

System pomiarowy do monitorowania pracy źródeł fotowoltaicznych w sieci nN – studium przypadku

Streszczenie. W artykule przedstawiono system do pomiaru i monitorowania stanu pracy źródeł fotowoltaicznych przyłączonych do sieci dystrybucyjnej nN. Artykuł zawiera opis architektury systemu oraz możliwości techniczne sterownika TELX realizującego funkcje związane z monitorowaniem i zdalnym sterowaniem pracą źródeł fotowoltaicznych. Ocena funkcjonalności systemu pomiarowo-monitorującego została przeprowadzona na podstawie projektu pilotażowego realizowanego przez Tauron Dystrybucja Oddział Gliwice.

Abstract. The article presents a system for measurement and monitoring the operating status of photovoltaic sources connected to the LV distribution network. The article includes a description of the system architecture and technical capabilities of the TELX controller which performs functions related to monitoring and remote control of the operation of photovoltaic sources. The evaluation of the functionality of the measurement and monitoring system was carried out on the basis of a pilot project implemented by Tauron Dystrybucja Branch Gliwice. (**Measurement system for monitoring the operation of photovoltaics sources in the LV network – a case study**).

Keywords: low voltage grid, PV micro-installation, photovoltaic sources, real-time monitoring, remote control, archiving, analysis and visualization of data, generation of control commands, area automation.

Słowa kluczowe: sieć niskiego napięcia, mikroinstalacja PV, źródła fotowoltaiczne, pomiary i monitorowanie w czasie rzeczywistym, zdalne sterowanie, archiwizacja, analiza i wizualizacja danych, generacja poleceń sterowniczych, automatyka obszarowa.

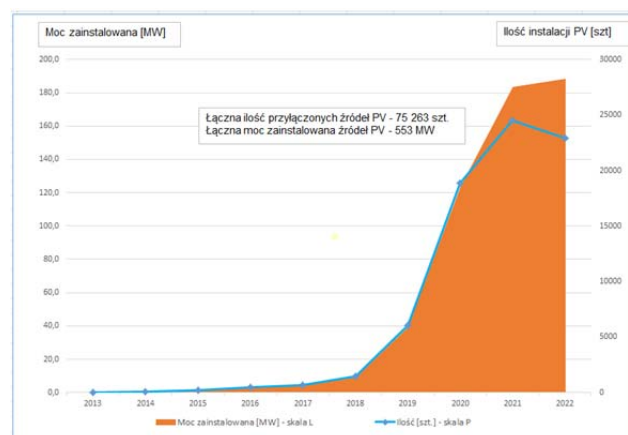
Rozwój GR w sieci oddziału gliwickiego TAURON Dystrybucja

Zgodnie z obecnie obowiązującymi przepisami duże jednostki wytwórcze, generujące zieloną energię, chcąc wprowadzić ją do sieci elektroenergetycznej na napięciu SN i wyższym, uzyskują na to pozwolenie od Operatora Systemu Dystrybucyjnego (OSD) z zachowaniem dotychczasowych procedur wydawania warunków współpracy z siecią energetyki zawodowej. Inaczej wygląda sytuacja w przypadku mikroinstalacji przyłączanych do sieci nN, szczególnie jeżeli podmiot ubiegając się o jej przyłączenie jest już przyłączony do sieci dystrybucyjnej nN jako odbiorca końcowy, a moc zainstalowana mikroinstalacji nie jest większa niż określona w warunkach przyłączenia. W tej sytuacji, jak wskazano w [6] mikroinstalacja może zostać przyłączona do sieci dystrybucyjnej na podstawie zgłoszenia i oświadczenia osoby dokonującej montażu i uruchomienia instalacji PV, że została wykonana zgodnie z przepisami i zasadami wiedzy technicznej oraz Instrukcji Ruchu i Eksploatacji Sieci Dystrybucyjnej (IRIESD) [5]. Takie uproszczenie procedury przyłączania mikroinstalacji prosumenckiej w konsekwencji przynosi duży przyrost mikroinstalacji w sieciach rozdzielczych nN. Przykładowo, z końcem 2013 roku, na terenie obecnego oddziału gliwickiego TAURON Dystrybucja, było 6 mikroinstalacji, w 2014 roku 86, a z końcem 2022 roku liczba instalacji przekroczyła 24 000 szt, co zobrazowano na rys.1. Podobny trend wzrostu instalacji prosumenckich obserwuje się w pozostałych oddziałach TAURON Dystrybucja.

