



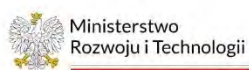
Analiza pracy sieci zasilającej OSD po uruchomieniu magazynu energii elektrycznej firmy APATOR w Ochotnicy Dolnej

**dr inż. Andrzej Firlit⁽¹⁾, dr inż. Krzysztof Piątek⁽¹⁾, prof. dr hab. inż. Zbigniew Hanzelka⁽¹⁾
dr inż. Krzysztof Szaniawski⁽²⁾, dr inż. Szymon Piasecki⁽²⁾, mgr inż. Łukasz Topolski⁽³⁾**

**AGH Akademia Górniczo-Hutnicza – Zespół Jakości Energii Elektrycznej⁽¹⁾
APATOR S.A.⁽²⁾
TAURON Dystrybucja S.A.⁽³⁾**

sierpień 2022 r.–luty 2023 r.

Projekt współfinansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu badań naukowych i prac rozwojowych Społeczny i gospodarczy rozwój Polski w warunkach globalizujących się rynków GOSPOSTRATEG / umowa nr Gospostrateg1/385085/21/NCBR/19



Szanowni Państwo,

Bateryjne systemy magazynowania energii elektrycznej (BSME) coraz częściej pojawiają się w sieciach dystrybucyjnych jako układy jedno- i trójfazowe, a ich liczba i moce z pewnością będą rosły w najbliższym czasie. Urządzenia te, do niedawna traktowane prawie wyłącznie jako „eksperymenty badawcze”, są obecnie uważane za aktywa sprzętowe w sieciach dystrybucyjnych poprawiające ich jakość operacyjną (elastyczność pracy), opóźniające lub eliminujące potrzebę dużych nakładów inwestycyjnych na modernizację sieci, ale także mogące generować przychody ze świadczonych usług.

Producenci magazynów energii rozpoczynają często budowę swojej oferty rynkowej produkując jednostkowe urządzenia na zasadzie składania elementów pochodzących od różnych dostawców, sami posiadając doświadczenie w zakresie produkcji i eksploatacji tylko niektórych z tych podzespołów. Zbudowanie BSME z dobrych jakościowo i sprawdzonych elementów wyprodukowanych przez renomowanych dostawców nie gwarantuje pożądanej pracy BSME jako całości w różniących się niekiedy znacznie obszarach zastosowań. Producenci wykorzystują więc pierwsze wdrożenia produktu jako praktyczny sprawdzian poprawności funkcjonowania kompletnego urządzenia. To nienajlepszy i wolny proces doskonalenia BSME.

Analizy prowadzone w projekcie KlastER (www.energetyka-rozproszona.pl) wykazały, że jedną z istotnych barier rozwoju energetyki rozproszonej jest niewystarczające wsparcie krajowego zaplecza badawczego. Stwierdzono, że producenci BSME potrzebują pilnie warunków do przeprowadzenia badań swoich produktów w rzeczywistej sieci dystrybucyjnej, z możliwością zmiany algorytmów sterowania, modyfikacji ich nastaw, wymiany podzespołów itp. w bezpiecznych warunkach łatwo dostępnego stanowiska testowego. Bez takich możliwości zdobywania doświadczenia, bez zbudowania dobrze współpracującego z przemysłem zaplecza badawczego, rozwój branży BSME będzie spowolniony, a jego konkurencyjność w stosunku do dużych globalnych firm znacząco ograniczona.

Odpowiedzią na tę potrzebę było uruchomienie przez:

- ☐ AGH Akademię Górniczo-Hutniczą im. Stanisława Staszica w Krakowie i
- ☐ TAURON Dystrybucja S.A.

stanowisk do testowania kondycjonerów energii elektrycznej, w tym systemów magazynowania energii, w Ochotnicy Dolnej na południu Polski (www.ochotnica.pl). Do tego grona dołączyło:

- ☐ Polskie Stowarzyszenie Magazynowania Energii (PSME),

wspierając współpracę z dostawcami magazynów energii oraz promocję uzyskanych wyników badań.

Testowane BSME przyłączane są do sieci dystrybucyjnej nN zawierającej dużą liczbę instalacji PV. Skutkiem ich działania, obok generacji energii elektrycznej, są m.in. wzrosty i asymetria napięcia oraz wyłączenia falowników.

Dostęp do stanowisk badawczych jest otwarty dla różnych producentów BSME, którzy mają potrzebę i wyrażają gotowość przeprowadzenia badań swojego produktu. Producent jest odpowiedzialny za dostarczenie magazynu energii na miejsce eksperymentu i odbiór po zakończeniu badań (około 3-4 tygodnie). Urządzenie musi spełniać wszystkie wymagania techniczne niezbędne dla jego bezpiecznej pracy w publicznej sieci dystrybucyjnej, co jest potwierdzane stosowną umową zawieraną z operatorem sieci – TAURON Dystrybucja S.A.

Celem działania BSME jest „poprawa parametrów pracy sieci dystrybucyjnych w warunkach przyłączenia dużej liczby źródeł PV”. Do decyzji producenta magazynu energii należy konfiguracja jego układu sterowania w taki sposób, aby został uzyskany i potwierdzony nadrzędny cel funkcjonowania BSME. Jego praca jest w sposób ciągły monitorowana przez analizatory jakości energii elektrycznej zainstalowane przez AGH w kilku punktach sieci. Zarejestrowane dane pomiarowe stanowią podstawę opracowywanego przez uczelnię raportu końcowego.

Możliwy jest udział w badaniach – w uzgodnionym zakresie – przedstawiciela producenta/dostawcy urządzenia. Producent może – jeżeli wyrazi taką wolę – uzyskać dostęp do rejestracji cząstkowych, aby modyfikować nastawy i/lub algorytmy sterowania. Warunki współpracy z uczelnią są określone w oddzielnej umowie. Prace wykonywane przez AGH nie mają charakteru komercyjnego. Producent testowanego BSME nie ponosi z tego tytułu kosztów.

Raport końcowy będzie opublikowany, niezależnie od wyników testów, na stronie internetowej www.energetyka-rozproszona.pl oraz w innych w kanałach promocyjnych (np. seminaria, *Forum Energetyki Rozproszonej*, czasopismo *Energetyka Rozproszona* itp.).

Osoby do kontaktów:

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

Zbigniew Hanzelka hanzel@agh.edu.pl

Andrzej Firlit afirlit@agh.edu.pl

TAURON Dystrybucja S.A.

Tomasz Rodziewicz

tomasz.rodziewicz@tauron-dystrybucja.pl

Polskie Stowarzyszenie Magazynowania Energii

Barbara Adamska

barbara.adamska@psme.org.pl

Niniejszy raport jest wynikiem badań pierwszego BSME. Dwa kolejne magazyny są już przyłączone do sieci dystrybucyjnej w Ochotnicy Dolnej. Wkrótce pojawią się kolejne raporty. Organizatorzy testów mają nadzieję, że dzięki tym badaniom na rynku pojawią się doskonalsze BSME spełniające ciągle rosnące wymagania techniczne stawiane przed tym produktem.

Autorzy raportu składają serdeczne podziękowania wszystkim, którzy wsparli działania związane z realizacją testów magazynów energii elektrycznej.

Szczególne podziękowania kierujemy do WŁADZ SAMORZĄDOWYCH GMINY OCHOTNICA DOLNA oraz PRACOWNIKÓW URZĘDU GMINY. Bez Państwa wsparcia i pomocy realizacja przedsięwzięcia oraz nasze badania nie byłyby możliwe.

Spis treści

1	Wprowadzenie.....	6
2	Reakcja MEE na zmiany wartości napięć w punkcie przyłączenia.....	8
3	Wpływ na asymetrię napięciową w punkcie przyłączenia MEE	14
3.1	Wyłączenie funkcji redukcji asymetrii napięcia w MEE	14
3.2	Wyłączenie MEE w dniu 21.08.2022 – wpływ na asymetrię napięcia	15
4	Rejestracja związku między wartościami napięć w punkcie przyłączenia a pracą magazynu energii.....	16
4.1	Przebiegi wartości skutecznych napięć.....	16
4.2	Przebiegi mocy czynnej i biernej.....	19
4.3	Wykresy korelacyjne	21
4.3.1	Wykres korelacyjny wartości skutecznych napięć – 10-min. – 7-13.08.2022	21
4.3.2	Wykres korelacyjny wartości skutecznych napięć przed uruchomieniem układu ARN – 10-min. – 18-24.08.2021	22
4.4	Zależność między mocą czynną MEE a napięciem w punkcie przyłączenia.....	23
4.5	Zależność między mocą bierną MEE a napięciem w punkcie przyłączenia	25
5	Określenie empiryczne związku między zmianami napięcia, czasem ich występowania a pracą magazynu oraz ilością energii oddawanej i przyjmowanej z sieci dystrybucyjnej.....	27
5.1	Okres 1 i 2	27
5.2	Okres 3	29
6	Obserwacja wpływu zmian napięcia na parametry jakości energii elektrycznej w punkcie przyłączenia	30
6.1	Ocena wskaźników jakości energii elektrycznej (jakości napięcia).....	30
6.2	Analiza wskaźników jakości energii elektrycznej (jakości napięcia) w punkcie przyłączenia MEE	33
6.2.1	Raport 1	33
6.2.2	Raport 2	43
7	Wyznaczenie empiryczne strategii przesyłania wartości pomiarowych do Operatora	53
7.1	Podział danych wysyłanych do operatora	53
7.2	Dane odczytywane na bieżąco (online)	53
7.3	Rejestracje	53
8	Rejestracja zmian mocy	55
8.1	Podwyższanie napięcia mocą czynną i bierną.....	55
8.2	Obniżanie napięcia mocą czynną	56
9	Rejestracja zdarzeń (wybranych, nietypowych)	57
9.1	Długotrwały zanik trzech napięć fazowych, samoczynne ponowne załączenie	57
9.2	Przejściowy głęboki zapad trzech napięć fazowych, brak powtórnego załączenia	59
9.3	Zdarzenie: przejściowy zapad jednego napięcia fazowego	61

9.4	Wyłączenie MEE w dniu 21.08.2022 – rejestracje analizatora jakości energii	63
9.5	Zapad napięcia – rejestracje w trybie zdarzeniowym.....	64
10	Zdefiniowanie sposobów prezentacji kontrolowanego obszaru dla Operatora	65
11	Podsumowanie wyników testów pracy magazynu energii w sieci nN OSD	67

1 Wprowadzenie

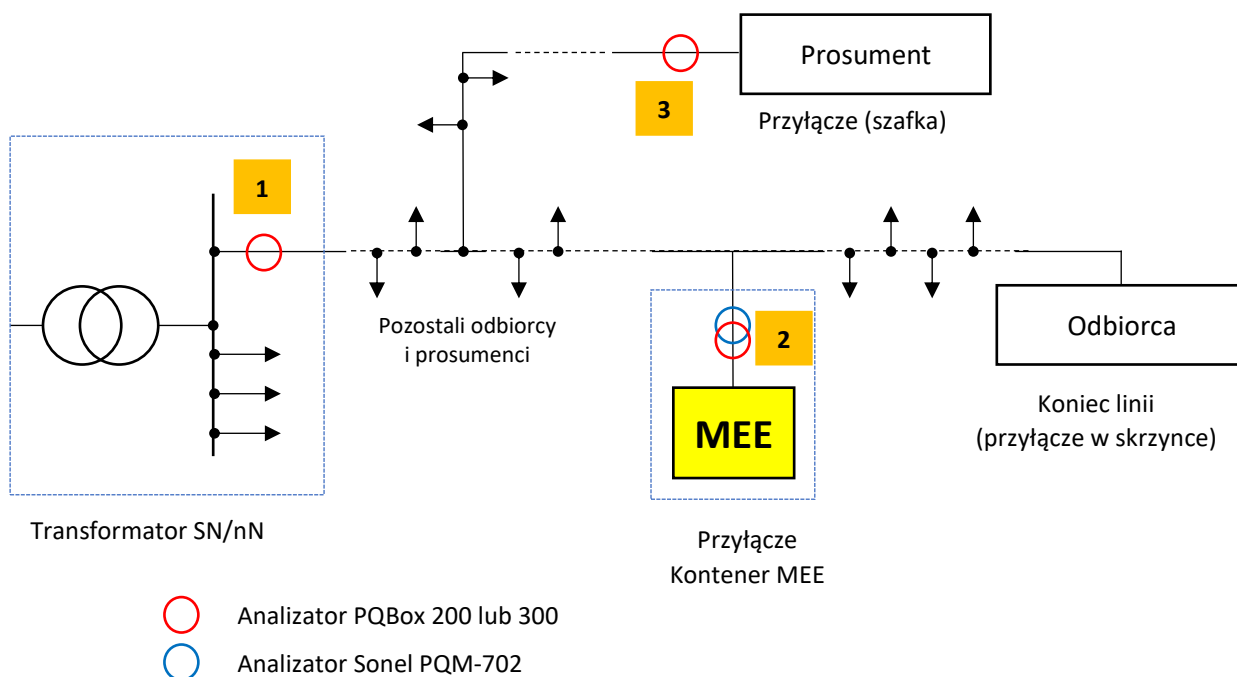
Niniejsze opracowanie dotyczy analizy pracy sieci elektroenergetycznej OSD po uruchomieniu magazynu energii elektrycznej (MEE) firmy APATOR w miejscowości Ochotnica Dolna.

Do pomiarów i rejestracji wykorzystano:

- analizatory jakości energii elektrycznej (JEE) klasy A według normy PN-EN 61000-4-30: PQBox 200 (2 szt.), PQBox 300 (1 szt.) i PQM-702 (1 szt.),
- urządzenia i systemy pomiarowe wbudowane w układ magazynu energii elektrycznej wraz z System Sterowania i Nadzoru SSiN (SCADA) oraz systemem zarządzania energią Energy Management System EMS.

Pomiary i rejestracje przeprowadzono w okresie lipiec – listopad 2022 roku. Analizę wykonano m.in. dla okresów: 03-23.08.2022, 15.09.-01.10.2022, 18-19.10.2022.

Na poniższym rysunku zamieszczono uproszczony, poglądowy schemat analizowanej sieci elektroenergetycznej OSD z zaznaczonymi punktami pomiarowymi: nr 1 – stacja transformatorowa – linia zasilająca z MEE, nr 2 – magazyn energii, nr 3 – prosument.



Schemat poglądowy analizowanej sieci elektroenergetycznej OSD
z zaznaczonymi punktami pomiarowymi

Punkty instalacji analizatorów JEE:

1. transformator SN/nN, montaż w szafie rozdzielczej, pomiar bezpośredni prądu odpływu jednej linii zasilającej, pomiar bezpośredni napięć, wykorzystane analizatory: PQBox 300 lub PQBox 200,
2. pomiar w przyłączy MEE, montaż w szafce przyłącza (poziom gruntu), pomiar bezpośredni napięć i prądów, wykorzystane analizatory: PQBox 300 lub PQBox 200, Sonel PQM-702,
3. prosument, montaż w szafce przyłącza, pomiar bezpośredni napięć i prądów, wykorzystany analizator: PQBox 200 lub Sonel PQM-702.

Zgodnie z opisem technicznym testowany magazyn energii elektrycznej realizuje następujące główne tryby pracy (funkcjonalności, cele):

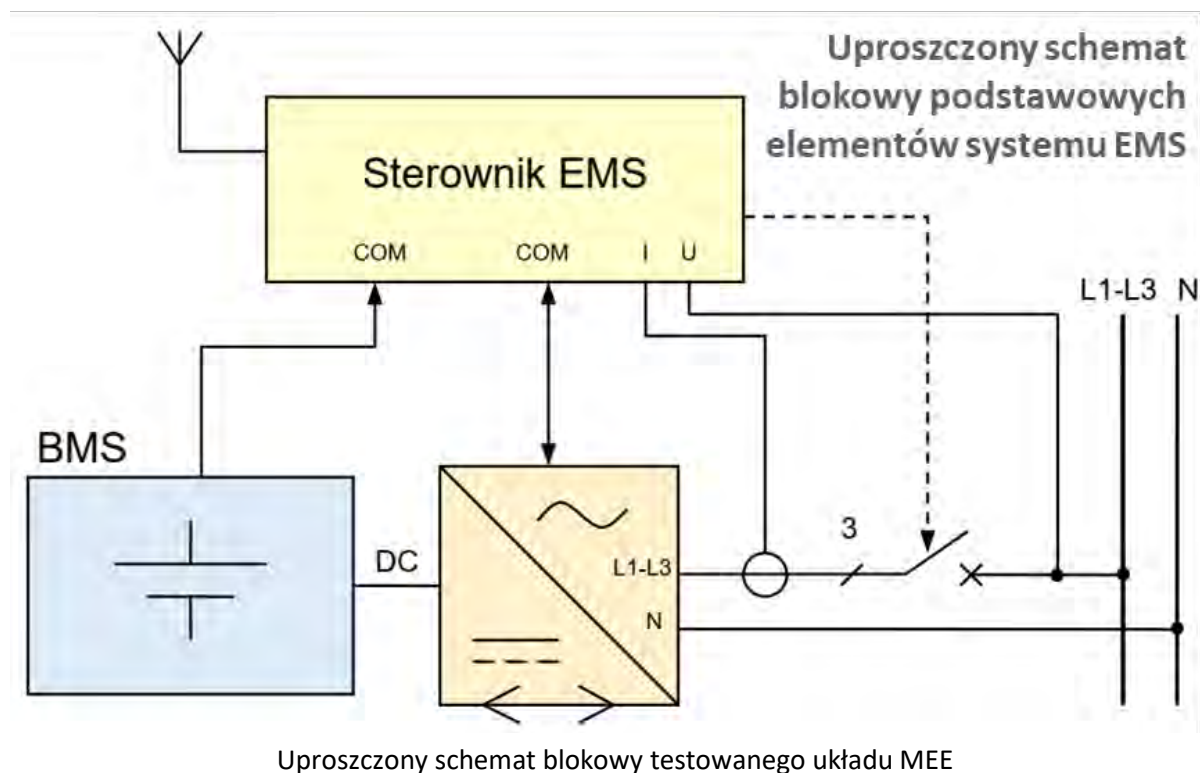
- (A) ograniczanie zakresu zmian wartości skutecznej napięć w poszczególnych fazach – ustawiono zakres: od 215 V do 245 V (podlegał zmianom),
- (B) symetryzacja wartości skutecznych napięć – minimalizacja różnicy napięć w stosunku do wartości średniej.

Proces regulacji i sterowania MEE realizowany jest w interwałach 2-sekundowych. Bazuje na wartościach (m.in. napięć, prądów, mocy itp.) obliczanych w systemie sterowania MEE co 5 sekund.

Podstawowe dane znamionowe MEE:

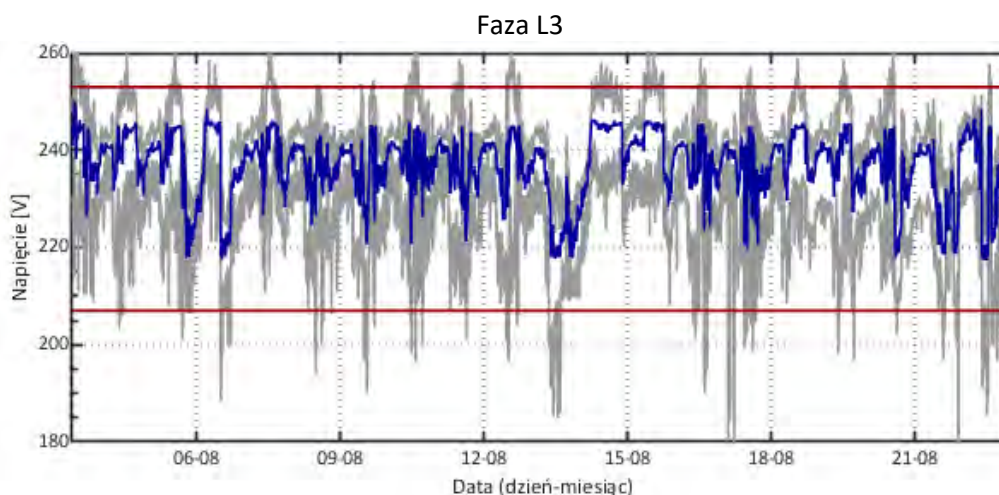
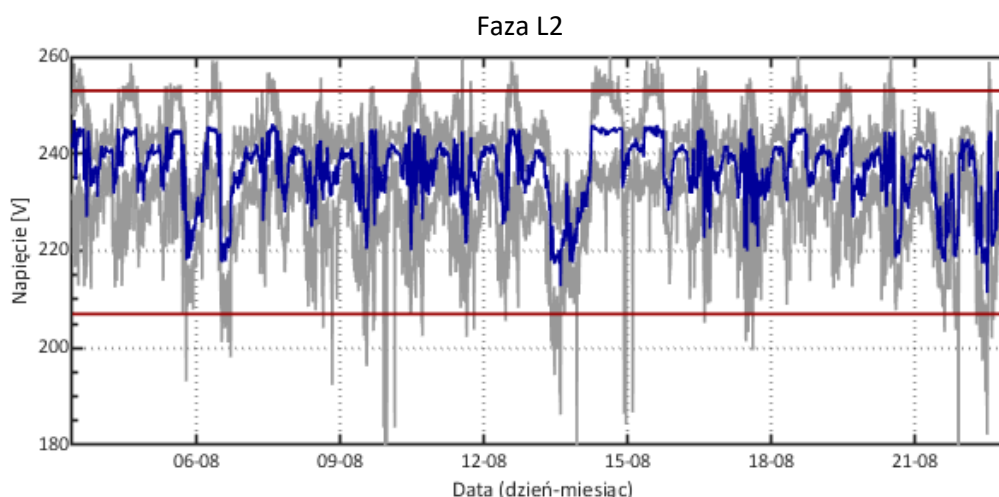
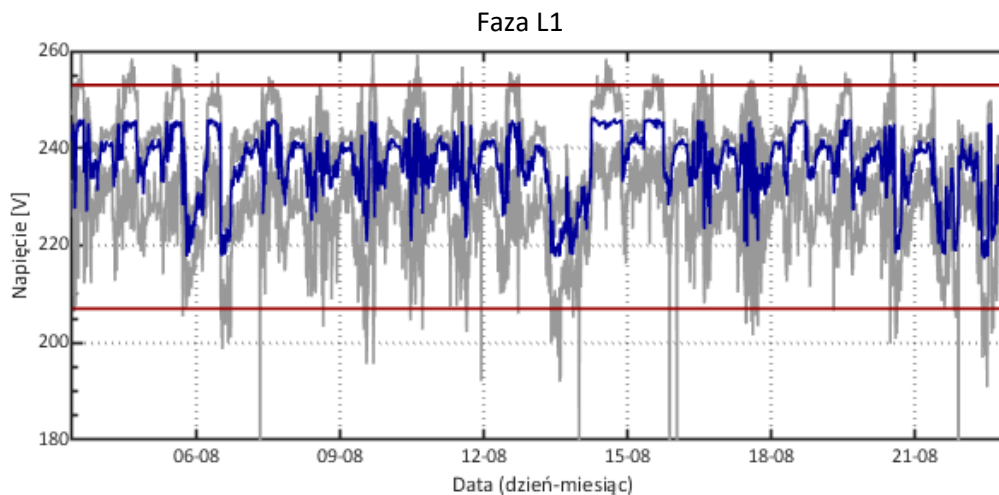
- moc nominalna: 50 kVA,
Zgodnie z warunkami technicznymi określonymi przez OSD moc nominalną MEE ograniczono do 35 kVA.
- energia nominalna 138 kWh, energia użyteczna 110 kWh.

Na poniższym rysunku przedstawiono uproszczony schemat blokowy testowanego układu MEE.

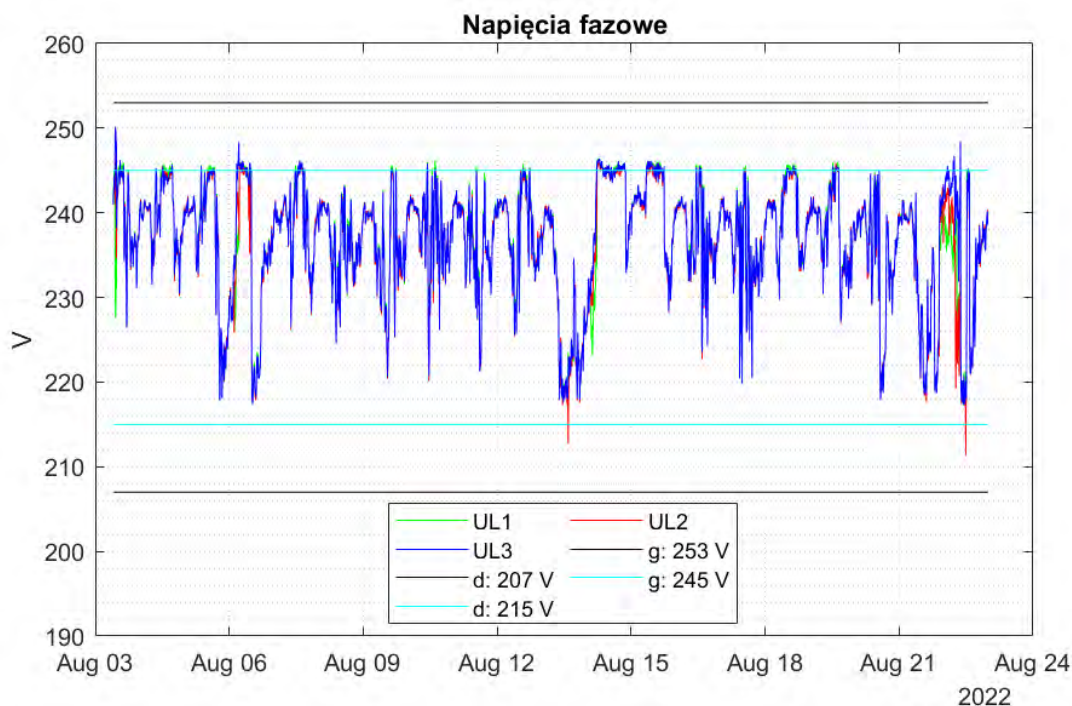


2 Reakcja MEE na zmiany wartości napięć w punkcie przyłączenia

Przebiegi napięć fazowych zagregowanych w interwałach 10-minutowych (10-min.) (linie niebieskie) oraz maksymalnych i minimalnych (10/20 ms) (linie szare) dla kolejnych faz przedstawiono na poniższych rysunkach. Linie czerwone określają zakres zmienności napięcia $\pm 10\%U_n$, czyli od 207 V do 253 V dla $U_n = 230$ V.



Napięcia L1, L2, L3 – wartości 10-minutowe
wartości granicznie: 207÷253 V (linia czarna), 215÷245 V (linia cyjan)



Miary statystyczne dla wszystkich 10-min. wartości napięć

Miara	Wartość U: L1, L2, L3			Udział procentowy $U_{Lx}/230$ V [%]		
minimum	217.22	211.31	217.31	94.44	91.87	94.48
CP01	218.41	218.24	218.32	94.96	94.89	94.92
CP05	222.11	221.78	221.88	96.57	96.43	96.47
średnia	236.84	236.68	236.97	102.97	102.90	103.03
mediana	238.35	238.39	238.63	103.63	103.65	103.75
CP95	245.46	244.99	245.26	106.72	106.52	106.63
CP99	245.92	245.52	246.00	106.92	106.75	106.96
maksimum	246.40	246.98	250.16	107.13	107.38	108.77

Miary statystyczne dla 10-min. wartości napięć dla przedziału: >245 V

Miara	Wartość U: L1, L2, L3			Udział procentowy $U_{Lx}/230$ V [%]		
minimum	245.00	245.00	245.00	106.52	106.52	106.52
CP01	245.01	245.01	245.02	106.53	106.52	106.53
CP05	245.06	245.03	245.06	106.55	106.53	106.55
średnia	245.47	245.33	245.60	106.73	106.67	106.78
mediana	245.45	245.27	245.42	106.72	106.64	106.70
CP95	246.00	245.80	246.32	106.96	106.87	107.09
CP99	246.29	246.30	249.42	107.08	107.09	108.44
maksimum	246.40	246.98	250.16	107.13	107.38	108.77

Na podstawie zarejestrowanych danych pomiarowych w punkcie przyłączenia MEE dla analizowanego okresu można stwierdzić, że:

1. zgodnie z rozporządzeniem systemowym wartości skuteczne napięć zagregowanych w interwałach 10-minutowych nie przekraczają dopuszczalnego zakresu $\pm 10\%U_n$,
2. MEE zasadniczo utrzymuje wartości 10-minutowe napięć w zakresie od 215 V do 245 V zgodnie z jego konfiguracją dla trybu pracy A, ale:
 - zarejestrowano przekroczenia >245 V, ich 99% nie przekracza $245.92 \div 246.0$ V analizując wszystkie wartości napięć w zależności od fazy, a dla przedziału >245 V 99% wartości nie przekracza $246.29 \div 249.42$ V; maksymalna zarejestrowana 10-min. wartość napięcia wynosi 250.16 V co stanowi przekroczenie (wzrost) o 5.16 V, czyli 2.11% w stosunku do 245 V,
 - zarejestrowano dwa przekroczenia <215 V, tylko w fazie L2, minimalna zarejestrowana 10-min. wartość napięcia wynosi 211.31 V co stanowi przekroczenie (obniżenie) o 3.69 V, czyli 1.72% w stosunku do 215 V,

Należy podkreślić, że opracowana koncepcja pracy układu sterowania zawiera algorytmy ograniczające nadmierną szybkość reakcji MEE. Ich celem jest eliminacja stanów fluktuacji napięcia zasilającego wynikających z pracy MEE. Z tego powodu zaobserwowane przekroczenia >245 V nie wynikają z błędnego działania MEE.

