

Monitoring i ocena jakości energii w sieciach elektroenergetycznych z udziałem generacji rozproszonej

Tomasz Sikorski



Politechnika Wrocławska



Konwersatorium Smart Grid, AGH, 16.05.2014r

Zawartość

▪ Studia literaturowe

- problematyka integracji źródeł rozproszonych z siecią
- jakość energii elektrycznej w eksploatacji sieci
- jakość energii elektrycznej jako element kryteriów przyłączenia

▪ Cel badań

▪ Opracowany system monitoringu

▪ Realizacja celów i zakresu badań

- opracowanie i weryfikacja procedury oceny wpływu mikroźródła na jakość energii elektrycznej
- rzeczywiste profile zakłóceń jakości energii elektrycznej towarzyszące pracy źródeł rozproszonych
- badania obszarowe jakości energii elektrycznej w sieciach elektroenergetycznych z generacją rozproszoną

➤ Podsumowanie



Studia literaturowe

■ Zagadnienia współpracy źródeł rozproszonych z siecią elektroenergetyczną

Definicje

Generacja rozproszona

(Distributed Generation, Dispersed Generation, Distributed Resources, Embedded Generation)

CIGRE SC C6:

*jednostki wytwórcze do 50-100MW
niepodległe centralnej dyspozycji mocy*

Grądzielski, Kacejko, Paska:

*do 150 MW, usytuowanie w sieci
dystrybucyjnej bądź sieci rozdzielczej
oraz wyłączenie z centralnej dyspozycji
mocy:*

mikrogeneracja (1W-5kW)

mała generacja (5kW-5MW)

średnia generacja (5MW-50MW)

duża generacja (50MW-150MW)

nN:

Ustawa OZE, (IRiESD)

*mikroinstalacja - system generacji
(jednostka lub zespół jednostek
wytwórczych) do 40kW mocy osiągalnej
mała instalacja – system generacji
(40÷200kW)*

PN-EN 50438:2010, (IRiESD)

*mikrogenerator (mikroźródło) o prądzie
znamionowym do 16A*

*mikrogeneracja – wytwarzanie w
systemie generacji z mikrogeneratorów
(mikroźródła)*

VDE-AR-N-4105:2011

jednostka generacji

system generacji



Studia literaturowe

■ Zagadnienia współpracy źródeł rozproszonych z siecią elektroenergetyczną

- warunki napięciowe,
- obciążalność torów prądowych,
- warunki zwarciovowe,
- stabilność, regulacja, podtrzymanie pracy systemu,
- praca wyspowa,
- koncepcje inteligentnych sieci elektroenergetycznych,
- interoperacyjność elementów sieci,
- jakość energii elektrycznej

Zakres współpracy

Maj, 2013				
Rodzaj źródła	Liczba instalacji	Moc [MW]	Udział [%]	
Biogaz	207	136.319	2.95%	
Biomasa	29	876.108	18.94%	
Fotowoltaika	9	1.289	0.03%	
Wiatrowe	743	2644.898	57.19%	
Wodne	771	966.236	20.89%	
Współspalanie	41	-	-	
Łącznie:	1800	4624.850		
Maj, 2014				
Rodzaj źródła	Liczba instalacji	Moc [MW]	Udział [%]	Przyrost [%]
Biogaz	238	173.159	2.97%	0.63%
Biomasa	37	995.200	17.09%	2.05%
Fotowoltaika	29	3.767	0.06%	0.04%
Wiatrowe	873	3676.651	63.14%	17.72%
Wodne	781	974.011	16.73%	0.13%
Współspalanie	41	-	-	-
Łącznie:	1999	5822.788		
Przyrost 2013-14	199	1197.938		

Źródło: Mapa OZE, URE



Studia literaturowe

▪ Zagadnienia współpracy źródeł rozproszonych z siecią elektroenergetyczną

Przegląd literatury – wybrane

- ACKERMAN T., ANDERSSON G., SODER L., *Distributed generation: a definition*, Electrical Power System Research, vol. 57, s. 195-204, 2001.
- BOLLEN M., HASSAN F., *Integration of distributed generation in the power systems*, Wiley and IEEE Press, 2011.
- DUGAN R.C. McDERMONTT E. et al, *Distributed Generation*, IEEE Industry Application Magazine, 2002.
- FRERIS L., INFIELD D., *Renewable energy in power systems*, John Wiley & Sons, 2010.
- JENKINS N., *Embedded generation – Tutorial*, Power Engineering Journal, s. 145-150, 1995.
- KACEJKO P., *Generacja rozproszona w systemie elektroenergetycznym*, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2004.
- PASKA J., *Generacja rozproszona*, Elektroenergetyka nr 4, 2002.
- SOBIERAJSKI M., ROJEWSKI W., *Próba pracy wyspowej EC Legnica*, Wiadomości Elektrotechniczne, R.78, nr 8, s.31-36, 2010.



Studia literaturowe

▪ Zagadnienia współpracy źródeł rozproszonych z siecią elektroenergetyczną Przegląd literatury - wybrane

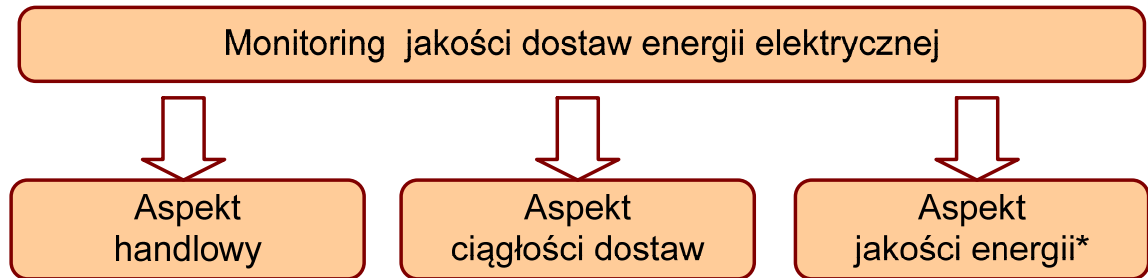
- CIGRE *Influence enhanced distributed generation on power system*, TF 37.23 Report, Paris 1998.
- CIGRE Task Force C6.04.01 *Connection criteria at the distribution network for distributed generation*, Brochure 313, February 2007
- IEEE Std. 1547 - *Series of Interconnection Standards*, IEEE SCC21 Standards Coordinating Committee on Fuel Cells, Photovoltaics, Dispersed Generation, and Energy Storage, 2005-2011.
- IEEE Std. 2030 - *Smart Grid Interoperability Series of Standards*, IEEE SCC21 Standards Coordinating Committee on Fuel Cells, Photovoltaics, Dispersed Generation, and Energy Storage, 2011.
- ENTSO-E: *Network Code for Requirements for Grid Connection Applicable to all Generators*, 26 June 2012.
- PN-EN 61850 *Systemy i sieci komunikacyjne w stacjach elektroenergetycznych*,
- PN-EN 60870 *Elektroenergetyczne Systemy Sterowania i Nadzoru. Urządzenia i systemy telesterowania*.
- PN-EN 61970 *Interfejs aplikacji systemów zarządzania energią (EMS-API)*



Studia literaturowe

Umiejscowienie jakości energii elektrycznej w eksploatacji sieci elektroenergetycznych

➤ Jakość energii – jakość energii elektrycznej – jakość technicznych parametrów zasilania, jakość napięcia



*- jakość technicznych parametrów zasilania, jakość napięcia

- PN-EN 50160 *Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych*, 2010.
- PN-EN 61000-4-30: 2011 *Metody pomiaru jakości energii*.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego, ze zmianami 21 sierpnia 2008 r. (Dz.U. 2008 nr 162 poz. 1005).
- CEER, *5th Benchmarking report on quality of electricity supply*, report 2011.
- URE – *I Krajowy raport benchmarkingowy nt. jakości dostaw energii elektrycznej do odbiorców przyłączonych do sieci przesyłowej i dystrybucyjnej*, 2009.



Studia literaturowe

▪ Jakość energii elektrycznej jako element kryteriów przyłączeniowych źródeł

Parametry jakościowe jako wielkości kryterialne

- zmiana napięcia ΔU_a , (Δu_a w procentach U_N)
- nagła zmiana napięcia ΔU_{\max} , (Δu_{\max} w procentach U_N)
- migotanie światła P_{st} , P_{lt}
- harmoniczne i interharmoniczne
- asymetria napięcia k_{u2}
- zakłócenia komutacyjnych d_{kom}
- zakłócenia transmisji sygnałów
- Projekt ustawy OZE:
 - ✓ instalacja OZE
 - ✓ mikroinstalacja do 40kW
 - ✓ mała instalacja 40-200kW
- Inne:
 - ✓ mikroźródło, mikrogenerator do 16A
 - ✓ jednostka generacji
 - ✓ system generacji



Studia literaturowe

▪ Jakość energii elektrycznej jako element kryteriów przyłączeniowych źródeł nN

Kierunek standaryzacyjny

Normy bezpośrednio odnoszące się do mikrogeneracji nN:

PN-EN 50438:2010 *Wymagania dotyczące przyłączania mikrogeneratorów do publicznych sieci rozdzielczych (mikrogenerator, prąd $\leq 16A$)*

VDE-AR-N 4105:2011-8 *Power generation systems connected to the low-voltage distribution network – technical minimum requirements for the connection to and parallel operation with low-voltage distribution networks, 2011.*

IEC/TR 61000-3-15:2011 *Electromagnetic compatibility (EMC). Limits. Assessment of low frequency electromagnetic immunity and emission requirements for dispersed generation systems in LV Network.*

- CIGRE Task Force C6.04.01 *Connection criteria at the distribution network for distributed generation*, Brochure 313, February 2007.
- STADLER I., *Study about International Standards for the connection of Small Distributed Generation to the power grid*, Cologne University of Applied Science, 2007.
- IRiESD zwłaszcza w zakresie dodatkowych wymagań dla mikroźródeł współpracujących z siecią



Studia literaturowe

▪ Jakość energii elektrycznej jako element kryteriów przyłączeniowych źródeł nN

Kierunek standaryzacyjny

Normy powiązane dotyczą środowiska:

PN-EN 61000-2-2 Poziomy kompatybilności zaburzeń przewodzonych małej częstotliwości i sygnałów przesyłanych w publicznych sieciach zasilających niskiego napięcia.

Normy powiązane dotyczą emisji zakłóceń wprowadzanych przez odbiorniki:

Oceniany parametr	Oznaczenie	Dopuszczalna wartość dla mikrogeneratorów	Dopuszczalna wartość dla sieci nN
Odchylenie napięcia	Δu_a	61000-3-3 (≤ 16 A) 61000-3-11 (≤ 75 A)	Poziomy dopuszczalne: Ograniczanie zmian napięcia, wahań napięcia i migotania światła w publicznych sieciach zasilających niskiego napięcia, powodowanych przez odbiorniki.
Szybkie zmiany (wahania) napięcia.	Δu_{max}		
Uciążliwość migotania światła	P_{st} P_{lt}		
Emisja harmonicznego prądu	I_n/I_1	61000-3-2 (≤ 16 A) 61000-3-12 (≤ 75 A)	Poziomy dopuszczalne: Poziomy dopuszczalne emisji harmonicznego prądu.
Asymetria napięcia	k_{u2}	PN-EN 61000-2-2	
Zaburzenia (załamania) komutacyjne	d_{kom}	IEEE Std 519-1992 PN-EN 61800-3	Elektryczne układy napędowe mocy o regulowanej prędkości -- Część 3: Wymagania dotyczące EMC i specjalne metody badań.
Zakłócenia transmisji sygnałów f_T - stosowana częstotliwość transmisji	przyrost tłumienia	PN-EN 61000-2-2	
	$f_T \pm 5\text{Hz}$		
	$f_T \pm 100\text{Hz}$		



Studia literaturowe

▪ Jakość energii elektrycznej jako element kryteriów przyłączeniowych źródeł nN

Kierunek standaryzacyjny

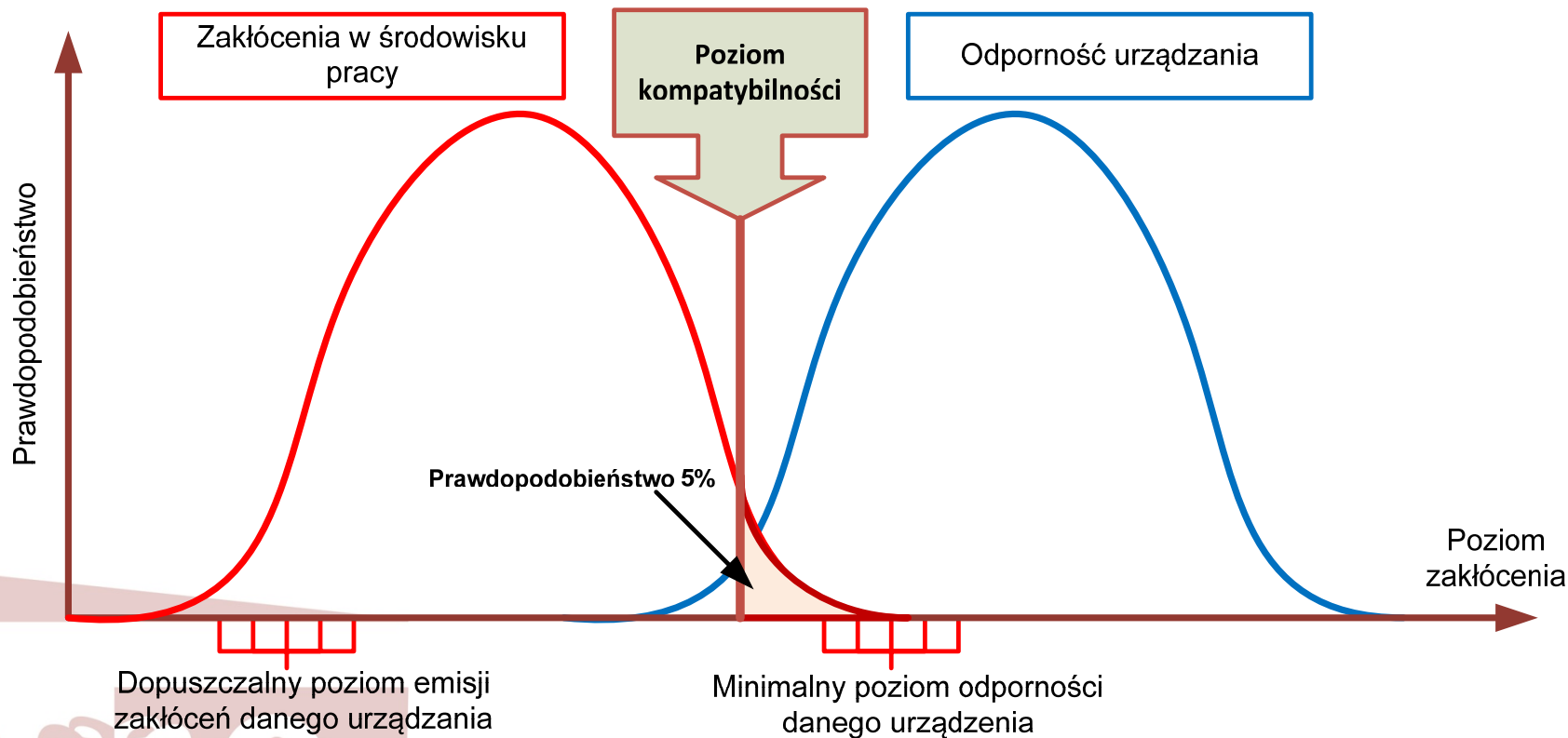
Oceniany parametr	Oznaczenie	Dopuszczalna wartość dla mikrogeneratorów	Dopuszczalna wartość dla sieci nN
Odchylenie napięcia	Δu_a	3,0%	10%
Szybkie zmiany (wahania) napięcia.	Δu_{max}	3,0%	5%, kilka razy na dobę 10%
Uciążliwość migotania światła	P_{st}	1,0	-
	P_{lt}	0,65	1,0
Emisja harmonicznego prądu	I_n/I_1	wg. tabeli wartości dopuszczalnych	-
Harmoniczne w napięciu	U_n/U_1	-	wg. tabeli wartości dopuszczalnych
Asymetria napięcia	k_{u2}	2,0%	2,0%
Zaburzenia (załamania) komutacyjne	d_{kom}	5%	5%
Zakłócenia transmisji sygnałów f_T - stosowana częstotliwość transmisji	przyrost tłumienia	< 5%	< 5%
	$f_T \pm 5\text{Hz}$	0,1% U_N	0,1% U_N
	$f_T \pm 100\text{Hz}$	0,3% U_N	0,3% U_N