Geneza i założenia wdrożenia systemu pomiarowego i monitorowania pracy źródeł fotowoltaicznych przyłączonych do sieci dystrybucyjnej nN zasilanej z stacji SN/nN

Przyłączenie pojedynczych mikroinstalacji nie zakłada warunków utrzymania równowagi napięciowej i mocowej obszaru sieciowego, natomiast instalowane w dużej ilości na danym obszarze mogą powodować zjawiska niepożądane, w szczególności: występowanie przekroczeń dopuszczalnych poziomów napięć w węzłach sieciowych (nadprodukcja energii elektrycznej), obecność napięcia w sieci po wyłączeniu zasilania od strony dystrybutora,

transformowanie mocy czynnej generowanej przez źródła na stronę SN czy wzajemną pracę źródeł „na siebie” po zaniku zasilania z sieci OSD. Z drugiej strony OSD odpowiada za parametry jakościowe energii elektrycznej dostarczanej odbiorcom (w tym prosumentom), ciągłość jej dostaw oraz bezpieczeństwo pracowników realizujących działania w sieci.



Rys. 1. Przyrost instalacji PV w sieci nN oddziału gliwickiego TAURON Dystrybucja od 2013 roku.

Zwiększająca się koncentracja źródeł fotowoltaicznych znacząco zmienia warunki napięciowe sieci dystrybucyjnej nN. Zmienne warunki napięciowe spowodowane zmianą obciążenia sieci lub wielkością generacji mocy czynnej i biernej wprowadzanej przez źródła fotowoltaiczne mogą wpływać na przekroczenie dopuszczalnych poziomów napięć w węzłach sieci.

Dynamiczne zmiany napięcia lub zbyt wysoki jego poziom stanowią zagrożenie dla urządzeń przyłączonych do sieci dystrybucyjnej. Niekontrolowana praca źródeł PV może spowodować również przekroczenie innych wskaźników jakości dostarczanej energii elektrycznej tj. wskaźnika krótko i długookresowego migotania światła, wskaźnika asymetrii fazowej napięcia lub wskaźnika zawartości harmonicznych w prądzie wprowadzonym przez źródło lokalne.

Obserwacja pomiarowa w czasie rzeczywistym warunków pracy sieci, reakcji poszczególnych źródeł rozproszonych na pojawienie się zdefiniowanych zagrożeń w pracy sieci nN oraz ocena poprawności zadziałania automatyk zaimplementowanych w falownikach źródeł lokalnych (PV) stanowi jeden z głównych celów projektu wdrożenia systemu MiniLvs-OZE.

Charakterystyka systemu MiniLvs – OZE

Jak wskazano w [3] system MiniLvs-OZE o strukturze rozproszonej zapewnia, poprzez dokonywanie pomiarów lokalnych w trybie quasi rzeczywistym, zdalny monitoring warunków napięciowym panujących w sieci nN, bieżące wyznaczanie bilansu mocy obszaru sieciowego oraz nadzorowanie pracy automatyki zabezpieczeniowej inwerterów instalacji PV. System umożliwia także oddziaływanie na stan pracy sieci nN poprzez lokalne oraz zdalne odłączenie (lub zezwolenie na załączenie) dowolnego kontrolowanego źródła. Dzięki tej funkcjonalności MiniLvs-OZE umożliwia zdalne sterowanie mocą generowaną w nadzorowanym obszarze sieciowym lub lokalnie poprzez zaimplementowane automatyki w sterownikach obiektowych TELX.

Architektura systemu MiniLvs-OZE obejmuje trzy warstwy :

Warstwa monitorowana

Składają się na nią sterowniki TELX lokalizowane w punktach przyłączenia źródeł PV do sieci oraz sterownik TELX_M, którego głównym zadaniem jest akwizycja danych pomiarowych pozyskiwanych lokalnie, pozwalająca na monitoring nadzorowanego obszaru sieciowego, m.in. w zakresie poziomów napięć węzłowych sieci, częstotliwości, prądów obciążeniowych odcinków liniowych oraz wartości i kierunku przepływu mocy czynnej i biernej.

Funkcjonalność sterowników lokalnych TELX, dotyczy przede wszystkim pomiaru trzech napięć i prądów fazowych, obliczania mocy czynnej i biernej w każdej fazie, sumowania mocy oraz dodatkowego pomiaru kontrolnego trzech napięć fazowych za łącznikiem (po stronie źródła lokalnego). Ponadto realizuje automatyki lokalne (funkcje zabezpieczeniowe: napięciowe, częstotliwościowe, gradientu częstotliwości df/dt oraz przesunięcia fazowego), sterowanie lokalne z poziomu OSD oraz sygnalizację stanu łącznika (stycznik 3-fazowy z podtrzymaniem) i zadziałania automatyk. Dzięki zastosowaniu sterownika w miejscu przyłączenia OZE do sieci możliwe jest (nadzorowane lub wykonywane przez OSD) zdalne wyłączanie źródła w sytuacjach zagrożeniowych (niezależnie od automatyk zaimplementowanych w inwerterze) oraz zezwolenie na wznowienie generacji w wybranym punkcie sieci wyłącznie przez OSD. Istnieje również możliwość realizacji automatyki tzw. zabezpieczenia załączenia. W przypadku, gdy obecne jest napięcie tylko po stronie źródła lokalnego sterownik blokuje możliwość zdalnego przyłączenia mikroinstalacji do sieci elektroenergetycznej.