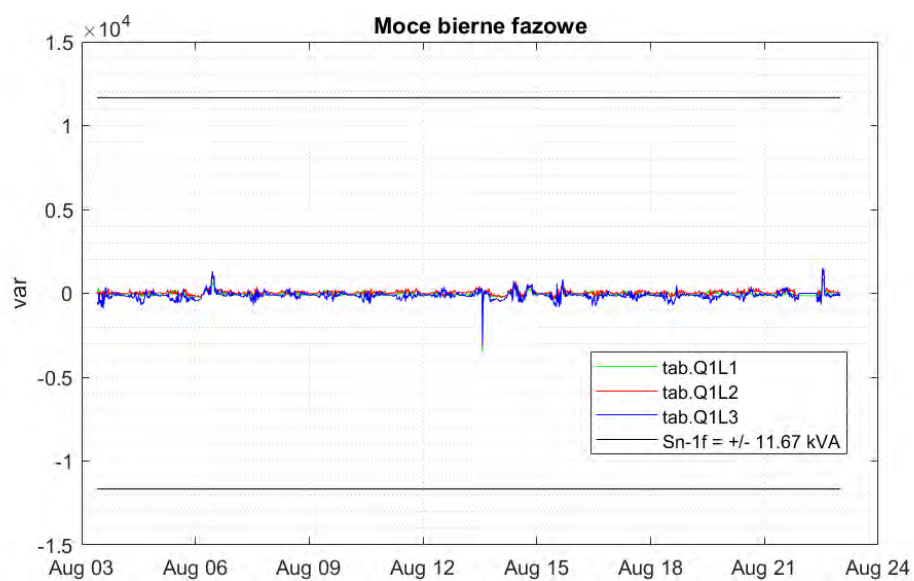
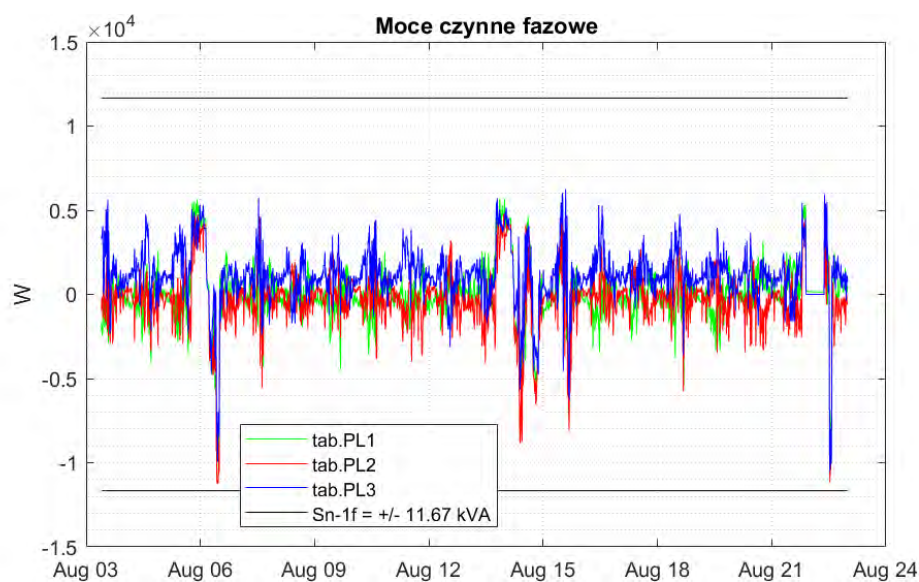
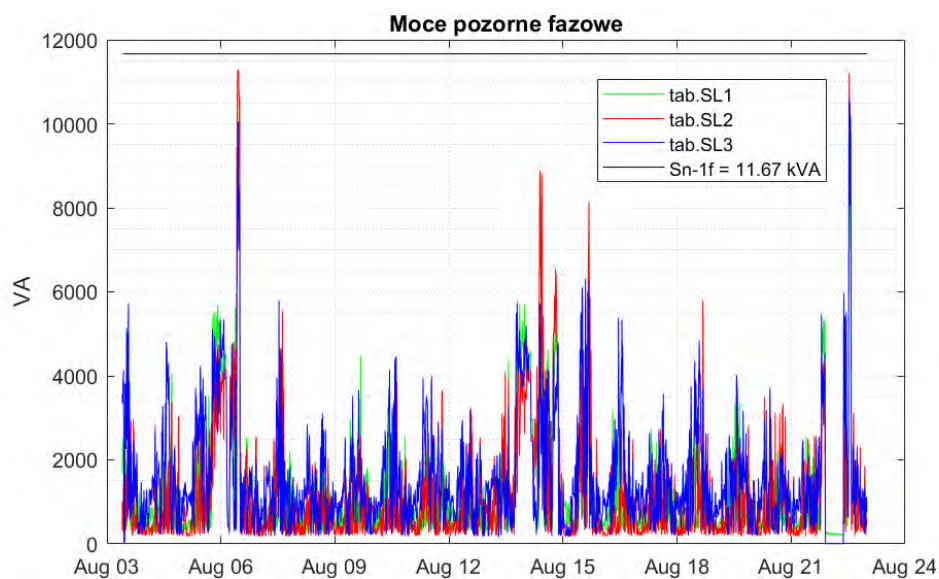
3. wystąpiły stany, w których maksymalne i minimalne wartości napięć 10/20 ms przekraczają zakres $\pm 10\%U_n$.

Algorytmy obliczania, detekcji i rejestracji wartości maksymalnych i minimalnych 10/20 ms przez analizatory jakości energii elektrycznej wynikają z właściwych norm. Należy podkreślić, że koncepcja pracy MEE, jego układu sterowania bazuje na interwałach 2-sekundowych z 5-sekundowym interwałem uśredniania. Z tego powodu wartości maksymalne i minimalne 10/20 ms napięć będące poza zakresem $215 \div 245$ V nie wynikają z błędnego działania MEE.

Na następnej stronie przedstawiono przebiegi wartości mocy fazowych: pozornej S , czynnej P i biernej Q_1 dla 50 Hz oraz prądów MEE:

- wartości dodatnie mocy czynnej oznaczają pobór energii – praca odbiornikowa,
- wartości ujemne oznaczają oddawanie energii do sieci – praca w charakterze źródła,
- moc pozorna jest zawsze dodatnia,
- znak mocy biernej wynika z klasycznej konwencji dla charakteru pojemnościowego i indukcyjnego.

Moc nominalna MEE zgodnie z decyzją OSD została ograniczona z 50 kVA do 35 kVA, co daje 11,67 kVA na fazę (linia koloru czarnego na wykresach).



Podsumowanie statystyczne przebiegów mocy: pozornej S, czynnej P i biernej Q1 dla 50 Hz.

Do obliczenia $X_{1f}/X_{n,1f}$ [%] przyjęto moc $S_{n,1f} = X_{n,1f} = S_{n,3f} / 3 = 35 \text{ kVA} / 3 = 11,67 \text{ kVA}$.

Miary statystyczne dla wszystkich 10-min. wartości mocy pozornej S

Miara	Wartość S: L1, L2, L3			Udział procentowy $S_{Lx}/S_{n,1f}$ [%]		
minimum	25.62	2.51	4.46	0.22	0.02	0.04
CP01	218.12	5.68	6.36	1.87	0.05	0.05
CP05	309.78	201.02	225.46	2.66	1.72	1.93
średnia	1163.71	1161.43	1551.99	9.97	9.96	13.30
mediana	649.30	613.65	1190.21	5.57	5.26	10.20
CP95	4347.36	3939.63	4194.74	37.26	33.77	35.95
CP99	5553.60	7183.49	5729.04	47.60	61.57	49.11
maksimum	10728.66	11296.32	10595.25	91.96	96.83	90.82

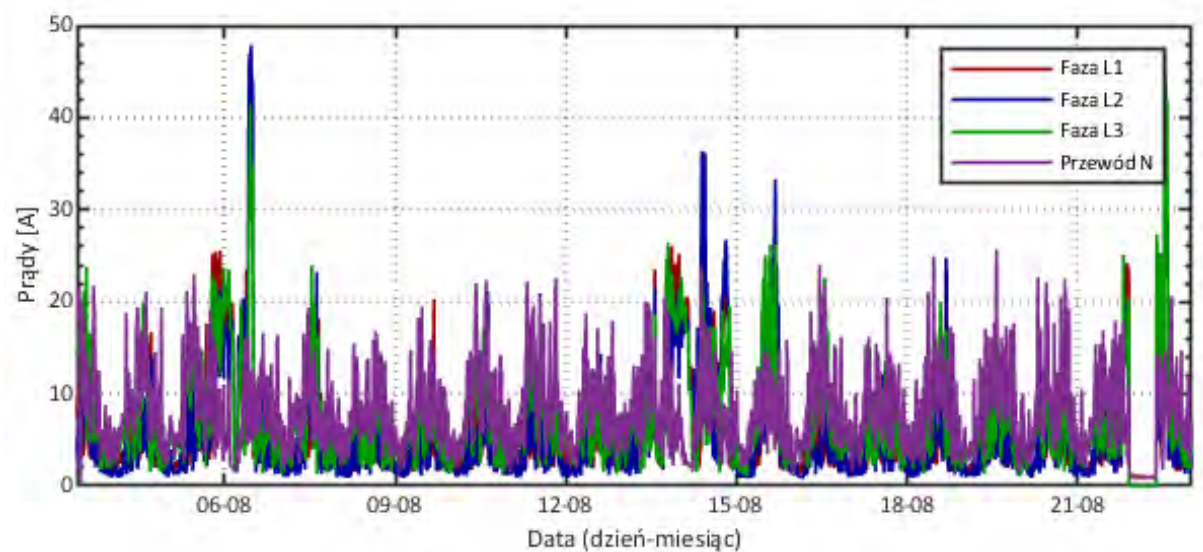
Miary statystyczne dla wszystkich 10-min. wartości mocy czynnej P

Miara	Wartość P: L1, L2, L3			Udział procentowy $P_{Lx}/S_{n,1f}$ [%]		
minimum	-10693.43	-11249.40	-10482.54	-91.66	-96.42	-89.85
CP01	-5316.68	-7157.97	-4729.75	-45.57	-61.35	-40.54
CP05	-2452.63	-2831.02	-1158.19	-21.02	-24.27	-9.93
średnia	36.06	-260.33	1092.62	0.31	-2.23	9.37
mediana	-23.22	-119.88	1047.30	-0.20	-1.03	8.98
CP95	3494.90	2704.57	3936.77	29.96	23.18	33.74
CP99	4969.00	4142.66	4922.96	42.59	35.51	42.20
maksimum	5684.09	5144.37	6246.85	48.72	44.09	53.54

Miary statystyczne dla wszystkich 10-min. wartości mocy biernej Q1 dla 50 Hz

Miara	Wartość Q1: L1, L2, L3			Udział procentowy $Q1_{Lx}/S_{n,1f}$ [%]		
minimum	-3522.37	-3186.41	-3010.43	-30.19	-27.31	-25.80
CP01	-300.54	-234.56	-652.31	-2.58	-2.01	-5.59
CP05	-204.25	-155.88	-466.54	-1.75	-1.34	-4.00
średnia	-52.28	41.32	-125.44	-0.45	0.35	-1.08
mediana	-62.65	28.22	-118.92	-0.54	0.24	-1.02
CP95	120.92	241.22	200.21	1.04	2.07	1.72
CP99	338.42	544.90	569.74	2.90	4.67	4.88
maksimum	748.63	971.56	1490.22	6.42	8.33	12.77

Przebiegi skutecznych wartości prądów fazowych MEE – wartości 10-minutowe



Miary statystyczne dla wszystkich 10-min. wartości prądów

Miara	Wartość I: L1, L2, L3, N				Udział procentowy I_{Lx}/I_n [%]			
minimum	0.11	0.01	0.02	0.21	0.22	0.02	0.04	0.40
CP01	0.92	0.02	0.03	0.85	1.82	0.05	0.05	1.67
CP05	1.59	1.02	1.81	2.34	3.13	2.01	3.57	4.62
średnia	5.63	5.77	7.18	8.11	11.10	11.38	14.16	15.98
mediana	3.65	3.82	5.52	7.27	7.19	7.53	10.88	14.33
CP95	19.07	17.62	18.40	16.61	37.59	34.73	36.27	32.75
CP99	25.22	30.05	24.72	20.62	49.72	59.24	48.74	40.64
maksimum	44.06	47.85	44.15	25.72	86.87	94.34	87.03	50.70

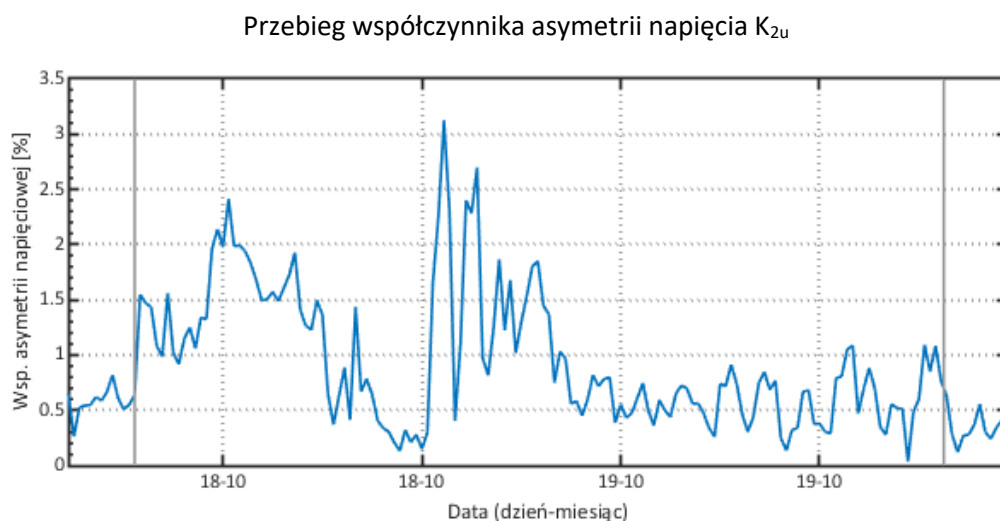
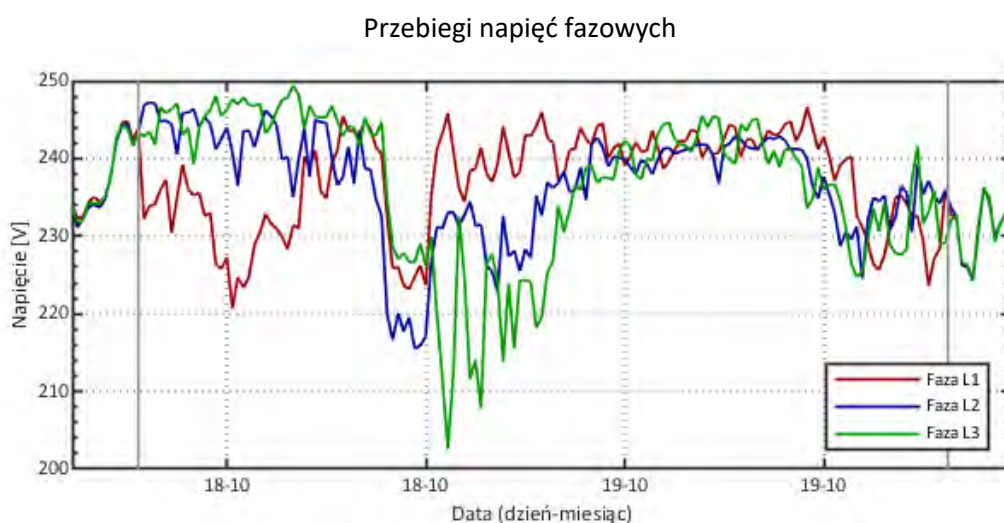
3 Wpływ na asymetrię napięciową w punkcie przyłączenia MEE

Długoterminowe pomiary i rejestracje wykazały pozytywny wpływ pracy MEE na obniżenie poziomu asymetrii napięciowej w punkcie przyłączenia.

3.1 Wyłączenie funkcji redukcji asymetrii napięcia w MEE

Przedstawiono przebiegi napięć fazowych i współczynnika asymetrii K_{2u} dla stanu wyłączenia funkcji redukcji asymetrii napięciowej (praca MEE w trybie B) w dniach od 18.10.2022 godz. 9:20 do 19.10.2022 godz. 9:45 (zaznaczono pionowymi liniami szarymi).

Współczynnik K_{2u} dotyczy relacji składowej kolejności przeciwnej do składowej kolejności zgodnej ($U^{(2)}/U^{(1)} \cdot 100\%$)



Po wyłączeniu funkcji redukcji asymetrii napięciowej (tryb B) wartość współczynnika asymetrii napięcia K_{2u} wzrasta w znaczący sposób, osiągając wartość 3.1%. W tym stanie wyraźnie widoczna jest różnica między wartościami napięć fazowych.

Według rozporządzenia systemowego wartość graniczna określona została na poziomie 2,0%.

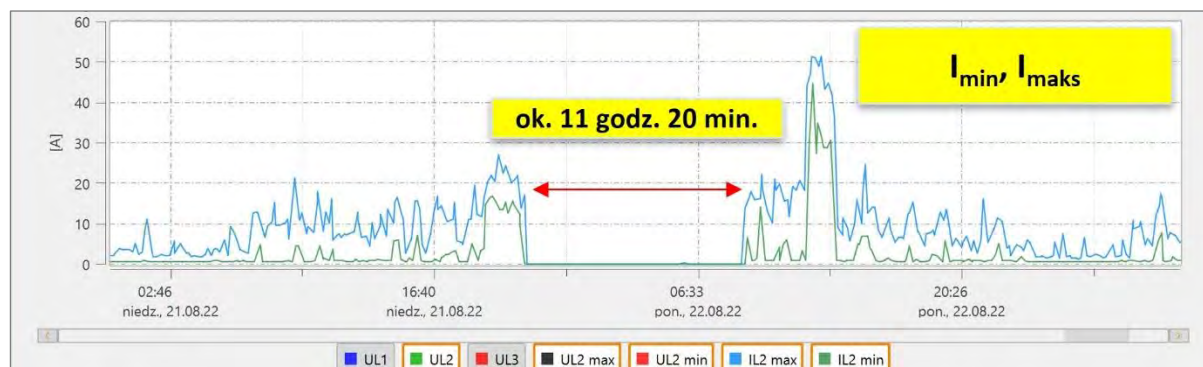
3.2 Wyłączenie MEE w dniu 21.08.2022 – wpływ na asymetrię napięcia

Analiza dotyczy okresu wyłączenia MEE trwającego ok. 11 godzin i 20 minut w dniu 21.08.2022.

Przebiegi zagregowanych wartości skutecznych napięć – 10-minutowych



Przebiegi zagregowanych wartości skutecznych prądów – 10-minutowych – w trakcie wyłączenia MEE



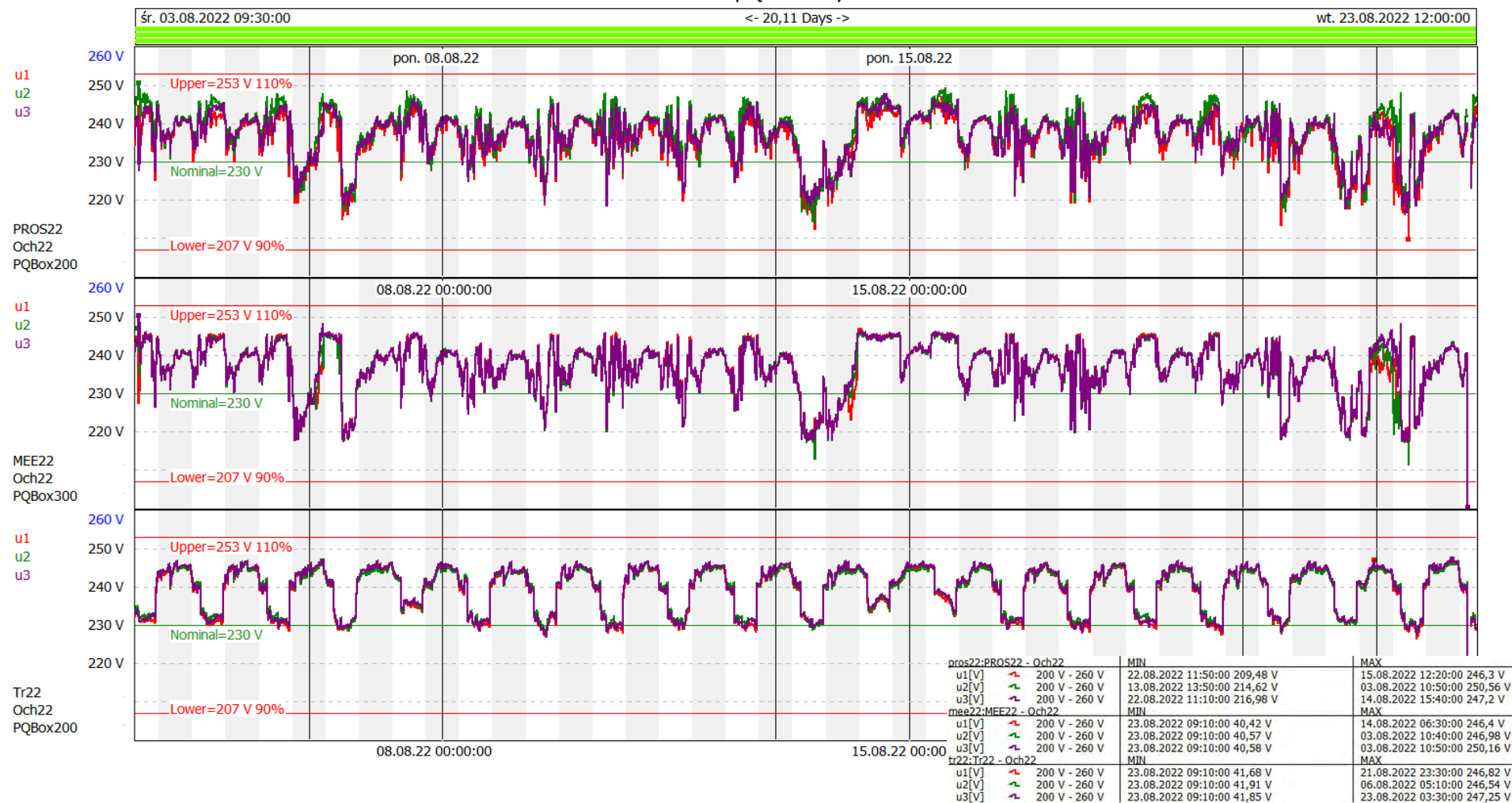
W trakcie wyłączenia MEE zarejestrowano zwiększoną różnicę wartości napięć oraz wzrost współczynnika asymetrii napięcia.

4 Rejestracja związku między wartościami napięć w punkcie przyłączenia a pracą magazynu energii

4.1 Przebiegi wartości skutecznych napięć

Na poniższych wykresach porównano 10-min. wartości napięcia w trzech punktach pomiarowych (rysunek na str.6) w okresie 03-23.08.2022: prosument (pkt pomiar. nr 3 – PROS22), magazyn EE (pkt pomiar. nr 2 – MEE22), stacja transformatorowa (pkt pomiar. nr 1 – Tr22). Kolor tła: fragmenty białe oznaczają okresy w godz.: 06:00-18:00 (dzień), fragmenty szare oznaczają okresy w godz.: 18:00-6:00 (wieczór+noc). Czarne pionowe linie oznaczają weekendy.

Wartości skuteczne napięć fazowych – 10-min.



Zgodnie z rozporządzeniem systemowym dla okresu 7 dni od 04-11.08.2022 obliczono miary statystyczne dla wartości 10-min. napięć fazowych.

Prosument (PROS22) – rysunek górny

Wielkość	Liczba wartości	Minimum	Minimum [%]	Wartość 5%	Mediana	Średnia	Średnia %	Odchylenie standard.	Wartość 95%	Maksimum	Maksimum %	Zakres zmian
U L1	1008	214,79 V	[93,4%]	224,4 V	238,19 V	236,58 V	[102,9%]	5,75 V	243,36 V	245,37 V	[106,7%]	30,58 V
U L2	1008	217,16 V	[94,4%]	225,71 V	239,6 V	238,16 V	[103,5%]	5,96 V	246,07 V	248,62 V	[108,1%]	31,46 V
U L3	1008	218,5 V	[95%]	225,29 V	238,59 V	237,24 V	[103,1%]	5,51 V	244,45 V	246,67 V	[107,2%]	28,17 V

Magazyn (MEE22) – rysunek środkowy

Wielkość	Liczba wartości	Minimum	Minimum [%]	Wartość 5%	Mediana	Średnia	Średnia %	Odchylenie standard.	Wartość 95%	Maksimum	Maksimum %	Zakres zmian
U L1	1008	217,73 V	[94,7%]	223,77 V	238,8 V	237,27 V	[103,2%]	6,16 V	245,32 V	246,2 V	[107%]	28,47 V
U L2	1008	217,65 V	[94,6%]	223,8 V	238,66 V	237,08 V	[103,1%]	6,08 V	244,87 V	246,23 V	[107,1%]	28,58 V
U L3	1008	217,4 V	[94,5%]	223,76 V	238,78 V	237,28 V	[103,2%]	6,14 V	245,17 V	248,34 V	[108%]	30,94 V

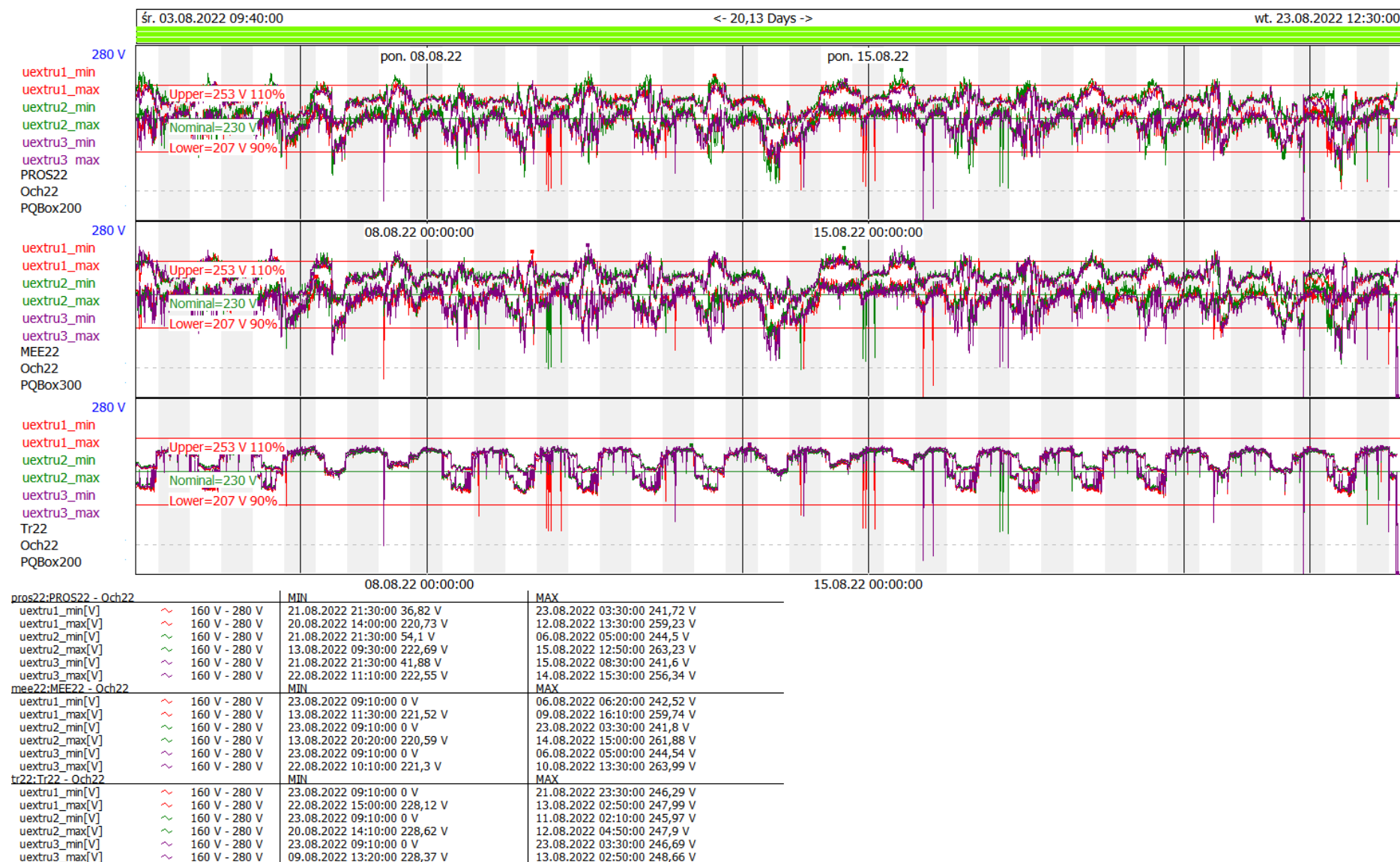
Stacja transformatorowa (TR22) – rysunek dolny

Wielkość	Liczba wartości	Minimum	Minimum [%]	Wartość 5%	Mediana	Średnia	Średnia %	Odchylenie standard.	Wartość 95%	Maksimum	Maksimum %	Zakres zmian
U L1	1008	227,15 V	[98,8%]	229,26 V	241,29 V	239,08 V	[103,9%]	6,01 V	245,52 V	246,49 V	[107,2%]	19,34 V
U L2	1008	228,21 V	[99,2%]	229,9 V	241,68 V	239,52 V	[104,1%]	5,60 V	245,53 V	246,54 V	[107,2%]	18,34 V
U L3	1008	226,99 V	[98,7%]	229,79 V	241,93 V	239,64 V	[104,2%]	6,03 V	246,09 V	247,14 V	[107,5%]	20,15 V

W czerwcu 2022 r. OSD uruchomił w sieci dystrybucyjnej układ automatycznej regulacji napięcia ARN. Celem układu jest poprawa pracy sieci zasilającej poprzez ograniczenie zakresu zmienności napięć zasilających, szczególnie wzrostów. Efekt pracy układu ARN jest wyraźnie widoczny na przebiegach napięć zarejestrowanych w stacji transformatorowej: obniżanie poziomu napięć w ciągu dnia i wzrost w okresie nocnym.

