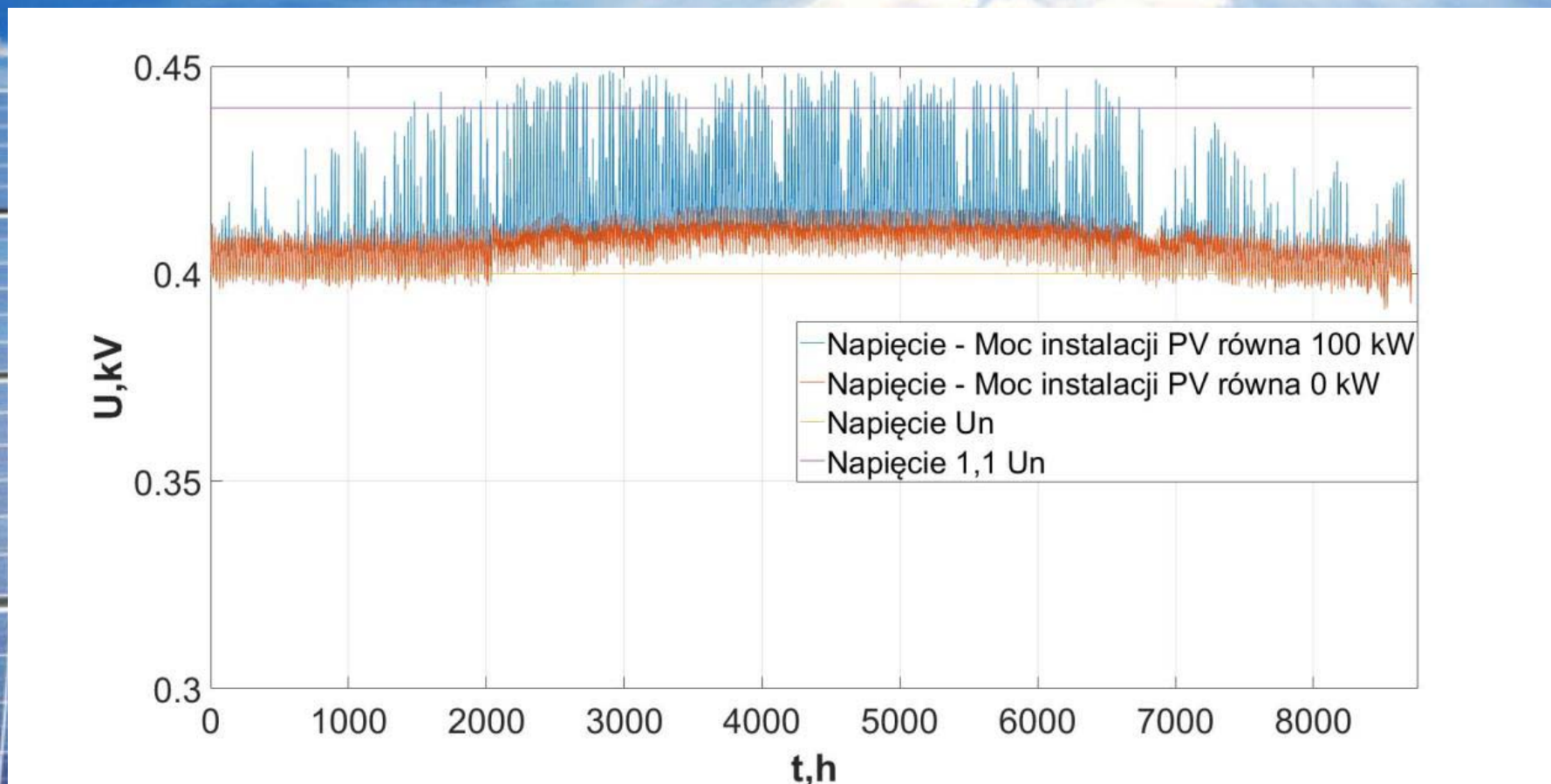


# Przebieg rocznych zmian mocy obciążenia badanej stacji transformatorowej





# Przebieg rocznych zmian napięcia na końcu obwodu zasilanego z badanej stacji



# Opanowanie podskoków napięcia (1)

- ▶ Zależność, która pozwala na wyjaśnienie zjawiska podskoku, zarazem pozwala na określenie możliwych do stosowania środków zaradczych.
- ▶ Środki te to:
  - ▶ regulacja napięcia zasilającego;
  - ▶ zmiana parametrów sieci (rezystancji i reaktancji);
  - ▶ zmiana mocy czynnej przesyłanej linią;
  - ▶ zmiana mocy biernej przesyłanej linią.



## Opanowanie podskoków napięcia (2)

- ▶ **Regulacja napięcia** jest prowadzona w sposób ciągły (lub do niego zbliżony) w sieciach elektroenergetycznych SN.
- ▶ **Zmiana parametrów** sieci może być realizowana poprzez przebudowę sieci; jest więc to inwestycja kosztowna i w szczególności, gdy przekroczenia napięciowe dotyczą krótkiego czasu w ciągu roku, może nie być uzasadniona finansowo.
- ▶ Z uwagi na oczekiwania operatorów sieci głównym przedmiotem badań stały się „**bezinwestycyjne**” **metody opanowania podskoków napięcia**.