Warstwa komunikacyjna

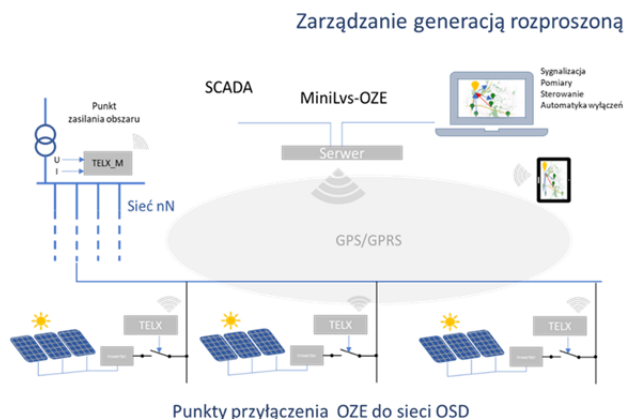
Sterowniki lokalne (umiejscowione w punkcie przyłączenia źródła lokalnego) komunikują się z centrum nadzoru poprzez kanał GPRS z wykorzystaniem protokołu IP/UDP/DNP3.0 lub protokołu dedykowanego IP/UDP/AP w przypadku wyposażenia centrum nadzoru w system MiniLvs OZE. Transmisja danych odbywa się w dwóch trybach: na zapytanie centrum nadzoru oraz zdarzeniowym. Powtarzalność transmisji wynosi 1 min w dzień oraz 2 min. w nocy i została dobrana w taki sposób, aby uzyskać jak największą rozdzielczość czasową danych przy jednoczesnym nie przekraczaniu abonamentu i zapewnieniu ciągłości łączności z obiektem dla trybu zdarzeniowego.

Warstwa nadzorująca

Warstwę tą stanowi centrum nadzoru i sterowania obszaru sieciowego. Odpowiada za akwizycję i archiwizację danych pomiarowych, analizę i wizualizację uzyskanych informacji, generację poleceń sterowniczych oraz za realizację automatyk obszarowych. Oprogramowanie zarządzające MiniLvs-OZE zainstalowane jest na serwerze u OSD lub udostępnione jako usługa cloud computing. Transmisja danych z systemu MiniLvs-OZE do systemów zewnętrznych (np. SCADA) odbywa się w protokole DNP3.0. Oprogramowanie serwerowe umożliwia, m.in.:

- zdalne sterowanie mocą generowaną w nadzorowanym obszarze poprzez odstawianie źródeł lokalnych oraz ponowne zdalne załączenie (zamknięcie łącznika i automatyczne przejście procedury synchronizacji przez falownik OZE),
- utrzymanie zadanego poziomu napięć w węzłach sieci oraz nieprzekraczania ustalonej wartości mocy generowanej na kontrolowanym obszarze – realizację automatyki odstawienia generacji (automatyczne wyłączenia źródeł do momentu wykrycia równowagi napięciowej) w oparciu o kryterium napięciowe i kryterium kierunku przepływu mocy.

Szczegółowy opis architektury systemu MiniLvs-OZE zamieszczono w [3].



Rys. 2. Architektura systemu MiniLvs-OZE

Lokalizacja monitorowanych instalacji fotowoltaicznych i poziomy alarmowe obserwowanych wielkości

Dla celów projektu wytypowano obszary dwóch sieci dystrybucyjnych nN na terenie Zabrze i Gierałtowic. Zainstalowano zestawy monitorujące w 36 punktach do których są przyłączone instalacje fotowoltaiczne oraz w 2 rozdzielniach nN stacji SN/nN zasilających monitorowane obszary sieciowe. Na obiektach (miejscach przyłączenia instalacji PV) oraz w stacji SN/nN (w polu zasilającym rozdzielnię nN) monitorowane są następujące parametry:

- wartości skuteczne napięć każdej fazy,
- wartości skuteczne prądów każdej fazy,
- wartość prądu składowej zerowej I_0 ,
- wartości i kierunki przepływu mocy czynnej w każdej fazie (pobór z sieci/oddawanie do sieci).