Na kolejnych wykresach przyjęto analogiczną konwencję prezentacji zarejestrowanych przebiegów: prosument (góra, pkt pomiar. nr 3, PROS22), magazyn EE (środek, pkt pomiar. nr 2, MEE22), stacja transformatorowa (dół, pkt pomiar. nr 1, Tr22). Kolor tła: fragmenty białe oznaczają okresy w godz.: 06:00-18:00, fragmenty szare oznaczają okresy w godz.: 18:00-6:00. Czarne pionowe linie oznaczają weekendy.

Wartości skuteczne napięć fazowych – wartości minimalne i maksymalne 10/20 ms

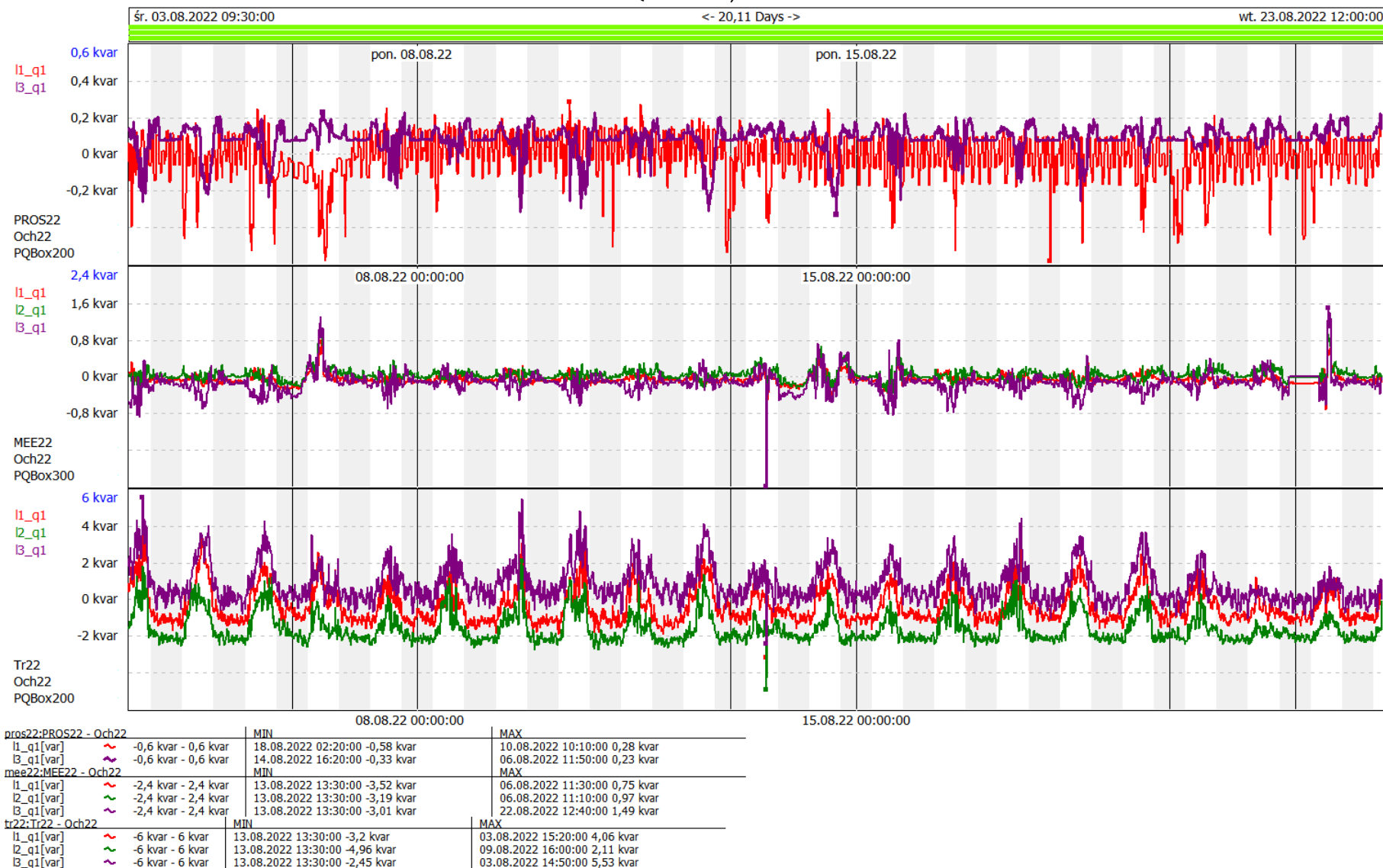


4.2 Przebiegi mocy czynnej i biernej

Moce czynne P – fazowe, wartości 10 min. – ramkami zaznaczono okresy serwisowego ładowania/rozładowania MEE

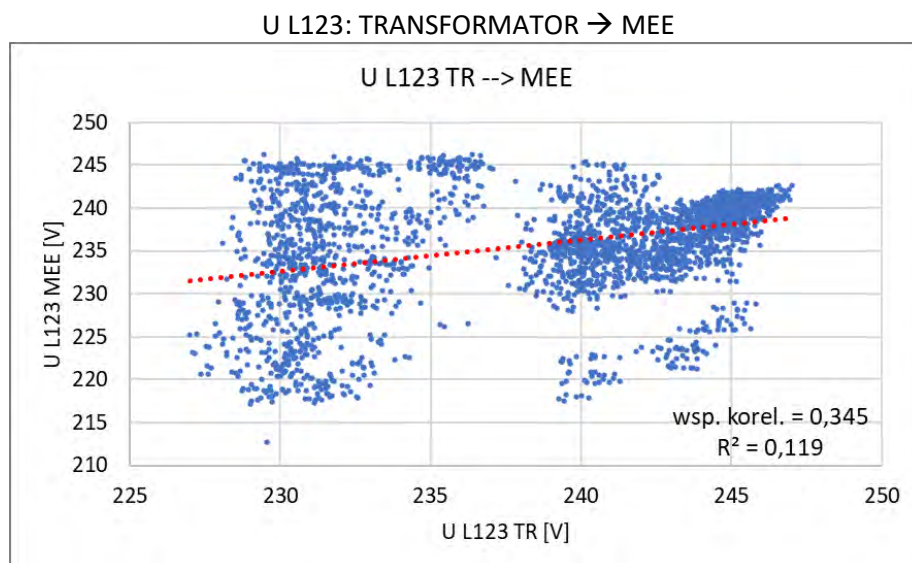


Moce bierne Q – fazowe, wartości 10 min.

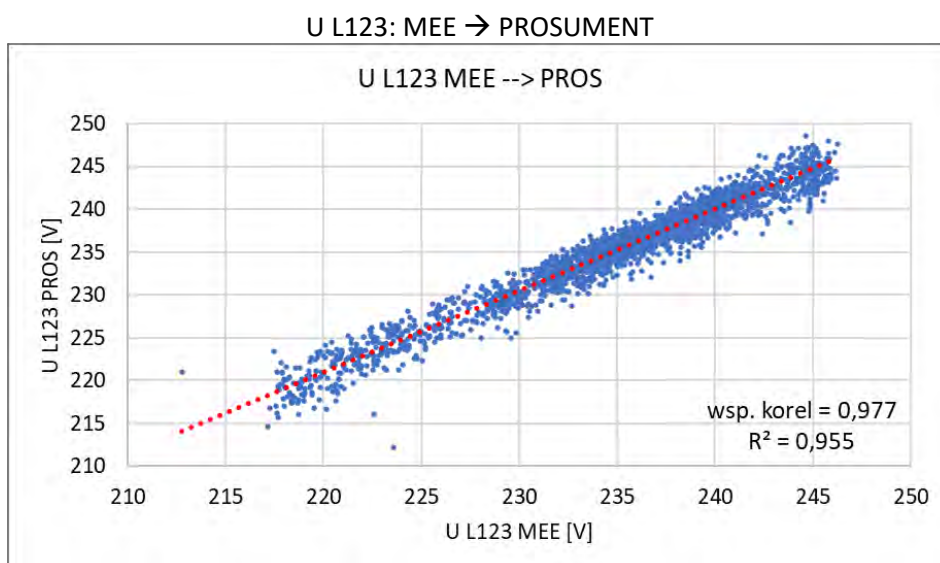


4.3 Wykresy korelacyjne

4.3.1 Wykres korelacyjny wartości skutecznych napięć – 10-min. – 7-13.08.2022

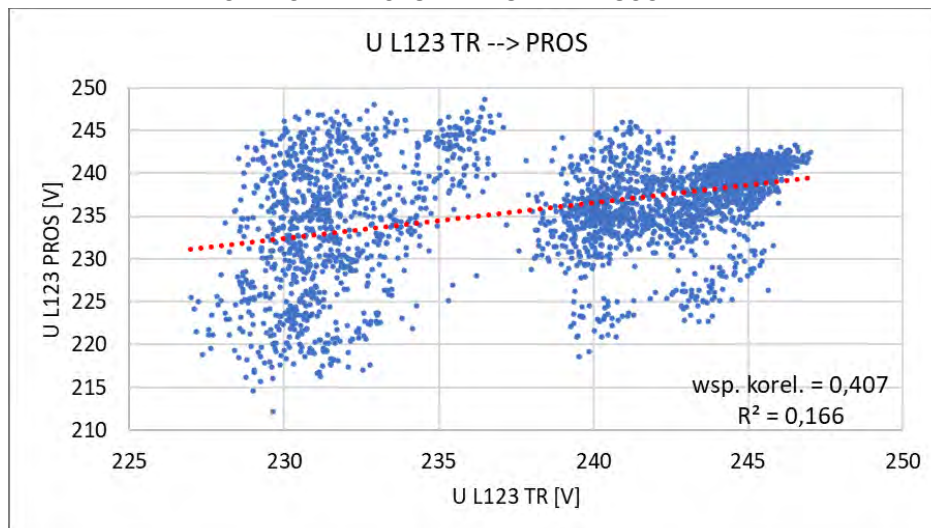


Na podstawie wykresów korelacyjnych można stwierdzić, że między napięciem w stacji transformatorowej a napięciem w punkcie przyłączenia MEE występuje słaba dodatnia korelacja 0,35. Napięcia MEE zasadniczo zawierają się w zakresie 215-245 V, zgodnie z jego konfiguracją i trybem pracy A.



Na podstawie wykresów korelacyjnych można stwierdzić, że między napięciem w punkcie przyłączenia prosumenta a napięciem w punkcie przyłączenia MEE występuje silna dodatnia korelacja 0,98. Napięcia MEE i prosumenta zasadniczo zawierają się w zakresie 215-245 V, zgodnie z jego konfiguracją i trybem pracy A.

U L123: TRANSFORMATOR → PROSUMENT



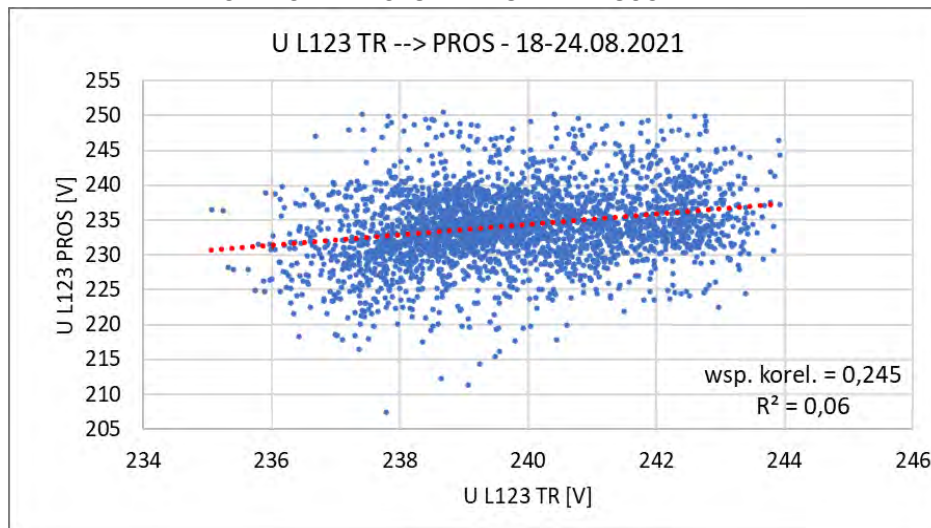
Na podstawie wykresów korelacyjnych można stwierdzić, że między napięciem w stacji transformatorowej a napięciem w punkcie przyłączenia prosumenta występuje słaba dodatnia korelacja 0,41.

Profil napięcia w stacji transformatorowej determinuje układ ARN uruchomiony przez OSD. Profil napięcia w punkcie przyłączenia MEE i prosumenta determinuje MEE.

**4.3.2 Wykres korelacyjny wartości skutecznych napięć przed uruchomieniem układu ARN
– 10-min. – 18-24.08.2021**

Poniżej przedstawiono wykres korelacyjny dla napięć stacji transformatorowej i prosumenta z sierpnia 2021 roku.

U L123: TRANSFORMATOR → PROSUMENT



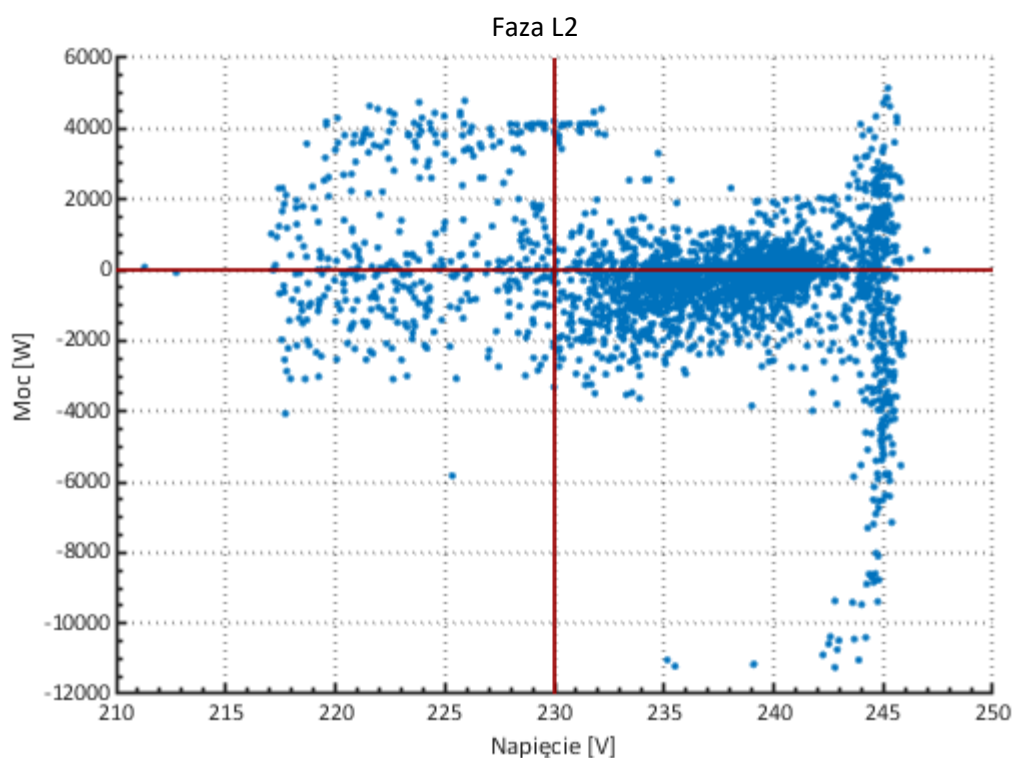
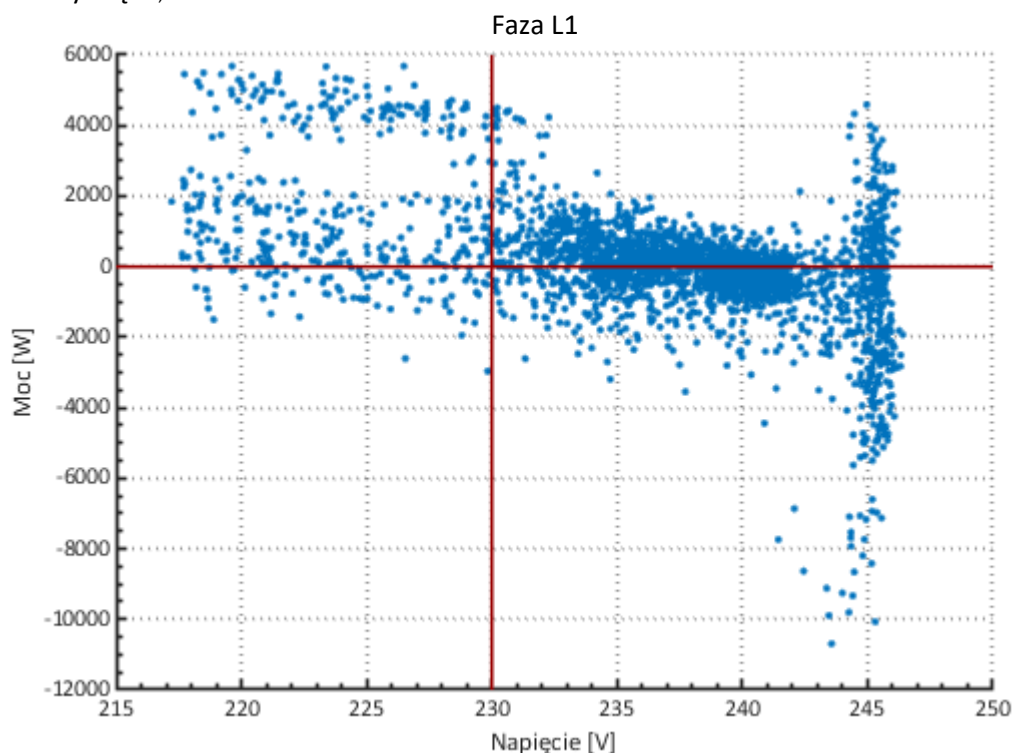
Na podstawie wykresu korelacyjnego można stwierdzić, że między napięciem w punkcie przyłączenia prosumenta, a napięciem w stacji transformatorowej STr występuje słaba dodatnia korelacja 0,245. W analizowanym okresie nie pracował układ ARN oraz nie było MEE.

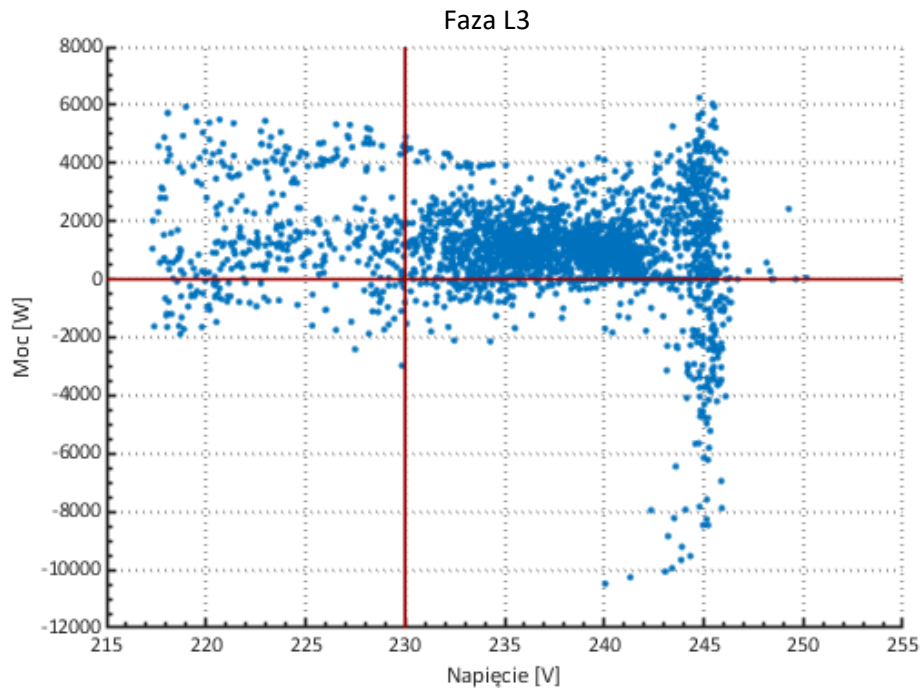
Wykresy korelacyjne dla napięć STr i prosumenta z sierpnia 2021 r i sierpnia 2022 r. różnią się między sobą. W 2021 r. korelacja była słabsza niż w 2022 r. W 2021 r. napięcie zmienia się w STr w zakresie 235-244 V, u prosumenta 207.5-250.5 V, a w 2022 r. w STr 227-247 V, u prosumenta 212-248.6 V. Stosunek zakresów zmian napięcia: 4,86 w 2021 r i 1,82 w 2022 r.

4.4 Zależność między mocą czynną MEE a napięciem w punkcie przyłączenia

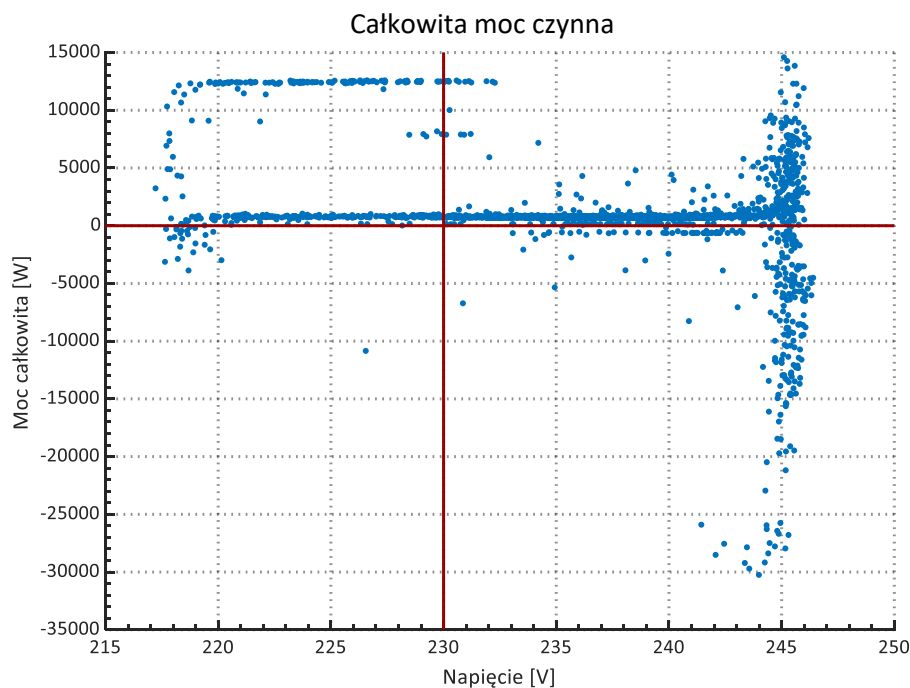
Na poniższych rysunkach przedstawiono wykresy korelacyjne dotyczące napięć i czynnych mocy fazowych w punkcie przyłączenia MEE.

Zakres zmienności napięcia został ograniczony do przedziału od 215 V do 245 V. Zakres zmienności mocy czynnych fazowych zawiera się od -10.5 kW do 6.0 kW. Znak minus oznacza oddawanie energii, czyli pracę w charakterze źródła energii, natomiast znak plus oznacza pobór energii, czyli pracę odbiorczą. Liniami czerwonymi zaznaczono nominalną wartość napięcia fazowego $U_n = 230$ V oraz moc czynną $P_{x,1f} = 0$ W.





Zakres zmienności całkowitej mocy czynnej zawiera się od ok. -30.5 kW do ok. 15.0 kW. Najszerzy (pełny) zakres zmienności dotyczy napięć na poziomie ok. 244÷246 V. Dla napięć dolnych ok. 217÷219 V zakres zmienności jest mniejszy ok. -4,5 kW do ok. 12 kW.