Kierunek standaryzacyjny

- Jakość energii elektrycznej jako element kryteriów przyłączeniowych źródeł nN

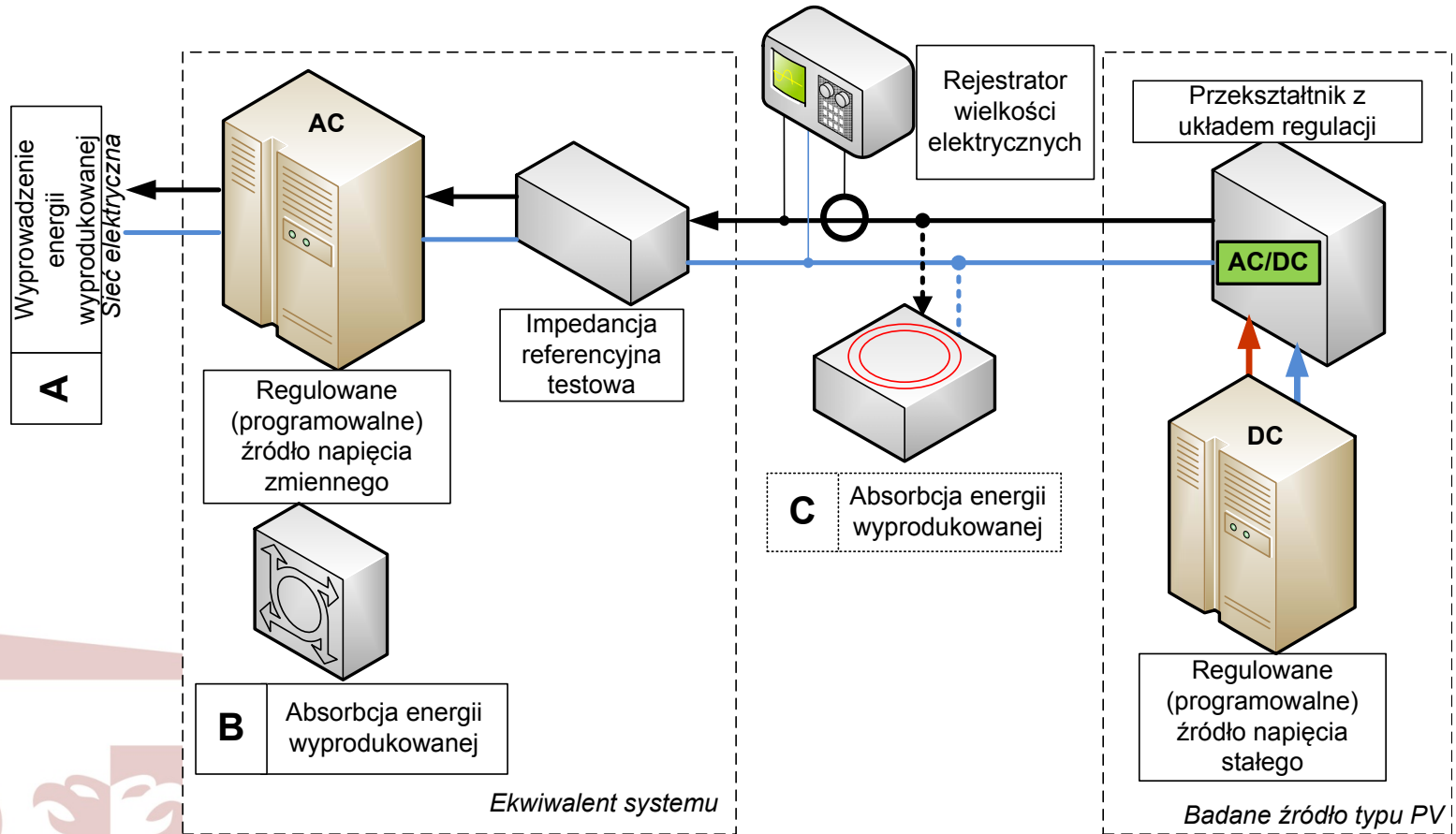
System certyfikatów



Kierunek standaryzacyjny

- Jakość energii elektrycznej jako element kryteriów przyłączeniowych źródeł nN

System certyfikatów

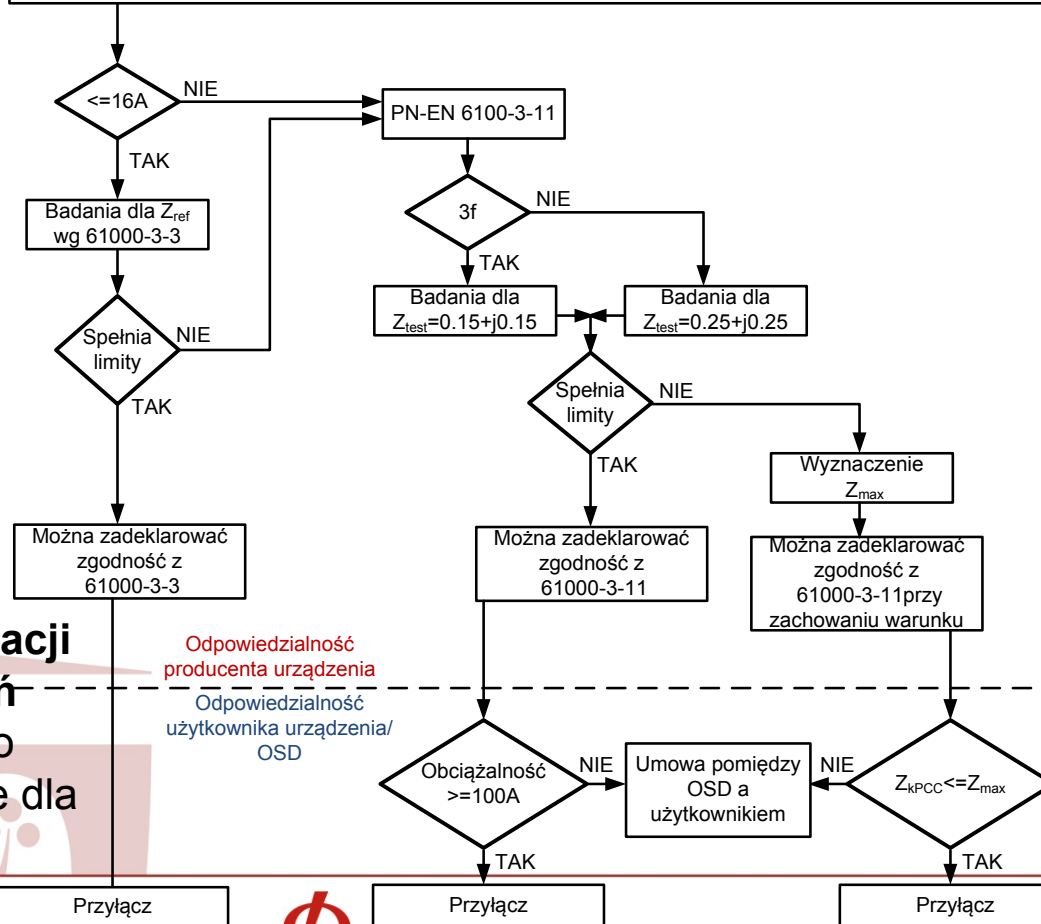


Kierunek standaryzacyjny

Jakość energii elektrycznej jako element kryteriów przyłączeniowych źródeł nN

System certyfikatów

Algorytm oceny oraz badań poprzedzających przyłączenie urządzenia do sieci pod względem wahań napięcia i migotania światła



Odpowiedzialność producenta urządzenia

Odpowiedzialność użytkownika urządzenia/ OSD

Przykład standaryzacji badań emisji wahań napięcia w oparciu o podejście stosowane dla odbiorników



Politechnika Wroclawska



Konwersatorium Smart Grid, AGH, 16.05.2014r

Kierunek standaryzacyjny

▪ Jakość energii elektrycznej jako element kryteriów przyłączeniowych źródeł nN

System certyfikatów

PN-EN 50438 w zakresie mikrogeneratorów do 16A:

W zakresie dopuszczalnej emisji harmoniczných dla mikroźródeł o prądzie do 16A znajdują zastosowanie zapisy normy PN-EN 61000-3-2:2007 z ulokowaniem układów mikrogeneracji jako urządzeń klasy „A”.

Rząd harmoniczných n	Maksymalny dopuszczalny prąd harmoniczných [A]
Harmoniczných nieparzyste	
3	2,30
5	1,14
7	0,77
9	0,40
11	0,33
13	0,21
$15 < n < 39$	$0,15 \cdot (15/n)$
Harmoniczných parzyste	
2	1,08
4	0,43
6	0,30
$8 \leq n \leq 40$	$0,23 \cdot (8/n)$

Przykład standaryzacji badań emisji harmoniczných w prądzie w oparciu o podejście stosowane dla odbiorników



Kierunek skojarzony z PCC

▪ Jakość energii elektrycznej jako element kryteriów przyłączeniowych źródeł nN

Punkt przyłączenia PCC

S_{kPCC} – moc zwarciova w PCC

$Z_{kV} = R_{kV} + jX_{kV}$ – impedancja zwarciova w PCC

Cechy i charakterystyki źródła:

$S_{E\max}$ – osiągalną moc pozorną jednostki generacji

I_{aE} - prąd rozruchowy jednostki generacji

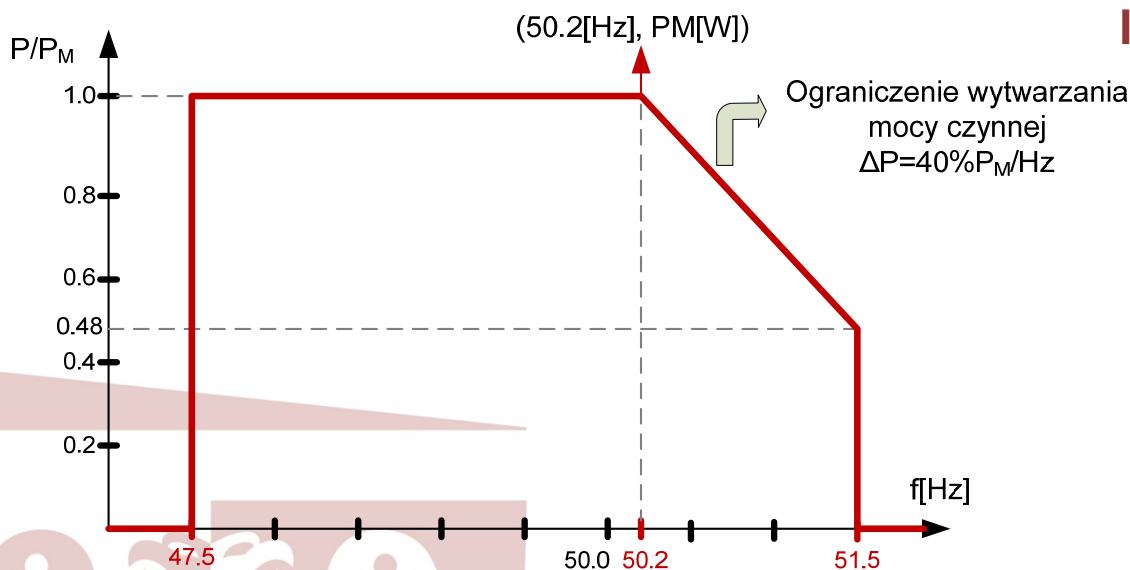
I_{rE} - znamionowy prąd ciągły jednostki generacji

k – współczynnik rozruchu

$$R_{kPCC} = \frac{S_{kPCC}}{S_{E\max}}$$

$$k = \frac{I_{aE}}{I_{rE}}$$

Charakterystyka $P=f(f)$ sterowania mocy czynnej mikroźródła podczas zmian częstotliwości



Kierunek skojarzony z PCC

- Jakość energii elektrycznej jako element kryteriów przyłączeniowych źródeł nN

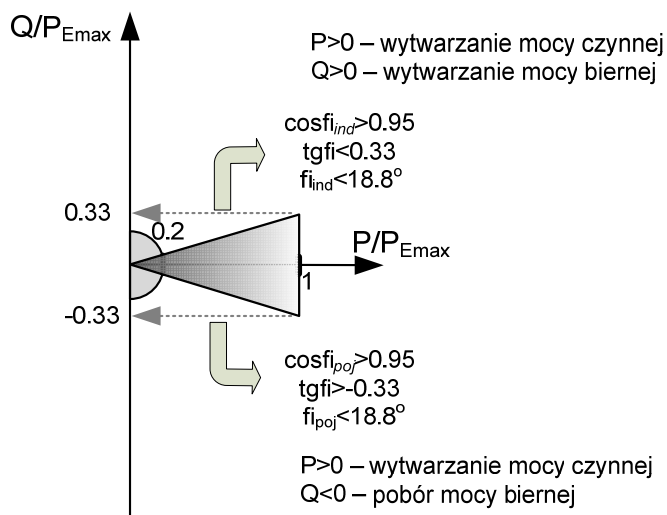
Kierunek skojarzony z PCC

S_{kPCC} – moc zwarciova w PCC

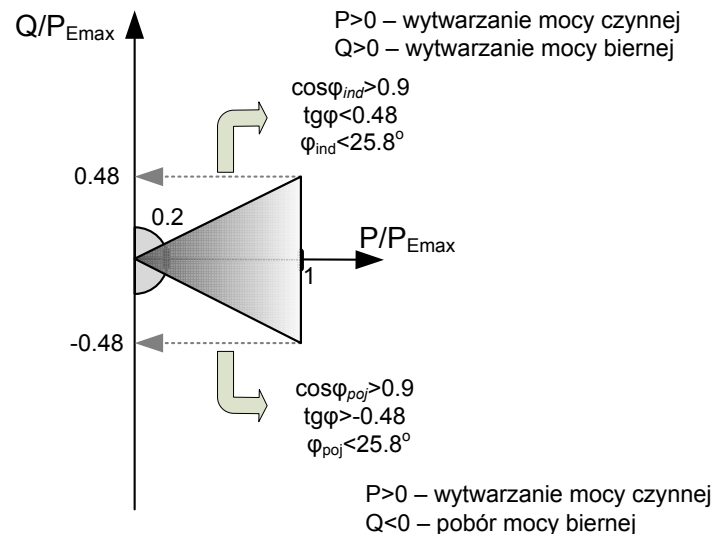
$Z_{kV} = R_{kV} + jX_{kV}$ – impedancja zwarciova w PCC

Charakterystyka przyłączonego źródła

Dopuszczalny obszar pracy jednostek generacji o mocy
 $3.68\text{kVA} < S_{E\text{max}} \leq 13.8\text{kVA}$
 w reżimie stałego współczynnika mocy



Dopuszczalny obszar pracy jednostek generacji o mocy
 $S_{E\text{max}} > 13.8\text{kVA}$
 w reżimie stałego współczynnika mocy



VDE-AR-N 4105:2011-8



Politechnika Wroclawska



Konwersatorium Smart Grid, AGH, 16.05.2014r

Kierunek skojarzony z PCC

Jakość energii elektrycznej jako element kryteriów przyłączeniowych źródeł nN

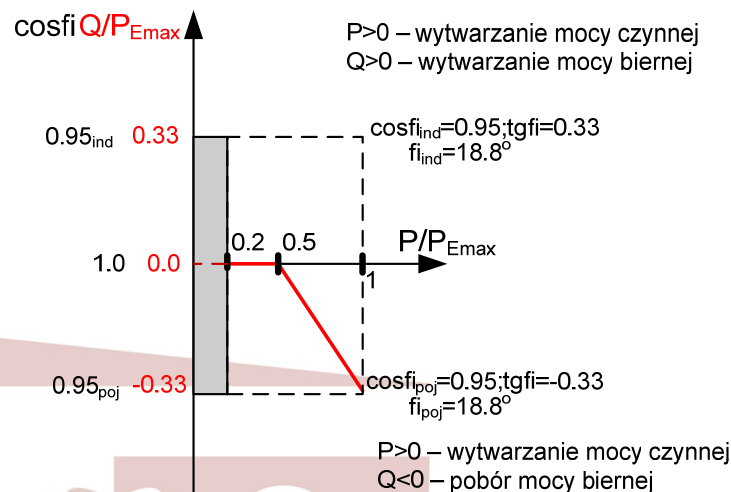
Kierunek skojarzony z PCC

S_{kPCC} – moc zwarciova w PCC

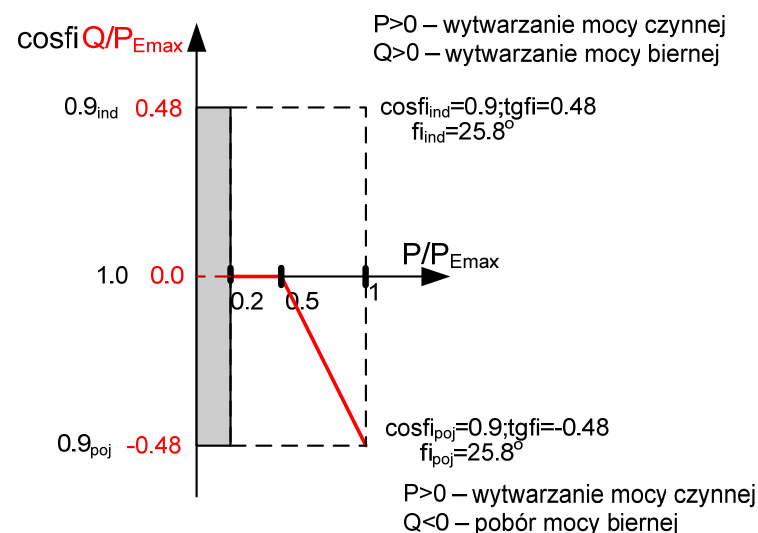
$Z_{kV} = R_{kV} + jX_{kV}$ – impedancja zwarciova w PCC

Charakterystyka przyłączonego źródła

Standardowa charakterystyka $\cos\phi_i(P)$ dla mikrogeneratorów o mocy $3.68\text{kVA} < S_{E\text{max}} \leq 13.8\text{kVA}$ w reżimie zmiennego współczynnika mocy



Standardowa charakterystyka $\cos\phi_i(P)$ dla mikrogeneratorów $S_{E\text{max}} > 13.8\text{kVA}$ w reżimie zmiennego współczynnika mocy



VDE-AR-N 4105:2011-8



Politechnika Wroclawska



Konwersatorium Smart Grid, AGH, 16.05.2014r

Kierunek skojarzony z PCC

- Jakość energii elektrycznej jako element kryteriów przyłączeniowych źródeł

$$R_{kPCC} = \frac{S_{kPCC}}{S_{E\max}} \quad k = \frac{I_{aE}}{I_{rE}}$$

Kierunek skojarzony z PCC
 S_{kPCC} – moc zwarciova w PCC
 $Z_{kV} = R_{kV} + jX_{kV}$ – impedancja zwarciova w PCC
 Charakterystyka przyłączonego źródła

Oszacowanie w oparciu o warunki zwarciove w PCC oraz tryb pracy źródła	Wskaźnik jakościowy
$\Delta u_a = \frac{S_{E\max}(R_{kV} \cos \varphi_{ind} + X_{kV} \sin \varphi_{ind})}{U_n^2} 100\%$ $\Delta u_a = \frac{S_{E\max}(R_{kV} \cos \varphi_{poj} - X_{kV} \sin \varphi_{poj})}{U_n^2} 100\%$ $\Delta u_a = \frac{S_{E\max}(R_{kV})}{U_n^2} 100\%$	zmiana napięcia $\Delta U_a, (\Delta u_a)$
$\Delta u_{\max} = k \frac{S_{E\max}}{S_{kPCC}}; \Delta u_{\max} = k \frac{S_{E\max}}{S_{kPCC}} \cos(\psi_{kV} - \varphi); k = \frac{I_{aE}}{I_{rE}}$	nagła zmian napięcia $\Delta U_{\max}, (\Delta u_{\max})$
$k_{u2} = \frac{U_2}{U_1} \approx \frac{S_{1E\max}}{S_{kPCC}}$	asymetria napięcia k_{u2}

np. $k=1,2$ – dla jednostek generacji przyłączanych przez inwerter, jak np. układy fotowoltaiczne



Kierunek skojarzony z PCC

▪ Jakość energii elektrycznej jako element kryteriów przyłączeniowych źródeł nN

Pomiary i obliczenia

VDE AR-N-4105:2011-08

wprowadza się dla mikroźródła przyłączanego w PCC wartości dopuszczalne harmonicznego prądu i_{vzul} podane w [A/MVA], odniesione do mocy zwarciowej w punkcie przyłączenia S_{kPCC} .