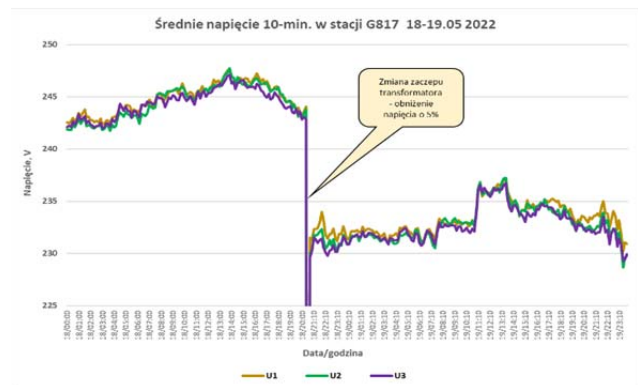
Tabela 1. Przyjęte wartości nastawień progów napięciowych dla alarmów

Parametr	Maksymalny czas odłączenia	Wartość wyłączająca
$U > 10 \text{ min.}$	3s	253V
$U >$	0,2s	264V
$U <$	1,5s	195V

Dodatkowo w polu stacji zasilającej sieć nN rejestrowane są alarmy związane z przekroczeniem lub obniżeniem wartości skutecznej napięcia zgodnie z ustawionymi i określonym w [5] progami, a także wartości skuteczne średnie 10 minutowe napięcia. (patrz Tabela 1)

Przykładowe wyniki pomiarowe systemu nadzoru obszaru sieciowego dla wybranych punktów

Implementacja systemu pomiarowego MiniLvs-OZE pozwoliła na quasi-ciągłą obserwowalność warunków pracy nadzorowanych obszarów sieciowych i analizę występujących w nich zdarzeń. Przykładowo na rysunku 3 zaprezentowano przebiegi czasowe średnich napięć fazowych (uśrednionych w interwałach 10 minutowych) zarejestrowane w węźle sieciowym (stacja G817) dla dwóch dni w okresie wiosenno-letnim. Ze względu na relatywnie wysokie poziomy napięć fazowych w godzinach popołudniowych (powyżej 5% napięcia znamionowego), zdecydowano o zmianie zaczeptu transformatora SN/nN obniżającej poziom napięcia o 5%. Pozwoliło to na ograniczenie wartości napięcia węzłowego nie przekraczającej wartości 238 V.



Rys. 3. Przebiegi czasowe średnich 10 minutowych wartości skutecznych napięć fazowych w stacji G817 w dniach 18-19.05.2022 roku

W tabeli 2 zaprezentowano wybrane wyniki pomiarów wartości uśrednionych napięć fazowych w węźle G817 oraz w trzech punktach przyłączenia instalacji fotowoltaicznych do sieci (węzły G26, G6 i G21).

Wzmiankowane instalacje PV zostały przyłączone w różnych odległościach od węzła zasilającego G817, co obrazuje impedancja połączenia liniowego pomiędzy węzłem G817 a miejscami przyłączenia PV. Z przedstawionych danych wynika, że efektem zmiany zaczeptu transformatora w węźle G817 było wyraźne obniżenie wartości napięcia w punktach G26 oraz G6. Przy czym w punkcie G6 przed zmianą zaczeptu zarejestrowano krótko czasowe przekroczenia (niesymetryczne fazowo) poziomów napięć fazowych powyżej progu alarmowego 253 V (kolor czerwony). W węźle G21, najbardziej odległym od stacji G817 zmiana zaczeptu nie spowodowała zauważalnych zmian wartości napięć fazowych. Poziomy tych napięć, szczególnie fazy L2, przekraczały w godzinach popołudniowych próg alarmowy przez długi czas. Warto podkreślić fakt, że poziomy napięć w punktach G6 i G21 są zbliżone lub wyższe od napięć w węźle systemowym G817 co sugeruje intensywną pracę źródeł PV i transport nadwyżki mocy w „głęb” sieci.

Dla obserwowanych prosumentów G6 i G21 zarejestrowano brak działania automatyki $U > 10$ min i przekroczenie progu napięciowego 253 V.

Tabela 2. Średnie 10 minutowe wartości skuteczne napięć fazowych w stacji G817 oraz w punktach PV: G26, G6 i G21 zarejestrowane w dniach 18-19.05.2022 w godzinach 12.00-14.00.