# Opanowanie podskoków napięcia (3)

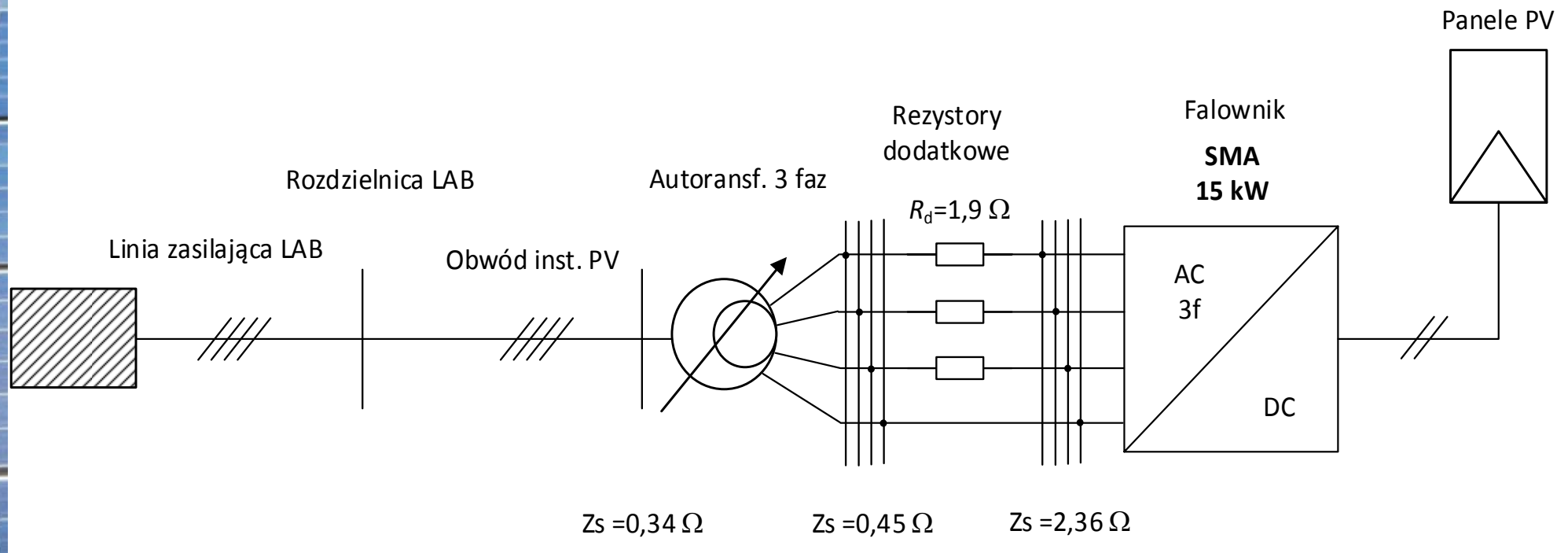
- ▶ Do metod bezinwestycyjnych z punktu widzenia operatorów sieci, można zaliczyć **ograniczenie generowanej mocy czynnej oraz regulację mocy biernej**.
  - ▶ Ograniczenie **mocy czynnej** można osiągnąć różnymi metodami:
    - ▶ poprzez zadziałanie zabezpieczeń,
    - ▶ aktywowanie w falownikach charakterystyk  $P=f(U)$
    - ▶ poprzez zdalne przesyłanie sygnałów sterujących.
  - ▶ Należy się jednak liczyć z tym, że ograniczeniem mocy będzie się wiązało z ograniczeniem ilości energii i tym samym stratą finansową prosumentów.
  - ▶ Regulację **mocy biernej** przesyłanej linią, a w zasadzie pobór mocy biernej przez instalację PV, można realizować przez odpowiednie sterowanie falowników instalacji PV
    - ▶ W przypadku jednak sieci niskiego napięcia, charakteryzujących się małą reaktancją, metoda ta może nie być efektywna a przy tym prowadzi do zwiększenia strat mocy czynnej oraz zwiększa stopień obciążenia linii i transformatorów SN/nn.



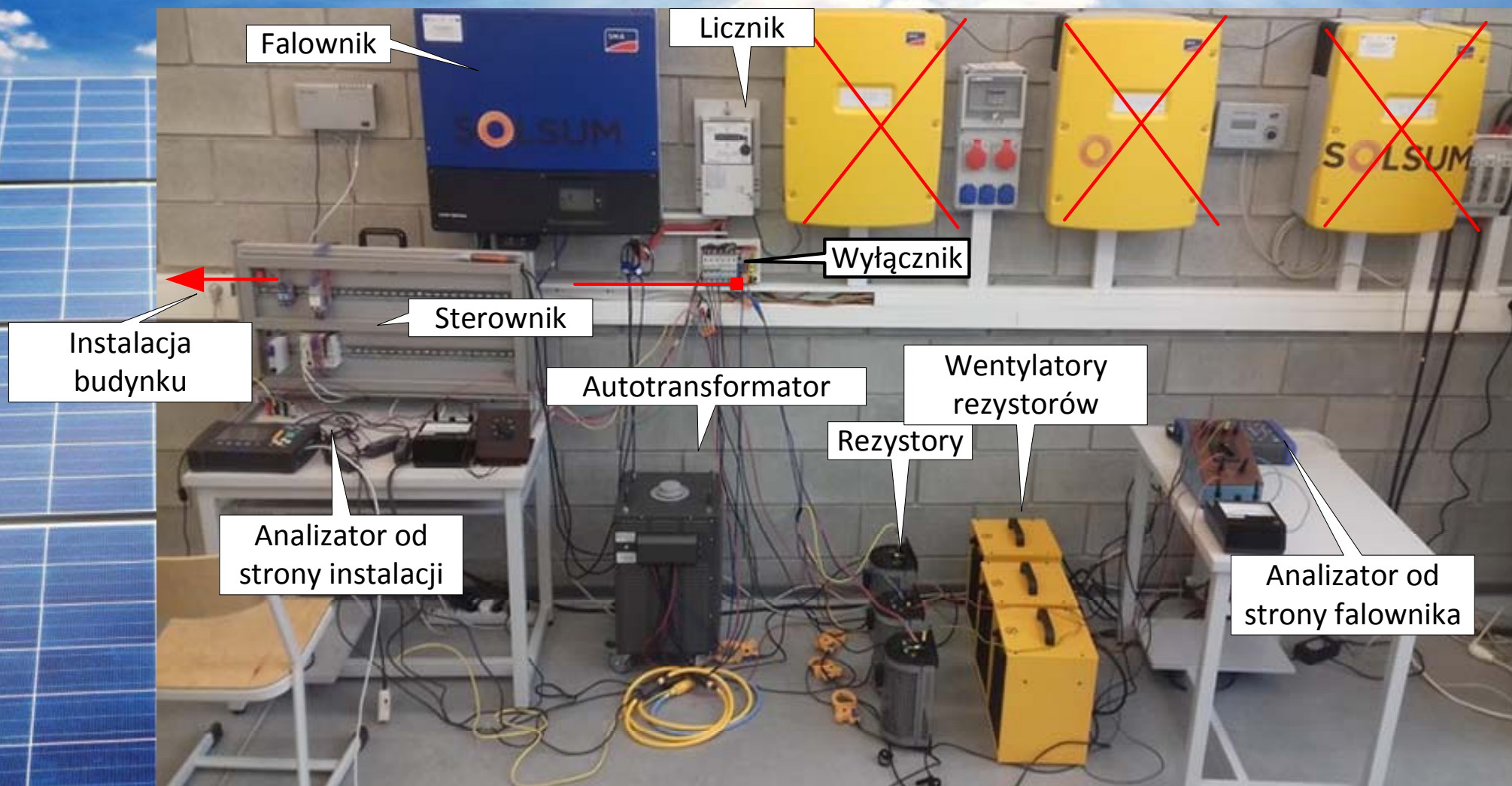
# Stanowisko do sprawdzenia skuteczności likwidacji przekroczeń napięciowych

- ▶ **Stanowisko składało się z następujących elementów:**
  - ▶ sieć niskiego napięcia budynku Centrum Innowacji i Zaawansowanych Technologii (CliZT) Politechniki Lubelskiej;
  - ▶ mikroinstalacja PV o mocy 15 kW;
  - ▶ falownik dedykowany dla instalacji fotowoltaicznych;
  - ▶ sterownik programowalny;
  - ▶ autotransformator trójfazowy;
  - ▶ rezystory suwakowe 1,9  $\Omega$  (3 sztuki);
  - ▶ analizatory jakości energii i woltomierze.