Numer harmonicznej (n - IRIESD) (v – harmoniczne, μ - interharmoniczne VDE),	Dopuszczalna wartość harmonicznej odniesiona do mocy zwarciowej w PCC i_{vzul} [A/MVA]
Nieparzyste harmoniczne	
3	3
5	1,5
7	1
9	0,7
11	0,5
13	0,4
17	0,3
19	0,25
23	0,2
25	0,15
$25 < v < 40$	$0,15 \cdot 25/v$
Parzyste harmoniczne	
$v, \mu < 40$	$1,5/v$
$42 < v, \mu < 178$	$4,5/v$

Przykład oceny emisji harmonicznych w prądzie w oparciu o warunki w punkcie przyłączenia



Studia literaturowe - podsumowanie

- ✓ Brak spójności w zakresie kryteriów przyłączeniowych źródeł rekomendowanych w różnych krajach
- ✓ Brak zeszytów norm zharmonizowanych z dyrektywą CE poświęconych procedurze testowania źródeł w zakresie emisji zakłóceń (odniesienie do odbiorników)
- ✓ Brak sposobu weryfikacji warunków przyłączeniowych w przypadku wielu źródeł zainstalowanych we fragmencie sieci

Działania, motywacje



- ✓ Potrzeba opracowania procedury pomiarowej weryfikacji wpływu źródła na pracę sieci w warunkach terenowych, jako propozycji procedury odbiorczej
- ✓ Rozszerzenie oceny jakości energii o dodatkowe narzędzia analizy danych
- ✓ Potrzeba praktycznych studiów przypadku pracy źródeł w stanach dynamicznych współpracy z siecią



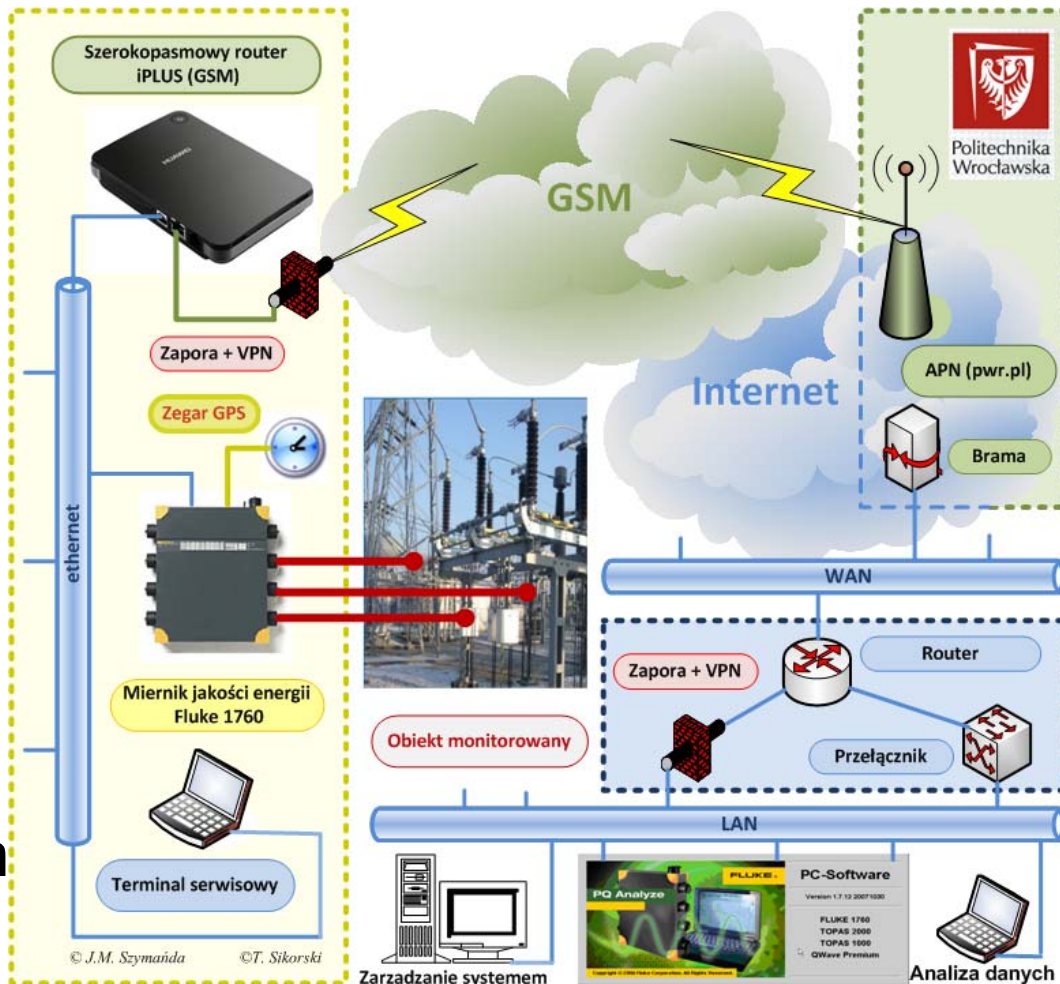
Cel badań

- ✓ Celem badań jest z jednej strony **opracowanie i weryfikacja procedury oceny wpływu generacji rozproszonej na jakościowe parametry energii na podstawie pomiarów w punkcie przyłączenia**, z drugiej zaś **zebranie charakterystyk rzeczywistych profili zakłóceń jakości energii towarzyszących dynamicznym stanom pracy źródeł w ujęciu obszarowym**.
- ✓ Celem dodatkowym jest zbadanie możliwości zastosowania wybranych technik analizy danych jako narzędzi wspomagających detekcję i analizę zaburzeń jakości energii w zastosowaniu do problematyki współpracy źródeł rozproszonych z siecią elektroenergetyczną.



Opracowanie mobilnego systemu monitoringu jakości energii

- spełnienie wymagań poprawności akwizycji danych pomiarowych, synchronizacji czasu, zdalnej transmisji, ochrony dostępu i autoryzacji zarządzania
- weryfikacja w warunkach laboratoryjnych i terenowych
- zastosowanie w badaniach obszarowych



Realizacja celów badań: Opracowanie i weryfikacja procedury oceny wpływu mikroźródła na jakość energii na podstawie pomiarów w punkcie przyłączenia

Badawczy
System
Fotowoltaiczny
Wydziału
Elektrycznego
Politechniki
Wrocławskiej
powstały ze
środków
Funduszu
Nauki i
Technologii
Polskiej



Politechnika Wroclawska



Konwersatorium Smart Grid, AGH, 16.05.2014r

Procedura oceny wpływu mikroźródła na jakość energii w PCC

Rozszerzenie klasycznej metody oceny jakości energii o:

- uzupełnienie definicji reprezentatywnego okresu pomiaru o uwzględnienie pracy pozostałych źródeł zainstalowanych w danym obszarze sieci
- uwzględnienie w ocenie wpływu charakterystyk pracy źródła na wskaźniki jakościowe
- zastosowanie narzędzi korelacyjnych

Korelacja dodatnia	Korelacja ujemna	Opis poziomu korelacji
$r_x = 0$	$r_{xy} = 0$	brak korelacji
$0 < r_{xy} < 0.1$	$-0.1 < r_{xy} < 0$	nikła korelacja
$0.1 < r_{xy} \leq 0.4$	$-0.4 < r_{xy} \leq -0.1$	słaba korelacja
$0.4 < r_{xy} \leq 0.7$	$-0.7 < r_{xy} \leq -0.4$	zauważalna korelacja
$0.7 < r_{xy} \leq 0.9$	$-0.9 < r_{xy} \leq -0.7$	wysoka korelacja
$r_{xy} \geq 0.9$	$r_{xy} \leq -0.9$	silna korelacja



Weryfikacja procedury oceny

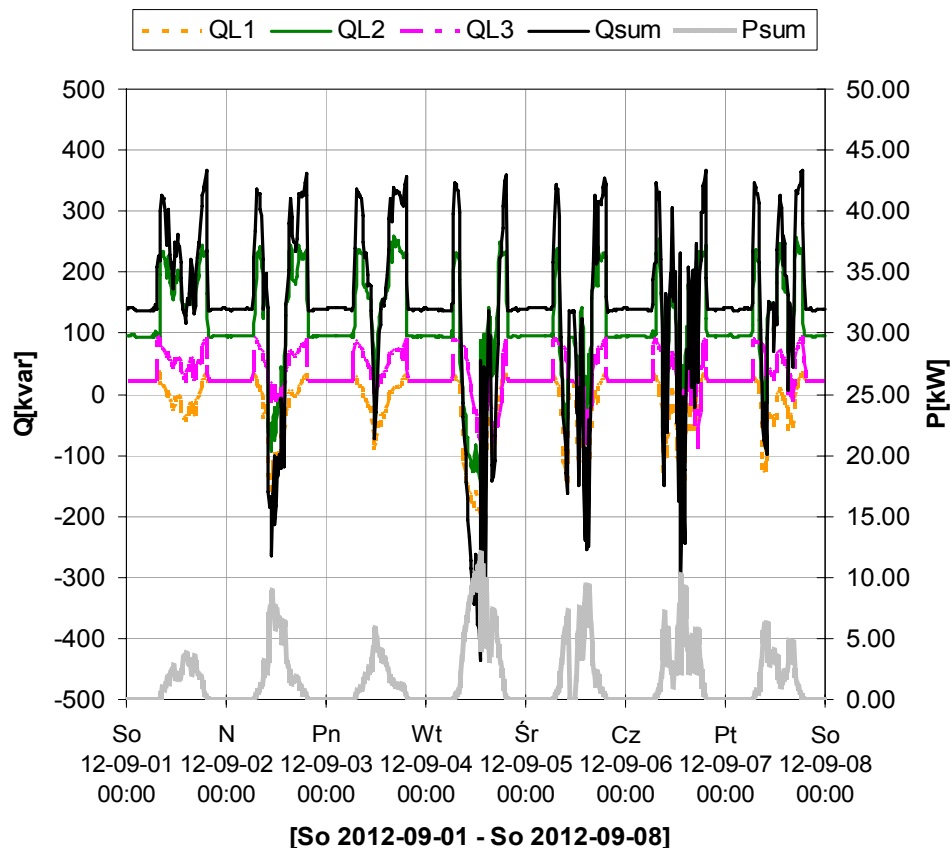
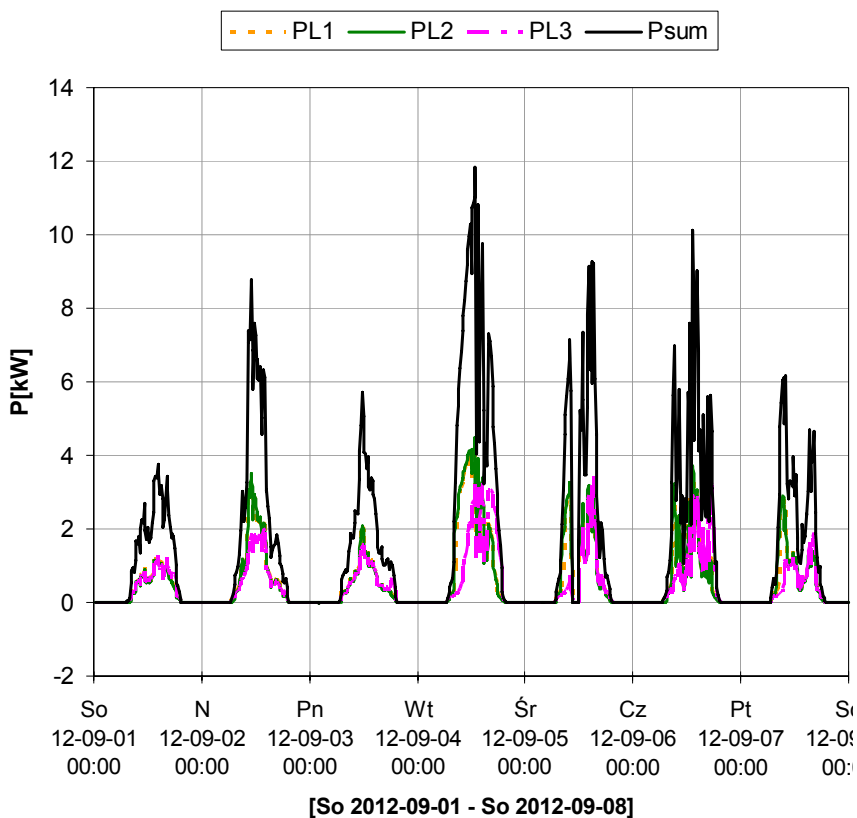
- weryfikację wykonano w Badawczym Systemie Fotowoltaicznym Wydziału Elektrycznego PWr 15kVA
- badany system generacji składa się z trzech jednofazowych systemów fotowoltaicznych o mocy 5kVA różniących się technologią paneli
- jeden z systemów usytuowany jest w innym kierunku geograficznym

L1	PV1($S_{E_{max}}=5kVA$), MONO, 135° (południowy wschód)
	Panele monokrystaliczne (MONO) 27 modułów SUNTECH STP190S-24/Ad+ (190W/36,5V) Nachylenie 40°, azymut 135° (południowy wschód) Inwerter beztransformatorowy
L2	PV2($S_{E_{max}}=5kVA$), CIGS, 135° (południowy wschód)
	Panele cienkowarstwowe (CIGS) 56 modułów Q.CELLS Q.SMART 90 (90W/60,8V) Nachylenie 40°, azymut 135° (południowy wschód) Inwerter transformatorowy z separacją galwaniczną od strony DC
L3	PV3($S_{E_{max}}=5kVA$), POLI, 255° (południowy zachód)
	Panele polikrystaliczne (POLI) 21 modułów SOLAR FUTURE ENERGY PF-6:240 (240W/30V) Nachylenie 40°, azymut 225° (południowy zachód) Inwerter beztransformatorowy



Weryfikacja procedury oceny

Przykład analizy zmian napięcia



✓ odnotowanie realizacji standardowej charakterystyki $\cos\varphi(P)$

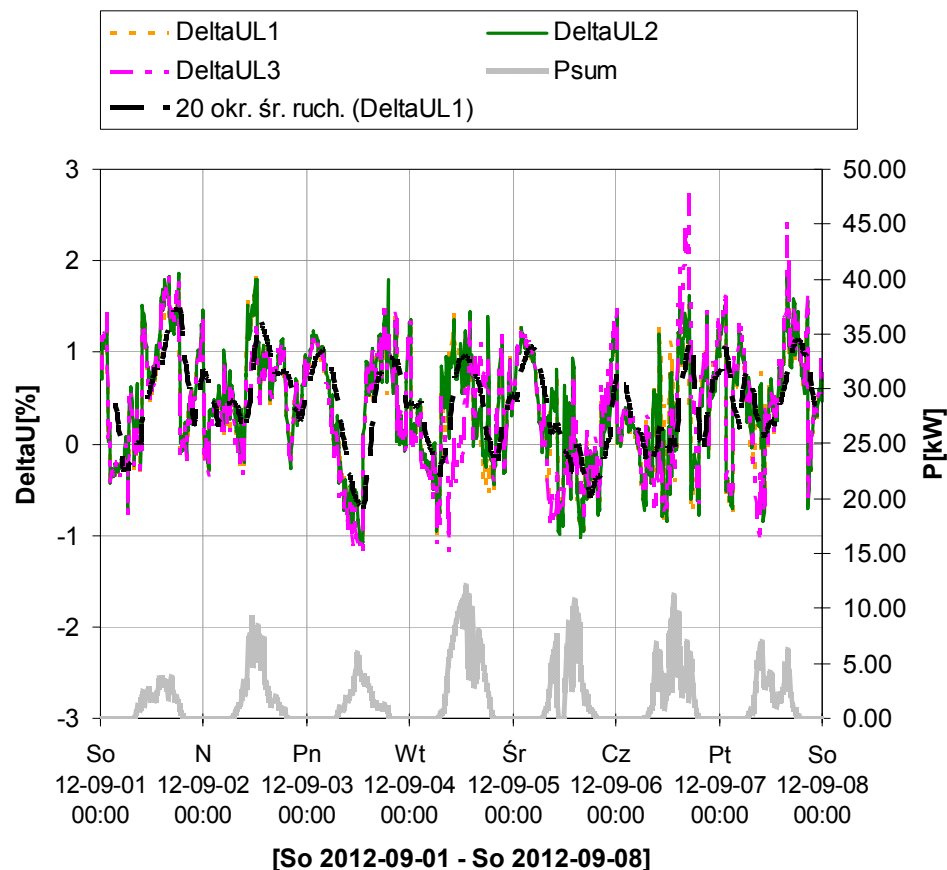


Weryfikacja procedury oceny

Przykład analizy zmian napięcia

STATYSTYKA ZMIAN NAPIĘCIA		L1	L2	L3
		[%]	[%]	[%]
Δu_{a10min}	min	0	0	0
	średnia	0.5	0.5	0.6
	P95	1.1	1.2	1.2
	max	1.5	1.6	1.7

Oznaczenie	Dopuszczalna wartość dla mikrogeneratorów	Dopuszczalna wartość dla sieci nN
Δu_a	3,0%	10%
Ocena	✓	✓