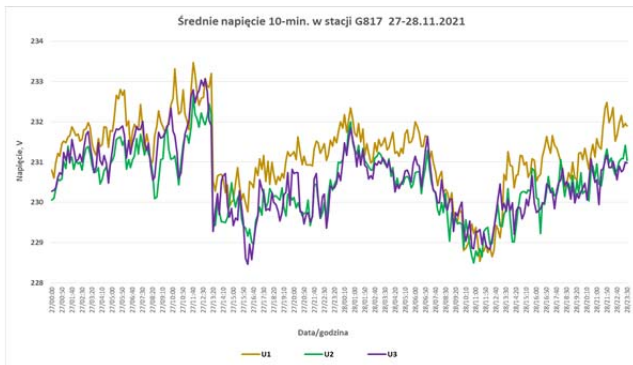
Data/godzina	Stacja G817			G26 Z=0,019 Ω			G6 Z=0,166 Ω			G21 Z=0,344 Ω		
	Od	Do	U1 U2 U3	U1 U2 U3	U1 U2 U3	U1 U2 U3	U1 U2 U3					
18.05.2022	12:00	12:10	245,6 245,4 245,3	243,9 243,7 243,7	251,9 249,5 249,7	251,9 253,3 251,1						
	12:10	12:20	245,9 245,9 245,4	244,4 244,1 243,4	253,9 249,5 246,3	256,8 254,2 244,6						
	12:20	12:30	246,0 245,7 245,5	244,0 244,0 243,5	250,5 249,4 248,0	251,3 256,6 246,9						
	12:30	12:40	246,7 246,1 245,9	244,4 244,7 243,9	253,2 252,5 247,8	257,5 258,2 249,0						
	12:40	12:50	246,3 246,1 245,9	244,4 244,8 244,1	251,7 253,4 248,8	253,4 257,4 252,3						
	12:50	13:00	246,5 246,2 246,1	244,3 245,0 244,3	250,7 253,6 247,8	253,7 259,4 250,0						
	13:00	13:10	246,5 246,0 246,3	244,0 244,9 244,4	246,4 254,5 247,9	243,5 261,1 252,3						
	13:10	13:20	246,4 246,4 246,1	244,7 244,4 244,3	249,6 249,7 249,8	249,2 252,2 253,0						
	13:20	13:30	247,0 246,9 246,4	245,3 245,1 244,4	253,4 250,4 248,3	256,3 251,0 251,1						
	13:30	13:40	247,2 247,3 246,7	245,4 245,2 244,6	250,8 249,9 246,5	254,4 251,8 249,8						
	13:40	13:50	247,5 247,3 247,0	245,5 245,8 245,2	251,4 252,7 250,5	253,6 254,4 252,4						
	13:50	14:00	247,7 247,7 247,1	246,0 245,9 245,2	252,9 251,9 246,3	253,8 256,0 248,7						
	12:00	12:10	235,9 235,6 235,8	234,5 234,7 234,5	246,2 248,6 245,2	247,1 256,5 249,5						
	12:10	12:20	235,8 235,6 235,4	234,7 234,5 234,2	245,8 248,1 243,7	243,7 256,3 245,2						
12:20	12:30	236,0 236,0 235,7	234,9 234,7 234,5	246,4 248,9 246,3	246,5 256,9 249,9							
12:30	12:40	236,3 236,3 236,2	235,1 235,0 235,0	247,2 247,1 245,5	248,5 256,2 249,7							
12:40	12:50	236,4 236,1 236,0	235,0 235,2 234,5	247,0 249,5 244,7	248,8 256,4 248,0							
12:50	13:00	236,7 236,3 236,2	234,7 235,5 234,4	240,3 248,6 239,0	238,0 256,6 239,0							
13:00	13:10	236,5 235,8 236,1	234,5 235,3 234,3	245,2 248,8 239,9	246,7 253,3 240,4							
13:10	13:20	236,6 236,7 236,1	235,7 235,1 234,9	248,3 247,5 243,3	251,1 253,7 246,1							
13:20	13:30	237,0 237,2 236,6	236,1 235,5 235,3	248,0 246,5 246,4	250,9 251,2 250,7							
13:30	13:40	237,2 237,2 236,7	236,3 235,6 235,4	249,3 244,1 245,2	253,6 248,2 247,9							
13:40	13:50	236,0 235,9 235,3	234,9 234,5 233,7	246,8 243,6 242,5	248,4 250,5 244,0							
13:50	14:00	235,5 235,0 234,4	234,1 234,2 232,7	245,3 246,3 241,4	247,6 254,0 244,3							

Na rysunku 4 przedstawione zostały przebiegi czasowe średnich napięć fazowych w stacji G817 po zmianie pozycji przełącznika zaczeptu i obniżeniu napięcia w dniu 30.09.2021. Średnia wartość poszczególnych napięć fazowych w stacji przed obniżeniem poziomu napięcia wynosiła 244 V. Obniżone napięcie było utrzymywane do dnia 04.12.2021, w którym przywrócono został poprzedni stan położenia pozycji przełącznika zaczeptów.