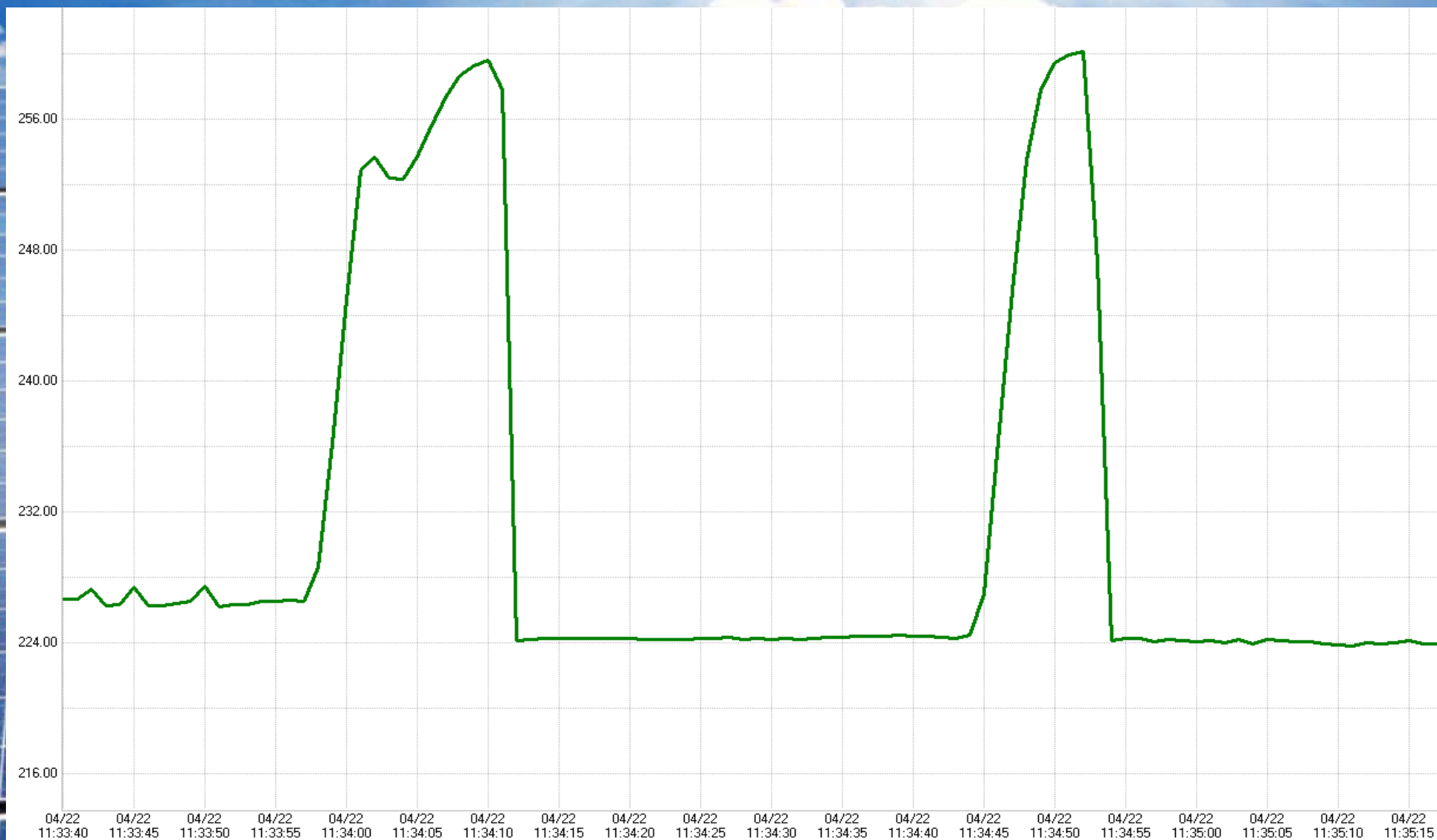
# Schemat obwodów stanowiska badawczego



# Widok stanowiska badawczego

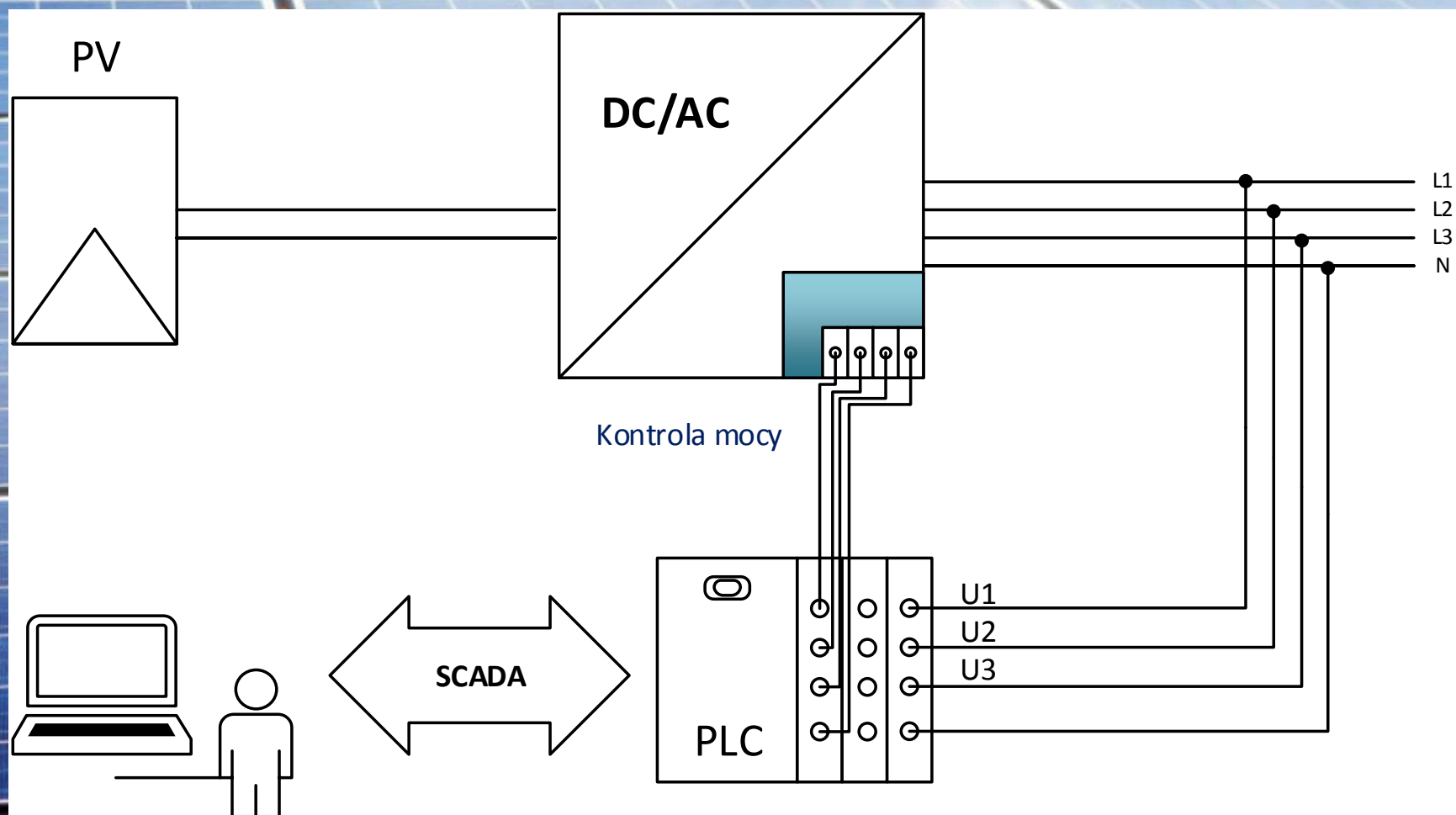