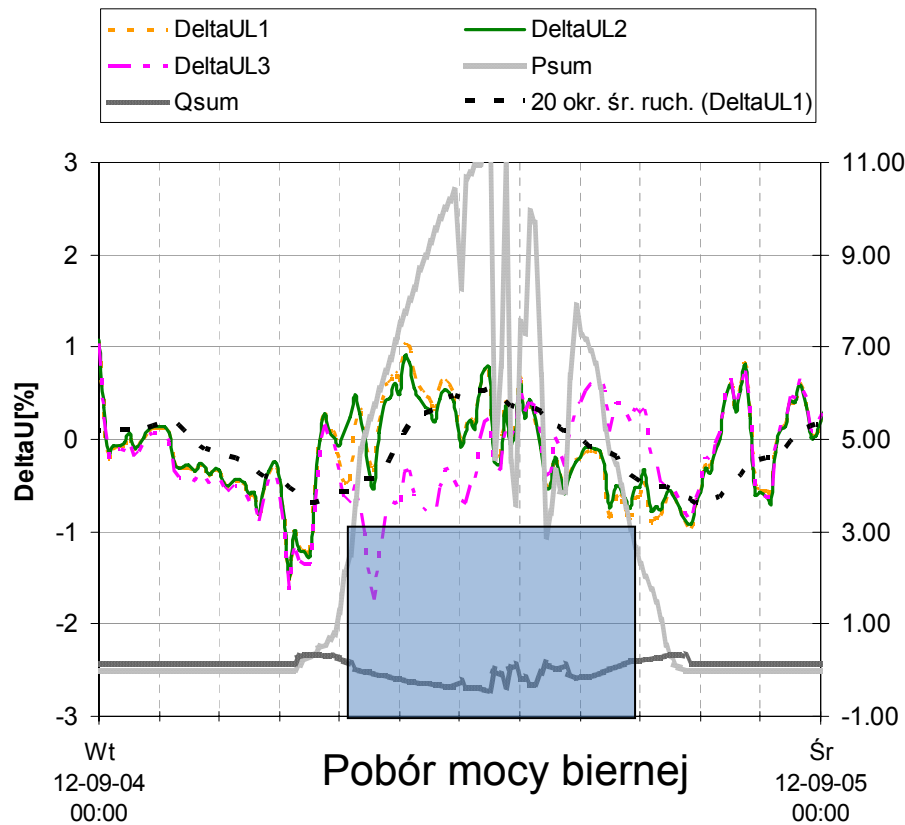


✓ ocena ogólna względem poziomów dopuszczalnych

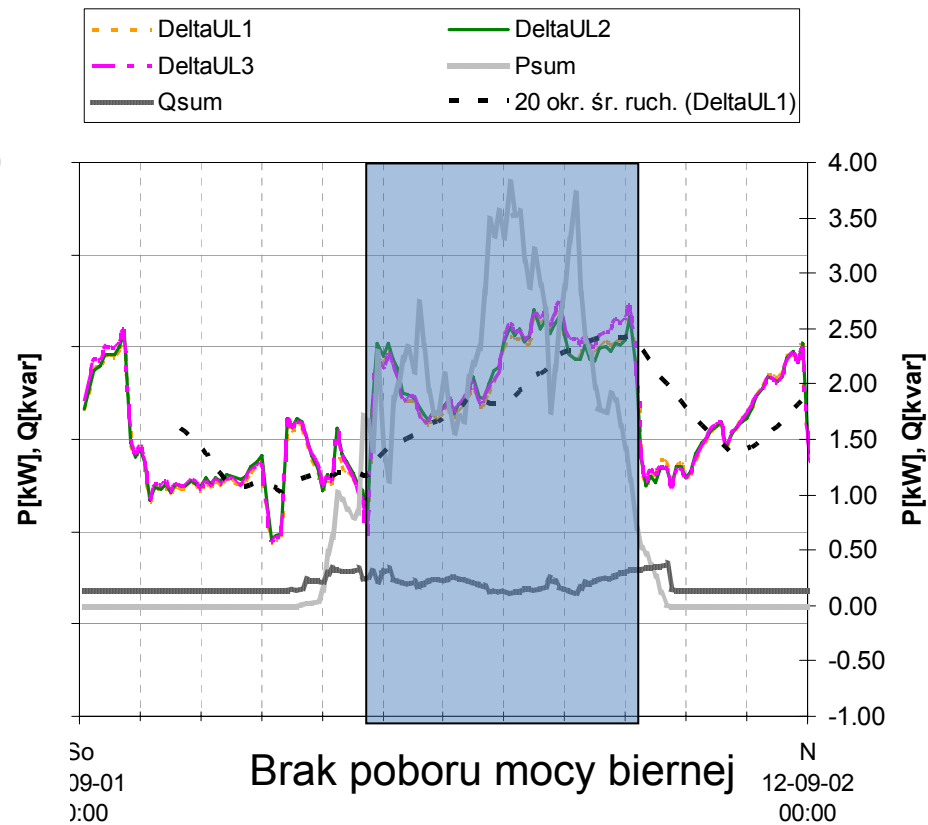


Weryfikacja procedury oceny

Przykład analizy zmian napięcia



[Wt 2012-09-04] - doba o wysokim poziomie wytwarzania



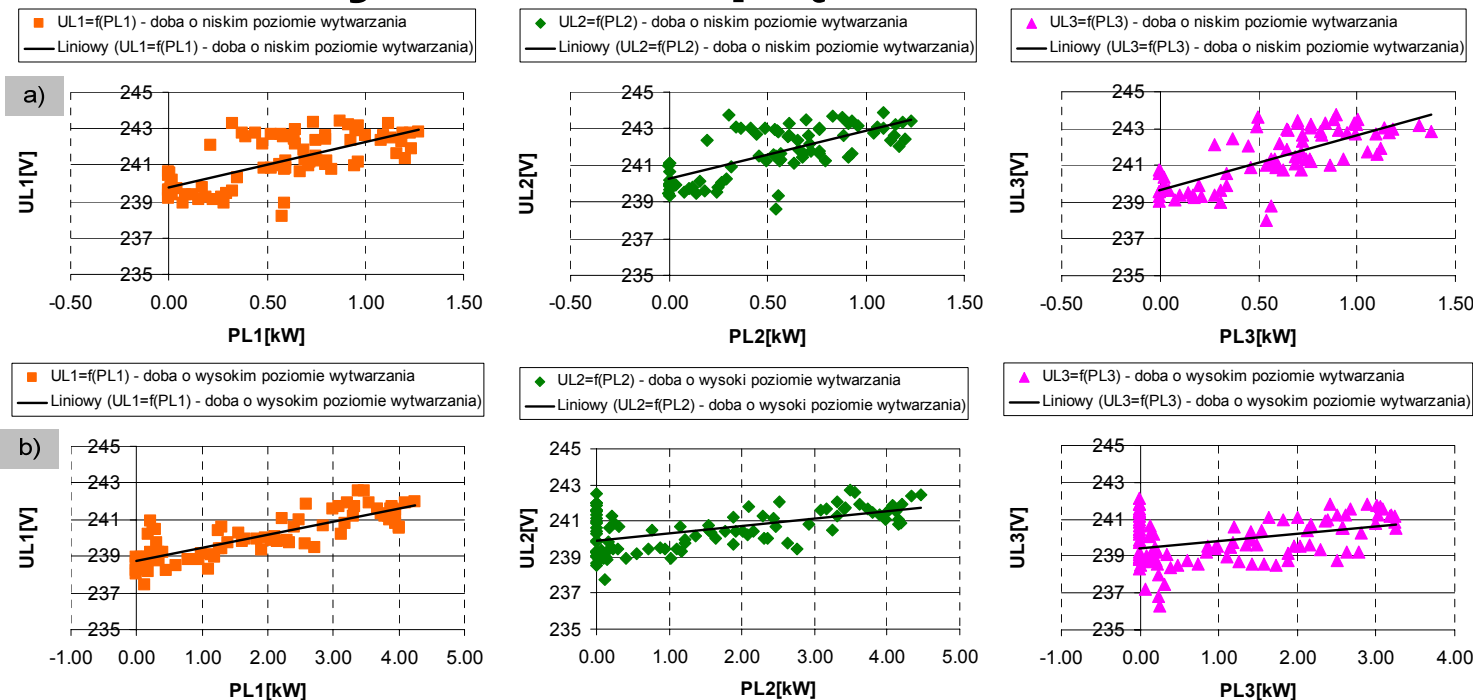
[So 2012-09-01] - doba o niskim poziomie wytwarzania

✓ uzupełnienie oceny o wpływ charakterystyki pracy źródła



Weryfikacja procedury oceny

Przykład analizy zmian napięcia



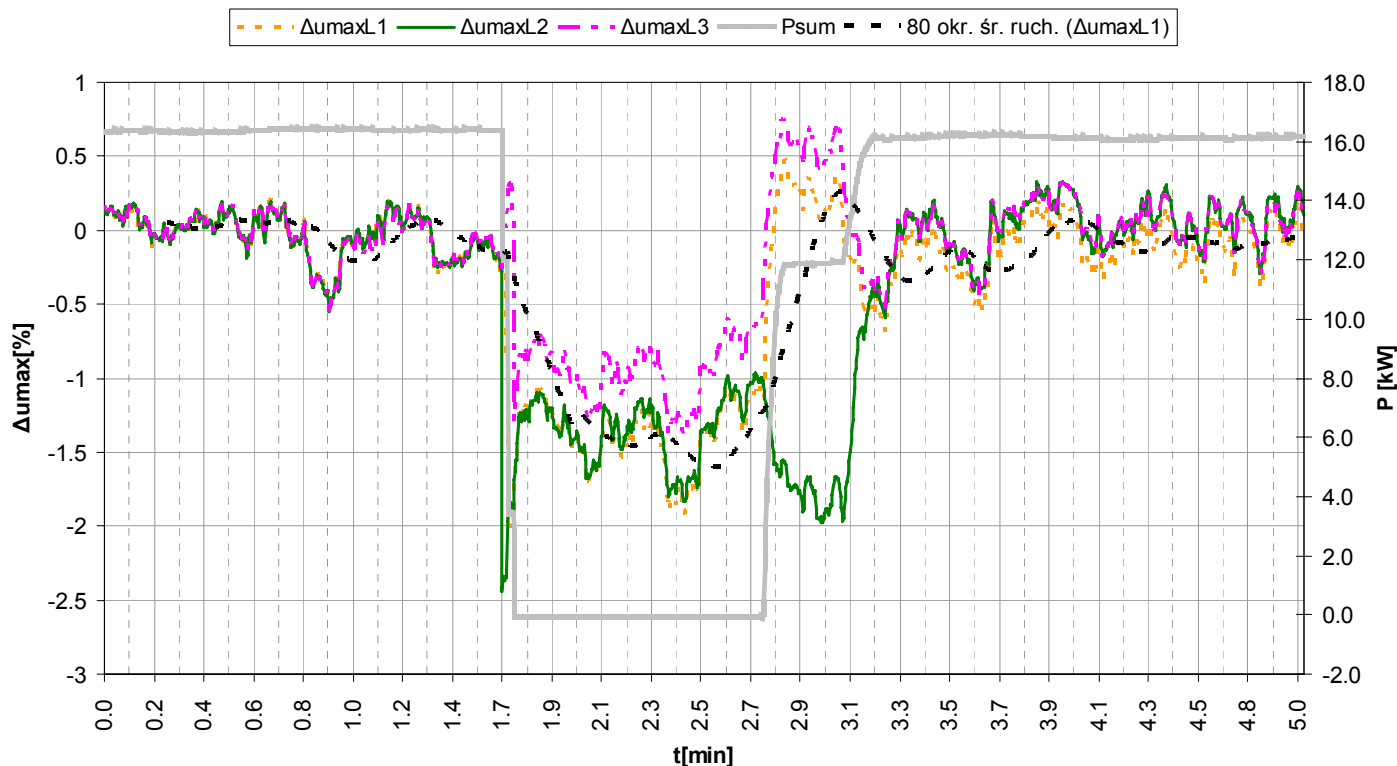
Współczynnik korelacji pomiędzy poziomem napięcia a mocą generowaną	L1	L2	L3
	[-]	[-]	[-]
a) doba o niskim poziomie wytwarzania	0.67	0.70	0.74
b) doba o wysokim poziomie wytwarzania	0.59	0.57	0.38

✓ uzupełnienie oceny o wpływ charakterystyki pracy źródła



Weryfikacja procedury oceny

- Przykład: testy ruchowe systemu – szybka zmiana napięcia spowodowana wyłączeniem systemu

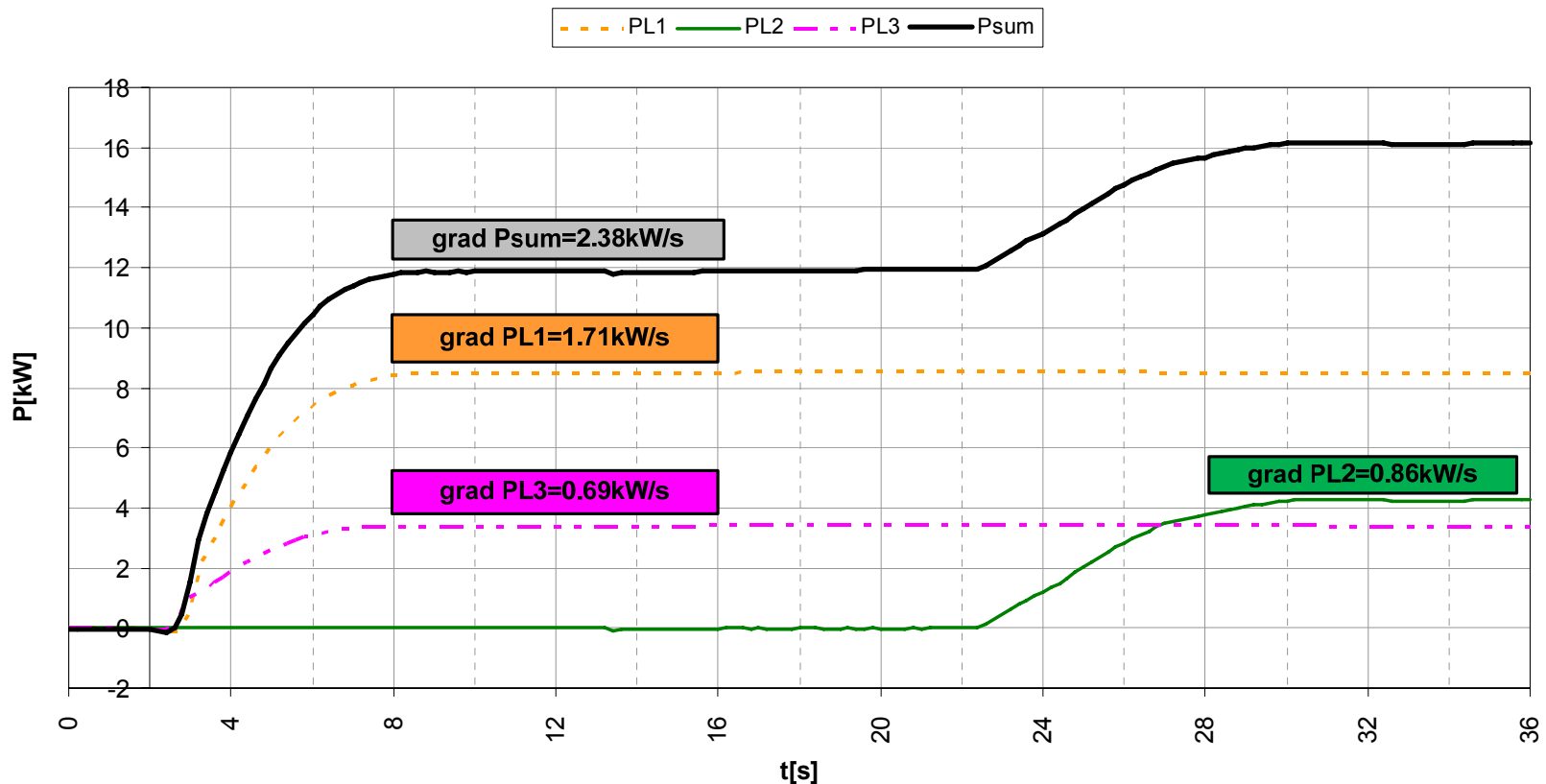


Szybka zmiana napięcia	L1	L2	L3
	[%]	[%]	[%]
$ \Delta u_{amax200ms} $	2.1	2.4	1.4



Weryfikacja procedury oceny

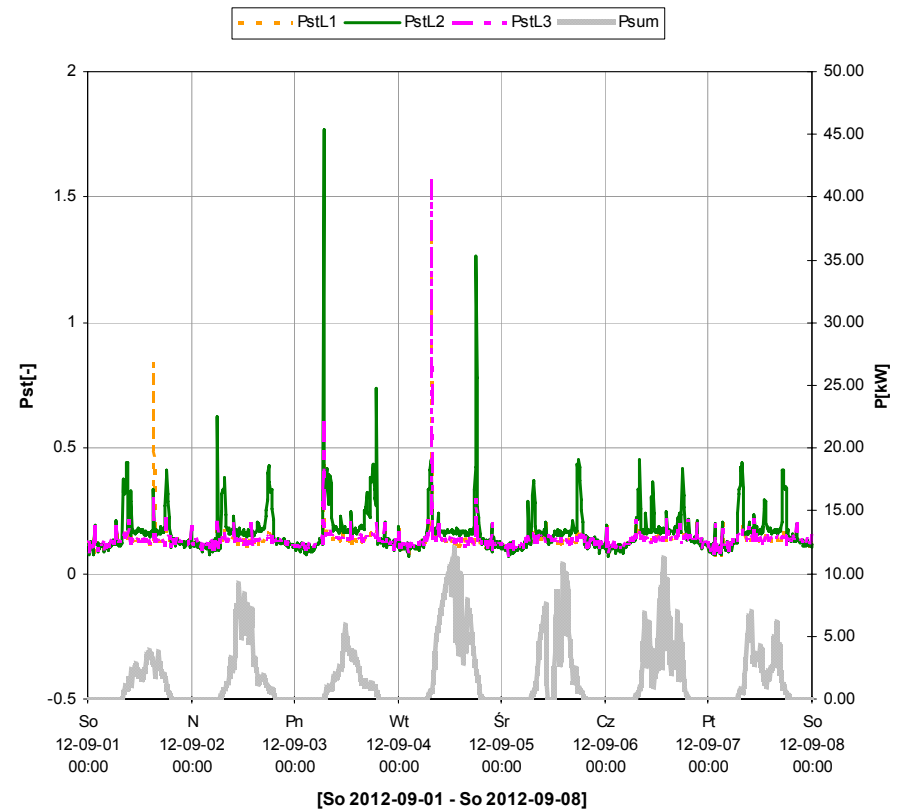
- Przykład: testy ruchowe systemu - gradient mocy w procesie ponownego włączania systemu



Weryfikacja procedury oceny

▪ Zaproponowana procedura pozwala ocenić m.in.:

✓ wpływ przejść pomiędzy trybami pracy charakterystyki $\cos\varphi(P)$ a efektem migotania światła



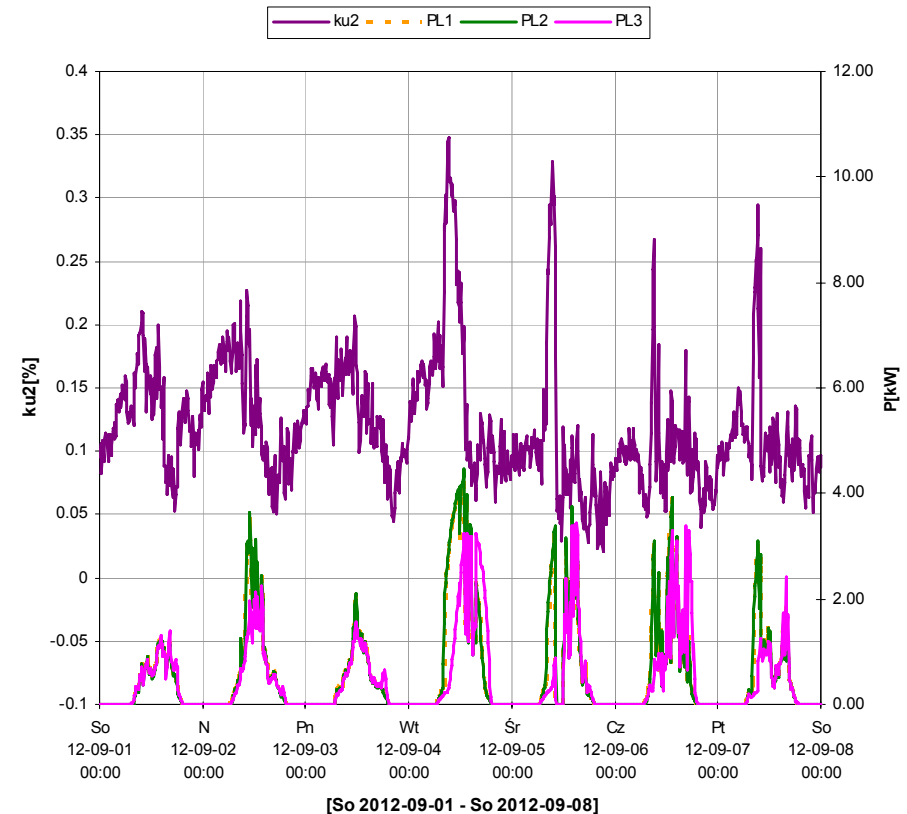
✓ Metodę można uznać jako propozycję procedury odbiorczej w zakresie oceny wpływu źródła na jakości energii w PCC



Weryfikacja procedury oceny

▪ Zaproponowana procedura pozwala ocenić m.in.:

✓ efekt asymetrii napięciowej wnoszonej przez odmienne usytuowanie geograficzne jednofazowych jednostek generacji