Analiza mocy czynnej pokazuje, że fazowa moc czynna MEE zmienia się w zakresach:

- od -30.5 kW do ok. 15.0 kW – moc całkowita,
- od -10.5 kW do 6.0 kW – moc fazowa,

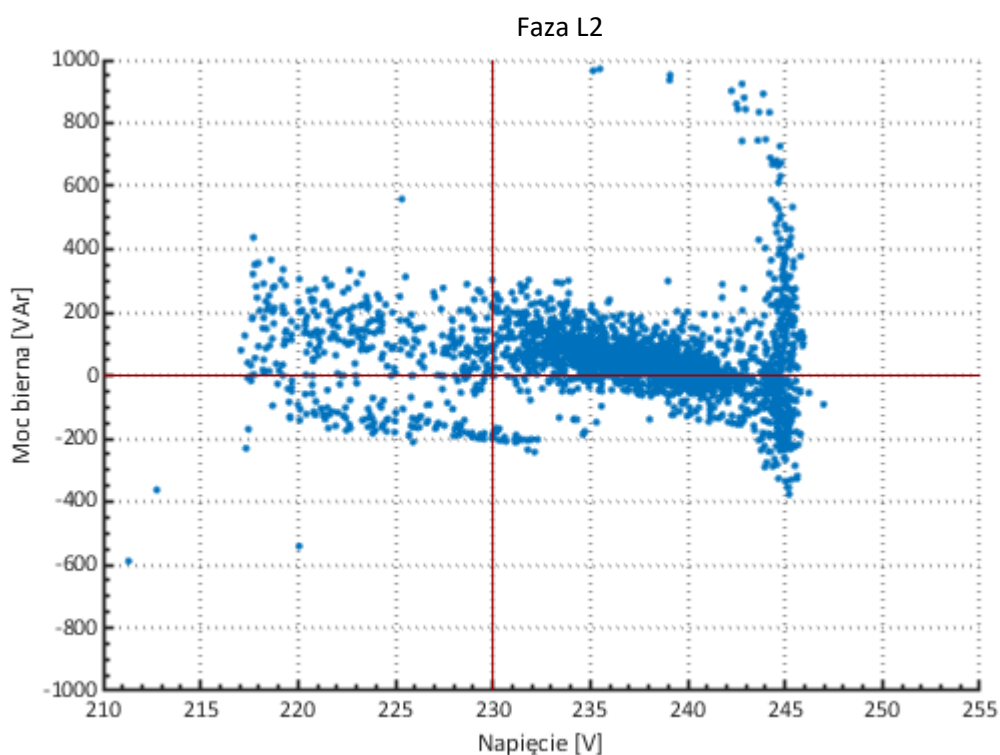
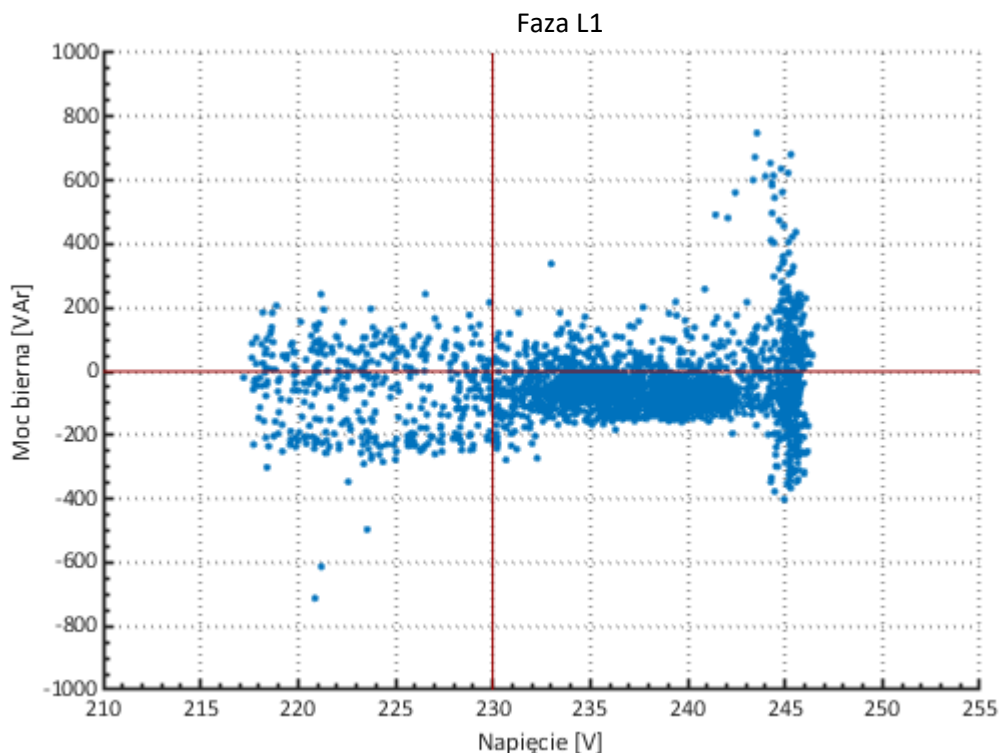
w zależności od fazy napięcia. Ma to związek z trybami pracy MEE, ale także z:

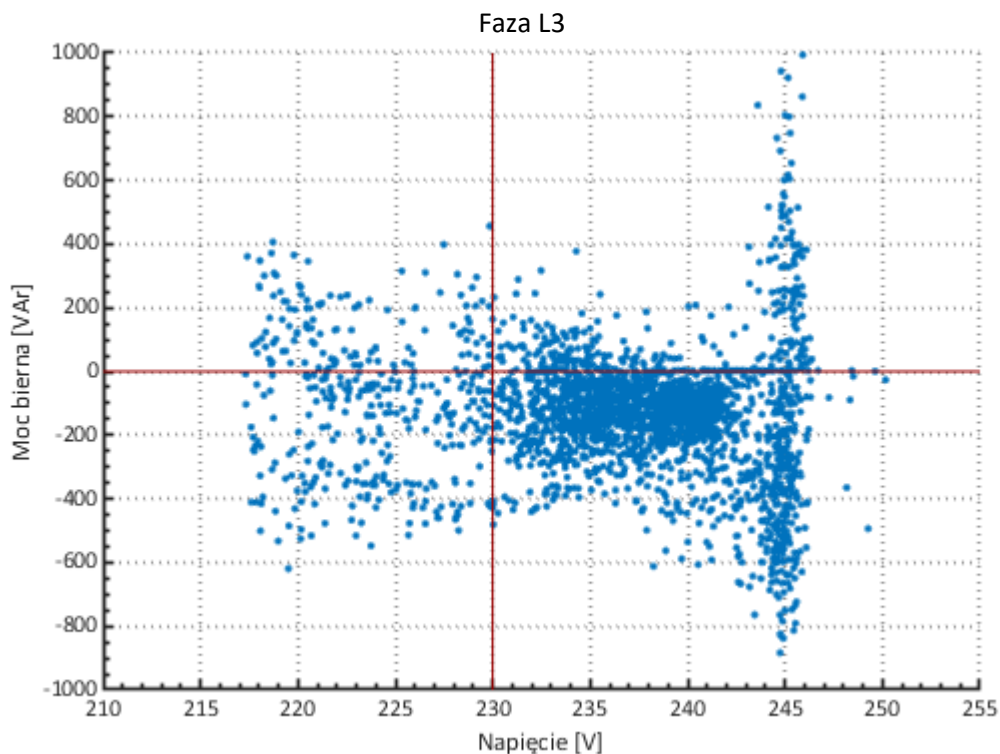
- okresami ładowania serwisowego – moc ładowania i rozładowania jest uwzględniona w wykresach a przebieg tego procesu nie zależy od wartości napięcia (należy podkreślić, że wartości napięć kontrolowane są również w tym trybie pracy MEE, a moc ładowania jest redukowana, jeżeli jest to konieczne do utrzymania napięć w przyjętym zakresie zmian),
- funkcjonalność symetryzacji napięć – moce fazowe są różne i wynikają z algorytmu symetryzacji.

4.5 Zależność między mocą bierną MEE a napięciem w punkcie przyłączenia

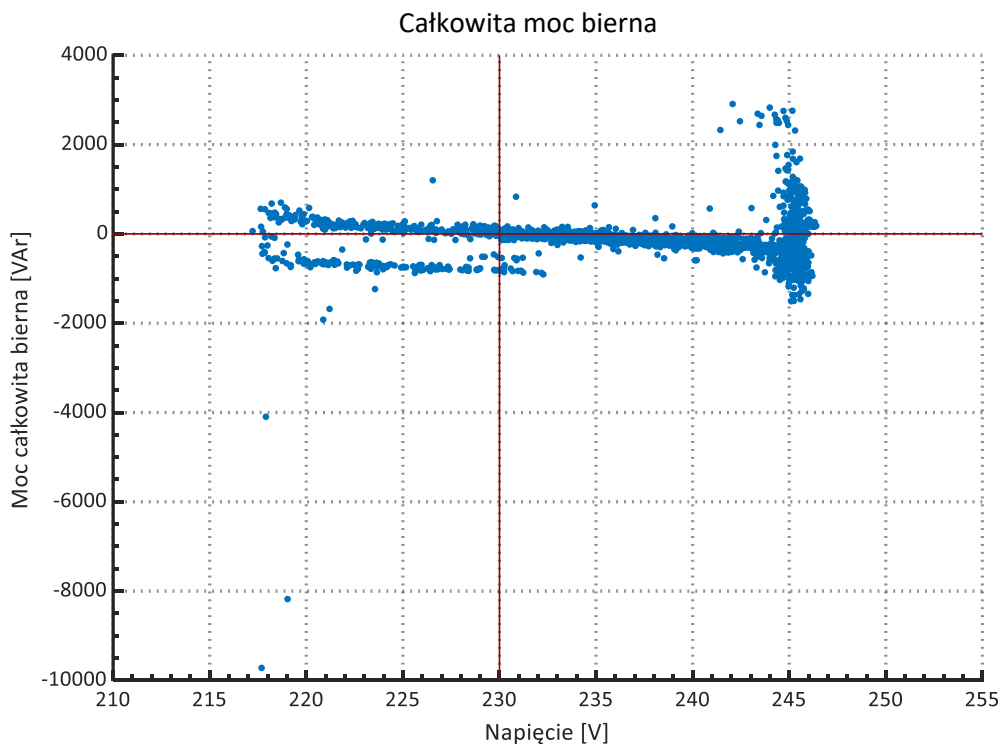
Na poniższych rysunkach przedstawiono wykresy korelacyjne dotyczące napięć i mocy biernych fazowych w punkcie przyłączenia MEE.

Zakres zmienności mocy biernych fazowych zawiera się od -900 var do 1000 var i różni się dla poszczególnych faz. Znak minus oznacza charakter pojemnościowy, natomiast znak plus oznacza charakter indukcyjny. Liniami czerwonymi zaznaczono nominalną wartość napięcia fazowego $U_n = 230$ V oraz moc bierną $Q_{x,1f} = 0$ var.





Zakres zmienności całkowitej mocy biernej zasadniczo zawiera się od ok. -2.0 kvar ok. 3.0 kvar, aczkolwiek zarejestrowano incydentalne wartości w przedziale -2.0÷9.8 kvar (spowodowane osiągnięciem granicznego poziomu naładowania MEE). Najszerszy zakres zmienności dotyczy napięć na poziomie ok. 243÷246 V.



5 Określenie empiryczne związku między zmianami napięcia, czasem ich występowania a pracą magazynu oraz ilością energii oddanej i przyjmowanej z sieci dystrybucyjnej

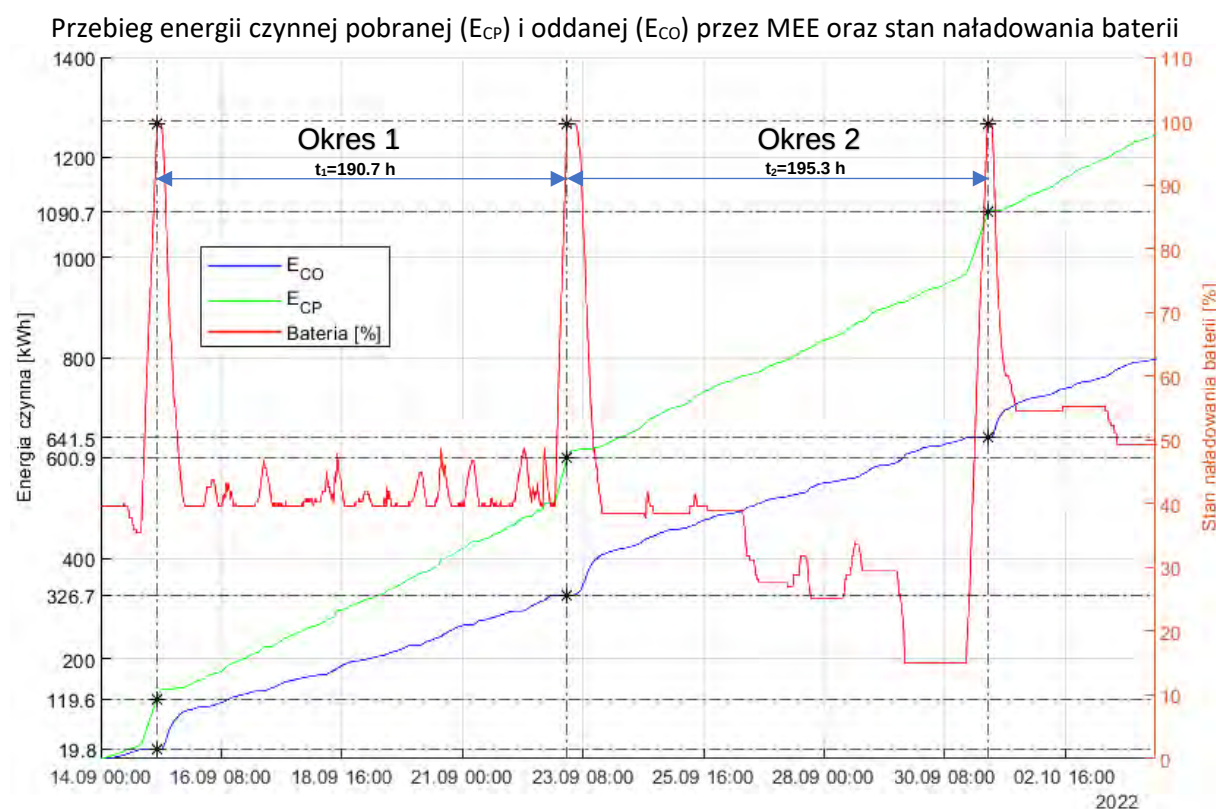
W celu określenia mocy potrzeb własnych poddano analizie trzy przedziały czasu. Okresy wybrano w ten sposób, aby stan naładowania baterii na początku i na końcu okresu był sobie równy i wynosił ponad 98% stanu naładowania. Takie stany występują podczas serwisowego cyklu ładowania-rozładowania, bezpośrednio po naładowaniu baterii. Moment wystąpienia cyklu serwisowego i stan naładowania zweryfikowano na podstawie rejestracji z wewnętrznego systemu monitorowania MEE (SSiN).

Do analizy wybrano trzy okresy:

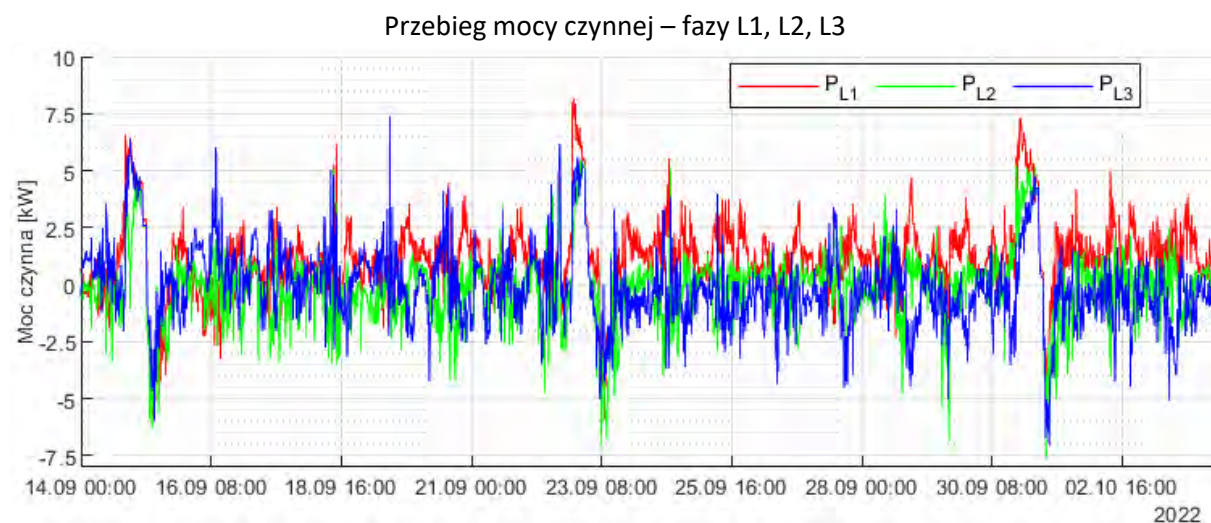
- Okres 1. od 15.09.2022 godz. 02:00 do 23.09.2022 godz. 00:40,
- Okres 2. od 23.09.2022 godz. 00:40 do 01.10.2022 godz. 04:00,
- Okres 3. od 06.08.2022 godz. 05:20 do 14.08.2022 godz. 05:30.

5.1 Okres 1 i 2

Na poniższym rysunku przedstawiono przebiegi energii czynnej pobranej (E_{CP}) i oddanej (E_{CO}) przez MEE oraz stan naładowania baterii w obwodzie DC.



Na rysunku pokazano przebiegi mocy czynnej w fazach.



W tabeli przedstawiono obliczoną moc potrzeb własnych na podstawie pomiaru energii czynnej w okresach 1 i 2.

Okres 1 od 15.09.2022 godz. 02:00 do 23.09.2022 godz. 00:40	Okres 2 od 23.09.2022 godz. 00:40 do 01.10.2022 godz. 04:00
$E_{CP} = (600,9 - 119,6) \text{ kWh} = 481,3 \text{ kWh}$ $E_{CO} = (326,7 - 19,8) \text{ kWh} = 306,9 \text{ kWh}$	$E_{CP} = (1090,7 - 600,9) \text{ kWh} = 489,8 \text{ kWh}$ $E_{CO} = (641,5 - 326,7) \text{ kWh} = 314,8 \text{ kWh}$
$P_{CP} = \frac{E_{CP}}{t} = \frac{481,3 \text{ kWh}}{190,7 \text{ h}} = 2,52 \text{ kW}$	$P_{CP} = \frac{E_{CP}}{t} = \frac{489,8 \text{ kWh}}{195,3 \text{ h}} = 2,51 \text{ kW}$
$P_{CO} = \frac{E_{CO}}{t} = \frac{306,9 \text{ kWh}}{190,7 \text{ h}} = 1,61 \text{ kW}$	$P_{CO} = \frac{E_{CO}}{t} = \frac{314,8 \text{ kWh}}{195,3 \text{ h}} = 1,61 \text{ kW}$
$P_{PW} = P_{CP} - P_{CO} = 0,91 \text{ kW}$	$P_{PW} = P_{CP} - P_{CO} = 0,90 \text{ kW}$

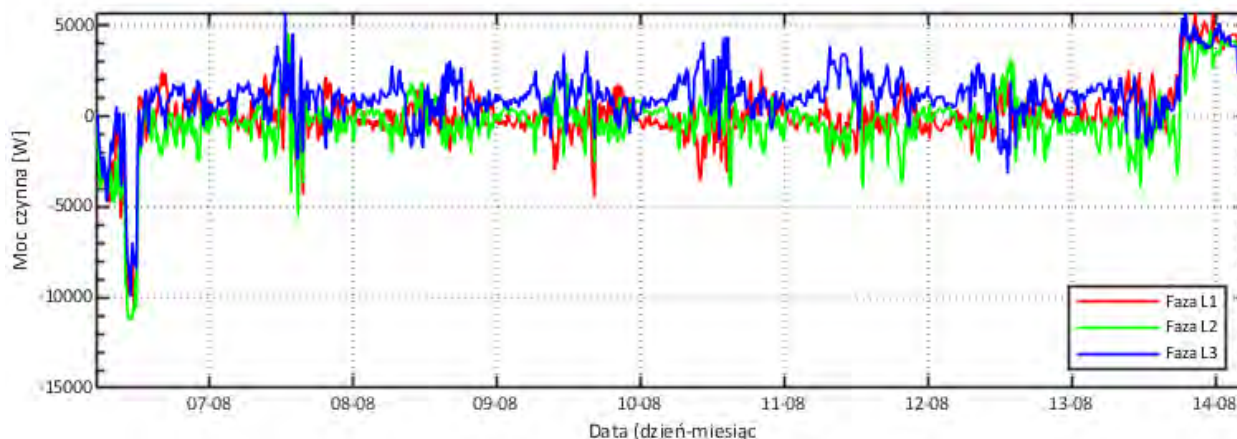
Gdzie:

- E_{CP} – energia czynna pobrana przez MEE (z sieci),
- E_{CO} – energia czynna oddana przez MEE (do sieci),
- P_{CP} – całkowita moc czynna w okresie pobierania energii,
- P_{CO} – całkowita moc czynna w okresie oddawania energii,
- P_{PW} – moc potrzeb własnych MEE w analizowanym okresie.

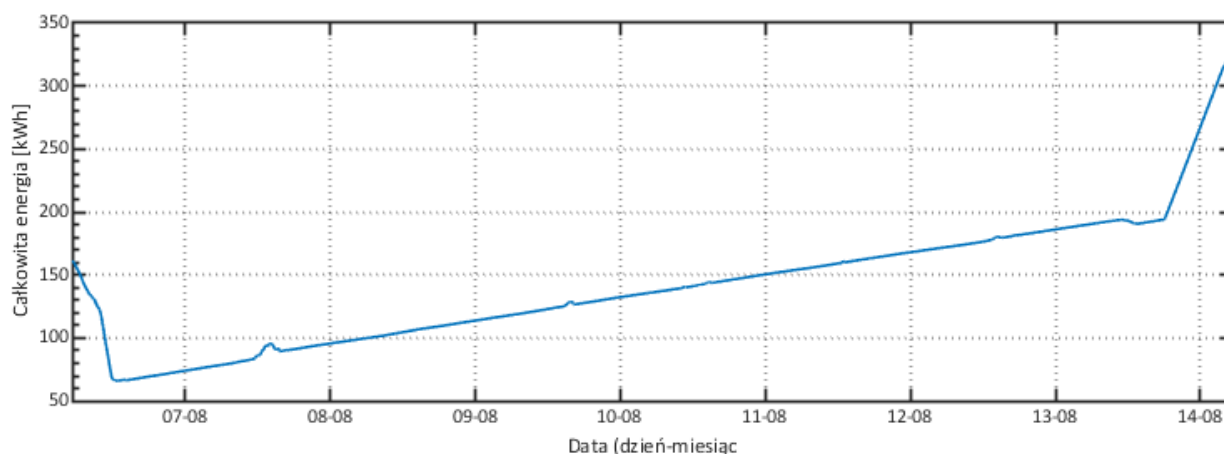
Uzyskane wartości mocy potrzeb własnych i średniej mocy czynnej w badanych okresach są ze sobą zbieżne. Różnice w wartościach mogą wynikać z trybu pracy urządzeń zainstalowanych w kontenerze MEE (w szczególności układu klimatyzacji) oraz z dokładności numerycznej związanej ze sposobem wyznaczania danej wartości.

5.2 Okres 3

Przebiegi fazowych mocy czynnych



Przebieg całkowitej energii czynnej



Energia czynna naliczana jest od chwili rozpoczęcia pomiaru 3.08.2023 godz. 9:40 i uwzględnia znak mocy (ładowanie i rozładowanie).

Okres 3 od 06.08.2022 godz. 05:20 do 14.08.2022 godz. 05:30	
$E_{\text{total}} = (325,2 - 161,52) \text{ kWh} = 163,68 \text{ kWh}$	
$P_{\text{PW}} = \frac{E_{\text{total}}}{t} = \frac{163,68 \text{ kWh}}{192,16 \text{ h}} = 0,852 \text{ kW}$	

Gdzie:

E_{total} – całkowita energia pobrana w okresie 3, uzyskana jako różnica zmierzonych energii całkowitych na końcu i początku okresu,

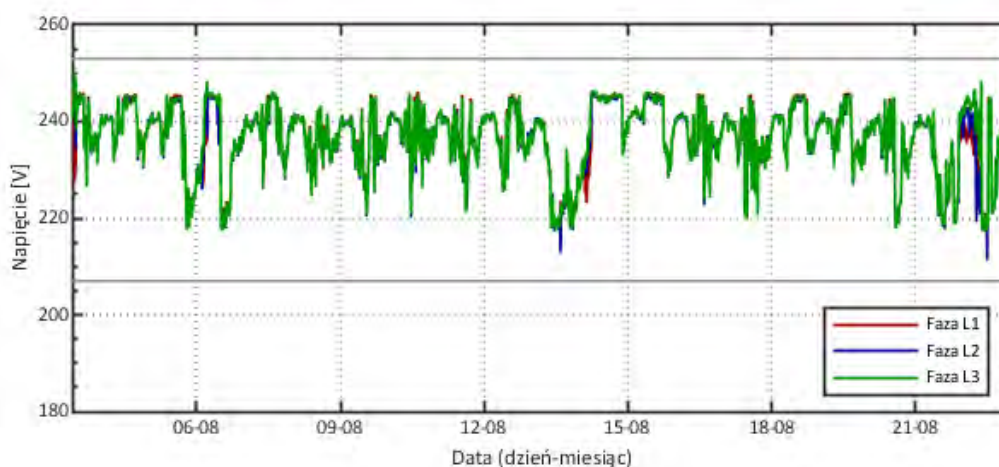
P_{PW} – moc potrzeb własnych wyznaczona jako wartość energii całkowitej podzielona przez czas.

6 Obserwacja wpływu zmian napięcia na parametry jakości energii elektrycznej w punkcie przyłączenia

W rozdziale zamieszczono analizę i ocenę wartości wskaźników jakości energii elektrycznej w punkcie przyłączenia MEE. W pierwszej kolejności przedstawiono uproszczoną dla wybranych wskaźników. W kolejnych podrozdziałach pokazano szczegółową oraz raporty dla dwóch okresów: 7-dniowego i 20-dniowego. Analizę i ocenę wykonano bazując na wymaganiach określonych w rozporządzeniu systemowym.

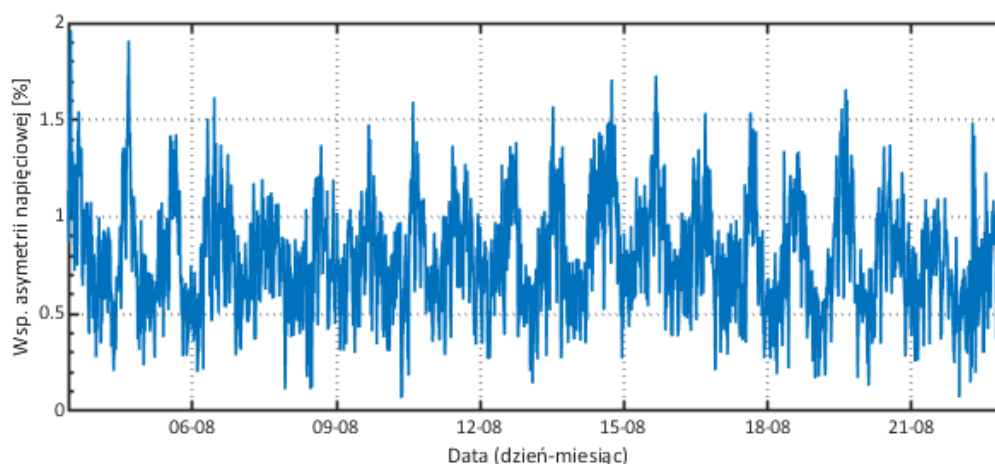
6.1 Ocena wskaźników jakości energii elektrycznej (jakości napięcia)

Przebieg wartości skutecznej napięć fazowych



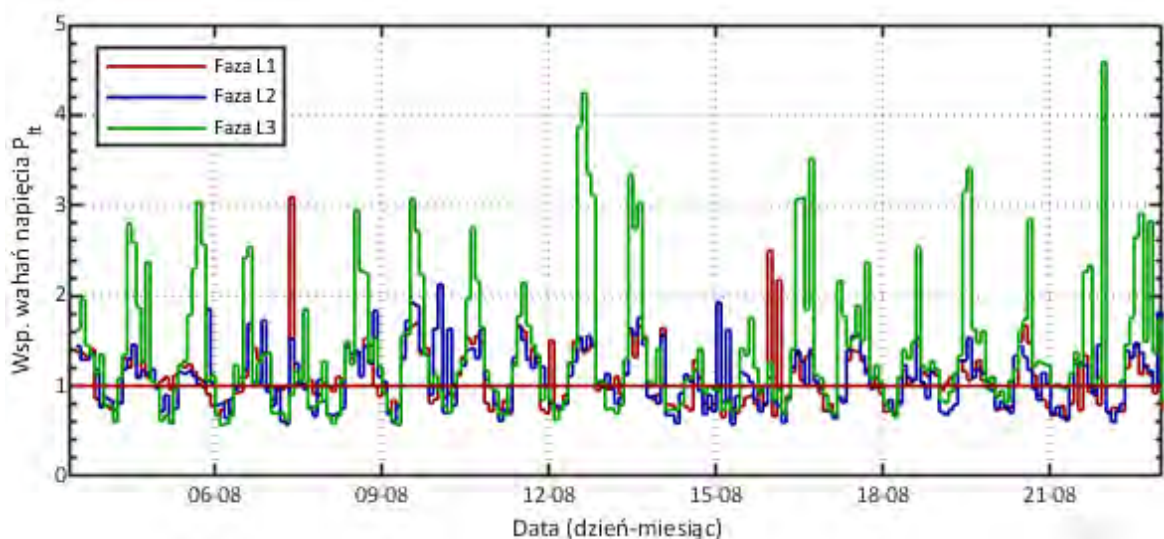
Wartości skuteczne zagregowane 10 min. nie przekraczają wartości dopuszczalnych $\pm 10\%U_n$.

Przebieg współczynnika asymetrii napięcia K_{2u}
(stosunek składowej symetrycznej przeciwnej do zgodnej)



Wartości współczynnika K_{2u} nie przekraczają dopuszczalnej wartości wynoszącej 2%.

Przebieg wartości wskaźnika długookresowego migotania światła P_{lt}
(miara wahań/fluktuacji napięcia)



Wartości współczynnika P_{lt} przekraczają dopuszczalną wartość wynoszącą 1,0.
Czas trwania przekroczenia jest dłuższy niż 5% okresu rejestracji (wg rozporządzenia 7 dni).