# Efekt działania zabezpieczeń nadnapięciowych falownika – przebieg wartości skutecznej napięcia

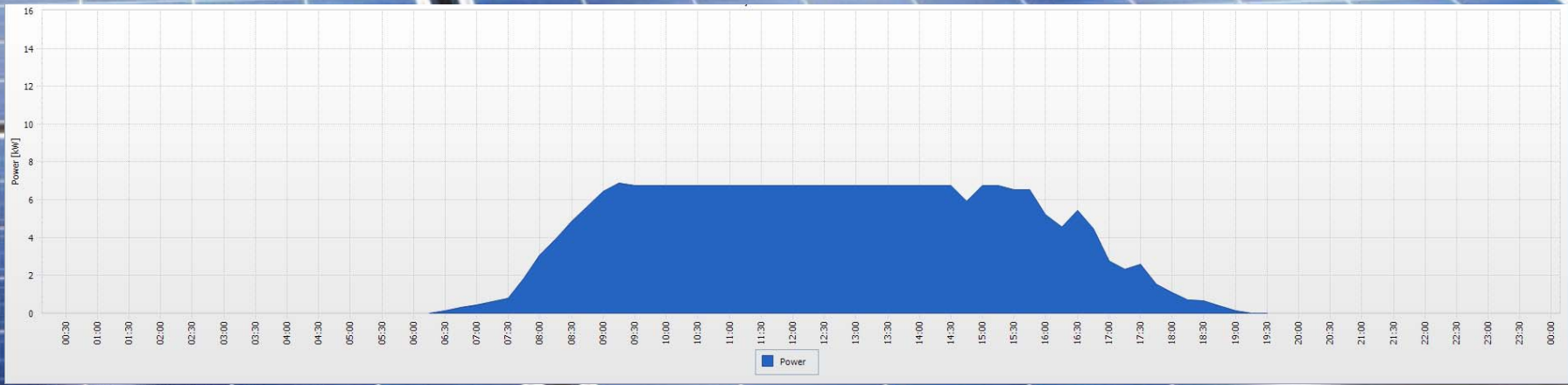
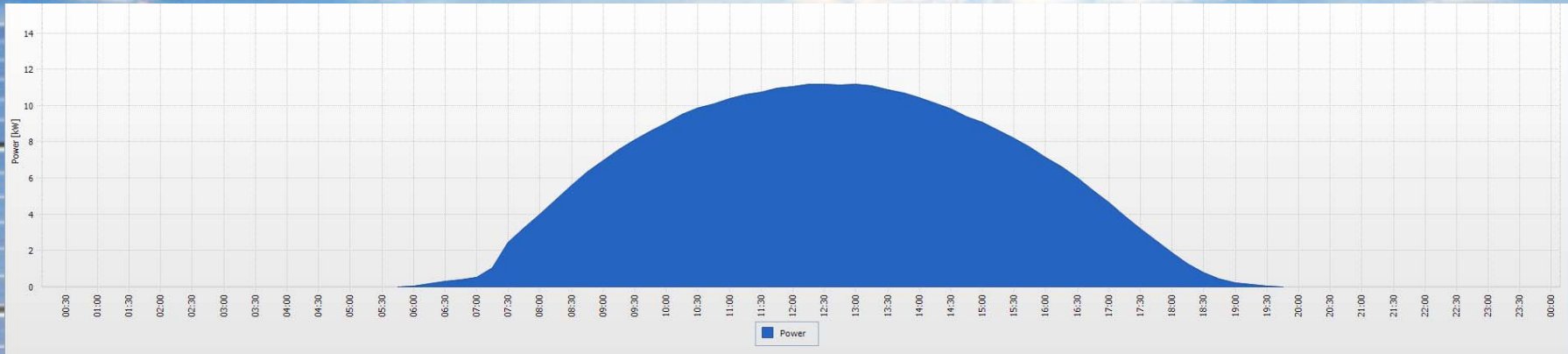