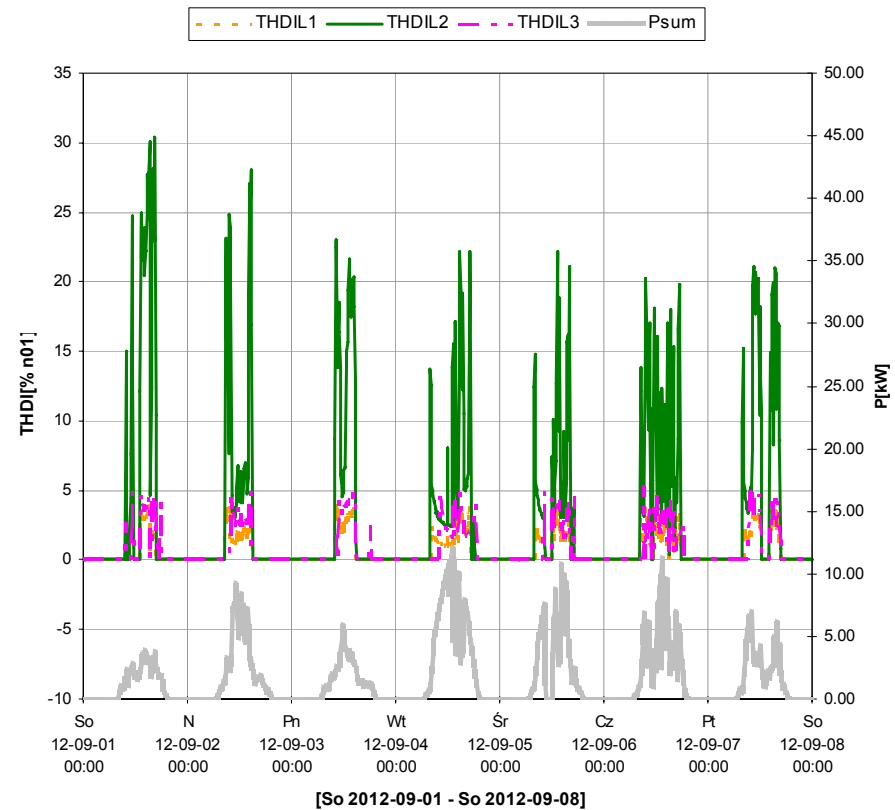


✓ Metodę można uznać jako propozycję procedury odbiorczej w zakresie oceny wpływu źródła na jakości energii w PCC



Weryfikacja procedury oceny

- Zaproponowana procedura pozwala ocenić m.in.:



- ✓ wpływ poziomu emisji harmonicznych w prądzie w odniesieniu do charakterystyki $\cos\varphi(P)$

- ✓ Metodę można uznać jako propozycję procedury odbiorczej w zakresie oceny wpływu źródła na jakości energii w PCC

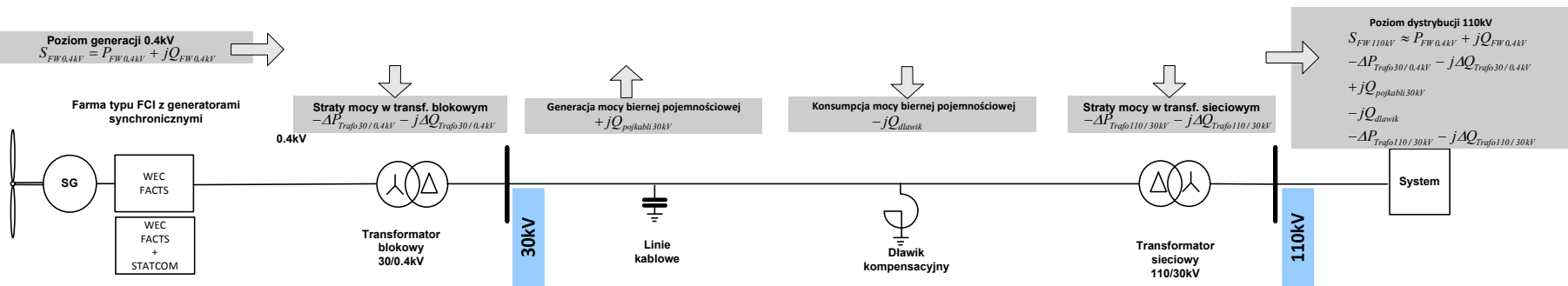


Realizacja celów pracy: Badania i ocena rzeczywistych profili zakłóceń jakości energii towarzyszących pracy źródeł rozproszonych



Rzeczywiste profile zakłóceń jakości energii towarzyszące pracy źródeł rozproszonych

Przykład oceny pracy farmy wiatrowej

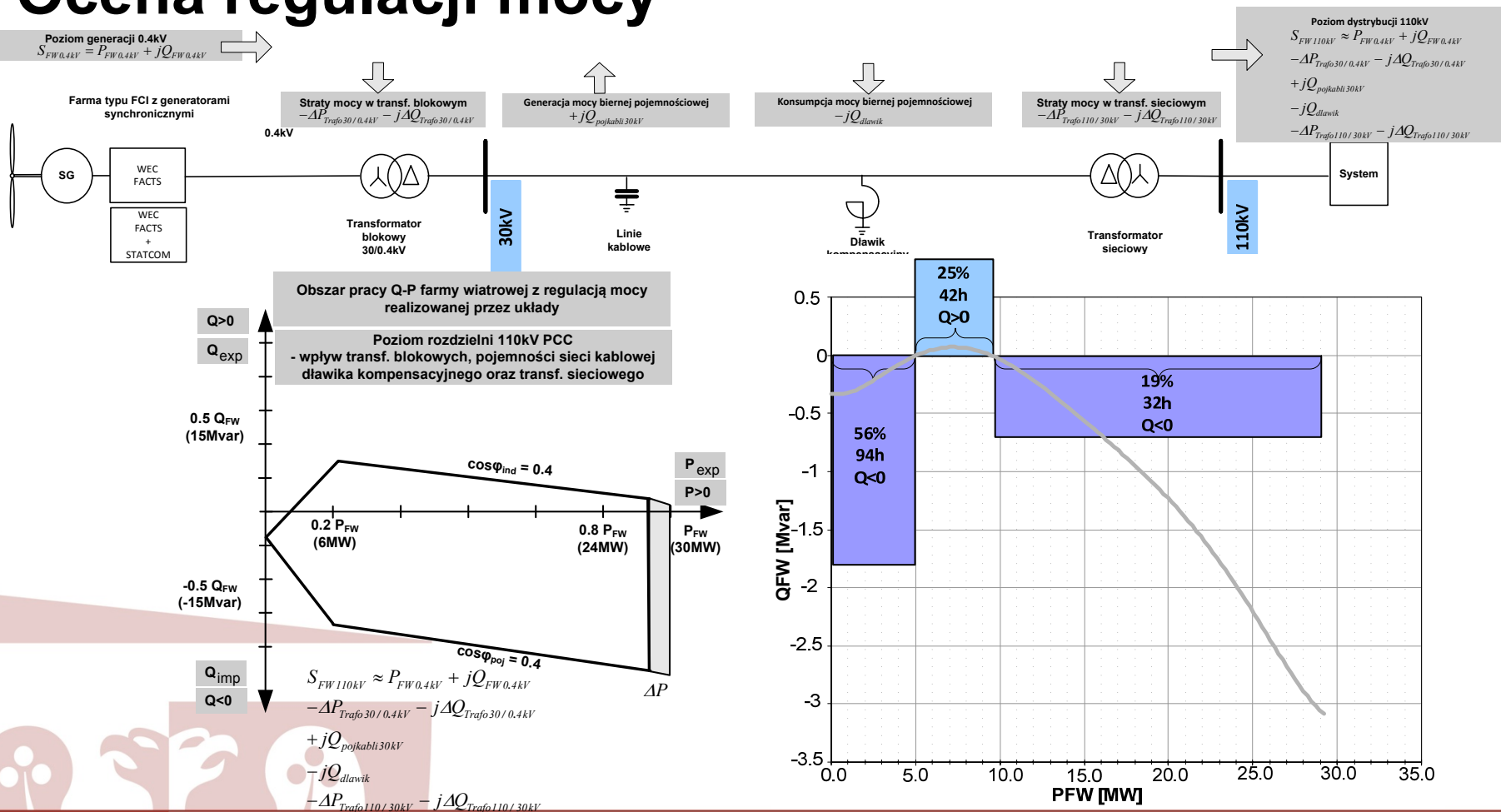


- ✓ 15 elektrowni wiatrowych firmy Enercon typ E70 – E4 o mocy 2 MW każda. Elektrownie połączone wewnętrznymi liniami kablowymi 30 kV, podzielonymi na dwa promienie po 7 oraz 8 elektrowni E70. W każdym promieniu jedna elektrownia wyposażona w układ STATCOM.
- ✓ Moc znamionowa osiągnięta przy prędkości wiatru 12,7 m/sek.
- ✓ Generacja na poziomie 0.4kV, skojarzenie z siecią wewnętrzną przez układ WEC (ang. Wind Energy Converter) wykorzystujący przekształtnik częstotliwości AC-DC-AC w obwodzie stojana, przez transformator 30/0.4kV
- ✓ Kompensacja mocy biernej w sieci kablowej farmy – dławik kompensacyjny



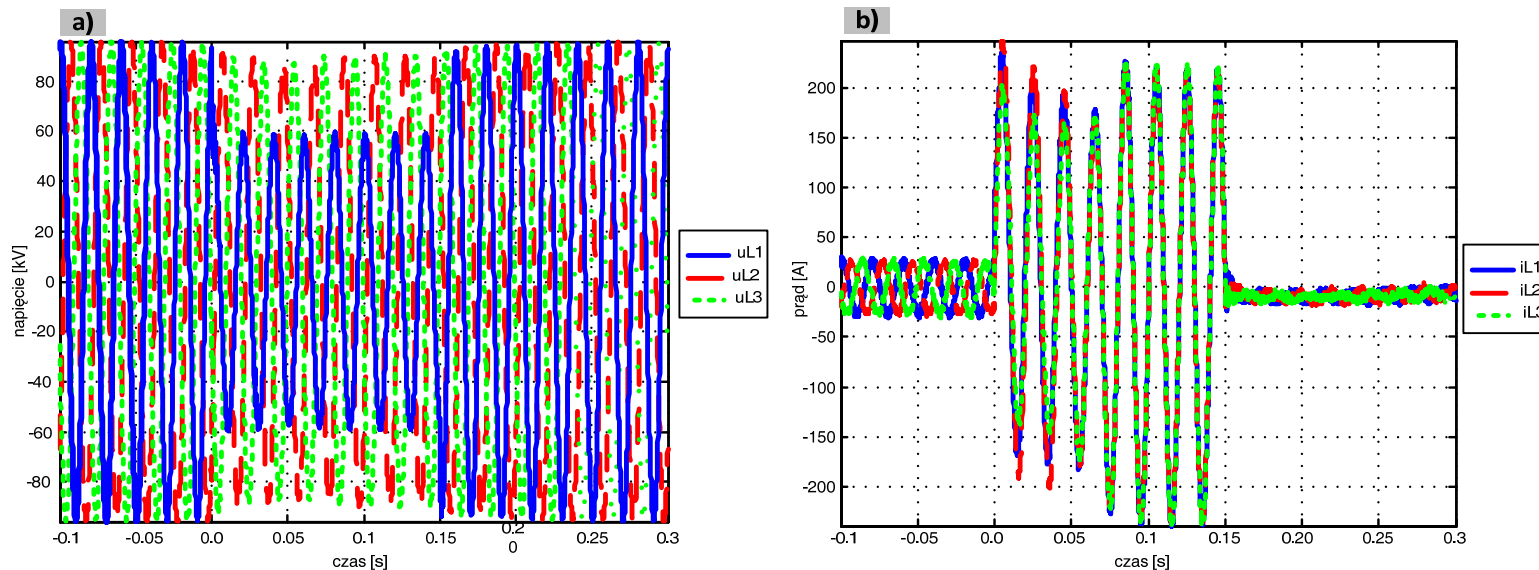
Rzeczywiste profile zakłóceń jakości energii towarzyszące pracy źródeł rozproszonych

■ Ocena regulacji mocy



Rzeczywiste profile zakłóceń jakości energii towarzyszące pracy źródeł rozproszonych

Przykład oceny pracy farmy wiatrowej

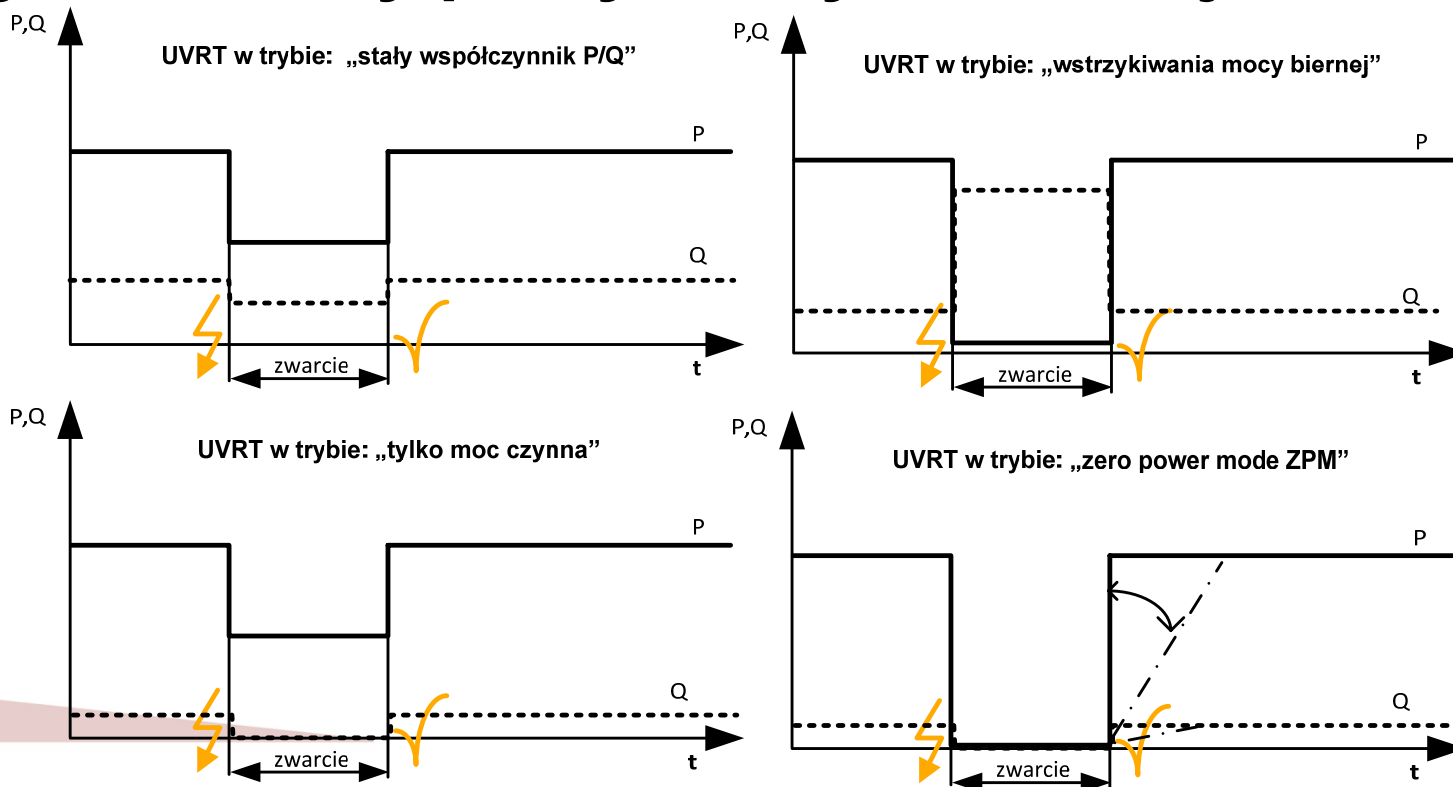


Klasyfikacja zdarzenia	Faza	Czas trwania zdarzenia	Wartości graniczne
Zapad napięcia	VL1	159.90[ms]	40.260[kV]
Wzrost prądu	IL1	599.51[ms]	107.1[A]
Wzrost prądu	IL2	599.51[ms]	108.7[A]
Wzrost prądu	IL3	599.51[ms]	108.4[A]
Przekroczenie harmonicznej n=2	V L1	199.77[ms]	1.095 [%]
Przekroczenie THDU	V L2	199.77[ms]	3.043 [%]



Rzeczywiste profile zakłóceń jakości energii towarzyszące pracy źródeł rozproszonych

Przykład oceny pracy farmy wiatrowej

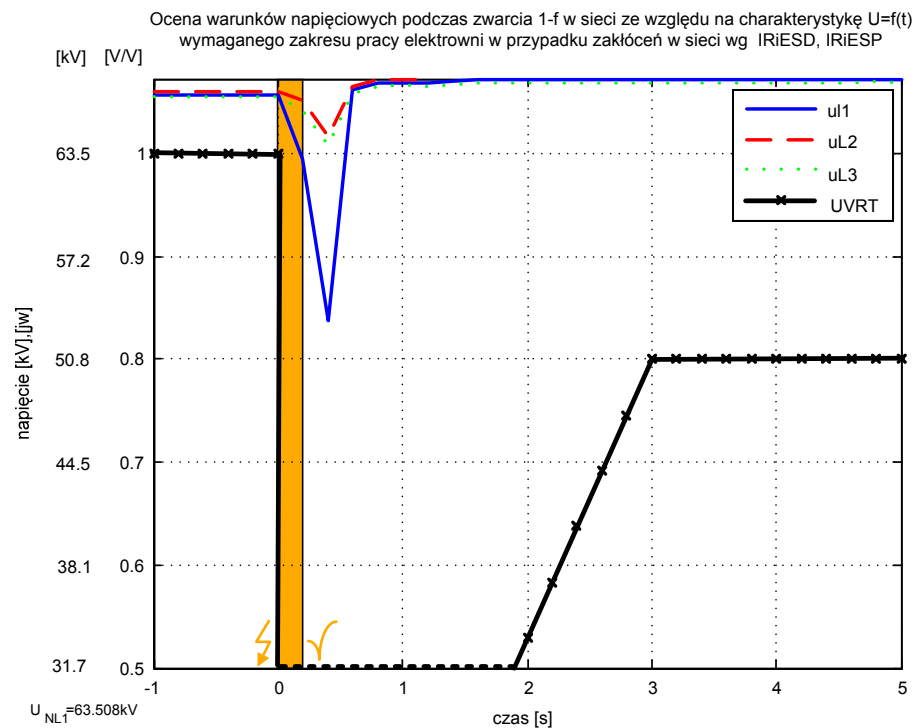
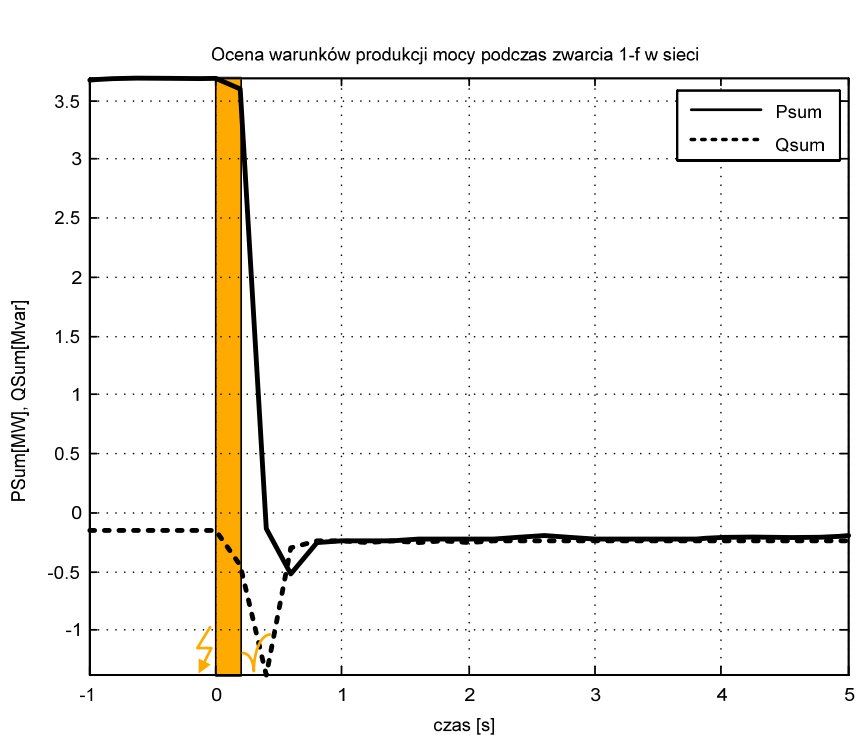