Podsumowanie statystyczne za cały analizowany okres

Od 3.08.2023 do 23.08.2023	Faza	Wartość minimalna	Percentyl 5%	Wartość średnia	Percentyl 95%	Wartość maksymalna
Wartość skuteczna napięcia [V]	L1	217.22	222.11	236.84	245.46	246.40
	L2	211.31	221.79	236.68	244.99	246.98
	L3	217.31	221.88	236.97	245.26	250.16
Współczynnik asymetrii napięcia [%]	U_2/U_1	0.07	0.37	0.78	1.28	1.96
Współczynnik uciążliwości migotania światła P_{lt}	L1	0.66	0.71	1.09	1.62	4.37
	L2	0.58	0.64	1.09	1.68	3.97
	L3	0.57	0.67	1.39	3.06	4.59

Podsumowanie statystyczne za tydzień nr 1 analizowanego okresu

od 4.08.2022 do 11.08.2022	Faza	Wartość minimalna	Percentyl 5%	Wartość średnia	Percentyl 95%	Wartość maksymalna
Wartość skuteczna napięcia [V]	L1	217.73	223.77	237.27	245.32	246.20
	L2	217.65	223.79	237.09	244.87	246.23
	L3	217.40	223.76	237.28	245.17	248.34
Współczynnik asymetrii napięcia [%]	U_2/U_1	0.07	0.36	0.76	1.24	1.91
Współczynnik uciążliwości migotania światła P_{lt}	L1	0.67	0.73	1.11	1.63	3.09
	L2	0.58	0.61	1.11	1.84	2.13
	L3	0.57	0.59	1.33	2.76	3.07

Podsumowanie statystyczne za tydzień nr 2 analizowanego okresu

Od 11.08.2022 do 18.08.2022	Faza	Wartość minimalna	Percentyl 5%	Wartość średnia	Percentyl 95%	Wartość maksymalna
Wartość skuteczna napięcia [V]	L1	217.64	222.26	237.00	245.59	246.40
	L2	212.75	221.94	236.81	245.21	245.94
	L3	217.69	222.41	236.98	245.46	246.37
Współczynnik asymetrii napięcia [%]	U_2/U_1	0.14	0.39	0.81	1.30	1.73
Współczynnik uciążliwości migotania światła P_{lt}	L1	0.66	0.70	1.07	1.64	2.50
	L2	0.58	0.63	1.06	1.62	1.92
	L3	0.63	0.70	1.38	3.34	4.24

Podsumowanie statystyczne za tydzień nr 3 analizowanego okresu

Od 18.08.2022 do 23.08.2022	Faza	Wartość minimalna	Percentyl 5%	Wartość średnia	Percentyl 95%	Wartość maksymalna
Wartość skuteczna napięcia [V]	L1	217.22	220.92	235.95	245.19	246.00
	L2	217.43	220.72	235.85	244.67	245.79
	L3	217.34	220.91	236.42	244.91	248.42
Współczynnik asymetrii napięcia [%]	U_2/U_1	0.07	0.31	0.72	1.21	1.66
Współczynnik uciążliwości migotania światła P_{lt}	L1	0.66	0.69	1.05	1.48	4.37
	L2	0.60	0.67	1.08	1.53	3.97
	L3	0.66	0.81	1.45	3.03	4.59

W analizowanym okresie znacznie przekroczone są poziomy dopuszczalne wskaźnika długookresowego migotania światła P_{lt} , który jest też miarą wahań/fluktuacji napięcia. W fazie L3 zarejestrowano wyższe poziomowy P_{lt} w porównaniu do pozostałych faz.

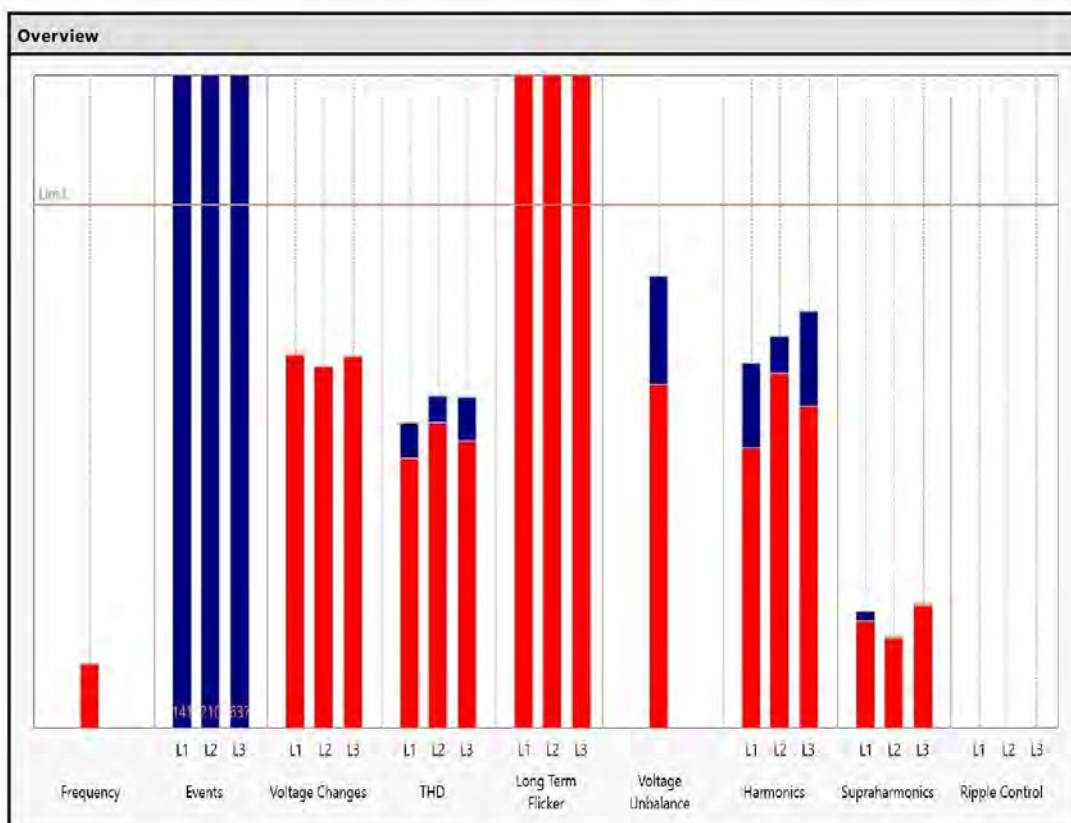
6.2 Analiza wskaźników jakości energii elektrycznej (jakości napięcia) w punkcie przyłączenia MEE

W podrozdziale przedstawiono dwa raporty zawierające szczegółową analizę wskaźników jakości energii elektrycznej w punkcie przyłączenia MEE. Pierwszy raport dotyczy 7-dniowego okresu pomiarów i rejestracji: 13-20.08.2022, a drugi całego analizowanego okresu 03-23.08.2022.

6.2.1 Raport 1

 AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STĄSZICA W KRAKOWIE	EN50160 / IEC61000-2-2	02.09.2022 Page 1/10
--	-------------------------------	-------------------------

Miejsce pomiarów: Wykonawca:	Ochotnica - Magazyn EE Test pracy SEE z MEE	Zespół Jakości Energii Elektrycznej AGH
Osoba do kontaktów:	dr inż. Andrzej Firlit	Opis1: Pomiar prądów MEE
Telefon:	603-877-809	Opis2: ---
Email:	afirlit@agh.edu.pl	SW-Version: 6.1.2.1
System:	4-wire system	Interval: 600 s
Nominal Voltage PE/PP (primary):	230.00 V / 398.37 V	Ripple-control Frequency: 75 Hz
Frequency:	50 Hz	End: 20.08.2022 00:00:00
Start:	13.08.2022 00:00:00	Number of Intervals: 1008
Duration:	7d 0h 0m 0s	Serial-No.: 1922-204
PQ-Box:	PQ-Box 300: HF + RC + Wifi	DSP-Version: 4.074
Firmware:	4.224	



 AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STĄSZICA W KRAKOWIE AGH	EN50160 / IEC61000-2-2	02.09.2022 Page 2/10
---	-------------------------------	-------------------------

Miejsce pomiarów: Wykonawca:	Ochotnica - Magazyn EE Test pracy SEE z MEE	Zespół Jakości Energii Elektrycznej AGH
Osoba do kontaktów:	dr inż. Andrzej Firlit	Opis1: Pomiar prądów MEE
Telefon:	603-877-809	Opis2: ---
Email:	afirlit@agh.edu.pl	SW-Version: 6.1.2.1
System:	4-wire system	
Nominal Voltage PE/PP (primary):	230.00 V / 398.37 V	Interval: 600 s
Frequency:	50 Hz	Ripple-control Frequency: 75 Hz
Start:	13.08.2022 00:00:00	End: 20.08.2022 00:00:00
Duration:	7d 0h 0m 0s	Number of Intervals: 1008
PQ-Box:	PQ-Box 300: HF +RC +Wifi	Serial-No.: 1922-204
Firmware:	4.224	DSP-Version: 4.074

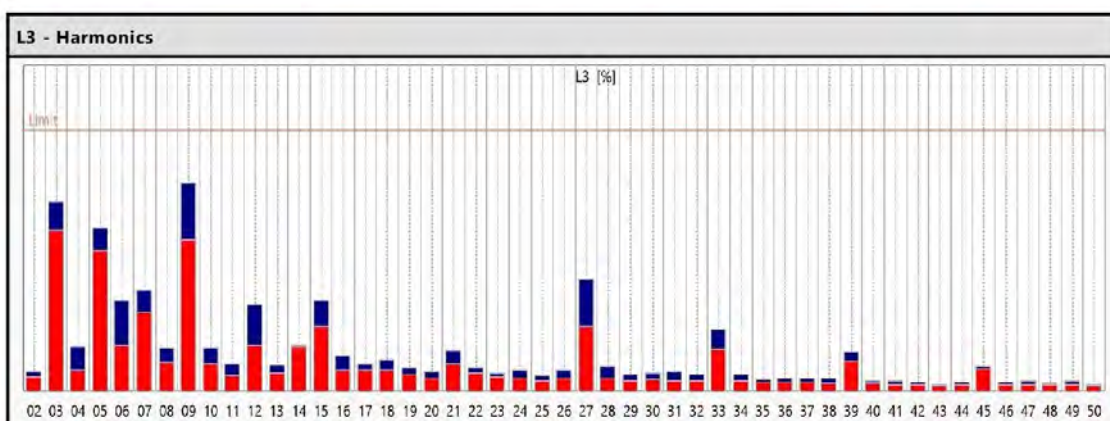
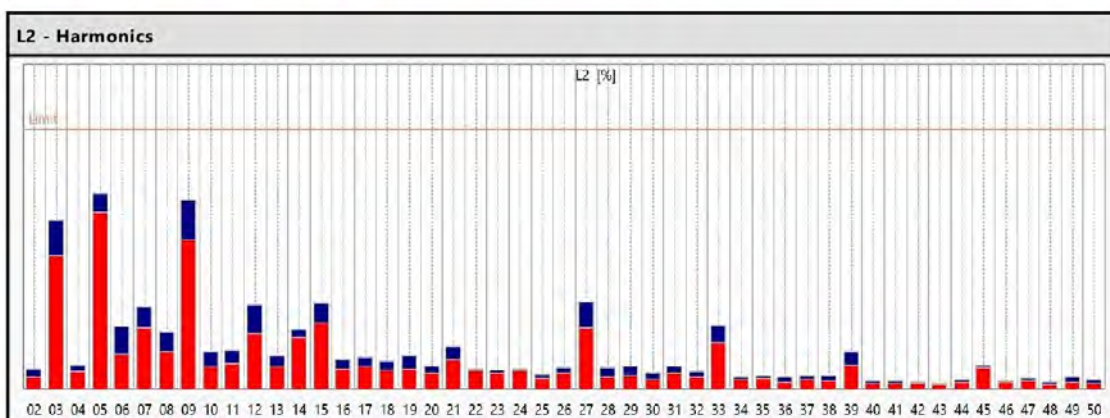
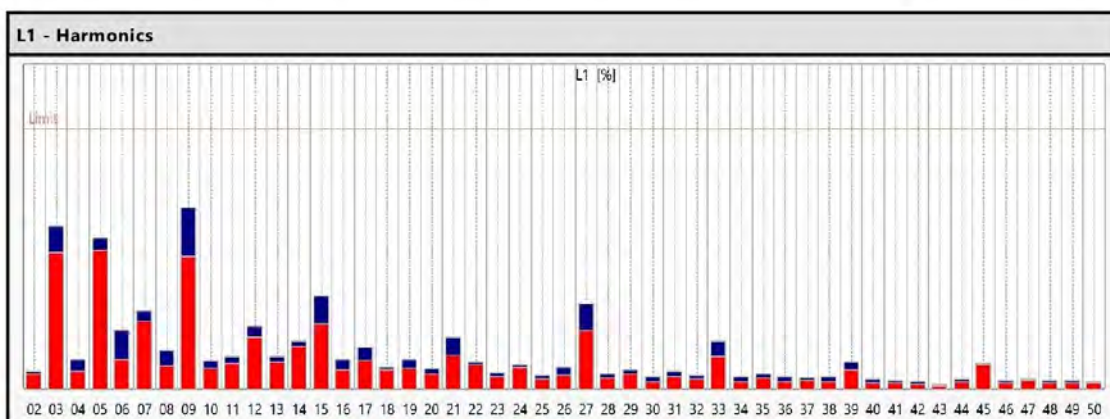
Standard details							
	Maximum value	99.50%	0.50%	Minimum value	Limiting value Max	Limiting value Min	number of intervals
Frequency:	50.07 Hz	50.04 Hz	49.94 Hz	49.87 Hz	50.50 Hz	49.50 Hz	60,480
	Maximum value	95.00%	5.00%	Minimum value	Limiting value Max	Limiting value Min	number of intervals
Voltage Changes L1:	246.40 V	245.66 V	222.41 V	217.64 V	253.00 V	207.00 V	1,008
Voltage Changes L2:	245.94 V	245.23 V	222.06 V	212.75 V	253.00 V	207.00 V	1,008
Voltage Changes L3:	246.37 V	245.47 V	222.53 V	217.69 V	253.00 V	207.00 V	1,008
	Maximum value	95.00%			Limiting value Max		number of intervals
Voltage Unbalance:	1.73	1.32			2.00		1,008
Flicker L1:	2.50	1.55			1.00		84
Flicker L2:	1.92	1.56			1.00		84
Flicker L3:	3.52	3.07			1.00		84
	Maximum value	99.00%			Limiting value		number
Ripple Control L1:	0.00	0.00			9.00		0
Ripple Control L2:	0.00	0.00			9.00		0
Ripple Control L3:	0.00	0.00			9.00		0

LV network				continued to page 3
Measurement LN	Threshold 95.00% (+10%;-10%)		Threshold 100.00% (+10%;-15%)	
	in tolerance	out of tolerance	in tolerance	out of tolerance
Voltage Changes L1:	100.00%	0.00%	100.00%	0.00%
Voltage Changes L2:	100.00%	0.00%	100.00%	0.00%
Voltage Changes L3:	100.00%	0.00%	100.00%	0.00%

EN50160 / IEC61000-2-2	Page 2/10
------------------------	-----------

 AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STĄSZICA W KRAKOWIE	EN50160 / IEC61000-2-2	02.09.2022 Page 3/10
--	-------------------------------	-------------------------

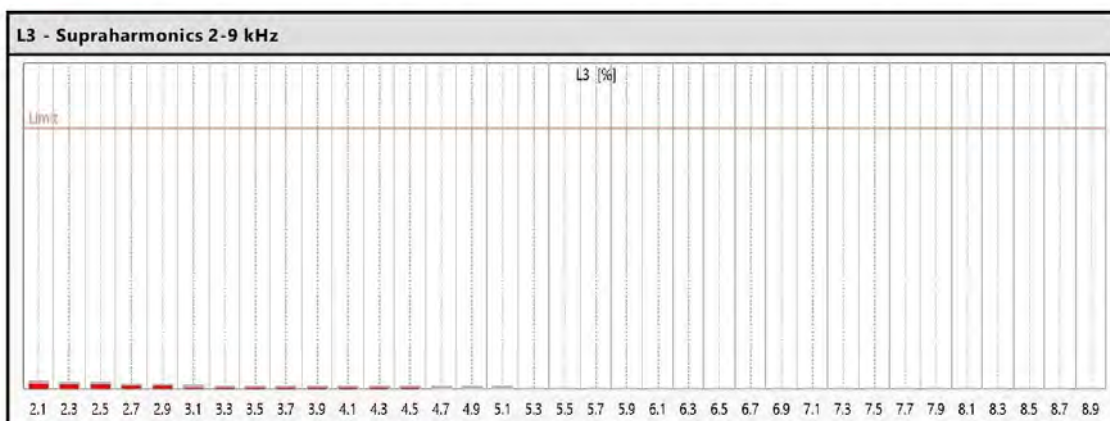
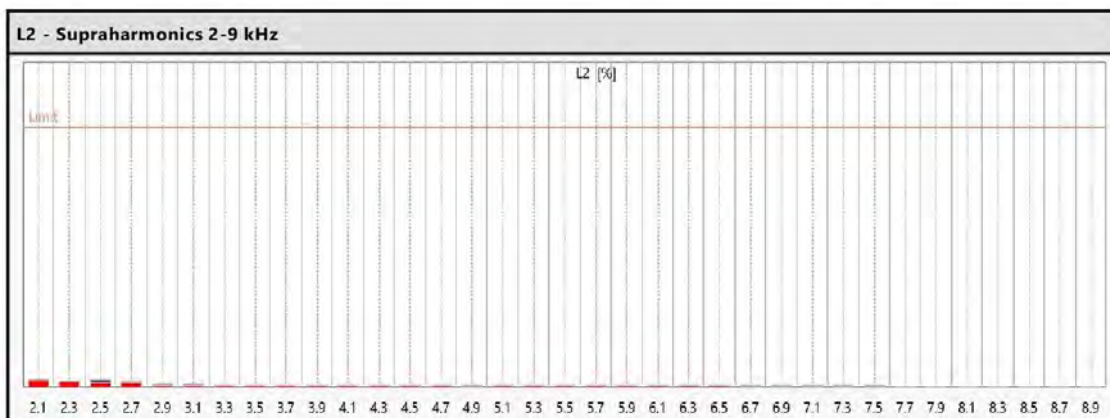
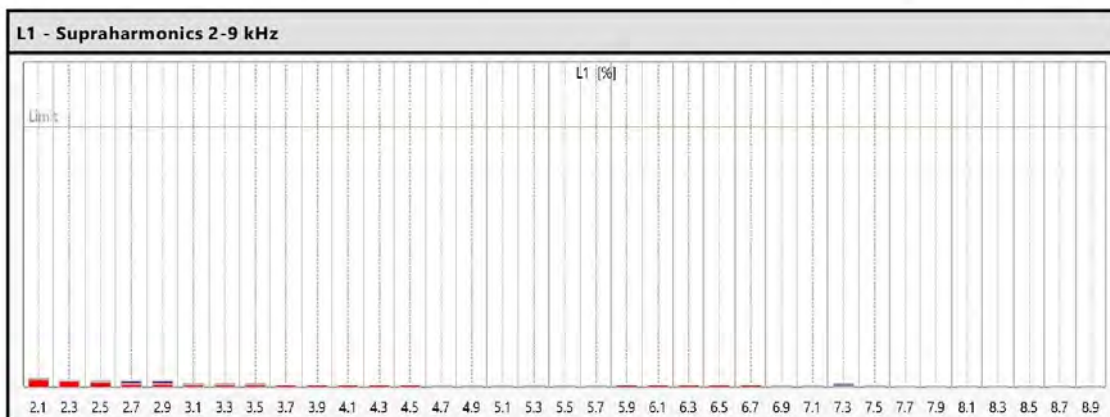
TanPhi						
L1	-0.0857	L2	0.3072	L3	-0.4251	Sum total -0.1125



EN50160 / IEC61000-2-2	Page 3/10
------------------------	-----------

 AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE	EN50160 / IEC61000-2-2	02.09.2022 Page 4/10
--	-------------------------------	-------------------------

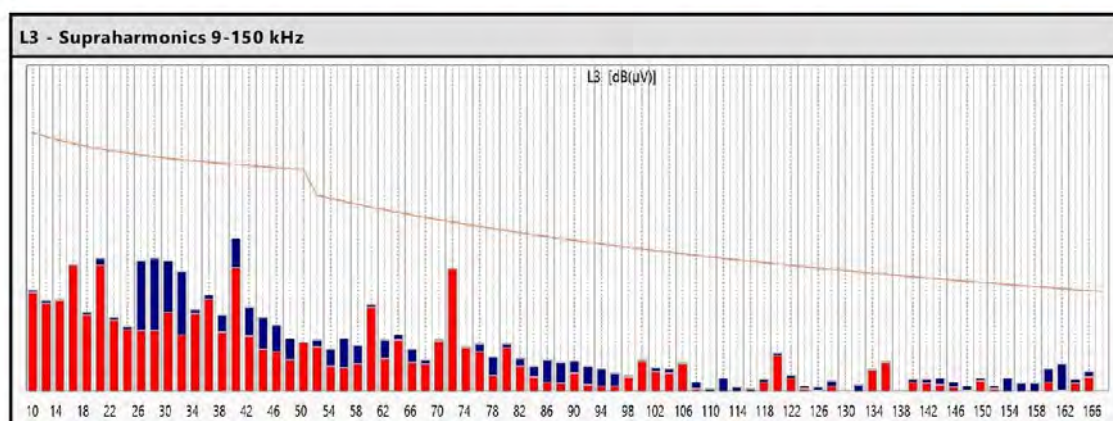
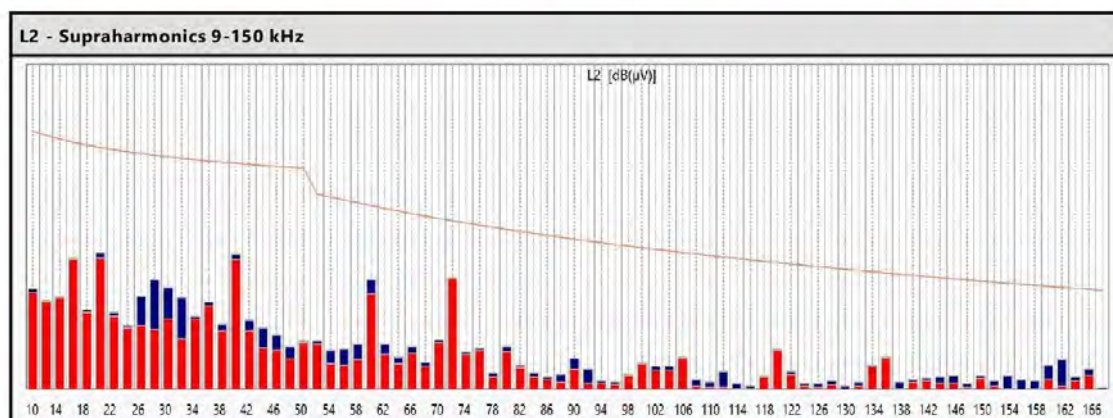
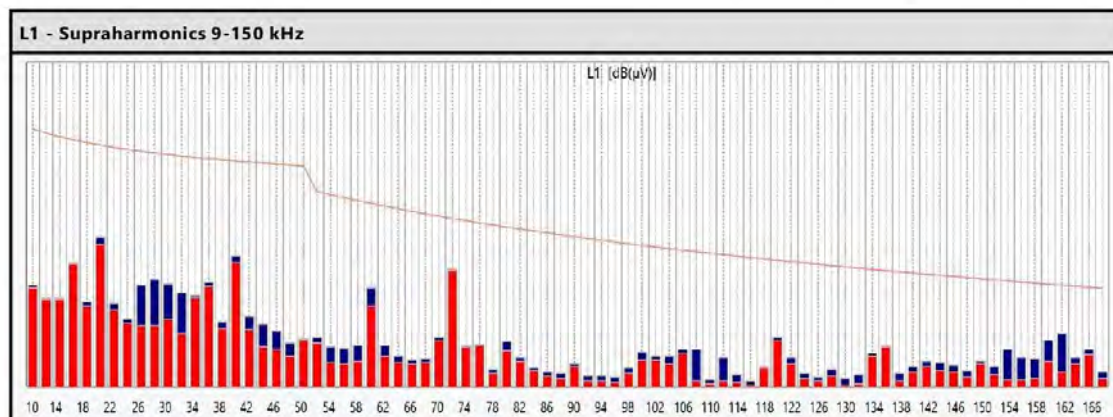
TanPhi						
L1	-0.0857	L2	0.3072	L3	-0.4251	Sum total -0.1125



EN50160 / IEC61000-2-2	Page 4/10
------------------------	-----------

 AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE	EN50160 / IEC61000-2-2	02.09.2022 Page 5/10
--	-------------------------------	---------------------------------

TanPhi						
L1	-0.0857	L2	0.3072	L3	-0.4251	Sum total -0.1125



EN50160 / IEC61000-2-2	Page 5/10
------------------------	-----------

 AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STĄSZICA W KRAKOWIE	EN50160 / IEC61000-2-2	02.09.2022 Page 6/10
--	-------------------------------	-------------------------

Harmonics							
	Limit value [%]	L1 - 95.00% [%]	L1 - Max [%]	L2 - 95.00% [%]	L2 - Max [%]	L3 - 95.00% [%]	L3 - Max [%]
THD	8.00	4.13	4.67	4.67	5.08	4.39	5.06
02	2.00	0.12	0.14	0.10	0.16	0.11	0.15
03	5.00	2.63	3.13	2.58	3.26	3.08	3.64
04	1.00	0.07	0.11	0.07	0.10	0.08	0.17
05	6.00	3.21	3.47	4.08	4.49	3.25	3.75
06	0.50	0.06	0.11	0.07	0.12	0.09	0.17
07	5.00	1.31	1.52	1.18	1.59	1.52	1.93
08	0.50	0.05	0.08	0.07	0.11	0.06	0.08
09	1.50	0.76	1.05	0.86	1.09	0.87	1.20
10	0.50	0.04	0.06	0.04	0.07	0.05	0.08
11	3.50	0.35	0.45	0.35	0.53	0.21	0.37
12	0.50	0.10	0.12	0.11	0.16	0.09	0.17
13	3.00	0.32	0.38	0.27	0.39	0.22	0.30
14	0.50	0.08	0.09	0.10	0.12	0.09	0.09
15	1.00	0.25	0.36	0.26	0.33	0.25	0.35
16	0.50	0.04	0.06	0.04	0.06	0.04	0.07
17	2.00	0.22	0.33	0.18	0.25	0.16	0.21
18	0.50	0.04	0.04	0.04	0.06	0.04	0.06
19	1.50	0.12	0.17	0.12	0.20	0.10	0.14
20	0.50	0.03	0.04	0.03	0.04	0.02	0.04
21	0.75	0.10	0.15	0.09	0.13	0.08	0.12
22	0.50	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.04
23	1.50	0.08	0.10	0.10	0.12	0.08	0.11
24	0.50	0.04	0.05	0.04	0.04	0.03	0.04
25	1.50	0.06	0.08	0.07	0.09	0.06	0.09
26	0.35	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03
27	0.20	0.05	0.07	0.05	0.07	0.05	0.09
28	0.34	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03
29	1.06	0.07	0.08	0.06	0.10	0.04	0.07
30	0.33	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02
31	0.97	0.05	0.07	0.06	0.09	0.04	0.07
32	0.33	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02
33	0.20	0.03	0.04	0.04	0.05	0.03	0.05
34	0.32	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02
35	0.83	0.04	0.05	0.04	0.05	0.03	0.04
36	0.32	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02
37	0.77	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04
38	0.32	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02
39	0.20	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03
40	0.31	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
41	0.67	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
42	0.31	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
43	0.63	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
44	0.31	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
45	0.20	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
46	0.30	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
47	0.55	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02
48	0.30	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
49	0.52	0.01	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02
50	0.30	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

EN50160 / IEC61000-2-2	Page 6/10
------------------------	-----------

 AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STĄSZICA W KRAKOWIE	EN50160 / IEC61000-2-2	02.09.2022 Page 7/10
--	-------------------------------	-------------------------

Supraharmonics 2-9 kHz							
	Limit value [%]	L1 - 95.00% [%]	L1 - Max [%]	L2 - 95.00% [%]	L2 - Max [%]	L3 - 95.00% [%]	L3 - Max [%]
2.1	1.40	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	0.04
2.3	1.40	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03
2.5	1.40	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03
2.7	1.40	0.02	0.03	0.03	0.04	0.02	0.03
2.9	1.40	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03
3.1	1.37	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02
3.3	1.31	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
3.5	1.26	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
3.7	1.21	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
3.9	1.16	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
4.1	1.13	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
4.3	1.09	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
4.5	1.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
4.7	1.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
4.9	1.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
5.1	0.97	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
5.3	0.94	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
5.5	0.92	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
5.7	0.89	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
5.9	0.87	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
6.1	0.85	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
6.3	0.83	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
6.5	0.82	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
6.7	0.80	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
6.9	0.79	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
7.1	0.77	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
7.3	0.75	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
7.5	0.74	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
7.7	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7.9	0.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8.1	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8.3	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8.5	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8.7	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8.9	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

EN50160 / IEC61000-2-2	Page 7/10
------------------------	-----------

 AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STĄSZICA W KRAKOWIE AGH	EN50160 / IEC61000-2-2	02.09.2022 Page 8/10
--	-------------------------------	-------------------------