W tabeli 3 zaprezentowano wybrane wyniki pomiarowe zarejestrowane dla przedmiotowych węzłów sieciowych w okresie jesienno-zimowym.

Przeprowadzając podobne analizy dla dwóch dni okresu jesienno - zimowego można zauważyć, że :

- sieć pracuje przy obniżeniu napięcia w stacji zasilającej G817 (zmiana zaczeptu w stacji w dniu 30.09.2021),
- przebieg czasowy uśrednionych wartości skutecznych napięć fazowych węzła G817 jest nieregularny i niesymetryczny. Wynika to prawdopodobnie z krótko czasowej pracy źródeł PV i asymetrii obciążeń fazowych. Największe wartości napięć obserwuje się dla fazy L1;
- sieć pracuje przy obniżeniu napięcia w stacji zasilającej G817 (zmiana zaczeptu w stacji w dniu 30.09.2021),
- przebieg czasowy uśrednionych wartości skutecznych napięć fazowych węzła G817 jest nieregularny i niesymetryczny. Wynika to prawdopodobnie z krótko czasowej pracy źródeł PV i asymetrii obciążeń fazowych. Największe wartości napięć obserwuje się dla fazy L1;
- rejestrowane poziomy napięć fazowych w punktach zainstalowania instalacji PV są niższe od napięć w punkcie zasilającym G817 co sugeruje niską lub brak generacji z PV. Jest to szczególnie widoczne dla fazy L1;
- występuje brak lub niewielka generacja lokalna instalacji PV, wyraźnie uwidacznia się dla lokalizacji G21 – najbardziej odległej od zasilania systemowego (G817). Wartości skuteczne napięć fazowych, szczególnie faz L1 i L2 są poniżej poziomu alarmowego 207 V, tj. 10% poniżej wartości znamionowej.



Rys. 4. Średnie 10 minutowe wartości skuteczne napięć fazowych w stacji G817 w dniach 27-28.11.2021

Tabela 3. Średnie 10 minutowe wartości skuteczne napięć fazowych w stacji G817 oraz w punktach PV: G26, G6 i G21 zarejestrowane w dniach w dniach 27-28.11.2021 w godzinach 12.00-14.00.

Data/godzina		Stacja G817			G26 Z=0,019 Ω			G6 Z=0,166 Ω			G21 Z=0,344 Ω				
Od	Do	U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3		
27.11.2021	12:00	12:10	232,7	232,1	232,7	228,7	230,2	229,9	220,8	227,5	224,0	213,4	230,5	217,5	
	12:10	12:20	232,4	231,9	232,8	228,0	230,1	230,2	216,4	227,8	226,6	204,2	232,4	223,7	
	12:20	12:30	232,6	232,2	233,0	228,7	229,9	230,5	217,1	227,3	228,4	209,0	228,4	226,9	
	12:30	12:40	232,6	232,0	232,9	228,5	229,9	230,4	217,7	225,1	227,4	210,0	224,1	225,2	
	12:40	12:50	233,1	231,9	233,1	228,4	230,6	230,3	216,4	228,3	225,6	204,0	228,8	223,9	
	12:50	13:00	232,9	232,2	232,7	228,7	230,3	230,2	216,7	226,0	222,7	207,2	221,7	216,4	
	13:00	13:10	232,9	232,5	232,0	229,1	229,7	229,5	221,3	220,4	220,8	214,9	216,1	213,7	
	13:10	13:20	233,2	232,2	231,9	229,0	230,6	228,8	223,8	223,8	215,0	219,5	223,7	202,5	
	13:20	13:30	230,5	229,4	229,3	226,3	227,5	226,2	221,3	220,2	214,1	219,3	218,4	205,1	
	13:30	13:40	230,3	229,4	229,8	226,2	227,5	226,9	218,4	218,2	219,0	213,0	211,7	214,0	
	13:40	13:50	230,7	230,0	230,2	226,5	227,6	227,6	218,8	216,5	221,8	213,6	209,2	219,6	
	13:50	14:00	230,7	229,8	229,7	226,7	227,9	226,5	221,5	217,3	213,6	215,1	208,2	209,9	
	28.11.2021	12:00	12:10	228,8	229,4	228,9	226,1	225,4	226,2	216,2	206,7	220,3	207,4	192,7	218,2
		12:10	12:20	228,9	229,0	228,8	225,3	225,7	225,8	212,3	212,8	216,3	200,4	203,6	213,3
12:20		12:30	228,7	229,0	229,1	225,3	225,4	226,3	211,0	209,5	220,1	195,8	197,5	219,2	
12:30		12:40	228,8	229,4	229,4	225,8	225,5	226,8	213,4	209,2	223,1	200,6	201,1	221,9	
12:40		12:50	229,4	229,7	229,7	226,2	226,3	227,0	216,7	211,5	222,3	210,8	201,0	219,7	
12:50		13:00	229,3	229,9	230,1	226,4	226,1	227,5	215,2	208,7	223,5	206,2	197,9	221,6	
13:00		13:10	229,1	229,4	230,5	225,5	226,0	228,0	206,9	213,7	226,7	196,1	206,9	224,8	
13:10		13:20	229,6	229,4	229,8	226,0	226,5	227,1	213,8	214,0	222,1	204,5	208,0	219,2	
13:20		13:30	230,7	229,7	230,0	226,4	227,8	226,9	217,8	216,4	215,4	209,8	212,6	210,0	
13:30		13:40	230,6	229,8	229,8	226,7	227,7	226,5	220,8	216,8	213,7	213,8	209,4	208,6	
13:40		13:50	231,3	230,3	230,1	227,3	228,1	226,9	223,0	218,8	214,5	217,9	212,5	208,0	
13:50		14:00	230,9	229,6	229,8	226,4	228,4	226,3	219,6	221,7	210,3	213,6	220,6	199,9	