- ✓ Ocena pracy farmy w PCC 110kV podczas zakłócenia podnapięciowego od strony sieci w odniesieniu do charakterystyki $U=f(t)$ IRiESD, IRiESP



Rzeczywiste profile zakłóceń jakości energii towarzyszące pracy źródeł rozproszonych

Przykład oceny pracy farmy wiatrowej



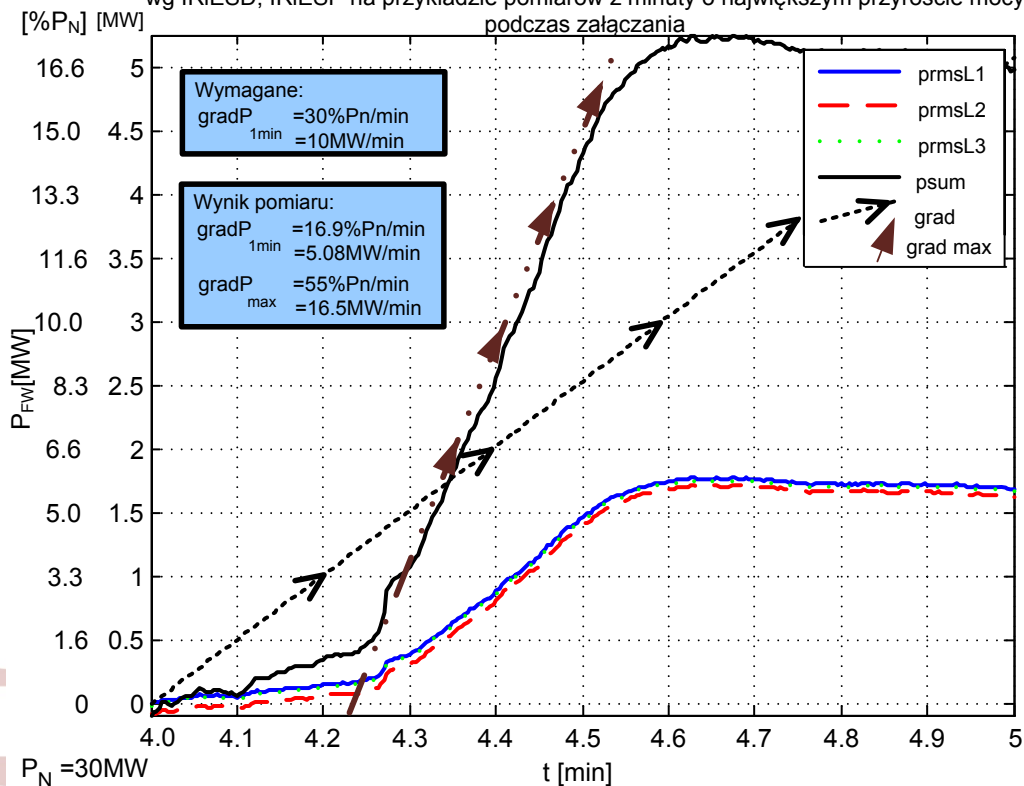
- ✓ Ocena pracy farmy w PCC 110kV podczas zakłócenia podnapięciowego od strony sieci w odniesieniu do charakterystyki $U=f(t)$ IRIESD, IRIESP



Rzeczywiste profile zakłóceń jakości energii towarzyszące pracy źródeł rozproszonych

Przykład oceny pracy farmy wiatrowej

Ocena załączania farmy ze względu na wymagany gradient średni w okresie 1 minuty wg IRIESD, IRIESP na przykładzie pomiarów z minuty o największym przyroście mocy podczas załączania

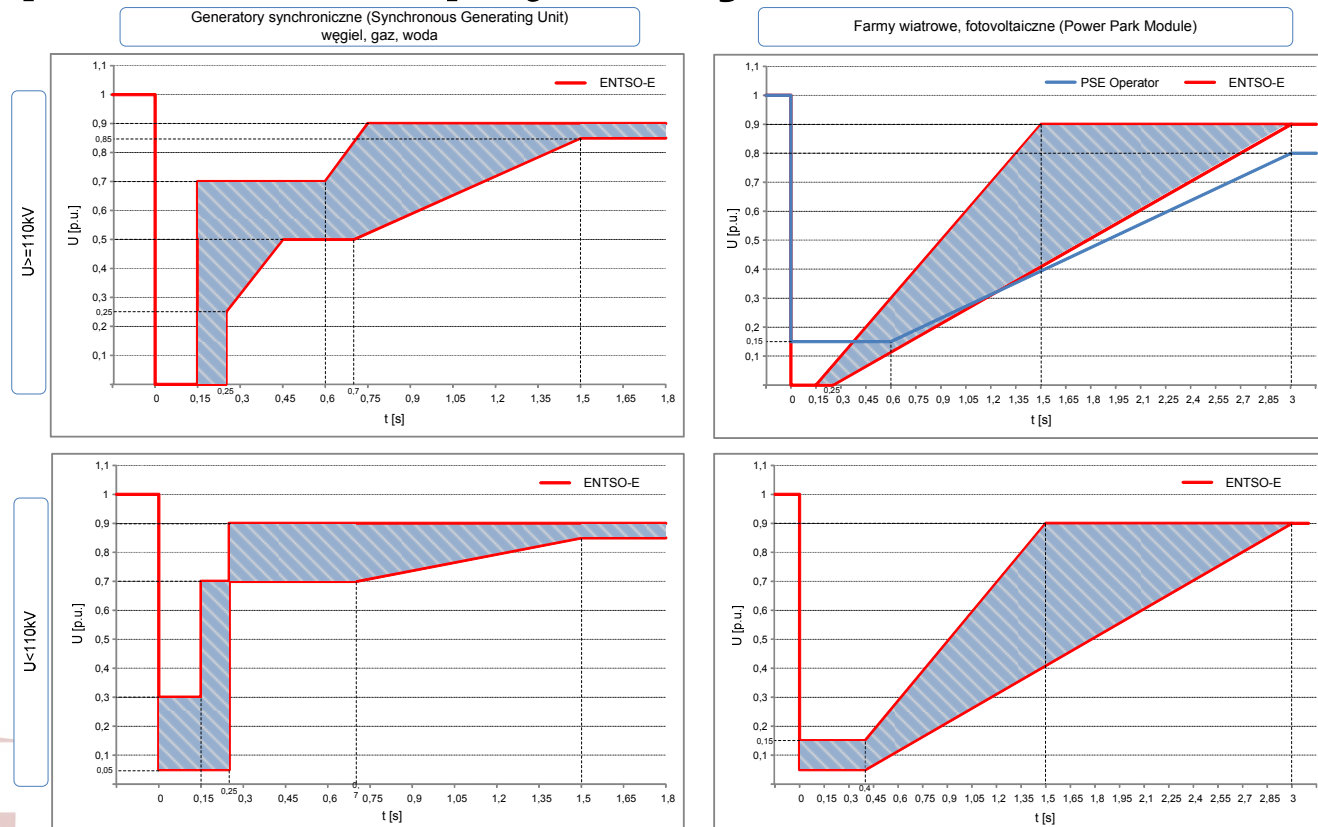


✓ Ocena pracy farmy w PCC 110kV podczas ponownego włączania do sieci



Rzeczywiste profile zakłóceń jakości energii towarzyszące pracy źródeł rozproszonych

▪ Dyskusja nad profilami napięciowymi FRT



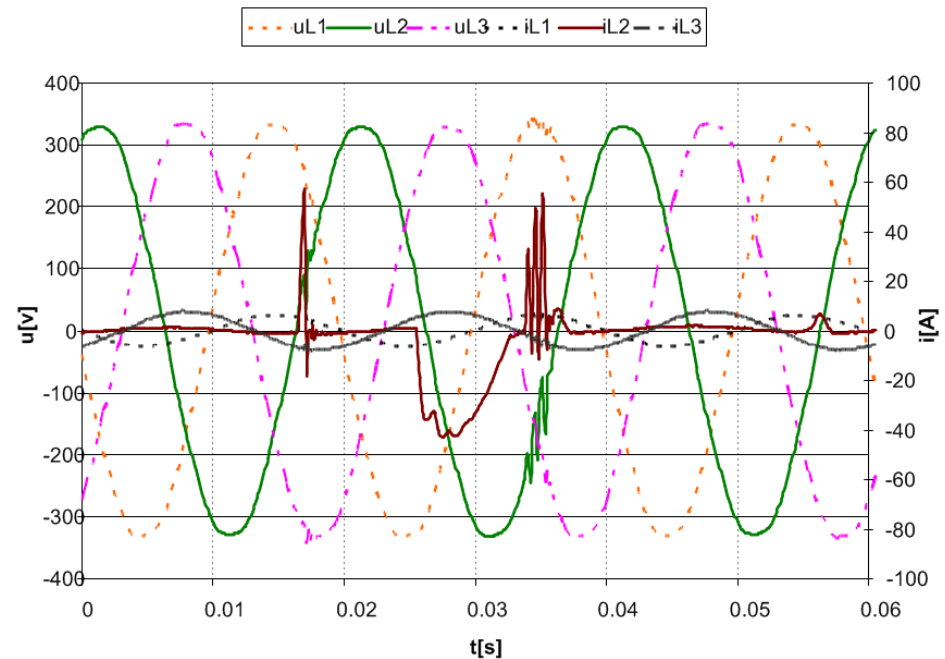
Napięcie w PCC	Moc osiągalna	ENTS O-E
$U < 110 \text{ kV}$	$\geq 0.4 \text{ kW}$	A
	$\geq 100 \text{ kW}$	B
	$\geq 10 \text{ MW}$	C
$U \geq 110 \text{ kV}$	-	D

✓ ENTSO-E: Network Code for Requirements for Grid Connection Applicable to all Generators.



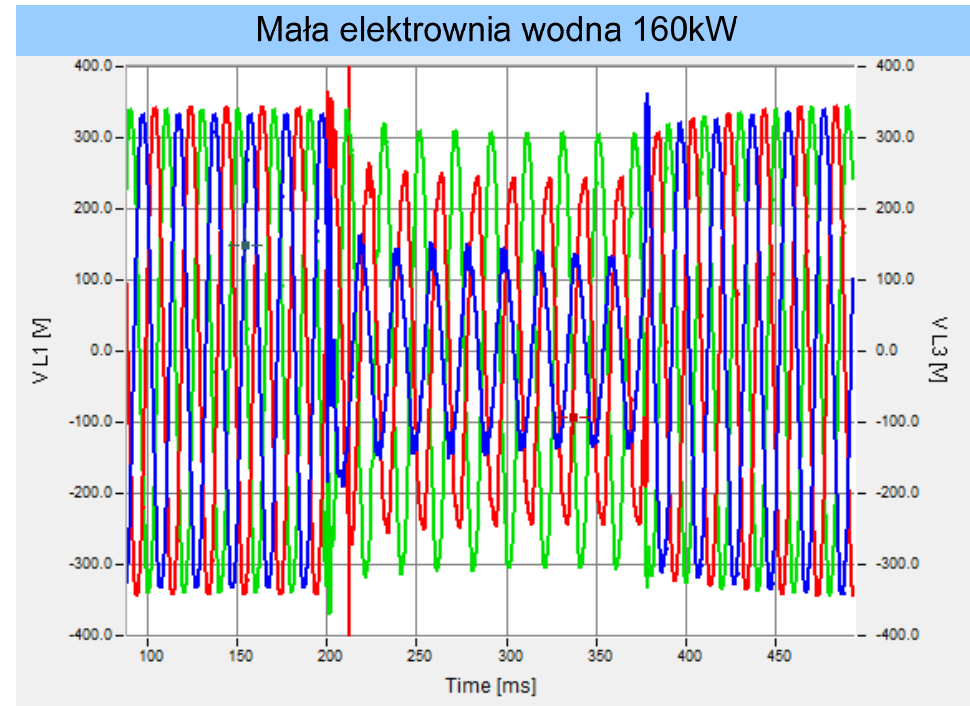
Rzeczywiste profile zakłóceń jakości energii towarzyszące pracy źródeł rozproszonych

- awaria w układzie falownika systemu PV



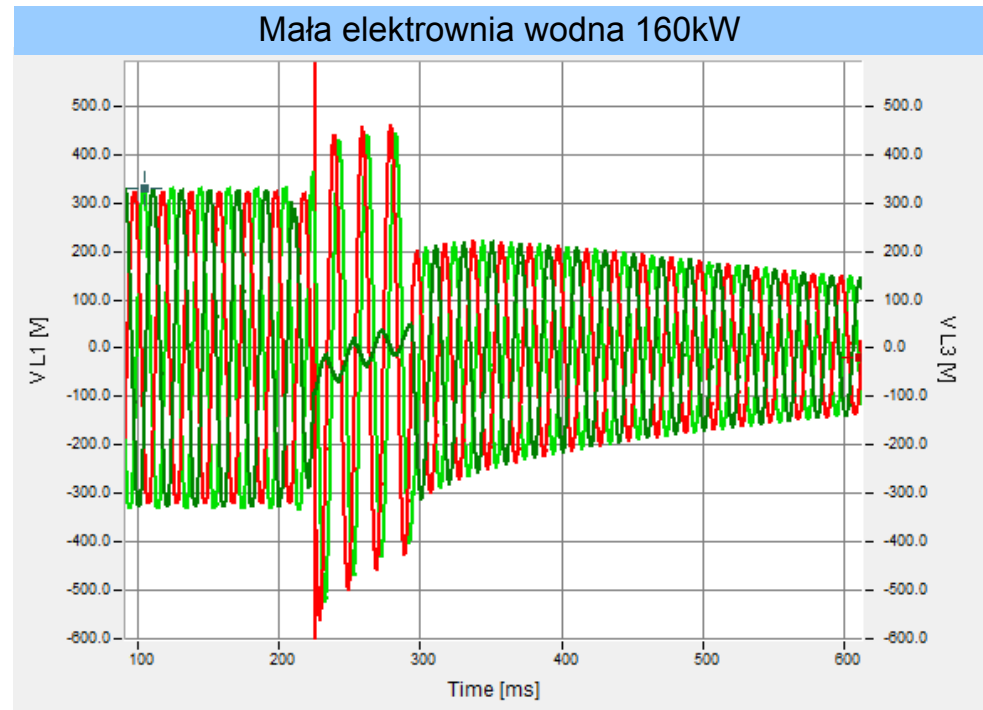
Rzeczywiste profile zakłóceń jakości energii towarzyszące pracy źródeł rozproszonych

- reakcja MEW z generatorem asynchronicznym przy zakłóceniu od strony sieci



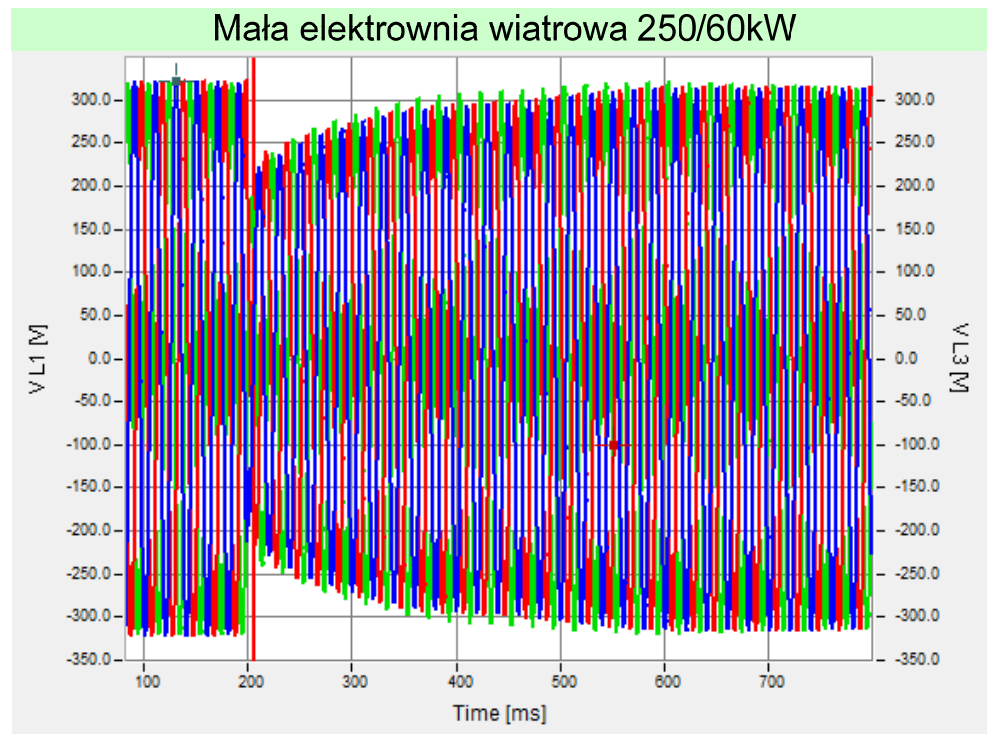
Rzeczywiste profile zakłóceń jakości energii towarzyszące pracy źródeł rozproszonych

- reakcja generatora asynchronicznego MEW przy zaniku napięcia



Rzeczywiste profile zakłóceń jakości energii towarzyszące pracy źródeł rozproszonych

- załączanie generatora asynchronicznego z pracy w układzie 3 par biegunów na 2 pary biegunów



Realizacja celów pracy: Badania obszarowe jakości energii w sieci z generacją rozproszoną