# Moduł ogranicznika mocy falownika sterowany układem PLC



# Moc mikroinstalacji PV bez ograniczenia i z ograniczeniem ze względu na warunki napięciowe

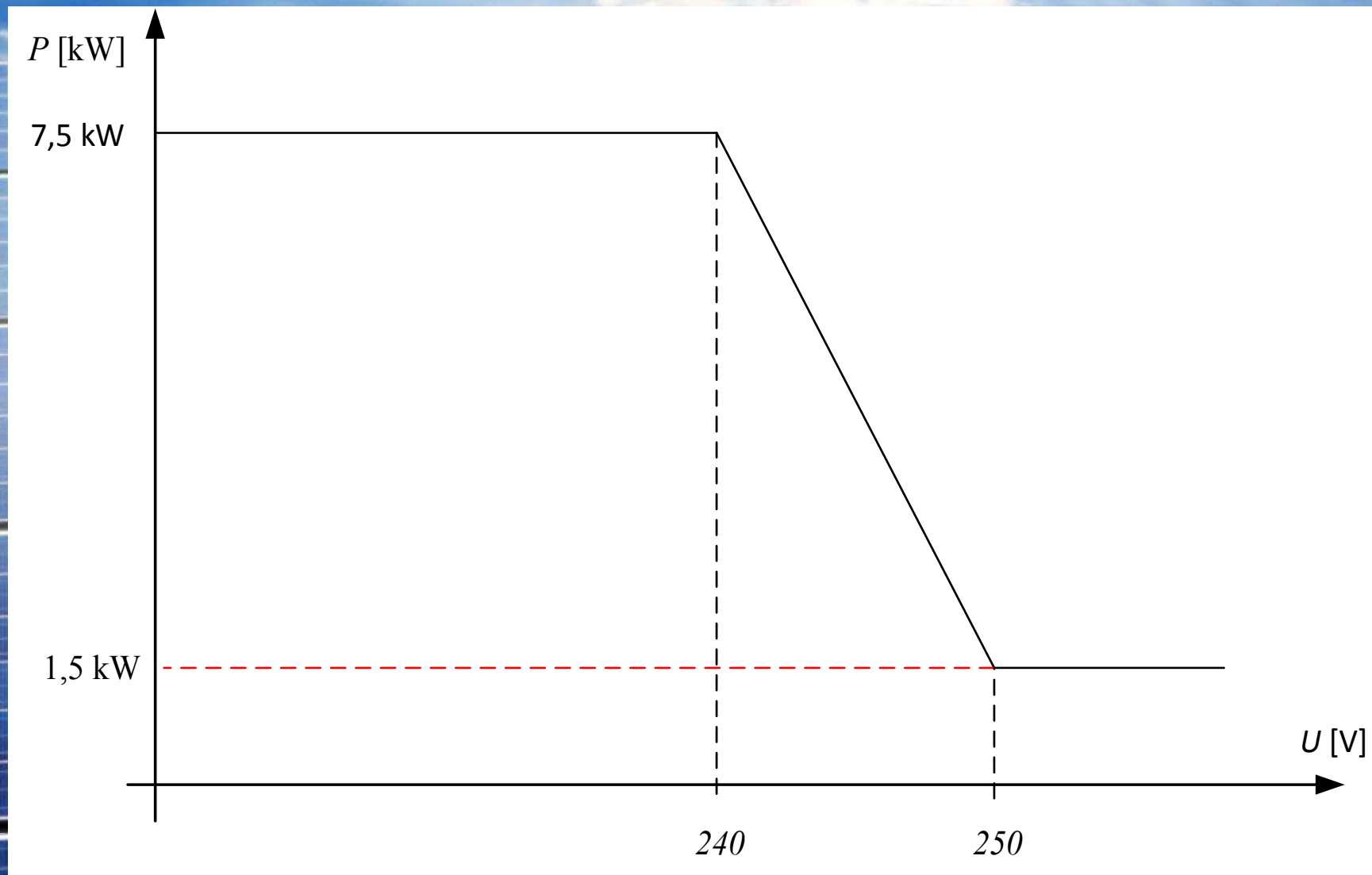


# Aktywacja charakterystyk ograniczenia mocy czynnej falowników

- ▶ W wielu typach falowników PV oferowanych na rynku producenci mają możliwość uaktywniania wymaganych przepisami charakterystyk ograniczenia mocy instalacji.
- ▶ Intencją jest przeciwdziałanie przekroczeniom dopuszczalnych wartości parametrów napięcia zanim zadziałają zabezpieczenia.
- ▶ Typowo dostępne są następujące charakterystyki:
  - ▶ ograniczenia mocy w funkcji częstotliwości  $P=f(f)$ ,
    - ▶ funkcja ta jest głównie wykorzystywana w układach wyspowych w celu ograniczenia przeładowania akumulatorów;
  - ▶ **ograniczenia mocy czynnej w funkcji napięcia  $P=f(U)$ ,**
    - ▶ charakterystyka ma na celu ochronę przed podskokiem.
- ▶ W ramach badań, w celu ograniczenia podskoku napięcia wykorzystano oczywiście drugą z wymienionych charakterystyk.



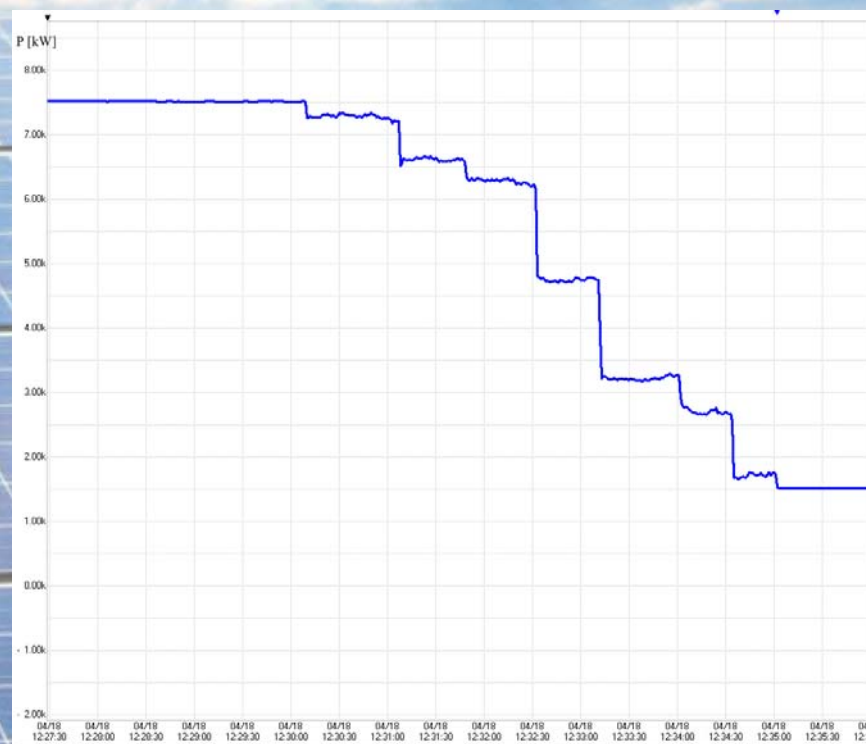
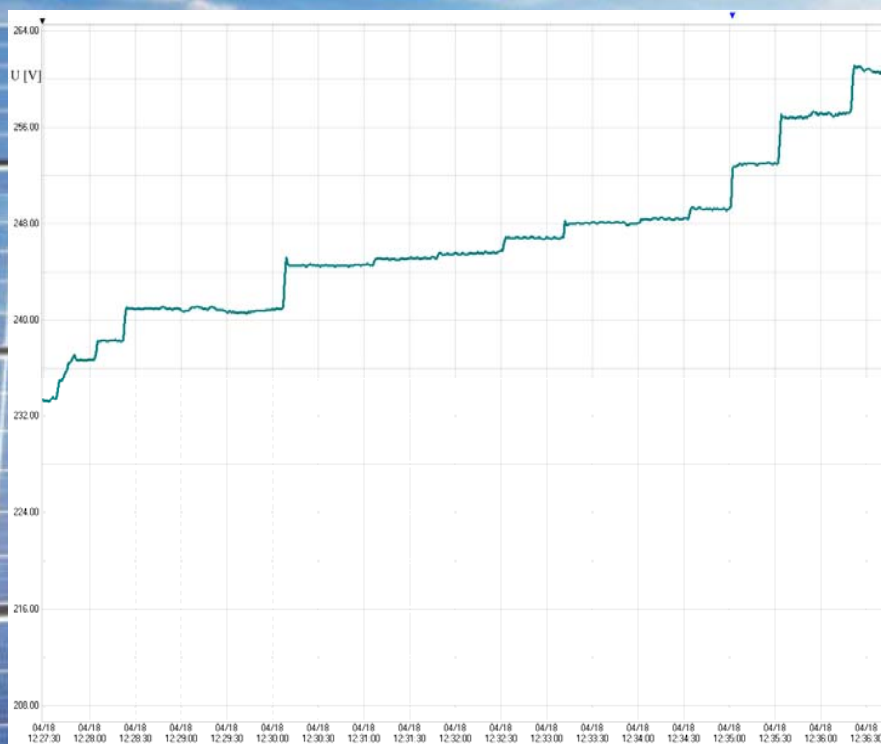
# Charakterystyka $P = f(U)$ zaprogramowana w badanym falowniku