Na podstawie przytoczonych danych pomiarowych zaobserwowano dużą dynamikę zmian poziomów napięć węzłowych w monitorowanym obszarze sieciowym jak również występujące stany niesymetryczne fazowo. Analiza przykładowych wyników pomiarów dla dwóch charakterystycznych okresów, tj. wiosenno-letniego o silnej aktywacji generacji energii ze źródeł PV oraz jesienno-zimowego, cechującego się małą lub brakiem generacji ze źródeł lokalnych powodowanej przede wszystkim panującymi warunkami pogodowymi pokazuje liczne przekroczenia poziomów napięć, szczególnie w punktach oddalonych od węzła zasilania systemowego sieci. Przekroczenia te mają zarówno charakter nadmiarowy jak i niedomiarowy. Regulacja zaczepami transformatora SN/nN w celu obniżenia poziomów napięć węzłowych jest niewystarczająca, co zostało potwierdzone w [1], zwłaszcza w punktach sieci oddalonych od węzła systemowego, z przyłączonymi instalacjami PV. Konieczne zatem są badania nad opracowaniem systemów rozproszonych, pozwalających na ingerencję regulacyjną mocy wytwarzanej w „głębi” sieci [9]. Zdecentralizowane działania regulacji napięć w sieci nN oraz wybór optymalnego sposobu ograniczeń wzrostu napięć powinny stanowić dalsze badania w nadzorowanym obszarze sieciowym – co również wskazali autorzy opracowania [1] w wnioskach końcowych.

Podsumowanie

Celem działania systemu pomiarowego wykorzystywanego do realizacji zadań automatyki obszarowej jest akwizycja danych pomiarowych i transfer sygnałów sterujących niezbędnych do działań automatyki zapobiegających występowaniu przekroczeń dopuszczalnych poziomów napięć w sieci wynikających ze znacznej różnicy pomiędzy podażą a popytem (nadprodukcja) energii elektrycznej. Automatyka dokonuje odstawienia poszczególnych źródeł wg. zadanego algorytmu do momentu uzyskania równowagi napięciowej. Następnie na podstawie kryterium bilansowania wyspy, po odwróceniu kierunku przepływu mocy, dokonuje załączenia odstawionych punktów generacji.

Ze względu na obecność na rynku dużej różnorodności typów inwerterów oraz brak wymogów wyposażania ich w cyfrowy kanał łączności (a także brak standaryzacji protokołu komunikacyjnego) należy założyć w wielu przypadkach brak możliwości współpracy o charakterze wymuszeń sterowniczych z inwerterami na drodze transmisji cyfrowej bez ich wymiany i unifikacji. W związku z tym, na tym etapie konfigurowania systemu, przyjęto założenie, że oddziaływanie na źródło będzie dwustronne, tj. załączone lub wyłączone (w większości są to źródła do 10 kW). Natomiast regulacja mocy będzie się odbywać z dokładnością do pojedynczego źródła (sterowanie mocą generowaną na obszarze ma sens wyłącznie z dokładnością do 10% poziomu dostępnej mocy). Z tego względu –sterowanie mocą generowaną na monitorowanym obszarze sieciowym może odbywać się poprzez odłączanie pojedynczych źródeł do momentu osiągnięcia zadanych parametrów mocowych i napięciowych dla całego obszaru. System zapewnia definiowalne kryteria wyłączania źródeł, w szczególności gdy występują podskoki napięcia powyżej zadanych progów określonych w [5] - może stanowić narzędzie dla służb technicznych OSD do opanowania tego zjawiska, co wskazali również autorzy opracowania [8].