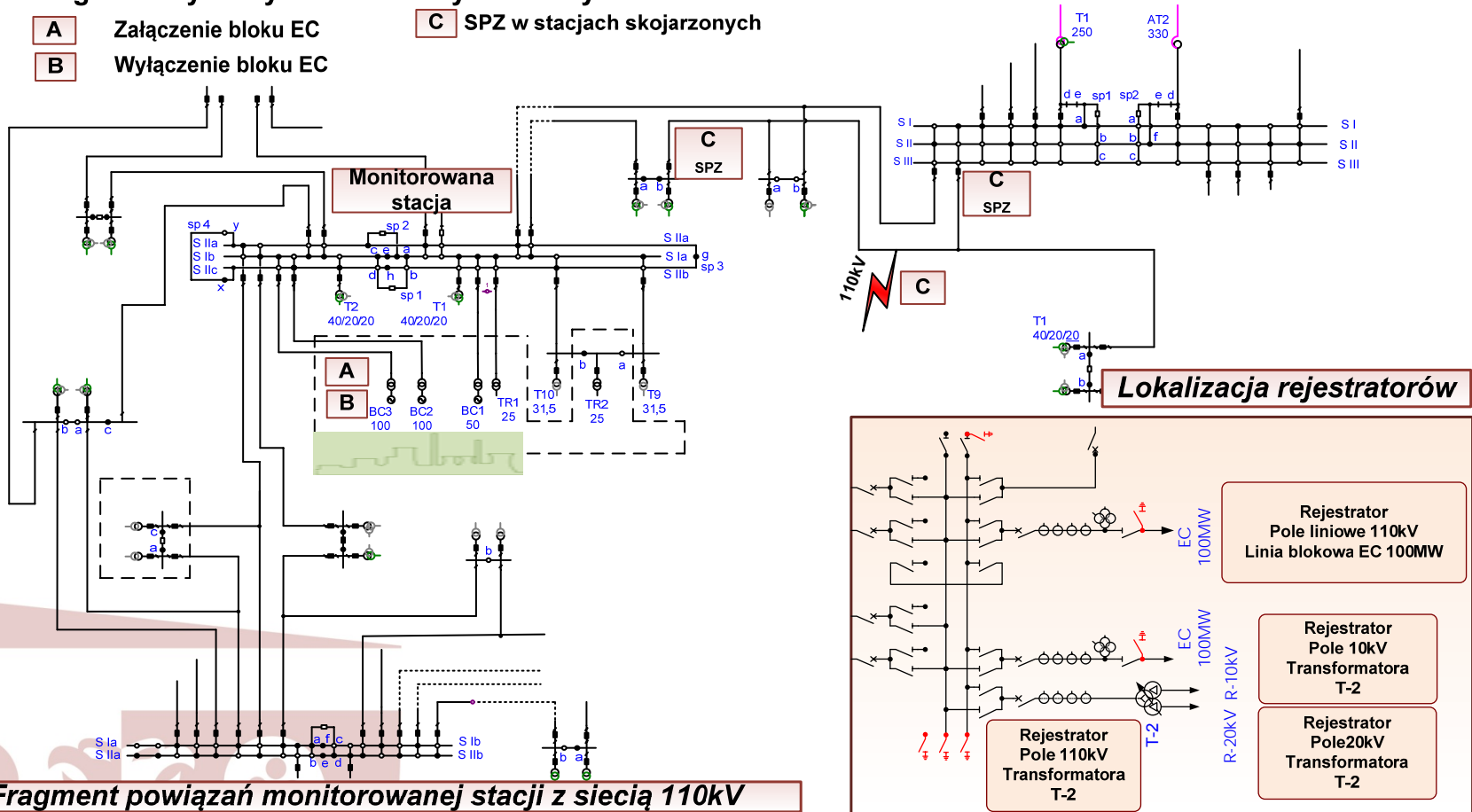


Badania obszarowe jakości energii w sieci z generacją rozproszoną

Praca sieci dystrybucyjnej z blokiem EC 100MW

Legenda wybranych zdarzeń dynamicznych:

- A** Załączenie bloku EC
- B** Wyłączenie bloku EC
- C** SPZ w stacjach skojarzonych

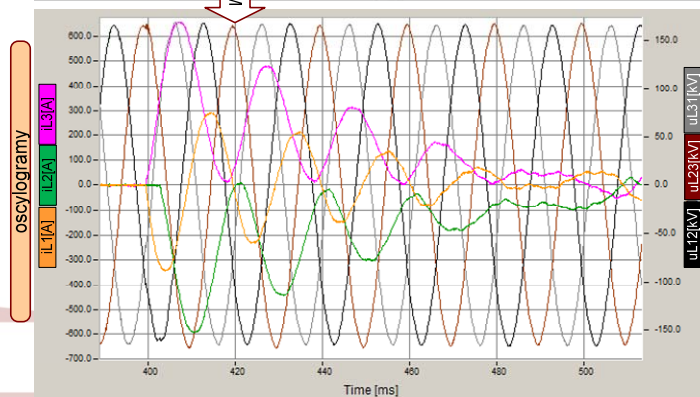
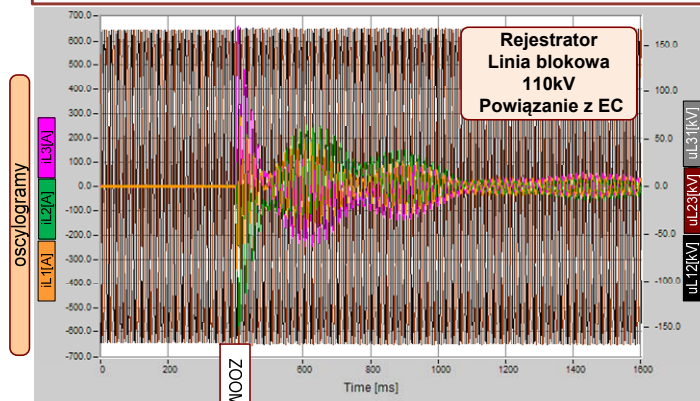


Badania obszarowe jakości energii w sieci z generacją rozproszoną

Przykład: włączenie, wyłączenie bloku EC

- ✓ po stronie EC odnotowano krótkie oscylacje łączeniowe
- ✓ brak wyzwolenia zdarzeń po stronie 10kV

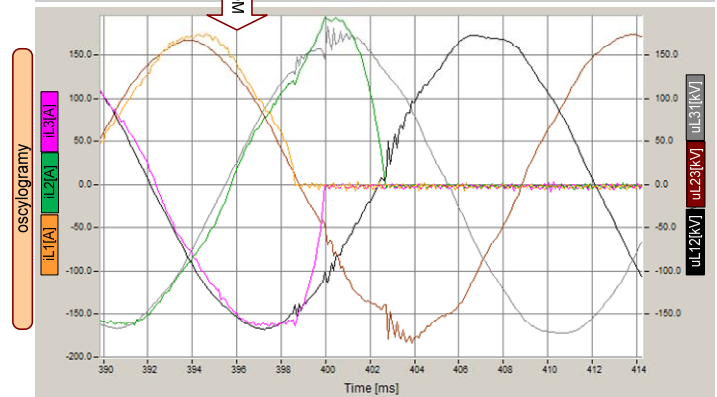
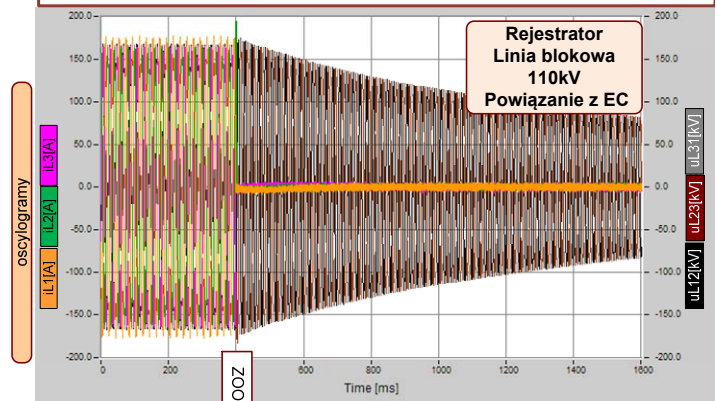
A - załączanie bloku EC



Brak wyzwolenia zdarzenia w rejestratorze pole transformatora 110kV
Brak wyzwolenia zdarzenia w rejestratorze pole transformatora 10kV



B - wyłączenie bloku EC



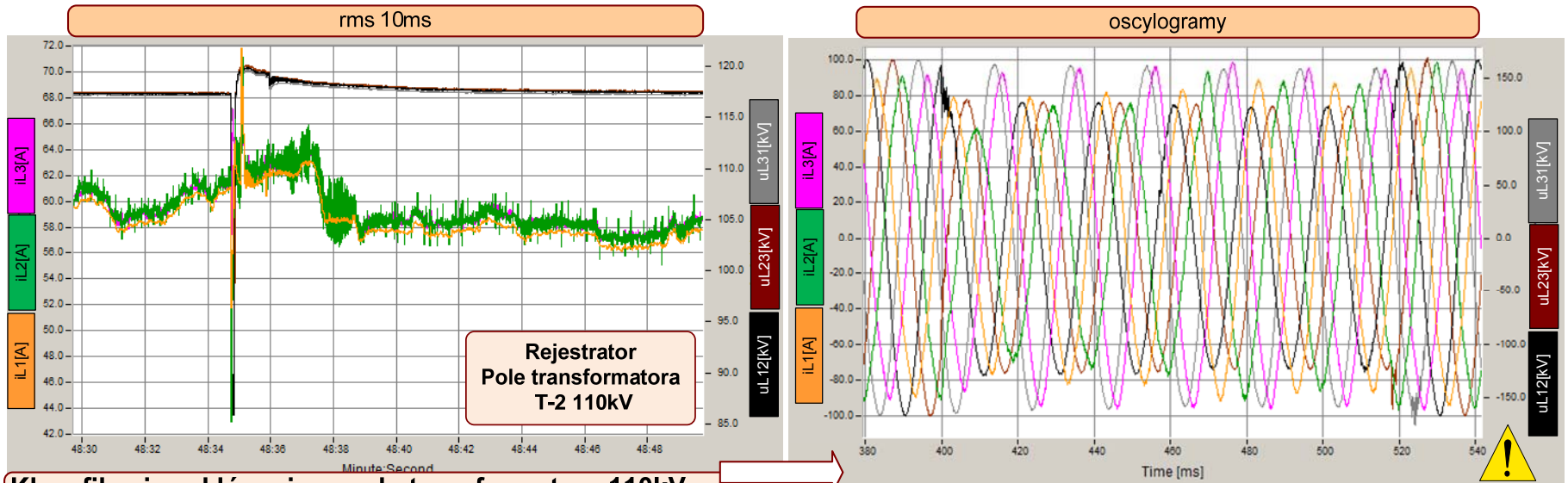
Brak wyzwolenia zdarzenia w rejestratorze pole transformatora 110kV
Brak wyzwolenia zdarzenia w rejestratorze pole transformatora 10kV



Badania obszarowe jakości energii w sieci z generacją rozproszoną

Przykład: reakcja na zakłócenie w sieci 110kV

C – udany SPZ w cyklu w-z w linii 110kV powiązanej z monitorowaną stacją



Rejestrator
Pole transformatora
T-2 110kV

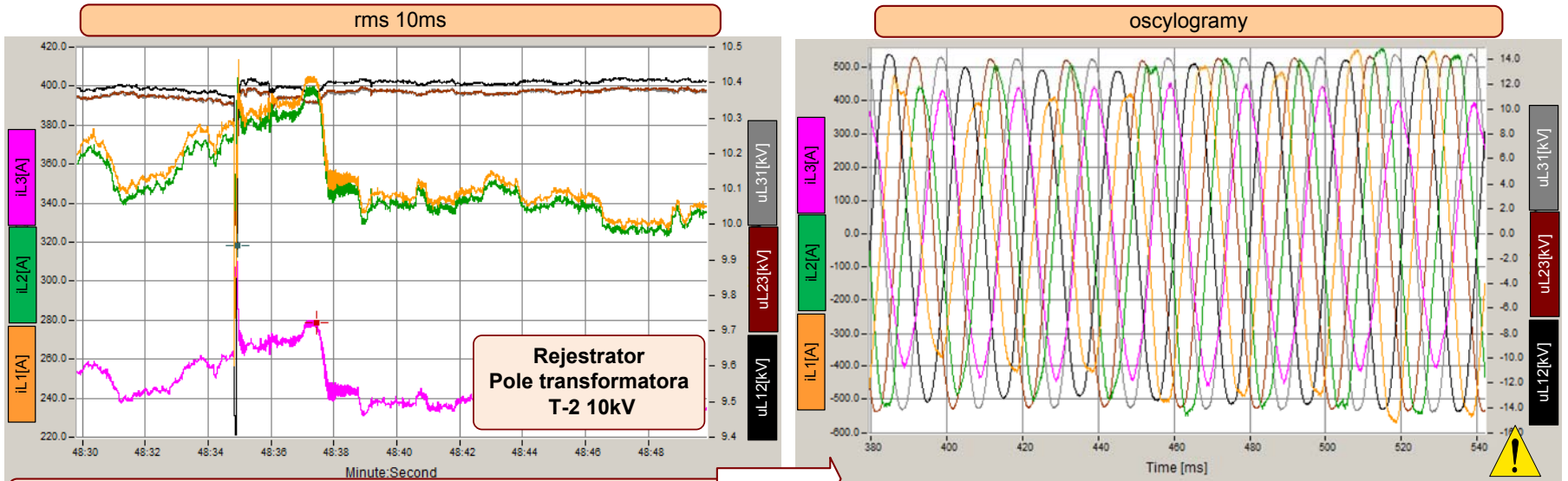
Klasyfikacja zakłócenia w polu transformatora 110kV
Zapad napięcia
Czas trwania 119.89ms, napięcie w zapadzie 85.83kV,
głębokość zapadu 73% napięcia referencyjnego 117kV



Badania obszarowe jakości energii w sieci z generacją rozproszoną

Przykład: reakcja na zakłócenie w sieci 110kV

C – udany SPZ w cyklu w-z w linii 110kV powiązanej z monitorowaną stacją



Klasyfikacja zdarzenia w polu transformatora 10kV

Zapad napięcia

Czas trwania 29.92ms, napięcie w zapadzie 85.83kV,
głębokość zapadu 89.6% napięcia referencyjnego 10.5kV



Politechnika Wroclawska

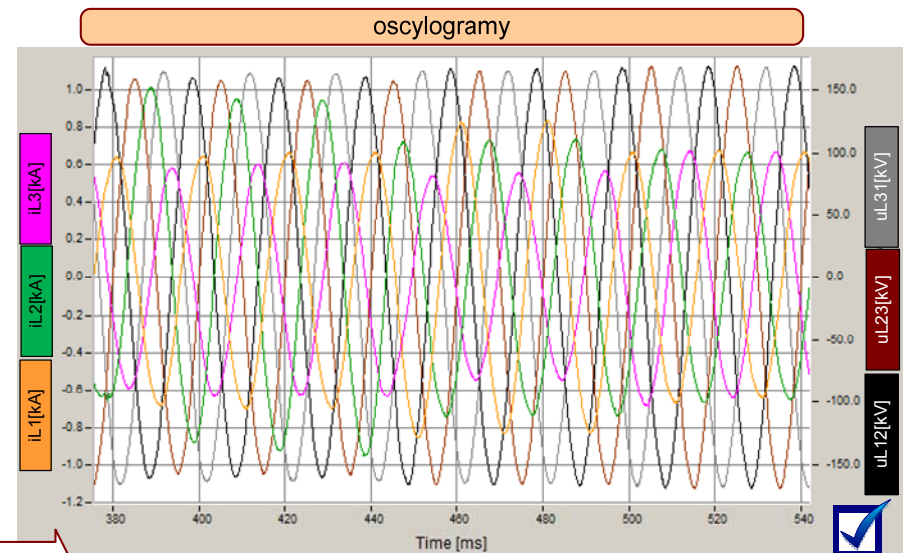
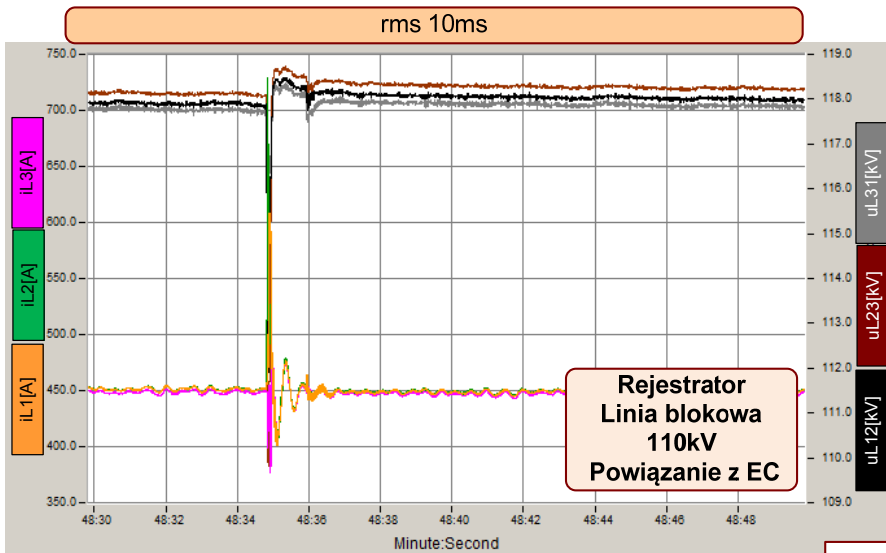


Konwersatorium Smart Grid, AGH, 16.05.2014r

Badania obszarowe jakości energii w sieci z generacją rozproszoną

Przykład: reakcja na zakłócenie w sieci 110kV

C – udany SPZ w cyklu w-z w linii 110kV powiązanej z monitorowaną stacją



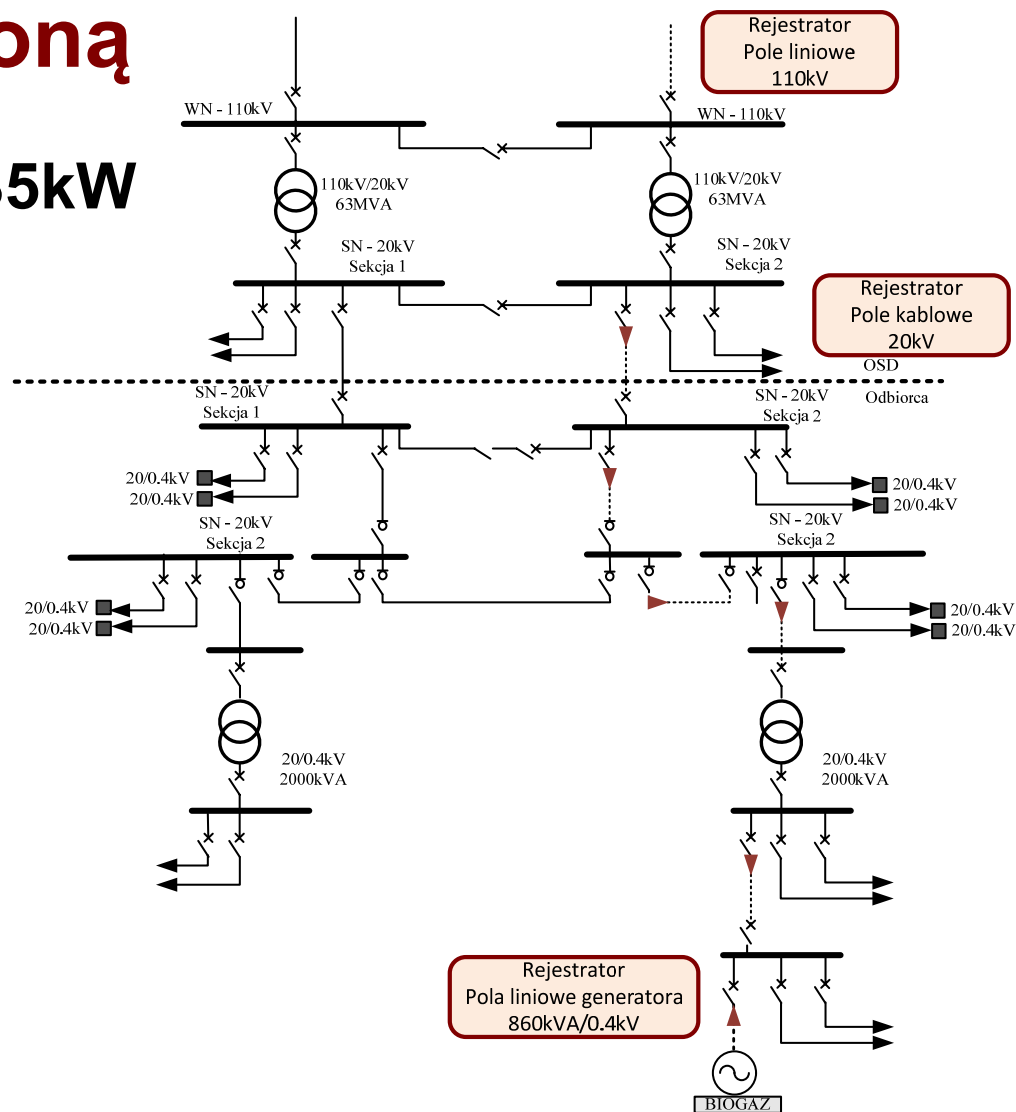
Brak wyzwolenia zdarzenia typu zapad napięcia
Praca generacji na poziomie 92MW/10Mvar