Supraharmonics 9-150 kHz							
	Limit value [dB(μV)]	L1 - 95.00% [dB(μV)]	L1 - Max [dB(μV)]	L2 - 95.00% [dB(μV)]	L2 - Max [dB(μV)]	L3 - 95.00% [dB(μV)]	L3 - Max [dB(μV)]
10.0	128.844	86.488	87.212	85.961	86.927	86.211	87.041
12.0	127.708	83.401	83.913	83.439	83.767	83.468	84.044
14.0	126.748	83.597	83.951	84.560	84.890	84.188	84.443
16.0	125.916	93.101	93.263	94.842	94.992	93.559	93.714
18.0	125.182	81.573	82.728	80.748	81.502	80.438	80.942
20.0	124.526	98.136	100.044	95.115	96.591	93.596	95.474
22.0	123.932	80.605	82.263	79.585	80.554	79.037	79.736
24.0	123.390	77.001	78.139	76.628	77.164	76.307	77.168
26.0	122.891	76.542	87.308	77.108	84.985	76.141	94.611
28.0	122.430	76.453	88.737	76.180	89.461	76.247	95.445
30.0	122.000	78.361	87.625	78.890	87.363	80.870	94.565
32.0	121.621	74.438	85.328	73.699	84.632	75.168	92.012
34.0	121.265	83.859	84.560	78.939	79.715	80.812	81.764
36.0	120.929	87.068	88.020	82.486	83.510	84.561	85.534
38.0	120.612	75.601	77.373	75.859	77.594	75.731	80.209
40.0	120.310	93.343	95.055	94.584	96.106	92.972	100.520
42.0	120.024	75.571	79.058	75.772	78.707	74.756	82.491
44.0	119.751	71.007	76.931	71.289	76.609	71.103	79.536
46.0	119.490	70.105	74.911	70.459	74.641	70.339	77.392
48.0	119.240	68.445	71.745	68.443	71.428	68.345	74.065
50.0	119.000	72.727	72.981	72.685	72.956	72.786	73.122
52.0	112.143	72.049	73.357	72.182	73.135	72.033	73.541
54.0	111.319	66.636	70.909	66.869	70.630	66.531	71.279
56.0	110.524	66.281	70.501	66.698	70.730	66.393	74.111
58.0	109.758	67.105	71.348	68.179	72.160	67.392	72.248
60.0	109.017	81.853	86.667	85.520	89.399	82.492	83.061
62.0	108.301	68.506	71.281	69.358	72.367	68.627	73.779
64.0	107.607	66.602	68.369	67.051	68.754	73.740	75.129
66.0	106.935	66.277	67.409	69.779	71.441	67.567	71.137
68.0	106.283	66.696	67.796	66.225	67.365	67.215	68.370
70.0	105.650	72.548	73.220	72.687	73.308	73.224	73.690
72.0	105.034	91.246	91.419	89.756	89.939	92.457	92.609
74.0	104.436	70.812	71.057	69.601	70.049	71.670	72.057
76.0	103.853	71.348	71.614	70.517	71.203	70.352	72.582
78.0	103.286	63.974	64.997	63.628	64.530	64.262	69.249
80.0	102.732	69.976	72.170	70.056	71.731	71.671	72.683
82.0	102.193	66.942	67.974	65.890	66.789	66.604	68.779
84.0	101.667	64.384	65.239	63.636	64.474	63.826	66.647
86.0	101.153	63.053	64.280	62.635	63.669	62.552	68.415
88.0	100.650	62.366	63.714	62.186	64.032	62.049	67.702
90.0	100.159	65.752	66.337	65.462	68.283	64.838	68.049
92.0	99.679	61.850	63.188	61.758	65.738	61.602	66.619
94.0	99.209	61.660	62.978	61.592	62.527	61.384	66.078
96.0	98.749	61.550	62.852	61.471	62.245	61.269	64.773
98.0	98.299	63.689	65.131	63.781	64.330	63.683	64.357
100.0	97.858	67.221	69.324	66.924	67.469	68.084	68.369
102.0	97.425	67.220	68.405	65.418	66.277	65.279	66.236
104.0	97.001	66.321	68.339	65.332	66.209	64.937	65.979
106.0	96.585	69.252	70.017	68.313	68.686	67.233	67.565
108.0	96.176	61.684	69.995	60.997	62.789	60.580	62.406

EN50160 / IEC61000-2-2	Page 8/10
------------------------	-----------

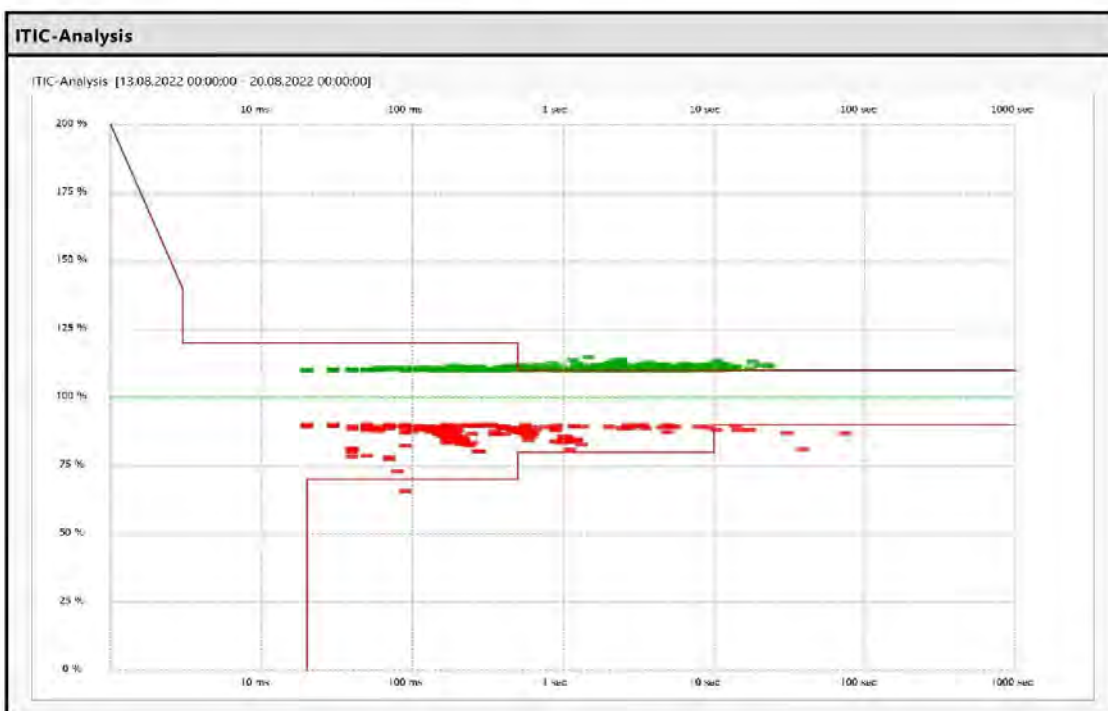
 AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STĄSZICA W KRAKOWIE	EN50160 / IEC61000-2-2	02.09.2022 Page 9/10
--	-------------------------------	-------------------------

Supraharmonics 9-150 kHz							
	Limit value [dB(μV)]	L1 - 95.00% [dB(μV)]	L1 - Max [dB(μV)]	L2 - 95.00% [dB(μV)]	L2 - Max [dB(μV)]	L3 - 95.00% [dB(μV)]	L3 - Max [%]
110.0	95.776	60.960	62.085	60.553	62.077	60.079	60.688
112.0	95.382	61.630	68.033	60.745	64.858	60.131	63.574
114.0	94.995	61.304	63.480	60.497	61.788	59.914	61.005
116.0	94.615	60.643	61.903	60.279	60.979	59.810	60.542
118.0	94.242	65.169	65.713	63.660	64.006	62.540	63.065
120.0	93.875	72.696	73.193	70.492	70.929	69.631	70.073
122.0	93.514	66.288	67.896	64.084	65.058	63.589	64.155
124.0	93.158	62.278	63.929	60.999	61.875	60.681	61.542
126.0	92.809	61.719	62.802	60.687	61.577	60.268	60.979
128.0	92.465	63.253	64.778	61.402	62.370	61.534	62.690
130.0	92.126	60.737	62.408	60.049	61.068	59.555	60.231
132.0	91.793	61.114	63.449	60.932	62.066	59.603	61.648
134.0	91.464	68.444	69.070	66.248	66.613	65.451	65.901
136.0	91.140	70.786	71.169	68.296	68.745	67.641	67.917
138.0	90.822	61.626	63.962	60.277	62.050	59.643	60.354
140.0	90.507	64.370	65.474	62.241	62.932	62.345	63.010
142.0	90.197	65.604	67.110	62.377	63.251	62.111	63.324
144.0	89.892	64.680	66.768	61.840	63.542	61.677	63.441
146.0	89.590	64.163	65.868	61.841	63.978	60.901	62.399
148.0	89.293	62.927	64.450	60.648	61.720	60.357	61.357
150.0	89.000	66.182	67.173	63.253	63.835	62.977	63.589
152.0	88.711	63.565	65.774	61.102	62.341	60.641	61.330
154.0	88.425	62.014	70.289	60.185	63.785	59.751	63.447
156.0	88.143	62.065	67.911	60.089	62.790	59.663	62.231
158.0	87.865	62.545	67.740	60.222	62.607	59.794	62.133
160.0	87.590	66.964	72.522	62.747	66.613	62.364	66.082
162.0	87.319	64.034	74.377	60.920	67.911	60.459	67.402
164.0	87.051	66.407	67.931	62.294	63.435	62.098	63.265
166.0	86.786	68.597	70.268	63.820	65.528	63.787	65.388
168.0	86.524	62.615	64.176	59.947	60.812	59.537	60.422

EN50160 / IEC61000-2-2	Page 9/10
------------------------	-----------

 AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STĄSZICA W KRAKOWIE	EN50160 / IEC61000-2-2	02.09.20 22 Page 10/10
--	-------------------------------	---------------------------------

PQ-events			
Frequency deviation:	0	Interruption (aggregated):	0
Transient overvoltage:	0	Rapid voltage change (aggregated):	0
Swell (aggregated):	703	Ripple control detection:	0
Dip (aggregated):	226		



Event Matrix					
Residual voltage U [%]	Duration t [ms]				
	10 ≤ t < 200	200 ≤ t < 500	500 ≤ t < 1000	1000 ≤ t < 5000	5000 ≤ t < 60000
90 > u ≥ 80	136	38	15	19	11
80 > u ≥ 70	5	0	0	0	0
70 > u ≥ 40	1	0	0	0	0
40 > u ≥ 5	0	0	0	0	0
5 > u	0	0	0	0	0

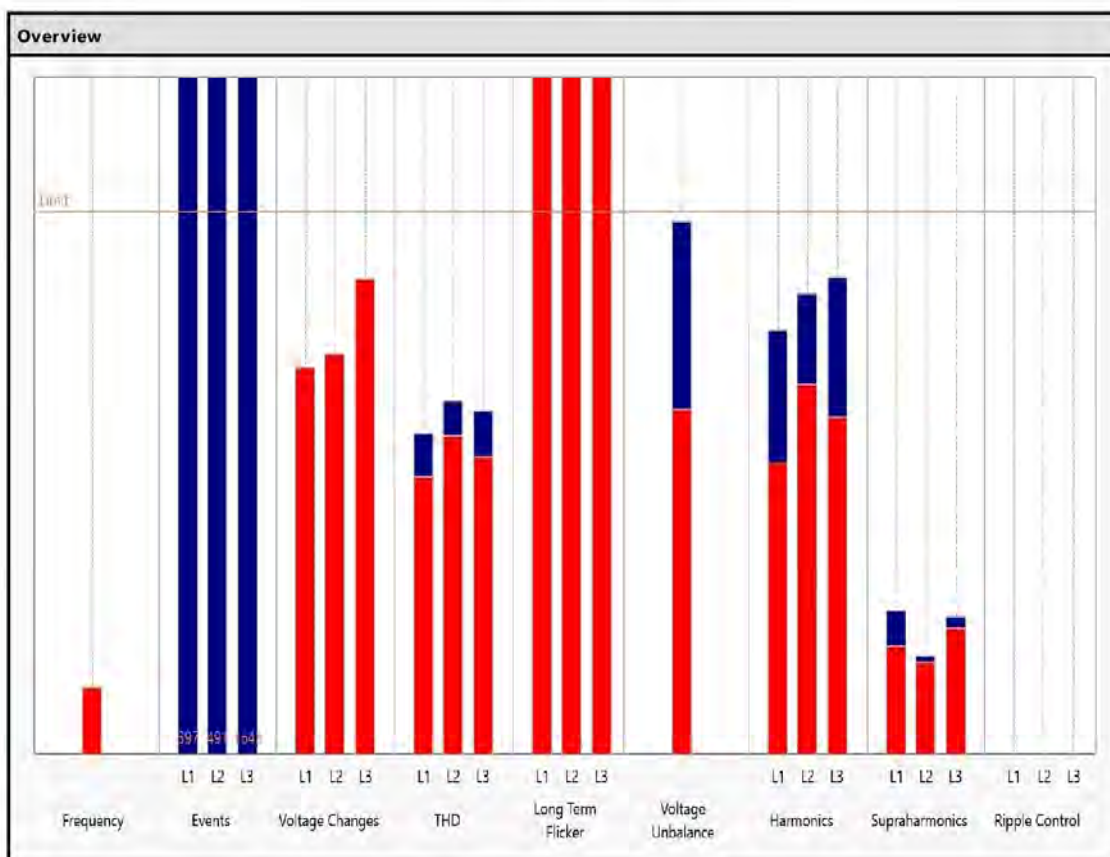
Swell voltage U [%]	Duration t [ms]		
	10 ≤ t < 500	500 ≤ t < 5000	5000 ≤ t < 60000
u ≥ 120	0	0	0
120 > u ≥ 110	288	236	179

EN50160 / IEC61000-2-2	Page 10/10
------------------------	------------

6.2.2 Raport 2

 AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE AGH	EN50160 / IEC61000-2-2	02.09.2022 Page 1/10
---	-------------------------------	-------------------------

Miejsce pomiarów: Wykonawca:	Ochotnica - Magazyn EE Test pracy SEE z MEE	Zespół Jakości Energii Elektrycznej AGH
Osoba do kontaktów:	dr inż. Andrzej Firlit	Opis1: Pomiar prądów MEE
Telefon:	603-877-809	Opis2: ---
Email:	afirlit@agh.edu.pl	SW-Version: 6.1.2.1
System:	4-wire system	Interval: 600 s
Nominal Voltage PE/PP (primary):	230.00 V / 398.37 V	Ripple-control Frequency: 75 Hz
Frequency:	50 Hz	Start: 03.08.2022 09:30:00
Start:	03.08.2022 09:30:00	End: 23.08.2022 08:20:00
Duration:	19d 22h 50m 0s	Number of Intervals: 2873
PQ-Box:	PQ-Box 300: HF + RC + Wifi	Serial-No.: 1922-204
Firmware:	4.224	DSP-Version: 4.074



EN50160 / IEC61000-2-2	Page 1/10
------------------------	-----------

 AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STĄSZICA W KRAKOWIE AGH	EN50160 / IEC61000-2-2	02.09.2022 Page 2/10
---	-------------------------------	-------------------------

Miejsce pomiarów: Wykonawca:	Ochotnica - Magazyn EE Test pracy SEE z MEE	Zespół Jakości Energii Elektrycznej AGH
Osoba do kontaktów:	dr inż. Andrzej Firlit	Opis1: Pomiar prądów MEE
Telefon:	603-877-809	Opis2: ---
Email:	afirlit@agh.edu.pl	SW-Version: 6.1.2.1
System:	4-wire system	
Nominal Voltage PE/PP (primary):	230.00 V / 398.37 V	Interval: 600 s
Frequency:	50 Hz	Ripple-control Frequency: 75 Hz
Start:	03.08.2022 09:30:00	End: 23.08.2022 08:20:00
Duration:	19d 22h 50m 0s	Number of Intervals: 2873
PQ-Box:	PQ-Box 300: HF +RC +Wifi	Serial-No.: 1922-204
Firmware:	4.224	DSP-Version: 4.074

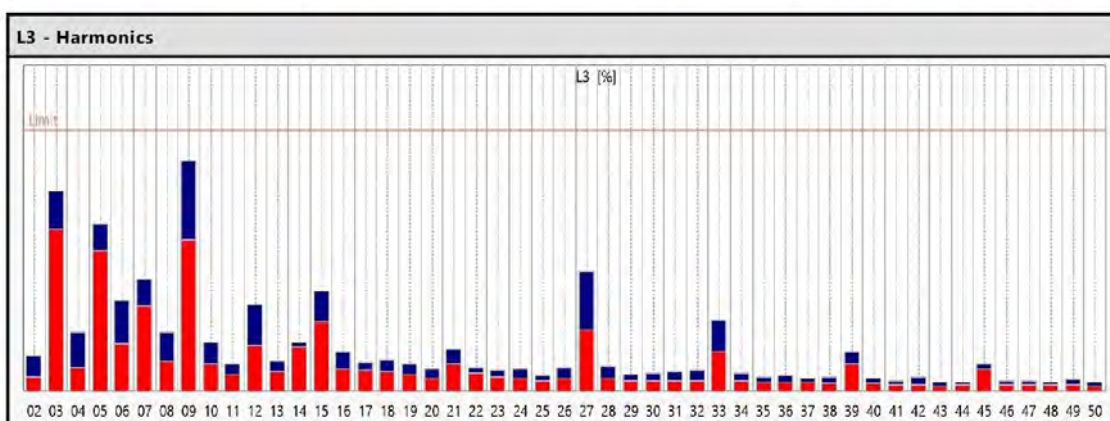
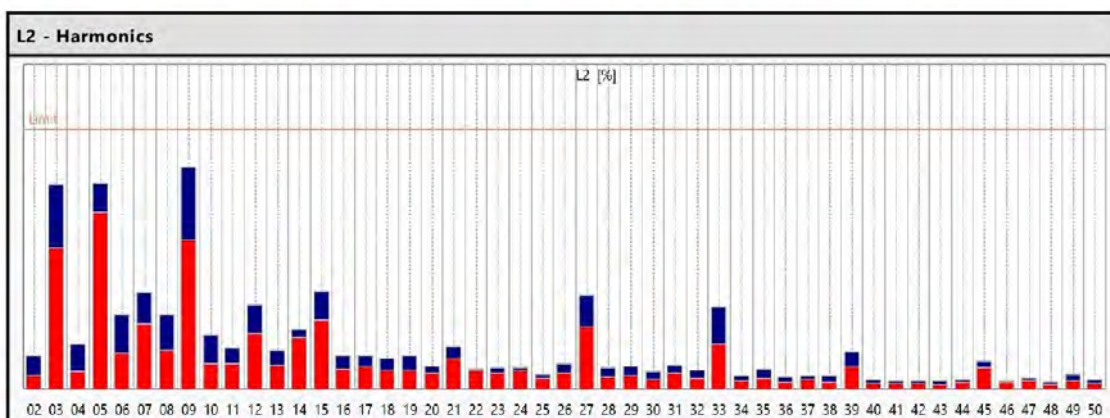
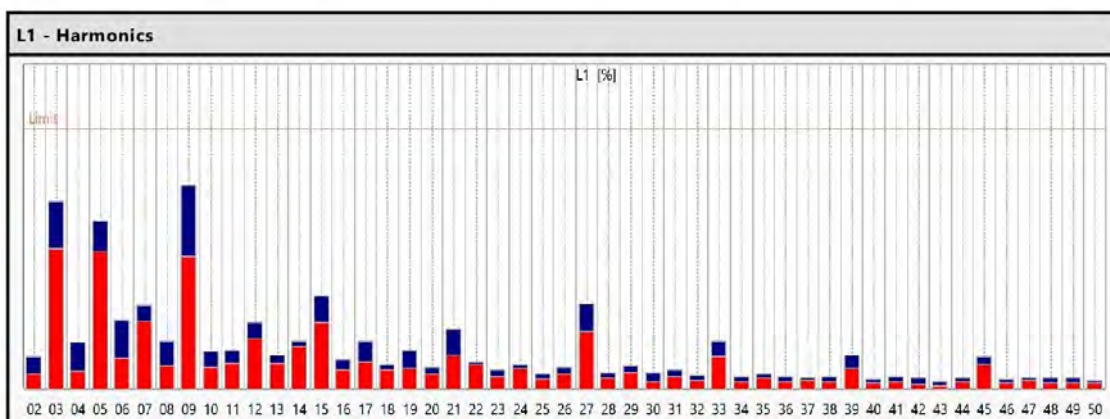
Standard details							
	Maximum value	99.50%	0.50%	Minimum value	Limiting value Max	Limiting value Min	number of intervals
Frequency:	50.09 Hz	50.05 Hz	49.94 Hz	49.87 Hz	50.50 Hz	49.50 Hz	172.380
	Maximum value	95.00%	5.00%	Minimum value	Limiting value Max	Limiting value Min	number of intervals
Voltage Changes L1:	246.40 V	245.45 V	222.12 V	217.22 V	253.00 V	207.00 V	2,873
Voltage Changes L2:	246.98 V	244.98 V	221.82 V	211.31 V	253.00 V	207.00 V	2,873
Voltage Changes L3:	250.16 V	245.25 V	221.95 V	217.31 V	253.00 V	207.00 V	2,873
	Maximum value	95.00%			Limiting value Max		number of intervals
Voltage Unbalance:	1.96	1.27			2.00		2,873
Flicker L1:	4.37	1.63			1.00		239
Flicker L2:	3.97	1.65			1.00		239
Flicker L3:	4.59	3.04			1.00		239
	Maximum value	99.00%			Limiting value		number
Ripple Control L1:	0.00	0.00			9.00		0
Ripple Control L2:	0.00	0.00			9.00		0
Ripple Control L3:	0.00	0.00			9.00		0

LV network				
Measurement LN	Threshold 95.00% (+10%;-10%)		Threshold 100.00% (+10%;-15%)	
	in tolerance	out of tolerance	in tolerance	out of tolerance
Voltage Changes L1:	100.00%	0.00%	100.00%	0.00%
Voltage Changes L2:	100.00%	0.00%	100.00%	0.00%
Voltage Changes L3:	100.00%	0.00%	100.00%	0.00%

EN50160 / IEC61000-2-2	Page 2/10
------------------------	-----------

 AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STĄSZICA W KRAKOWIE	EN50160 / IEC61000-2-2	02.09.2022 Page 3/10
--	-------------------------------	-------------------------

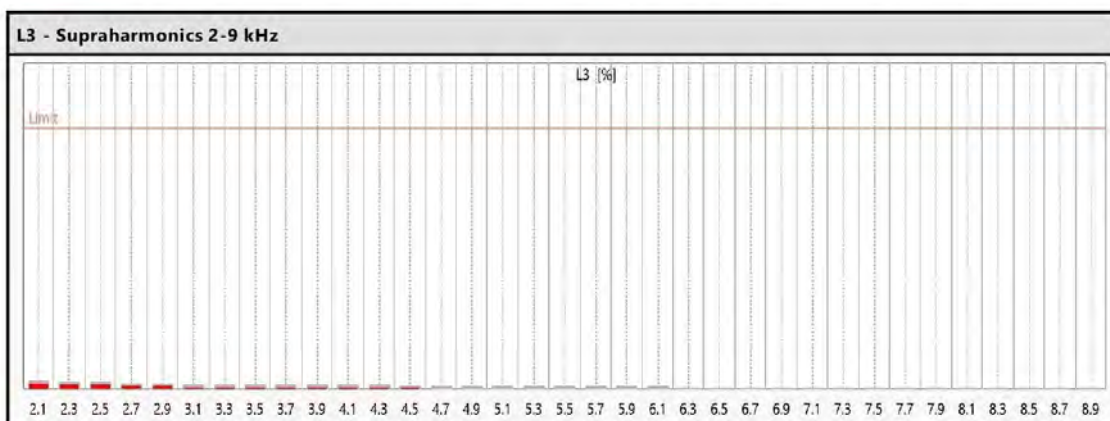
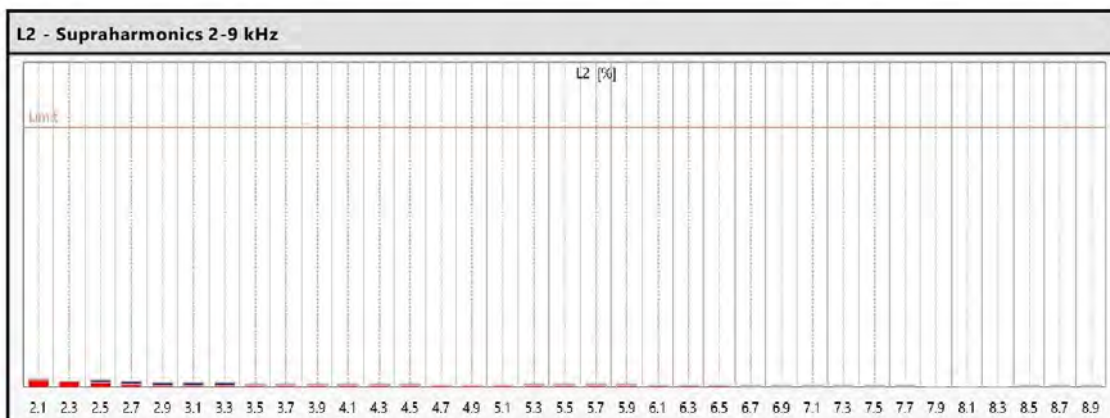
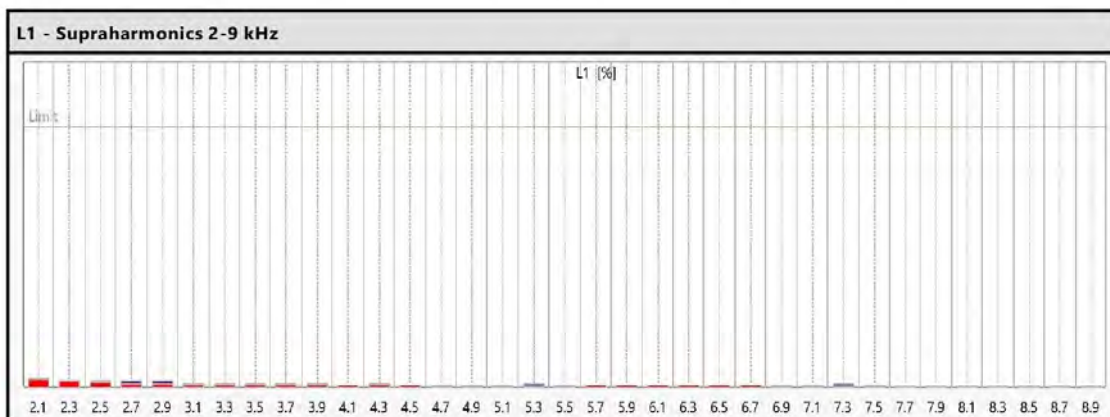
TanPhi						
L1	0.0113	L2	0.0780	L3	0.0367	Sum total -0.1535



EN50160 / IEC61000-2-2	Page 3/10
------------------------	-----------

 AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE	EN50160 / IEC61000-2-2	02.09.2022 Page 4/10
--	-------------------------------	-------------------------

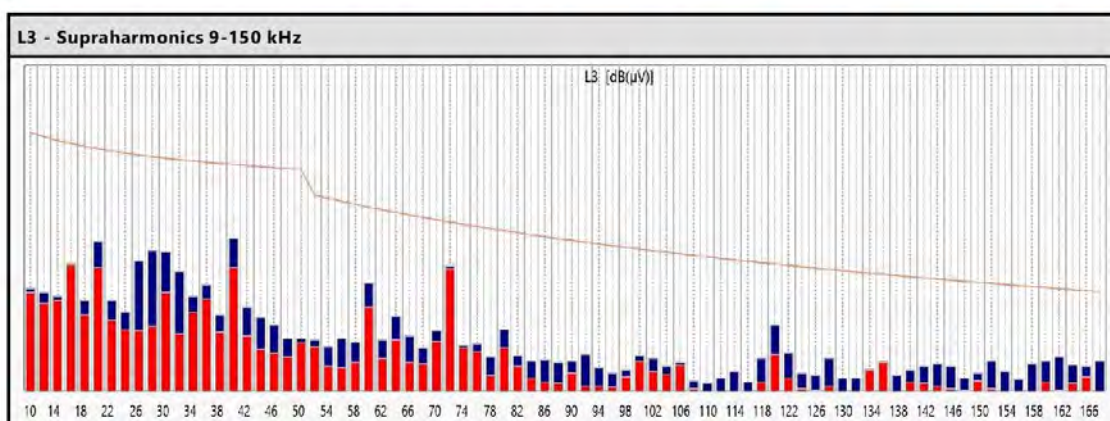
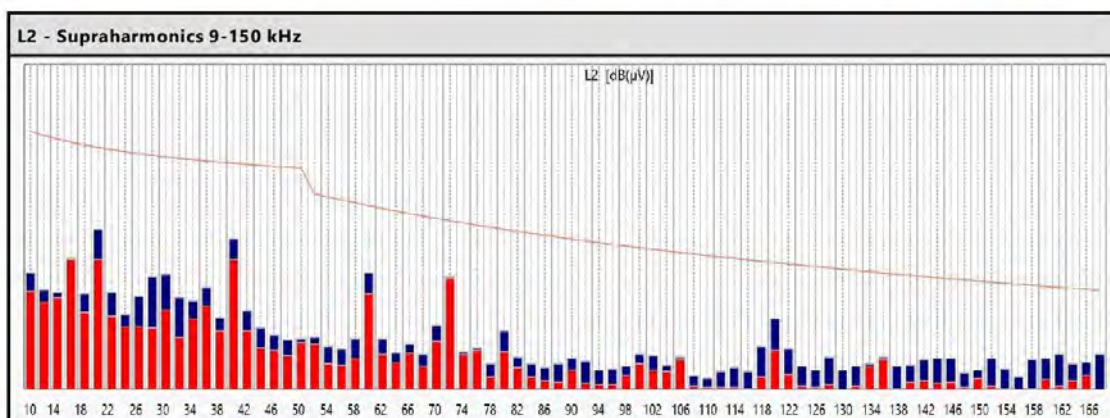
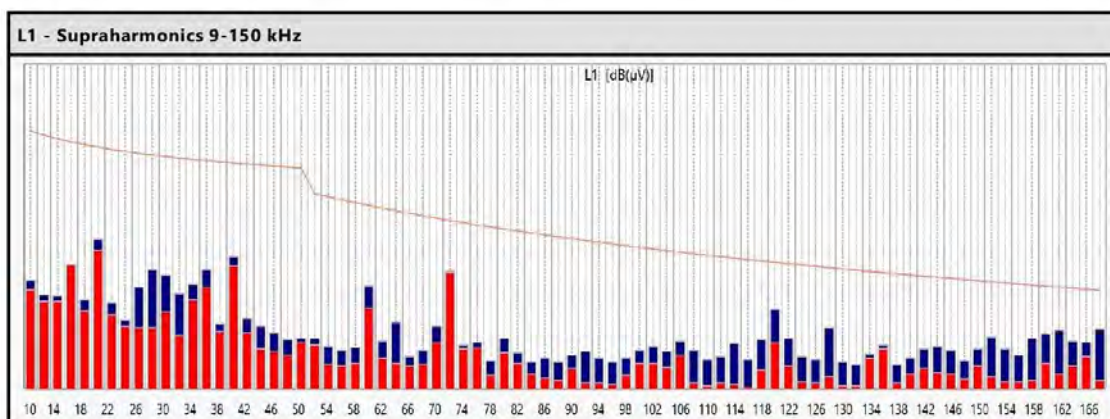
TanPhi							
L1	0.0113	L2	0.0780	L3	0.0367	Sum total	-0.1535