# Stopniowe zwiększanie napięcia na zaciskach falownika przy pomocy autotransformatora i redukcja mocy (1)

- ▶ W analizowanym przypadku falownik PV nie mógł wpływać na wartość napięcia, gdyż było ono ustawiane przy pomocy autotransformatora.
- ▶ W rzeczywistym układzie, gdy napięcie na zaciskach falownika wynika z rozptywu mocy w sieci nn taka reakcja prowadzi do skutecznej eliminacji przekroczeń napięciowych **pod warunkiem, że w przypadku większej liczby instalacji, wszystkie będą miały uaktywnioną charakterystykę ograniczenia mocy.**
  - ▶ sieć osiągnie stan równowagi napięciowej przy bezpiecznym poziomie napięcia.

# Stopniowe zwiększanie napięcia na zaciskach falownika przy pomocy autotransformatora i redukcja mocy (2)

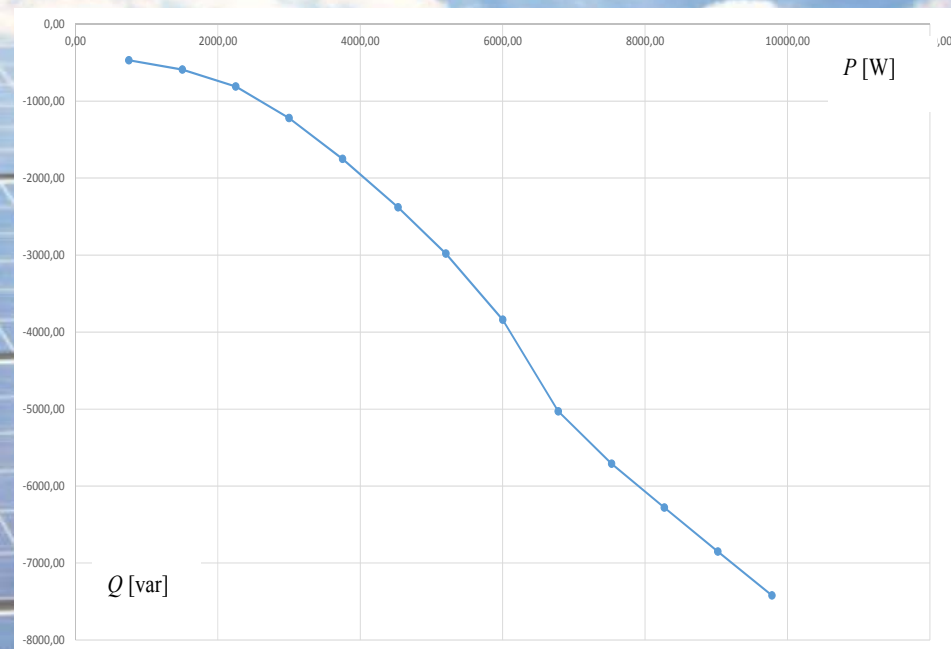
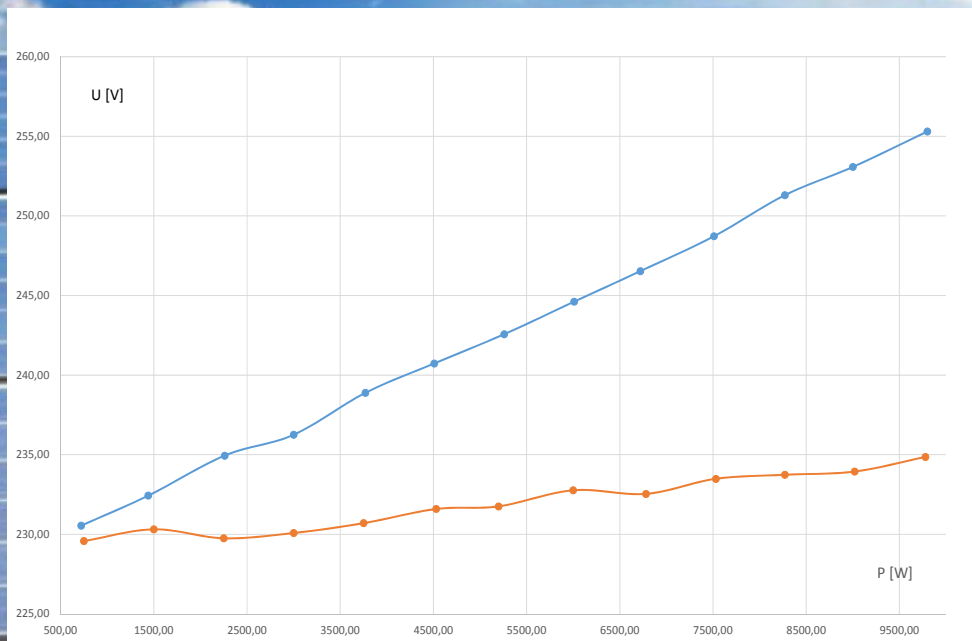


Wzrost napięcia w instalacji od wartości 232 V do wartości 260 V oraz redukcja mocy czynnej źródła PV zarejestrowana podczas eksperymentu