Badania obszarowe jakości energii w sieci z generacją rozproszoną

Praca sieci zakładowej z generacją biogazową 635kW

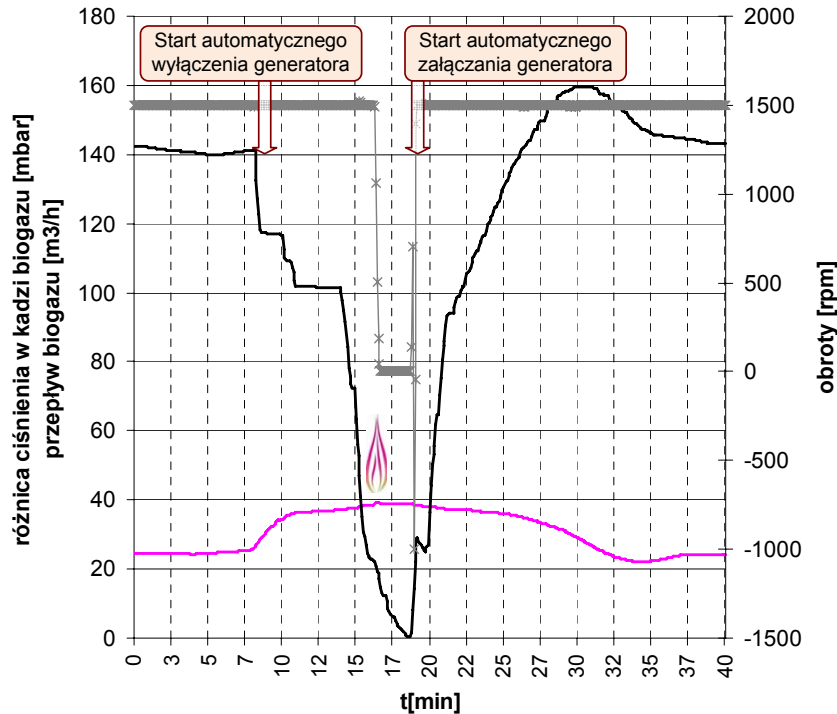
- ✓ moduł kogeneracyjny z generatorem synchronicznym firmy Stanford **635kW/0.4kV** napędzany silnikiem spalinowym firmy Jenbacher na biogaz powstający w procesie produkcji
- ✓ na wspólnym wale napędzanym silnikiem umieszczony jest generator główny, prostowniki rotacyjne doprowadzające prąd stały, oraz dodatkowy generator z magnesami trwałymi (PMG), stanowiący zasilanie dla regulatora – rozwiązanie obcowzbudne



Badania obszarowe jakości energii w sieci z generacją rozproszoną

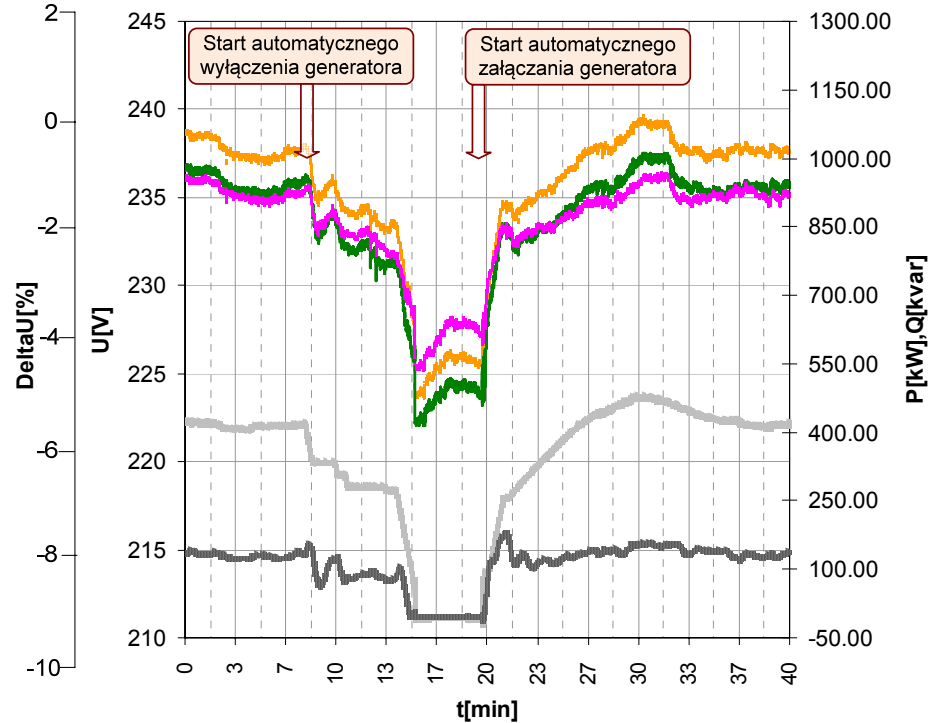
Przykład: testy ruchowe generatora

— różnica ciśnienie biogazu w kadzi — przepływ gazu * obroty generatora



- ✓ Zmiany podstawowych wielkości nieelektrycznych: ciśnienie w kadzi biogazu, przepływ biogazu, obroty generatora

--- UL1 --- UL2 --- UL3 --- Psum --- Qsum

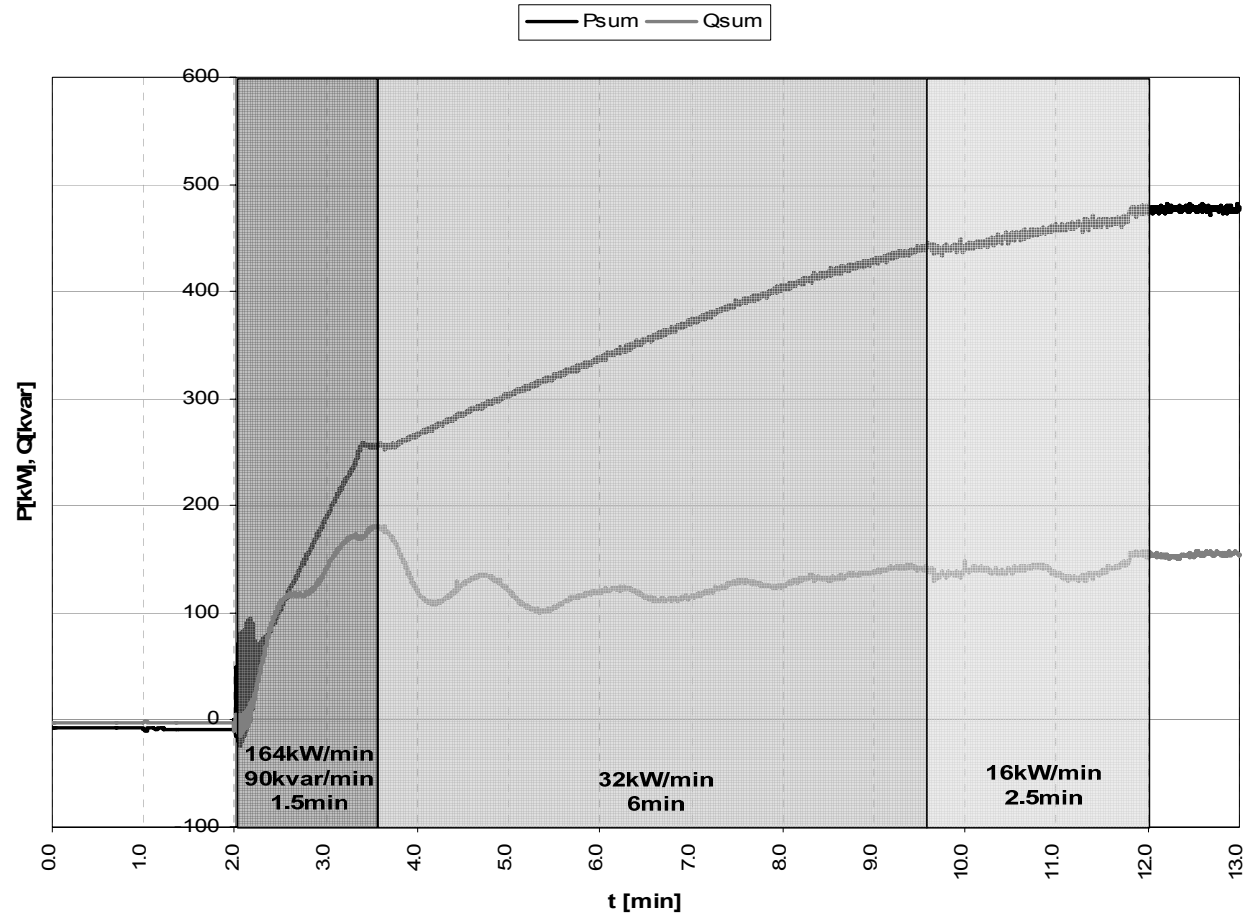


- ✓ Zmiany podstawowych wielkości elektrycznych: zmiana napięcia, zmiana mocy czynnej i biernej



Badania obszarowe jakości energii w sieci z generacją rozproszoną

Przykład: testy ruchowe generatora



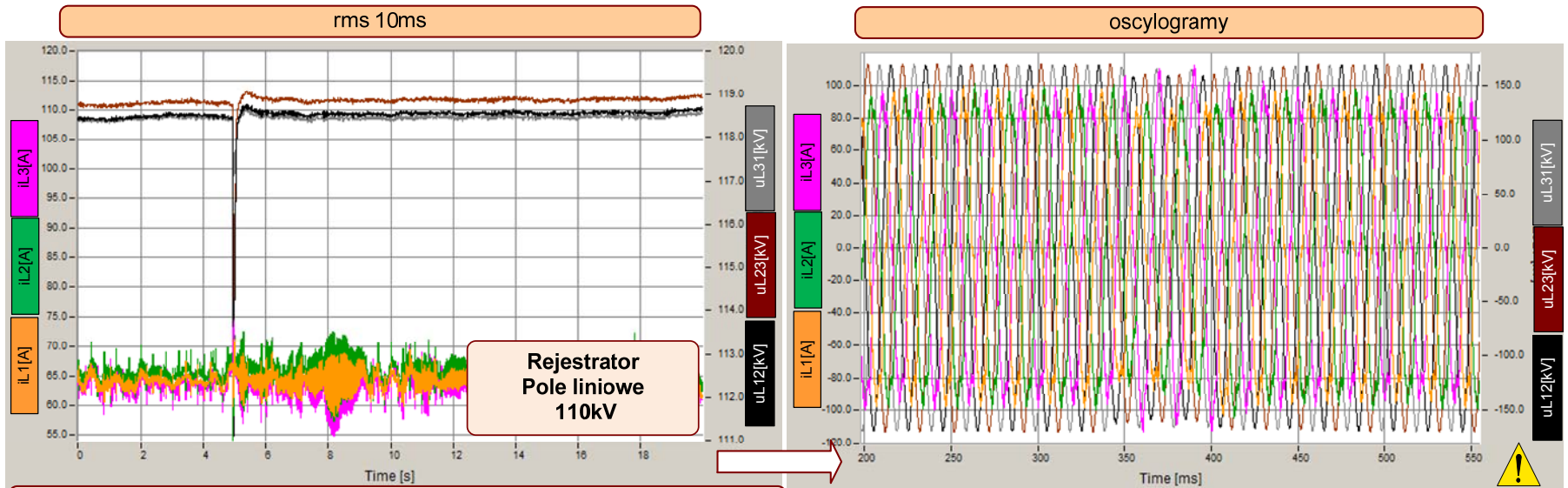
✓ Zmiany mocy podczas procesu włączania generatora biogazowego do sieci



Badania obszarowe jakości energii w sieci z generacją rozproszoną

Przykład: reakcja na awarię w sieci 220kV

Awaryjne wyłączenie autotransformatora 220kV w odległym powiązaniu z monitorowaną stacją



Rejestrator
Pole liniowe
110kV

Klasyfikacja zakłócenia w polu liniowym 110kV
Szybka zmiana napięcia
Czas trwania 10ms, napięcie podczas zmiany 111kV,
Głębokość zmiany 95% napięcia referencyjnego 117kV



Brak wyzwolenia zdarzenia napięciowego w polu generatora 0.4kV
Praca generacji na poziomie 65% znamionowej 417kW/135kvar

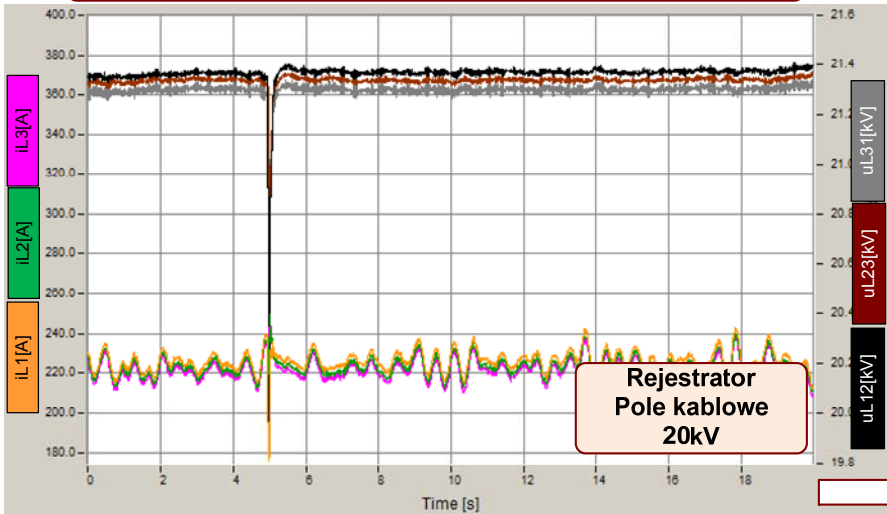


Badania obszarowe jakości energii w sieci z generacją rozproszoną

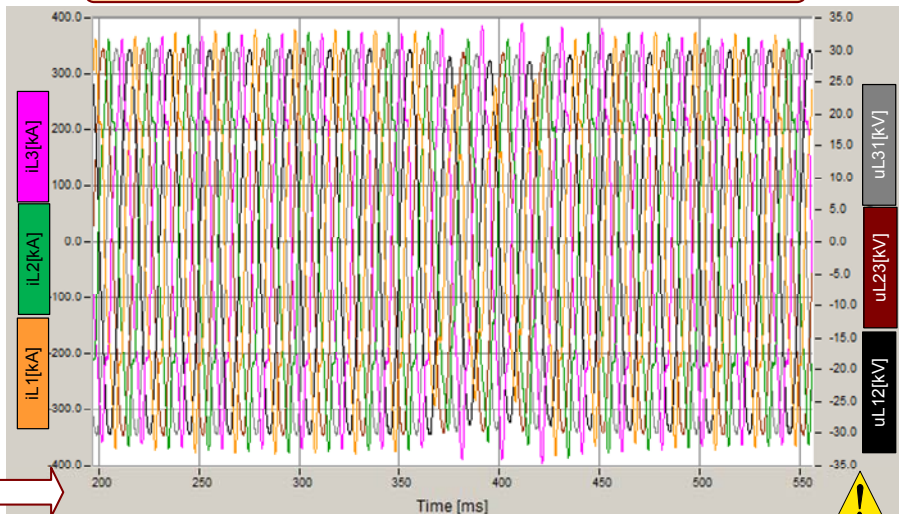
Przykład: reakcja na awarię w sieci 220kV

Awaryjne wyłączenie autotransformatora 220kV w odległym powiązaniu z monitorowaną stacją

rms 10ms



oscylogramy



Klasyfikacja zakłócenia w polu liniowym kablowym 20kV
Szybka zmiana napięcia
Czas trwania 80ms, Napięcie podczas zmiany 19.9kV, głębokość zmiany 95% napięcia referencyjnego 21kV

Brak wyzwolenia zdarzenia napięciowego w polu generatora 0.4kV
Praca generacji na poziomie 65% znamionowej 417kW/135kvar



Badania obszarowe jakości energii w sieci z generacją rozproszoną - podsumowanie

- ✓ Badania rozproszone pozwalają wnioskować o kierunkowości zakłócenia napięciowego na podstawie porównania parametrów zakłócenia np. czasu trwania i głębokości zapadu
- ✓ Zarejestrowane zaburzenia napięciowe wykazują gradację procentową w kierunku źródła zaburzenia
- ✓ Dedukcje te znalazły potwierdzenia w dziennikach operatorskich
- ✓ W wyniku badań rozproszonych odnotowano również pozytywny wpływ lokalnej generacji na warunki napięciowe w miejscu przyłączenia



Podsumowanie osiągniętych celów

- Opis stanu wiedzy i udział w dyskusji w zakresie poziomów dopuszczalnych zaburzeń jakości energii wprowadzanych do sieci przez mikroźródła
- Dyskusja w zakresie kryteriów przyłączeniowych mikroźródeł nN
- Opracowanie i przetestowanie procedury oceny wpływu mikroźródła na jakości energii na podstawie pomiarów w punkcie przyłączenia
- Wykonanie mobilnego systemu monitoringu jakości energii
- Badania i ocena profili jakościowych stanów dynamicznych źródeł rozproszonych
- Analiza aktualnego stanu wiedzy i konfrontacja zapisów kodeksów sieciowych w odniesieniu do zasad podtrzymania pracy jednostek wytwórczych w warunkach podnapięciowych



Podsumowanie osiągniętych celów

- Zbiór analiz jakościowych rzeczywistych stanów zakłóceń zarejestrowanych w PCC źródeł rozproszonych, a także obejmujących rejestracje obszarowe i rejestracje synchroniczne
- Analiza, przegląd i ocena funkcjonalności systemów monitoringu jakości energii
- Wykonanie narzędzia programowego do standaryzacji danych pomiarowych z różnych rejestratorów



Dziękuję za uwagę

Monitoring i ocena jakości energii w sieciach elektroenergetycznych z udziałem generacji rozproszonej

Uwagi, komentarze, pytania