EN50160 / IEC61000-2-2	Page 4/10
------------------------	-----------

 AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE	EN50160 / IEC61000-2-2	02.09.2022 Page 5/10
--	-------------------------------	-------------------------

TanPhi						
L1	0.0113	L2	0.0780	L3	0.0367	Sum total -0.1535



EN50160 / IEC61000-2-2	Page 5/10
------------------------	-----------

 AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STĄSZICA W KRAKOWIE	EN50160 / IEC61000-2-2	02.09.2022 Page 6/10
--	-------------------------------	-------------------------

Harmonics							
	Limit value [%]	L1 - 95.00% [%]	L1 - Max [%]	L2 - 95.00% [%]	L2 - Max [%]	L3 - 95.00% [%]	L3 - Max [%]
THD	8.00	4.09	4.73	4.71	5.21	4.40	5.06
02	2.00	0.12	0.26	0.11	0.26	0.11	0.27
03	5.00	2.69	3.60	2.72	3.94	3.11	3.84
04	1.00	0.07	0.18	0.07	0.18	0.09	0.23
05	6.00	3.17	3.88	4.08	4.75	3.24	3.85
06	0.50	0.06	0.13	0.07	0.14	0.09	0.17
07	5.00	1.31	1.61	1.26	1.86	1.64	2.13
08	0.50	0.05	0.09	0.08	0.14	0.06	0.11
09	1.50	0.77	1.17	0.86	1.28	0.87	1.32
10	0.50	0.04	0.07	0.05	0.11	0.05	0.09
11	3.50	0.36	0.53	0.35	0.56	0.23	0.37
12	0.50	0.10	0.13	0.11	0.16	0.09	0.17
13	3.00	0.30	0.39	0.28	0.46	0.22	0.34
14	0.50	0.08	0.09	0.10	0.12	0.08	0.09
15	1.00	0.26	0.36	0.27	0.38	0.27	0.38
16	0.50	0.04	0.06	0.04	0.07	0.04	0.07
17	2.00	0.21	0.37	0.18	0.26	0.16	0.22
18	0.50	0.04	0.05	0.04	0.06	0.04	0.06
19	1.50	0.12	0.22	0.11	0.20	0.10	0.16
20	0.50	0.03	0.04	0.03	0.04	0.02	0.04
21	0.75	0.10	0.18	0.09	0.13	0.08	0.12
22	0.50	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.04
23	1.50	0.08	0.12	0.10	0.13	0.08	0.12
24	0.50	0.04	0.05	0.04	0.04	0.03	0.04
25	1.50	0.06	0.09	0.07	0.09	0.06	0.09
26	0.35	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03
27	0.20	0.04	0.07	0.05	0.07	0.05	0.09
28	0.34	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03
29	1.06	0.07	0.09	0.06	0.10	0.05	0.07
30	0.33	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02
31	0.97	0.05	0.07	0.06	0.09	0.04	0.07
32	0.33	0.01	0.02	0.01	0.03	0.01	0.03
33	0.20	0.03	0.04	0.04	0.06	0.03	0.05
34	0.32	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02
35	0.83	0.04	0.05	0.04	0.07	0.03	0.05
36	0.32	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02
37	0.77	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04
38	0.32	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02
39	0.20	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03
40	0.31	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
41	0.67	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03
42	0.31	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
43	0.63	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02
44	0.31	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
45	0.20	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
46	0.30	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
47	0.55	0.02	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02
48	0.30	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
49	0.52	0.01	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02
50	0.30	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

EN50160 / IEC61000-2-2	Page 6/10
------------------------	-----------

 AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STĄSZICA W KRAKOWIE	EN50160 / IEC61000-2-2	02.09.2022 Page 7/10
--	-------------------------------	-------------------------

Supraharmonics 2-9 kHz								
	Limit value [%]	L1 - 95.00% [%]	L1 - Max [%]	L2 - 95.00% [%]	L2 - Max [%]	L3 - 95.00% [%]	L3 - Max [%]	
2.1	1.40	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	0.04	
2.3	1.40	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03	
2.5	1.40	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03	
2.7	1.40	0.02	0.03	0.02	0.04	0.02	0.03	
2.9	1.40	0.02	0.04	0.02	0.03	0.02	0.03	
3.1	1.37	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	
3.3	1.31	0.01	0.02	0.01	0.03	0.01	0.02	
3.5	1.26	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	
3.7	1.21	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	
3.9	1.16	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	
4.1	1.13	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	
4.3	1.09	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	
4.5	1.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
4.7	1.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
4.9	1.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
5.1	0.97	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
5.3	0.94	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
5.5	0.92	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
5.7	0.89	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
5.9	0.87	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
6.1	0.85	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	
6.3	0.83	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	
6.5	0.82	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	
6.7	0.80	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	
6.9	0.79	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	
7.1	0.77	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	
7.3	0.75	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	
7.5	0.74	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	
7.7	0.72	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	
7.9	0.71	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	
8.1	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
8.3	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
8.5	0.68	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	
8.7	0.67	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	
8.9	0.66	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	

EN50160 / IEC61000-2-2	Page 7/10
------------------------	-----------

 AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE	EN50160 / IEC61000-2-2	02.09.2022 Page 8/10
--	-------------------------------	-------------------------

Supraharmonics 9-150 kHz							
	Limit value [dB(μV)]	L1 - 95.00% [dB(μV)]	L1 - Max [dB(μV)]	L2 - 95.00% [dB(μV)]	L2 - Max [dB(μV)]	L3 - 95.00% [dB(μV)]	L3 - Max [dB(μV)]
10.0	128.844	86.550	89.084	86.163	91.227	86.188	87.471
12.0	127.708	83.440	85.149	83.516	86.625	83.445	86.174
14.0	126.748	83.573	84.845	84.562	85.929	84.182	85.268
16.0	125.916	93.110	93.270	94.836	95.020	93.584	93.808
18.0	125.182	81.157	83.755	80.707	85.594	80.322	84.016
20.0	124.526	97.020	100.044	94.742	102.891	92.934	99.897
22.0	123.932	80.059	83.208	79.486	85.939	78.982	83.997
24.0	123.390	76.856	78.621	76.649	80.039	76.315	80.983
26.0	122.891	76.459	87.308	76.966	84.985	76.063	94.611
28.0	122.430	76.512	91.817	76.451	90.198	77.194	97.564
30.0	122.000	80.658	90.573	81.253	90.832	86.112	97.011
32.0	121.621	74.506	85.439	73.906	84.632	75.540	92.012
34.0	121.265	83.991	88.103	78.997	83.972	80.895	85.284
36.0	120.929	87.401	91.704	82.505	87.174	84.561	88.420
38.0	120.612	75.437	77.373	75.849	79.361	75.849	80.293
40.0	120.310	93.081	95.464	94.588	100.375	92.983	100.568
42.0	120.024	75.238	79.058	75.769	80.993	74.887	82.491
44.0	119.751	70.939	76.931	71.332	76.609	71.088	79.536
46.0	119.490	70.114	74.911	70.455	74.641	70.305	77.392
48.0	119.240	68.991	73.149	68.997	73.183	69.201	74.065
50.0	119.000	72.776	73.807	72.742	73.829	72.831	74.106
52.0	112.143	71.984	73.567	72.108	73.963	71.930	73.541
54.0	111.319	66.743	71.489	66.907	71.554	66.553	71.766
56.0	110.524	66.363	70.501	66.718	70.730	66.437	74.111
58.0	109.758	67.174	71.348	68.284	73.684	67.562	72.828
60.0	109.017	81.702	87.740	85.520	91.044	82.496	88.566
62.0	108.301	68.538	72.843	69.337	73.648	68.679	73.779
64.0	107.607	66.939	77.860	67.202	69.901	73.745	79.806
66.0	106.935	66.264	68.769	69.779	72.225	67.669	74.709
68.0	106.283	66.686	70.345	66.189	69.442	67.216	71.444
70.0	105.650	72.466	76.966	72.819	77.078	73.204	76.085
72.0	105.034	91.020	91.665	89.680	89.955	92.411	93.152
74.0	104.436	70.685	71.970	69.519	70.049	71.566	72.326
76.0	103.853	71.342	72.695	70.574	71.203	70.389	72.582
78.0	103.286	63.962	67.847	63.623	67.094	64.206	69.249
80.0	102.732	69.779	73.599	70.172	75.625	71.641	76.588
82.0	102.193	66.936	69.807	65.889	68.751	66.538	69.580
84.0	101.667	64.175	67.382	63.521	66.950	63.677	67.947
86.0	101.153	62.993	68.564	62.589	65.792	62.461	68.415
88.0	100.650	62.387	67.425	62.200	66.889	62.006	67.702
90.0	100.159	65.662	69.070	65.398	68.283	64.772	68.049
92.0	99.679	61.865	70.077	61.754	67.571	61.562	69.768
94.0	99.209	61.619	68.455	61.576	65.426	61.318	66.152
96.0	98.749	61.540	67.254	61.471	65.497	61.215	64.881
98.0	98.299	63.950	68.344	64.022	66.169	63.988	65.637
100.0	97.858	67.092	70.383	66.958	69.567	68.128	69.325
102.0	97.425	67.030	71.714	65.320	69.151	65.211	68.688
104.0	97.001	65.995	70.048	65.062	66.745	64.647	66.538
106.0	96.585	69.133	73.008	68.161	68.888	67.150	67.779
108.0	96.176	61.766	70.495	61.052	63.772	60.604	62.657

EN50160 / IEC61000-2-2	Page 8/10
------------------------	-----------

 AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE	EN50160 / IEC61000-2-2	02.09.2022 Page 9/10
--	-------------------------------	-------------------------

Supraharmonics 9-150 kHz							
	Limit value [dB(μV)]	L1 - 95.00% [dB(μV)]	L1 - Max [dB(μV)]	L2 - 95.00% [dB(μV)]	L2 - Max [dB(μV)]	L3 - 95.00% [dB(μV)]	L3 - Max [%]
110.0	95.776	61.004	68.089	60.568	63.324	60.084	62.222
112.0	95.382	61.700	68.675	60.787	64.858	60.141	63.574
114.0	94.995	61.380	72.428	60.540	65.876	59.921	65.112
116.0	94.615	60.643	68.090	60.304	64.762	59.773	62.576
118.0	94.242	65.130	73.376	63.662	71.582	62.559	68.832
120.0	93.875	72.571	81.428	70.480	79.047	69.692	77.399
122.0	93.514	66.192	73.790	64.112	70.939	63.600	70.051
124.0	93.158	62.234	68.817	60.986	66.243	60.606	65.066
126.0	92.809	61.624	68.075	60.631	65.402	60.189	64.300
128.0	92.465	63.504	76.454	61.466	68.921	61.556	68.611
130.0	92.126	60.972	67.389	60.080	65.123	59.589	63.411
132.0	91.793	61.102	66.789	60.932	66.217	59.596	63.432
134.0	91.464	68.438	69.443	66.188	66.955	65.445	65.999
136.0	91.140	70.688	71.750	68.200	68.898	67.548	68.175
138.0	90.822	61.694	66.517	60.330	66.292	59.620	64.060
140.0	90.507	64.313	68.439	62.254	66.696	62.345	65.496
142.0	90.197	65.478	71.018	62.311	67.929	62.089	66.770
144.0	89.892	64.415	71.538	61.801	68.425	61.543	67.202
146.0	89.590	64.097	70.407	62.000	68.441	60.815	66.525
148.0	89.293	62.868	67.759	60.585	64.595	60.328	63.478
150.0	89.000	66.147	70.743	63.220	65.114	62.933	65.012
152.0	88.711	63.608	74.005	61.129	68.349	60.720	68.059
154.0	88.425	62.147	70.959	60.178	65.493	59.741	65.332
156.0	88.143	62.083	68.986	60.095	63.406	59.657	63.060
158.0	87.865	62.545	73.711	60.222	67.886	59.798	67.341
160.0	87.590	66.862	74.857	62.710	68.246	62.363	67.914
162.0	87.319	64.049	75.814	60.912	69.441	60.459	69.107
164.0	87.051	66.388	72.935	62.368	67.158	62.188	66.841
166.0	86.786	68.638	72.698	63.995	67.211	63.975	66.771
168.0	86.524	62.614	76.107	60.029	69.361	59.585	68.006

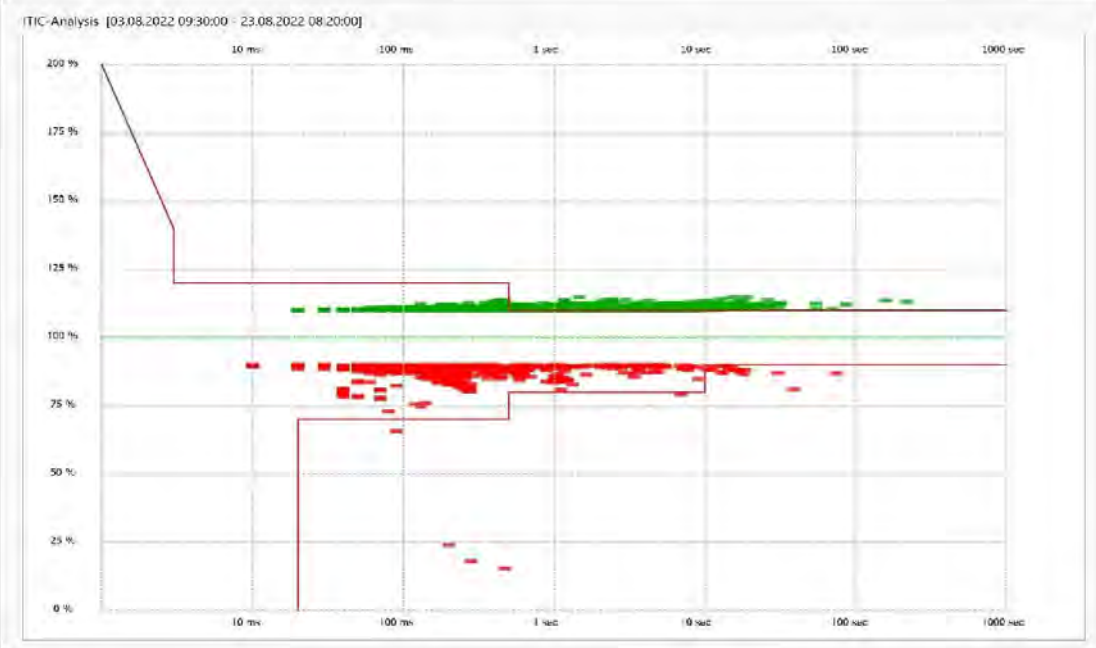
EN50160 / IEC61000-2-2	Page 9/10
------------------------	-----------

 AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STĄSZICA W KRAKOWIE	EN50160 / IEC61000-2-2	02.09.20 22 Page 10/10
--	-------------------------------	---------------------------------

PQ-events

Frequency deviation:	0	Interruption (aggregated):	0
Transient overvoltage:	0	Rapid voltage change (aggregated):	0
Swell (aggregated):	1756	Ripple control detection:	0
Dip (aggregated):	594		

ITIC-Analysis



Event Matrix

Residual voltage U [%]	Duration t [ms]				
	10 ≤ t < 200	200 ≤ t < 500	500 ≤ t < 1000	1000 ≤ t < 5000	5000 ≤ t < 60000
90 > u ≥ 80	355	112	36	49	25
80 > u ≥ 70	13	0	0	0	1
70 > u ≥ 40	1	0	0	0	0
40 > u ≥ 5	0	1	0	0	0
5 > u	0	0	0	0	0

Swell voltage U [%]	Duration t [ms]		
	10 ≤ t < 500	500 ≤ t < 5000	5000 ≤ t < 60000
u ≥ 120	0	0	0
120 > u ≥ 110	704	611	437

EN50160 / IEC61000-2-2

Page 10/10

7 Wyznaczenie empiryczne strategii przesyłania wartości pomiarowych do Operatora

7.1 Podział danych wysyłanych do operatora

Dane przesyłane do SSiN¹ można podzielić na dwie klasy:

- dane online – zdarzenia i pomiary wysyłane do SSiN w protokole komunikacyjnym DNP3.0,
- dane offline – rejestracje zdarzeń/zakłóceń oraz rejestracje długoczasowe pobierane przez operatora w trybie off-line.

7.2 Dane odczytywane na bieżąco (online)

Do danych bieżących zaliczamy:

- sygnalizacje dwustanowe przesyłane z cechą czasu, w tym: zdarzenia związane z działaniem algorytmu EMS (symetryzacja, stabilizacja mocą czynną, planowe rozładowanie itp.), informacje o zmianie stanu łączników, zadziałania zabezpieczeń, alarmy wynikające z awarii sterowników, zadziałania systemu przeciwpożarowego itp.,
- bieżące pomiary – m.in. prądy, napięcia fazowe i moce, poziom naładowania i napięcie baterii.

Sygnalizacja dwustanowa jest wysyłana do SSiN w trybie spontanicznym, tzn. informacja o zmianie stanu jest wysyłana po wystąpieniu zmiany, bez oczekiwania na cykliczne zapytanie.

Niezależnie od spontanicznego mechanizmu przesyłania sygnalizacji, w protokole komunikacyjnym funkcjonuje statyczny mechanizm cyklicznego odczytu. Co zadany czas (ustawiony w harmonogramie zapytań) sterownik nadrzędny odczytuje stan wszystkich sygnałów dwustanowych. W instalacji pilotażowej okres odczytu sygnalizacji statycznej był ustawiony na 3 minuty.

O tempie odczytu pomiarów decyduje z kolei harmonogram zapytań protokołu DNP3.0. wykorzystywany w systemie SSiN. W systemie SSiN zaimplementowanym w instalacji pilotażowej interwał zapytań o pomiary parametrów sieci ustawiony był na 15 s. Pozostałe pomiary (np. temperatury) powinny być odczytywane z mniejszą częstotliwością, np. w odstępach minutowych. Interwał zapytań powinien być kompromisem między częstością aktualizacji pomiarów, a ilością danych przesyłanych w kanale GSM.

7.3 Rejestracje

Sterownik EMS jest wyposażony w dwa rejestratory:

- rejestrator zaburzeń/zakłóceń – zapisujący chwilowe wartości pomiarów i sygnałów dwustanowych; rejestrator próbkuje sygnały 32 razy na okres sieci,
- rejestrator długookresowy – zapisujący dobowe przebiegi wartości skutecznych prądów i napięć, wartości mocy, nastawy wypracowanych przez kontroler EMS oraz stan baterii; w instalacji pilotażowej okres próbkowania wynosił 1 s.

Rejestrator zaburzeń/zakłóceń jest pomocny przy analizie awaryjnych zjawisk przejściowych, np. zapadów i wzrostów napięć, zwarć itp. Rejestrator długookresowy pozwala na analizę pracy kontrolera EMS.

Rejestracje z obu rejestratorów są zapisywane w standardowym formacie COMTRADE (PN-EN 60255-24). Dla lepszego wykorzystania lokalnej pamięci i skrócenia czasu zdalnego pobierania pliki rejestracji są kompresowane.

¹ SSiN – System Sterowania i Nadzoru = ang. SCADA

Operator może pobrać zdalnie pliki rejestracji:

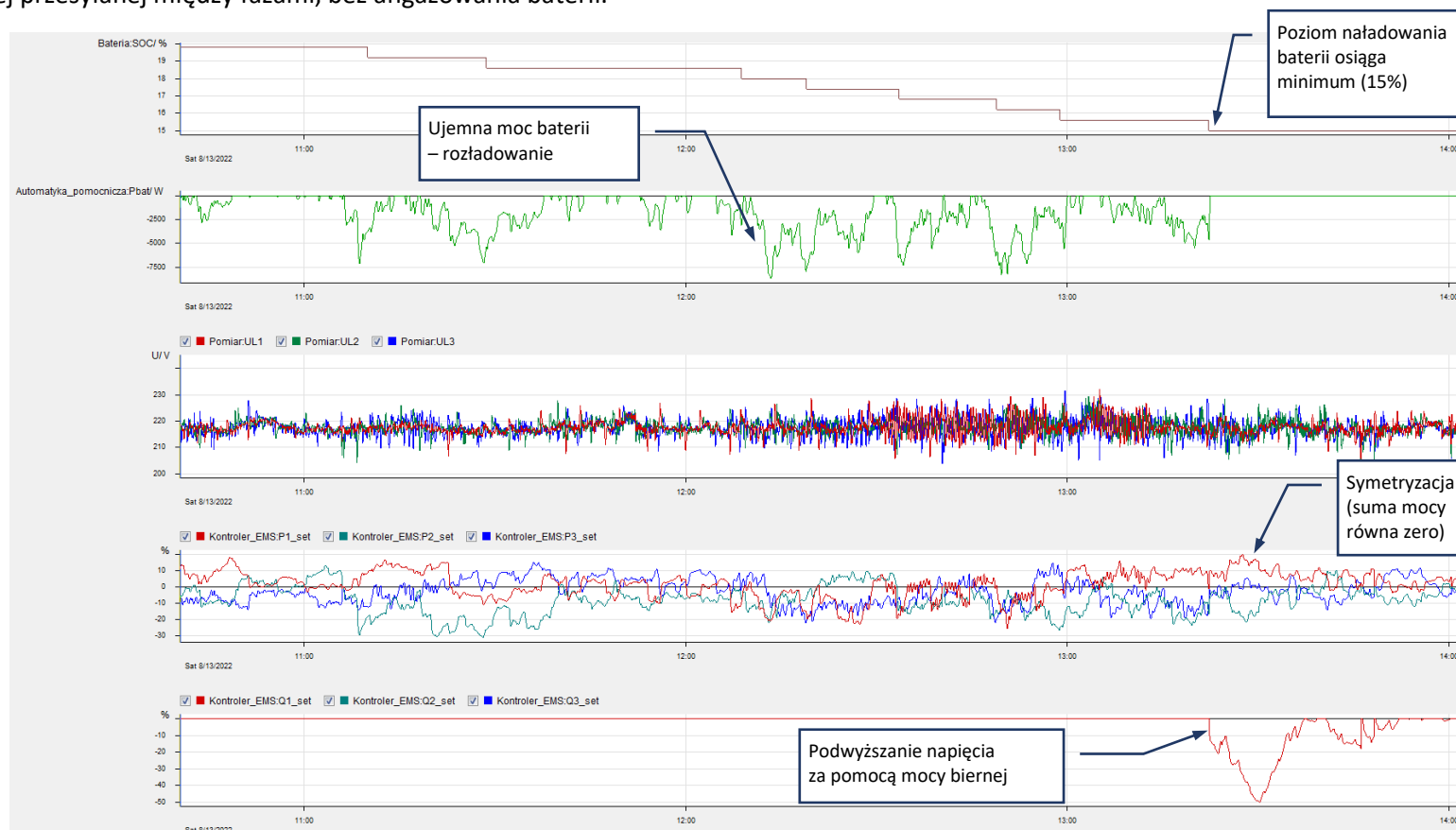
- poprzez stronę WWW sterownika EMS,
- za pomocą programu BEL_Navi – programu do obsługi sterownika EMS.

W przypadku przepełnienia lokalnej pamięci nieulotnej najstarsze rejestracje są usuwane i zastępowane nowymi. Pamięć sterownika EMS pozwalała na przechowywanie ok. 16 dobowych rejestracji długookresowych oraz kilkuset rejestracji zdarzeń/zakłóceń (typowo ponad 400 – liczba zależy od czasu trwania zdarzeń/zakłóceń).

8 Rejestracja zmian mocy

8.1 Podwyższanie napięcia mocą czynną i bierną

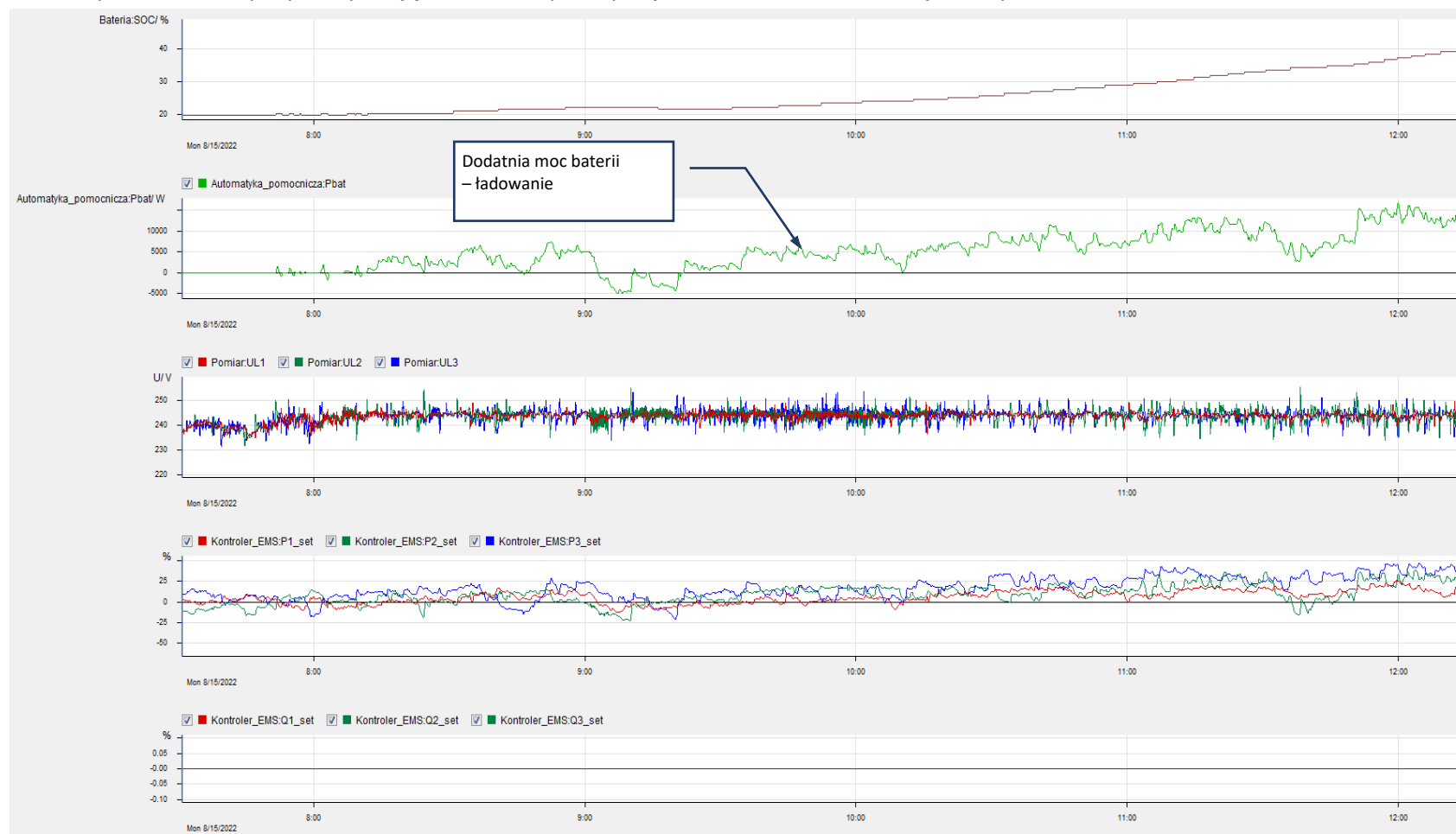
Na przykładowej rejestracji z 13 sierpnia można zaobserwować jak kontroler początkowo podnosił średnie napięcie fazowe za pomocą mocy czynnej pobierając energię z baterii. Poziom naładowania baterii (SOC) sukcesywnie spadał, aż osiągnął nastawiony graniczny poziom 15%. Po wyczerpaniu baterii kontroler rozpoczął podnoszenie napięcia za pomocą mocy biernej. Można zauważyć, że w tym samym czasie kontroler EMS symetryzował napięcia za pomocą mocy czynnej przesyłanej między fazami, bez angażowania baterii.