# Charakterystyki mocy biernej falowników

- ▶ Falowniki dostępne na rynku w zależności od producenta mają możliwość uaktywniania różnych charakterystyk generacji/poboru mocy biernej:
  - ▶ stała moc bierna;
  - ▶ stały współczynnik mocy;
  - ▶ moc bierna uzależniona od mocy czynnej generowanej;
  - ▶ moc bierna uzależniona od wartości napięcia;
  - ▶ moc bierna zadana poprzez układy sterowania i nadzoru.
- ▶ Typowo, falowniki przyłączane do sieci nn mają nastawiany stały współczynnik mocy, równy 1.
- ▶ W celu sprawdzenia reakcji sieci na zmiany mocy biernej układ laboratoryjny został uzupełniony o dławiki włączone szeregowo z rezystorami. Aby podkreślić efekt ograniczania napięcia dodatkowym poborem mocy biernej, zmniejszono dwukrotnie rezystancję obwodu do 0,95 [Ω], tak by reaktancja obwodu wynosząca 0,22 [Ω] miała większe

# Praca układu po uaktywnieniu charakterystyki $\cos \varphi = f(P)$



- a) zmiany napięcia powodowane wzrostem mocy generowanej;  
charakterystyka niebieska bez poboru  $Q$ ; charakterystyka pomarańczowa z  
poborem  $Q$ ;
- b) zmiana poboru mocy biernej falownika wg zaprogramowanej  
charakterystyki  $\cos \varphi = f(P)$



# Praca układu po uaktywnieniu charakterystyki $\cos \varphi = f(P)$ ;

- ▶ Na podstawie powyższych wykresów można stwierdzić, że w szczególnych przypadkach, także w sieciach niskiego napięcia istnieje możliwość ograniczenia przekroczeń napięciowych przez zmianę rozptywu mocy biernej.
- ▶ Te „szczególne przypadki” to stosunkowo duża reaktancja linii, co może występować w przypadku długich obwodów budowanych jako linie napowietrzne z przewodami gołymi.



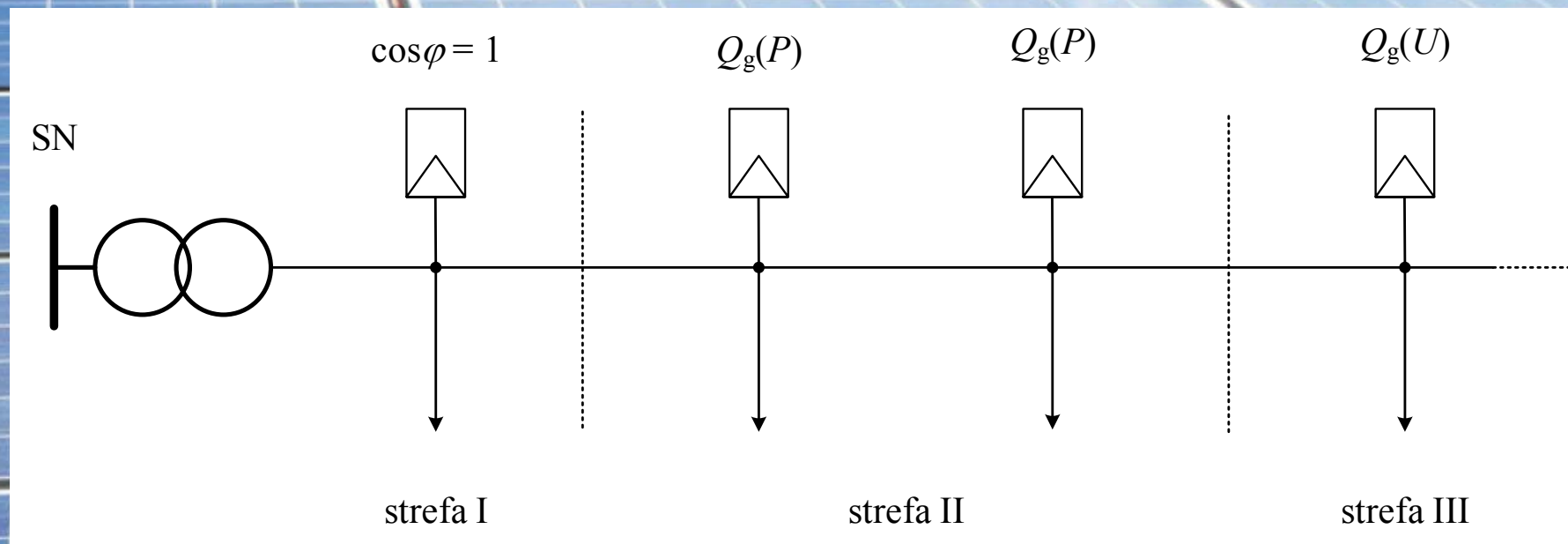
# Koncepcja wykorzystania mocy biernej do łagodzenia zagrożeń napięciowych w sieci nn

Obwód niskiego napięcia powinien zostać podzielony na trzy strefy:

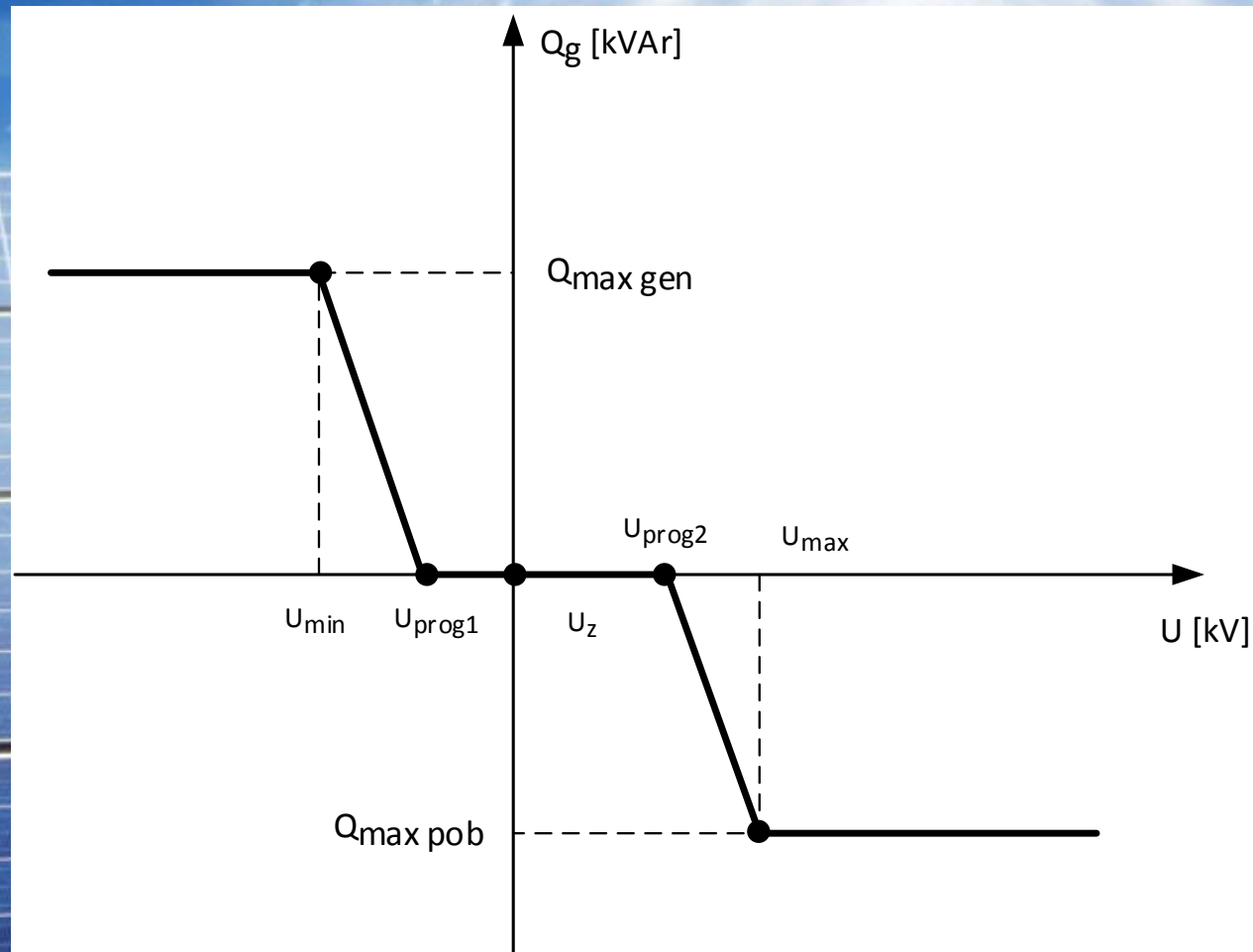
- ▶ **dla strefy I** bliskiej stacji transformatorowej, dla której efekt podbicia napięcia jest niewielki, zalecany tryb pracy to  $\cos\varphi = 1$ ;
- ▶ **dla strefy II** (pośredniej) to widoczna poniżej charakterystyka  $Q(P)$ , tak by dla większych mocy następował zwiększony pobór mocy biernej osiągający dla mocy znamionowej wartość 48% mocy czynnej (opcjonalnie 32%);
- ▶ **dla strefy III** (najdalszej), dla której podbicie napięcia będzie najbardziej odczuwalne, a równocześnie dla której może następować okresowe pogorszenie warunków napięciowych należy stosować charakterystyki  $Q(U)$  o następujących proponowanych napięciach charakterystycznych:
  - ▶  $U_z = 420 \text{ V}$ ,  $U_{\text{prog1}} = 410 \text{ V}$ ,  $U_{\text{prog2}} = 430 \text{ V}$ ,  $U_{\text{max}} = 440 \text{ V}$ ,  $U_{\text{min}} = 400 \text{ V}$ ,  $Q_{\text{maxpob}}$ ,  $Q_{\text{maxgen}}$   
zgodnie z możliwościami falownika w danym punkcie generacji mocy czynnej
- ▶ Operatorzy powinni mieć świadomość, że zapewnienie przez instalatorów i producentów wskazanych wyżej trybów generacji mocy biernej nie daje gwarancji opanowania problemu podbicia napięcia, szczególnie w sieciach o małej wartości reaktancji przewodów linii.



# Koncepcja wykorzystania mocy biernej do łagodzenia zagrożeń napięciowych w sieci nn



# Koncepcja wykorzystania mocy biernej do łagodzenia zagrożeń napięciowych w sieci nn



Charakterystyka  $Q(U)$  rekomendowana dla trybu pracy mikroinstalacji w strefie III



# Podsumowanie

---

- ▶ Na obecnym etapie rozwoju mikroinstalacji fotowoltaicznych w Polsce konieczne jest podejmowanie wielokierunkowych działań, które pozwolą na opanowanie pojawiających się problemów technicznych
- ▶ Autorzy referatu rekomendują podejmowanie różnorodnych działań prawnych i technicznych tak, by w przyszłości problemy z eksploatacją źródeł PV nie zaczęły się pojawiać lawinowo.



# Podsumowanie

W szczególności zwracamy uwagę, że należy:

- ▶ podjąć działania mające na celu wprowadzenie do IRiESD zapisów sankcjonujących przyłączanie wyłącznie instalacji zapewniających bezpieczną ich pracę oraz umożliwiającym operatorom sieci podejmowanie interwencji w celu zapewnienia poprawnych warunków funkcjonowania sieci elektroenergetycznych;
- ▶ niezależnie od wątpliwości co do dopuszczalności redukcji mocy generowanej operatorzy powinni inicjować działania umożliwiające osiągnięcie takich efektów poprzez lokalne lub zdalne układy regulacji;
  - ▶ w wymaganiach skierowanych **do producentów i dostawców falowników** należy zawrzeć obowiązkowe umożliwienie aktywacji ograniczenia mocy czynnej w przypadku zagrożenia wystąpienia przekroczenia napięciowego (zdalnie zadanie ograniczenia /lub charakterystyka);



# Podsumowanie

---

- ▶ w przypadku, gdy istnieją warunki techniczne wskazane jest wykorzystanie funkcji regulacji mocy biernej falowników;
  - ▶ sens stosowania regulacji mocy biernej może być ustalony przy wykorzystaniu pomiaru impedancji, rezystancji i reaktancji pętli zwarcia w miejscu zainstalowania instalacji PV;
  - ▶ należy zastrzec, że praca z regulowaną mocą bierną powinna być traktowana przez operatorów sieci, jako usługa sieciowa i tym samym, prosumenci nie powinni być karani za wynikające z przyjętego trybu pracy ewentualne przekroczenia współczynnika mocy;



# Podsumowanie

---

- ▶ zalecane jest dalsze prowadzenie badań w kierunku zastosowania rozwiązań umożliwiających regulację napięcia w sieciach niskiego napięcia w polskich warunkach;
  - ▶ transformatory SN/nn z podobciążeniową regulacją przekładni;
  - ▶ układów regulacji typu Line Voltage Regulator;.
- ▶ nie należy rezygnować z rozwiązań inwestycyjnych,
  - ▶ przebudowy lub rozbudowy sieci elektroenergetycznych,
- ▶ szczególnie w sytuacji, gdy ze względów napięciowych konieczne byłoby znaczne ograniczenie ilości produkowanej energii odnawialnej.







**Dziękuję za uwagę.**