Jednak zasadniczym wymogiem systemu pomiarowego wykorzystywanego do realizacji automatyzacji obszarów sieciowych jest dokonywanie rozproszonych obszarowo, zsynchronizowanych czasowo pomiarów lokalnych wielkości monitorowanych, dających wiarygodny obraz rzeczywistych warunków pracy nadzorowanego obszaru sieciowego. Pozwala to na podejmowanie skutecznych decyzji sterujących i umożliwia obserwację reakcji sieci nN na zadane działania sterownicze i regulacyjne [10].

Nadzór pracy źródeł OZE przyłączonych do sieci nN przy wykorzystaniu systemu MiniLvs-OZE może stanowić nowe podejście do obserwowania warunków sieci nN.

Jak wskazano w [7], monitorowanie stanów pracy pojedynczych obiektów (instalacji PV) i ich wzajemnych interakcji może posłużyć do budowania chwilowej „świadomości sytuacyjnej”.

Potrzeby obserwacji warunków pracy sieci nN będą musiały być zwiększone także z powodu procesu decentralizacji sektora wytwórczego, który odwrócił kierunek transportu energii elektrycznej do sieci SN.

Przedstawione w [4] wyniki analiz wskaźników technicznych wskazują również, że system MiniLvs-OZE z zaimplementowaną automatyką odstawiania źródeł PV może być elementem wykorzystywanym w różnych kombinacjach zwiększających możliwości przyłączeniowe do sieci nN.

Rejestracja i archiwizacja pomiarów w obszarze sieciowym przez system MiniLvs-OZE w dłuższym horyzoncie czasowym umożliwia opracowanie rozkładów prawdopodobieństwa generacji mocy czynnej przez źródła PV jak i obioru/produkcji energii elektrycznej przez prosumentów, które mogą być zastosowane do analiz i

oceny profilu napięciowego sieci nN poprzez ujęcie probabilistyczne, jak przedstawiono w artykule [2].

Autorzy: prof. dr hab. inż. Adrian Halinka, Politechnika Śląska, Wydział Elektryczny, Katedra Elektroenergetyki i Sterowania Układów, ul. Bolesława Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice, E-mail: Adrian.Halinka@polsl.pl; mgr inż. Dariusz Lamber, TAURON Dystrybucja S.A., Oddział w Gliwicach, ul. Portowa 14a, 44-102 Gliwice, E-mail: Dariusz.Lamber@tauron-dystrybucja.pl.

LITERATURA

- [1] Juhana T., Hasim T., Mohamed A., Shareef H. Comparison of Decentralized Voltage Control Methods for Managing Voltage Rise in Active Distribution Networks. Universiti Kebangsaan Malaysia
- [2] Sereja K.: Funkcjonowanie instalacji prosumenckich w sieci niskiego napięcia – ujęcie probalistyczne, Politechnika Lubelska
- [3] Strona internetowa firmy Alfa Power Spółka z o.o. <http://alfapower.com.pl>
- [4] Pijarski P., Kacejko P., Adamek S., Wancerz M.: Metody zwiększenia możliwości przyłączeniowych polskiego systemu elektroenergetycznego, Raport Polskiego Stowarzyszenia Energetyki Wiatrowej, styczeń 2023 r.
- [5] Instrukcja Ruchu i Eksploatacji Sieci Dystrybucyjnej Tauron Dystrybucja – tekst jednolity obowiązujący od dnia 2.08.2023r.
- [6] Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 30 listopada 2021 r. w sprawie wymagań technicznych, warunków przyłączania oraz współpracy mikroinstalacji z systemem elektroenergetycznym.
- [7] Nasiri B., Ahsan A., Gonzalez D.M., Wagner Ch., Häger U., Rehtanz Ch.: Integration of smart grid technologies for voltage regulation in low voltage distribution grids, IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT-Asia), 2016, pp. 954 – 959
- [8] Kacejko P., Adamek S., Wancerz M., Jędrychowski R.: Ocena możliwości opanowania podskoków napięcia w sieci nn o dużym nasyceniu mikroinstalacjami fotowoltaicznymi, Wiadomości Elektrotechniczne, wrzesień 2017
- [9] Meyer M., Úlbig A.: Local Reactive Power Control Method for Overvoltage Mitigation in Low-Voltage Grids, IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe), pp.1 – 5
- [10] Zeraati M., Hamedani Golshan M.I., Guerrero J.M.: Voltage Quality Improvement in Low Voltage Distribution Networks Using Reactive Power Capability of Single-Phase PV Inverters, IEEE Transactions on Smart Grid, 2019, volume 10, issue 5, pp.5057 – 5065