Obniżanie napięcia mocą czynną i bierną – fragment rejestracji dobowej z 13-08-2022

8.2 Obniżanie napięcia mocą czynną

Rejestracja z 15 sierpnia pokazuje obniżanie napięć fazowych mocą czynną. Na rysunku widać wzrost stopnia naładowania baterii (SOC) z 20% do 40%. Na rejestracji pokazano też moc, jaką była ładowana bateria (w przyjętej konwencji dodatnia moc oznacza ładowanie). Różnice między nastawionymi przez kontroler fazowymi mocami czynnymi wynikają z działania symetryzacji. Nastawiana moc bierna jest cały czas równa zero.



Obniżanie napięcia mocą czynną – fragment rejestracji dobowej z 15-08-2022

*Dziennik sterownika EMS z okresu długotrwałego zaniku napięć – fragment
(zdarzenia istotne dla awarii)*

Godzina	Zdarzenie
09:00:17,877	Zabezpieczenie ULN< - pobudzenie: obecne
09:00:17,878	Zabezpieczenie ULL< - pobudzenie: obecne
09:00:17,890	Zabezpieczenie ULN<< - pobudzenie: obecne
09:00:17,902	Zabezpieczenie ULL<< - pobudzenie: obecne
09:00:17,982	Przekształtnik - Praca: nie
09:00:17,984	Przekształtnik - Gotowość: nie
09:00:18,067	Wyłącznik - położenie: otwarty
09:00:18,117	Automatyka pomocnicza - Wyłączenie przekształtnika: wyzwolenie
09:00:19,091	Zabezpieczenie ULN<< - zadziałanie: obecne
09:00:19,107	Zabezpieczenie ULL<< - zadziałanie: obecne
09:00:19,356	Kontroler EMS - Automatyka aktywna: nie
09:00:19,358	Kontroler EMS - Symetryzacja: nieaktywna
09:00:19,809	Kontroler EMS - Blokada podnapięciowa: aktywna
09:00:21,235	Wyłączenie przekształtnika: początek
09:00:22,801	Wyłączenie przekształtnika: koniec
09:00:29,883	Zabezpieczenie ULN< - zadziałanie: obecne
09:00:29,885	Zabezpieczenie ULL< - zadziałanie: obecne
...	
10:07:43,533	Zabezpieczenie ULN<< - pobudzenie: brak
10:07:49,837	Kontroler EMS - Blokada podnapięciowa: nieaktywna
10:09:06,645	Zabezpieczenie ULL< - zadziałanie: brak
10:09:06,646	Zabezpieczenie ULL< - pobudzenie: brak
10:11:28,055	Zabezpieczenie ULN< - zadziałanie: brak
10:11:28,057	Zabezpieczenie ULN< - pobudzenie: brak
10:12:28,115	Wyłącznik - położenie: zamknięty
10:12:28,165	Automatyka pomocnicza - Załączenie przekształtnika: wyzwolenie
10:12:35,358	Przekształtnik - Gotowość: tak
10:13:39,349	Przekształtnik - Praca: tak
10:13:40,170	Załączenie przekształtnika: koniec
10:13:41,295	Kontroler EMS - Automatyka aktywna: tak
10:13:41,296	Kontroler EMS - Symetryzacja: aktywna

9.2 Przejściowy głęboki zapad trzech napięć fazowych, brak powtórnego załączenia

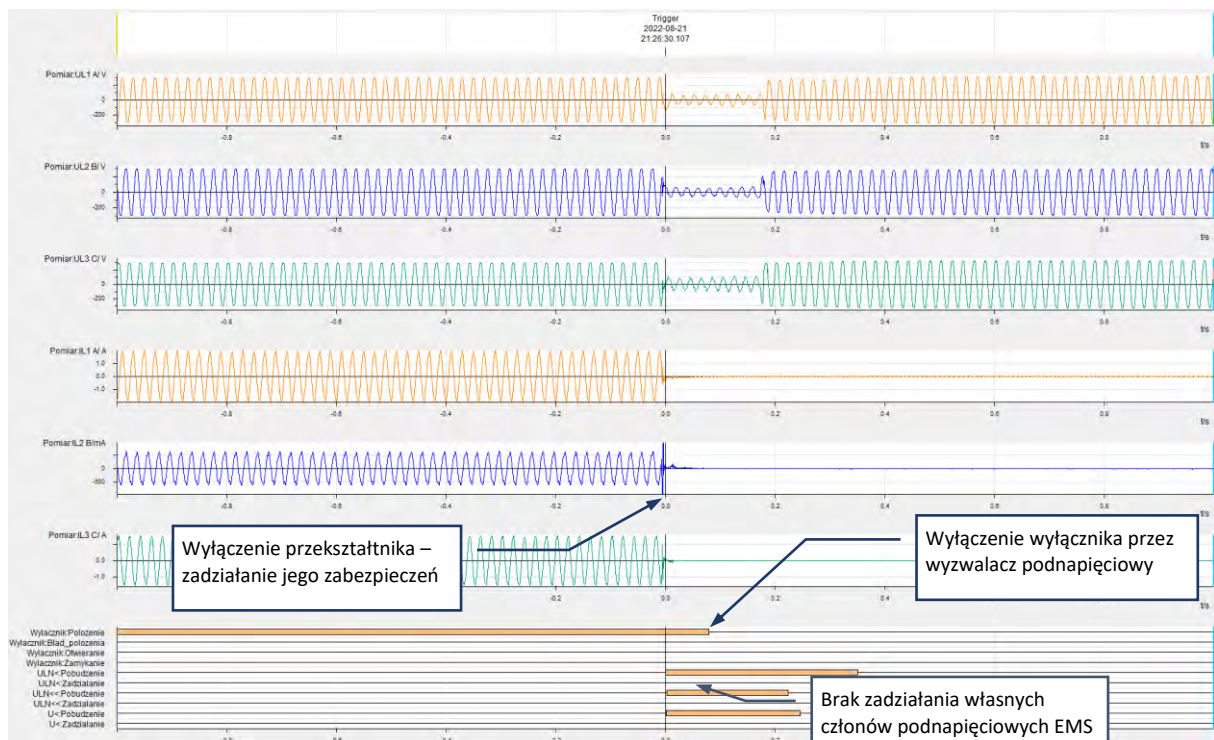
Wartości trzech napięć fazowych spadły do 40 V, 36 V i 53 V (wartości minimalne w trakcie zapadu). Zapad trwał ok. 180 ms. Na skutek zapadu i stanu przejściowego wyłączył się przekształtnik – zadziałało jego wewnętrzne zabezpieczenie (df/dt lub $U <$). Pobudziły się człony podnapięciowe sterownika EMS. Zapad był zbyt krótki, by nastąpiło ich zadziałanie (w najszybciej nastawionych progach czas zadziałania jest ustawiony na 1,2 s).

Po ok. 85 ms od rozpoczęcia obniżania się napięć wyłącznik otworzył się – zadziałał jego wyzwalacz podnapięciowy nastawiony szybciej od stopni ULN<T, ULN<<T, ULL<T oraz ULL<<T sterownika EMS.

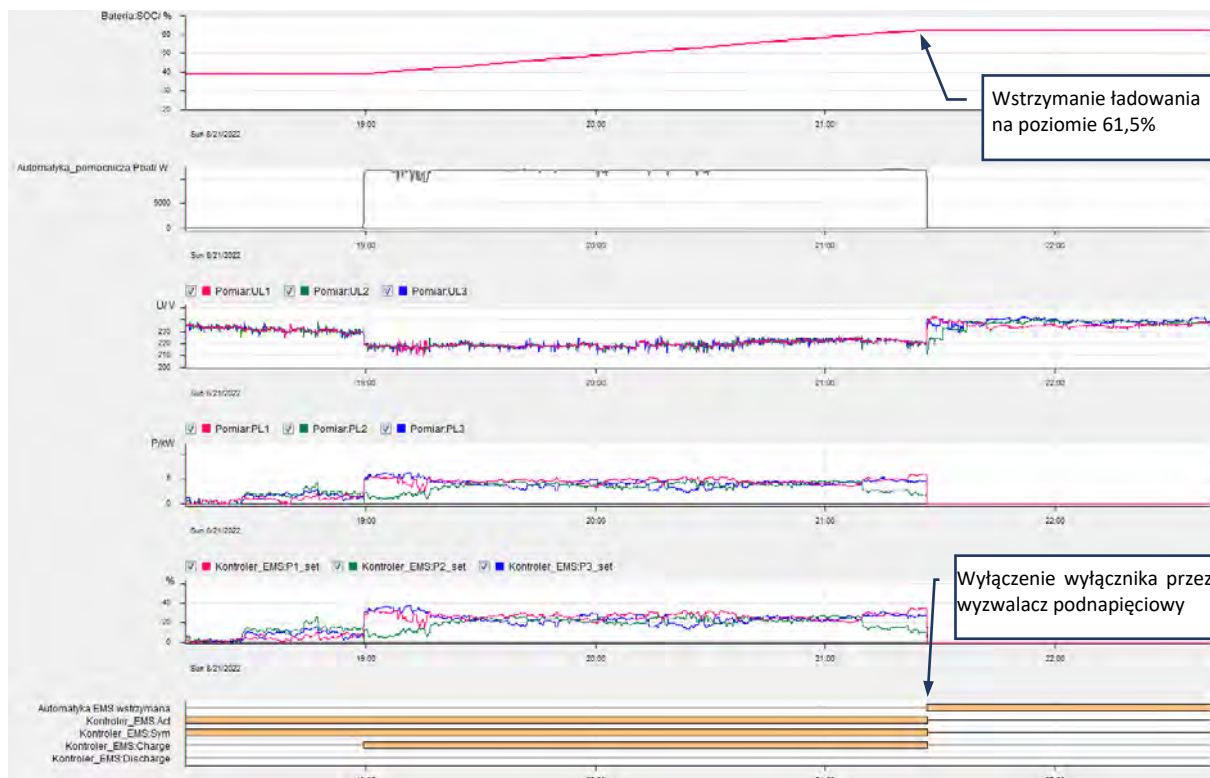
Mimo, że zapad był przejściowy sterownik nie wyzwoił sekwencji SPZ, gdyż z punktu widzenia sterownika sytuacja była niejednoznaczna:

- nie było informacji o przyczynie zewnętrznego wyłączenia – mogło to być wyłączenie ręczne,
- nie nastąpiło zadziałanie lokalnych stopni podnapięciowych – napięcie powróciło przed odliczeniem czasów zadziałania.

W takich warunkach, bez pełnej informacji o przyczynach zdarzenia, algorytm sterowania zakłada, że lepszym wyjściem jest pozostawienie operatorowi decyzji o załączeniu. Po ręcznym (zdalnym) załączeniu kontroler EMS kontynuował pracę.



Przejściowy zapad napięć – przebiegi w rejestratorze zdarzeń/zakłóceń sterownika EMS



Fragment dobowej rejestracji pracy EMS z momentu wyłączenia wyłącznika

Rejestrowane pomiary i sygnały:

Bateria: SOC – stopień naładowania baterii,

Pomiar: UL1 (L2, L3) – pomiar napięć faz L1, L2 i L3,

Kontroler_EMS:P1 (P2, P3)_set – nastawa mocy,

Kontroler_EMS: Sym – symetryzacja napięć,

Kontroler_EMS: Discharge – rozładowanie baterii.

Automatyka pomocnicza-Pbat – moc ładowania baterii

Pomiar:PL1 (L2, L3) – pomiar mocy czynnej faz L1, L2 i L3,

Kontroler_EMS: Act – aktywność kontrolera EMS,

Kontroler_EMS: Charge – ładowanie baterii,

Dziennik sterownika EMS z momentu zapadu – fragment

Czas	Zdarzenie	Komentarz
14:07:47,242	Zabezpieczenie ULN< - pobudzenie od UL3: obecne	Zapad fazy U_{L3}
14:07:47,443	Zabezpieczenie ULN< - pobudzenie od UL3: brak	
14:07:47,488	Przekształtnik - Praca: nie	Wstrzymanie pracy przekształtnika przez jego zabezpieczenie pod napięciem
14:07:47,490	Przekształtnik - Gotowość: nie	
14:07:47,507	Przekształtnik - Awaria: tak	
14:07:48,156	Kasowanie błędów przekształtnika: wyzwolenie	
14:07:48,694	Kontroler EMS - Automatyka aktywna: nie	Wstrzymanie pracy kontrolera EMS
14:07:48,695	Kontroler EMS - Symetryzacja: nieaktywna	
14:07:48,695	Zerowanie nastaw mocy: wyzwolenie	
14:07:54,531	Przekształtnik - Gotowość: tak	Gotowość przekształtnika do pracy po skasowaniu błędów
14:07:54,531	Przekształtnik - Awaria: nie	
14:07:55,303	Załączenie przekształtnika: wyzwolenie	Rozpoczęcie sekwencji włączania przekształtnika
14:07:57,586	Przekształtnik - Praca: tak	
14:07:59,097	Załączenie DC: początek	
14:08:00,637	Kontroler EMS - Automatyka aktywna: tak	Wznowienie pracy przez kontroler EMS
14:08:00,638	Kontroler EMS - Symetryzacja: aktywna	

9.4 Wyłączenie MEE w dniu 21.08.2022 – rejestracje analizatora jakości energii

Analiza dotyczy okresu wyłączenia MEE trwającego ok. 11 godzin i 20 minut w dniu 21.08.2022. Najprawdopodobniej przyczyną był symetryczny zapad napięcia, który wystąpił w tym dniu ok. godziny 21:26:28.

Przebiegi wartości napięć i prądów – wartości min. i maks. (10/20 ms): U_{min} , U_{maks} , I_{min} , I_{maks} oraz wartość zagregowana U_{10min} – dla fazy L2 – pozostałe są analogiczne



W całym okresie pomiarowym wystąpił jeden taki stan. Aczkolwiek zarejestrowano więcej zapadów napięcia, w trakcie których jedno z napięć fazowych osiągało wartość poniżej 184 V – były to niesymetryczne zapady.

Przebiegi mocy: P, Q – wartości zagregowane 10-minutowe



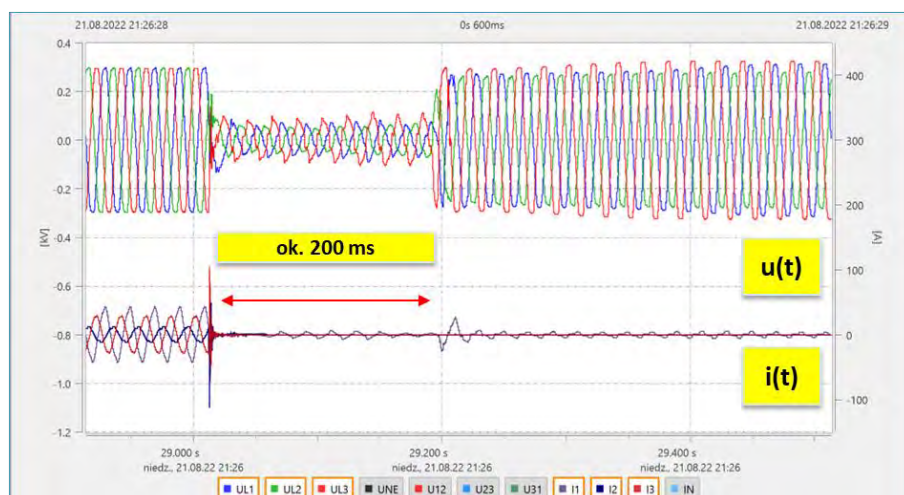
Przebiegi wartości zagregowanych 10-min. mocy: czynnej P i biernej Q – w trakcie wyłączenia MEE



W trakcie wyłączenia MEE trwającego ok. 11 godz. i 20 min. zarejestrowano zwiększoną różnicę wartości napięć oraz wzrost współczynnika asymetrii napięcia.

9.5 Zapad napięcia – rejestracje w trybie zdarzeniowym

Przebiegi wartości 10/20 ms oraz przebiegi wartości chwilowych napięć $u(t)$ i prądów $i(t)$



10 Zdefiniowanie sposobów prezentacji kontrolowanego obszaru dla Operatora

Wskazaniem miejscem prezentacji stanu pracy magazynu energii jest System Sterowania i Nadzoru (SSiN = SCADA), np. system SSiN dla sieci niskiego napięcia winDEX LVS (pełna kompatybilność). Jeżeli jednak Operator nie dysponuje takim systemem, magazyn energii może zostać dodany do widoku stacji SN/nN, która zasila fragment sieci nN z magazynem energii.

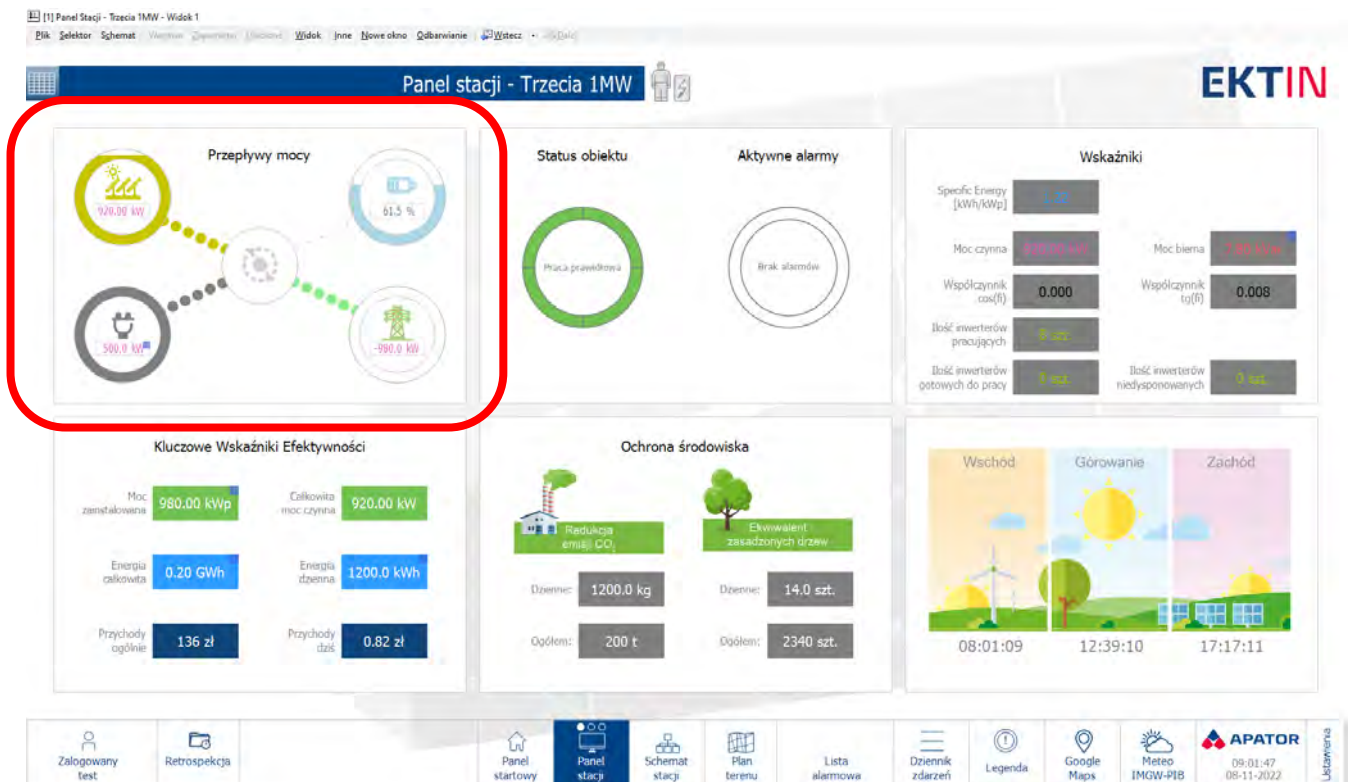
Wizualizacja stanu magazynu energii powinna prezentować kluczowe sygnały i pomiary, a w szczególności:

- położenie wyłącznika łączącego magazyn z siecią,
- pomiary napięć, prądów, mocy czynnych i biernych fazowych oraz sumarycznej mocy czynnej i biernej pobieranej/oddawanej przez magazyn w punkcie przyłączenia do sieci,
- napięcie, moc ładowania oraz poziom naładowania zasobnika energii (baterii),
- stan pracy automatyki EMS (np. praca, planowe rozładowanie, ładowanie konserwujące).

Widok magazynu energii w SSiN powinien również umożliwiać Operatorowi wysyłanie poleceń sterowniczych do magazynu, a w szczególności:

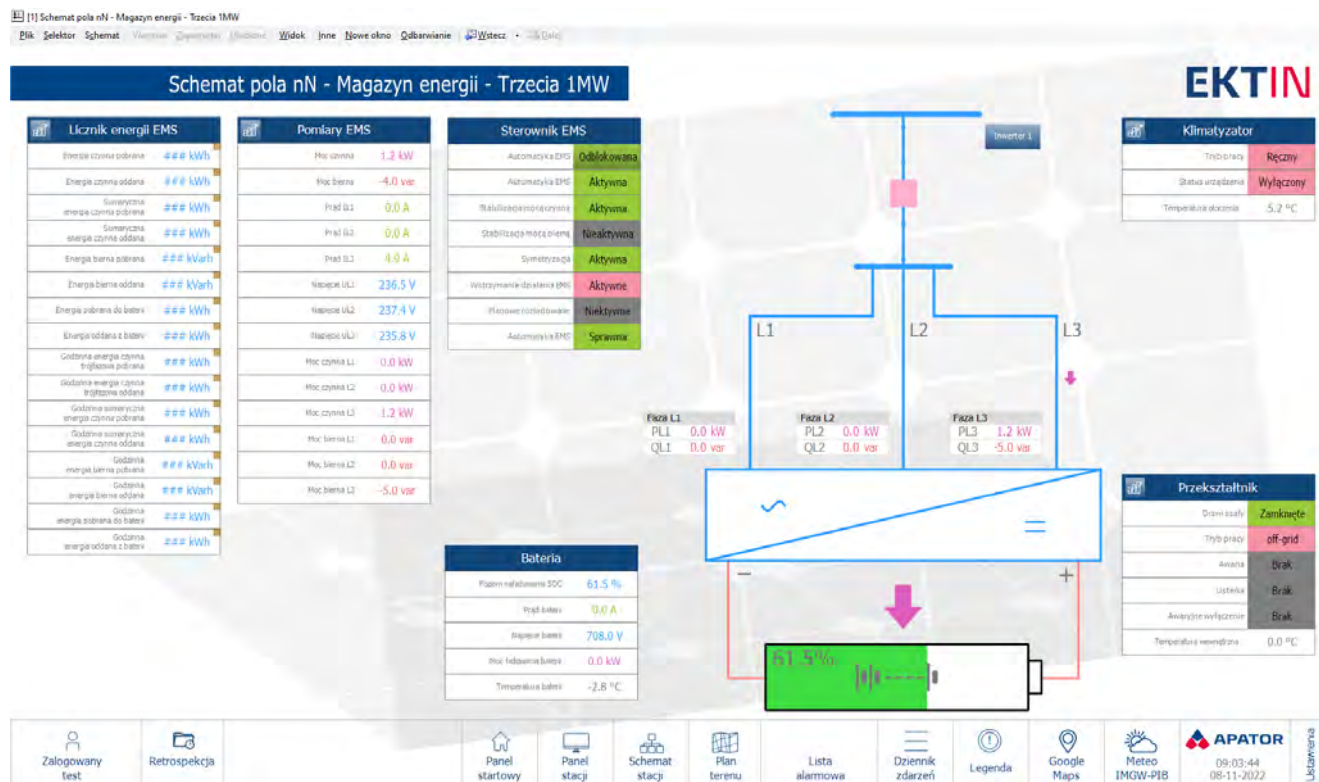
- zdalne przyłączanie i odłączanie magazynu od sieci,
- włączanie i wyłączenie automatyki stabilizacji napięcia,
- przerywanie ładowania konserwującego,
- kasowania alarmów.

W związku z tym, że pilotażowa instalacja MEE nie została podłączona do SSiN Operatora, w raporcie zamieszczono prezentację magazynu energii w testowym Cyfrowym Systemie Sterowania i Nadzoru EKTIN należącym do firmy Apator. Zgodnie z powyższymi założeniami magazyn został zwizualizowany w widoku Panelu Stacji.



Jeden z kafelków Panelu zawiera schemat Przepływu mocy. Przedstawione są na nim kierunki przepływu mocy i jej wartości, jaka wartość mocy jest produkowana przez instalację OZE, jaka pobierana z sieci OSD, a jaka część jest pobierana do ładowania magazynu lub pobierana z magazynu.

Widok pola nN magazynu energii prezentuje najważniejsze informacje dotyczące funkcji realizowanej przez magazyn i stanu w jakim się on znajduje.



Na schemacie zostały zaprezentowane najważniejsze parametry pracy magazynu jak np. poziom naładowania, prąd i napięcie baterii, moc ładowania, temperatura, ale także stan pracy klimatyzatora, temperatura w kontenerze.

Dodatkowo w systemie są odwzorowane stany automatyk EMS, rodzaj stabilizacji, stan symetryzacji, stan automatyki EMS i inne.

Widok pola nN magazynu energii umożliwia również zdalne odłączanie i przyłączanie magazynu do sieci, kasowanie zapamiętanych alarmów, a także włączanie i wyłączanie automatyki EMS.

11 Podsumowanie wyników testów pracy magazynu energii w sieci nN OSD

W rozdziałach 2–10 zamieszczono szczegółową analizę i ocenę pracy układu magazynu energii elektrycznej (MEE) przyłączonego do sieci elektroenergetycznej niskiego napięcia operatora systemu dystrybucyjnego. Przedstawiono i omówiono wyniki długoterminowych pomiarów i rejestracji wykonanych analizatorami jakości energii elektrycznej klasy A. Opracowano i zamieszczono wykresy przebiegów napięć, prądów, mocy, energii, wybranych wskaźników jakości energii elektrycznej oraz przedstawiono szereg dodatkowych aspektów pracy MEE. Obliczono miary statystyczne w celu liczbowego przedstawienia poziomów wybranych parametrów. Obszernie opisano kwestie związane z analizą pracy układu MEE dotyczącą: zagadnień pomiarowych, rejestracji i sygnalizowania zdarzeń i zakłóceń, a także systemu sterowania i nadzoru SSiN (system SCADA). Szczególną uwagę zwrócono na aspekty istotne dla operatora systemu dystrybucyjnego.

Warto podkreślić, że MEE został przyłączony do wiejskiej sieci dystrybucyjnej zlokalizowanej w trudnym górskim terenie. W sieciach tego typu może wystąpić obniżony poziom mocy zwarciowej. Zatem są to tzw. „słabe/miękkie” sieci, w których mogą występować zaburzenia i zakłócenia związane ze zmianami napięcia przy dużym poziomie nasycenia mikroinstalacjami, należącymi do prosumentów. Tak też było w analizowanym przypadku. Wobec tego uzyskano dobre, bo wymagające, warunki pracy sieci elektroenergetycznej dla testów MEE.

Analiza pracy MEE wykonana na podstawie długoterminowych pomiarów i rejestracji wykazała:

- pozytywny wpływ na ograniczenie zakresu zmienności wartości skutecznej napięcia w punkcie przyłączenia,
- pozytywny wpływ na obniżenie poziomu asymetrii napięciowej w punkcie przyłączenia.

Dzięki zastosowaniu MEE warunki zasilania w analizowanym fragmencie sieci elektroenergetycznej OSD uległy poprawie w stosunku do stanu bez MEE.

Nie zaobserwowano problemów technicznych generowanych przez MEE z punktu widzenia pracy sieci elektroenergetycznej OSD.

RAPORT MA CHARAKTER TECHNICZNY. ZA POPRAWNOŚĆ JĘZYKOWĄ I STYLISTYCZNĄ TEKSTU ODPOWIADAJĄ AUTORZY. ZESPÓŁ REDAKCYJNY TYLKO W NIEWIELKIM STOPNIU WPŁYNAŁ NA FORMĘ RAPORTU – W CELU UJEDNOLICENIA WSZYSTKICH PUBLIKOWANYCH W TYM DZIALE TEKSTÓW.