

Toruń 19.03.2024

PROTOKÓŁ Z POMIARÓW JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Zleceniodawca:

Nadleśnictwo Drygały
Drygały, ul. Grunwaldzka 22
12-230 Biała Piska

Opracowanie:

Inż. Rafał Brzozowski
ANIRO Sp. z o.o.
Ul. B. Chrobrego 64
87-100 Toruń
(E/259/678/19; D/259/677/19)



I. Miejsce przeprowadzenia pomiarów.

1. Klient:

Nadleśnictwo Drygały
Drygały, ul. Grunwaldzka 22
12-230 Biała Piska

2. Układ zasilania sieci:

3-fazowa 4-przewodowa / gwiazda 400 V 50Hz.

3. Lokalizacja punktu pomiarowego

Rozdzielnica układu SZR

4. Typ użytego analizatora parametrów sieci:

PQ-Box 100 Expert; Klasa A; prod. A-Eberle z Cewkami Rogowskiego

5. Data przeprowadzenia pomiarów:

08-15.03.2024

II. Zakres pomiarów.

- Pomiar jakości energii elektrycznej.
- Wyznaczenie profilu obciążenia badanych obiektów.
- Pomiary całkowitej mocy biernej QV i współczynnika mocy PF.
- Pomiar wartości wyższych harmonicznych w prądzie i napięciu (THDI i THDU).
- Pomiary asymetrii prądów i napięć oraz kątów fazowych.

III. Cel pomiarów.

Dobór kompensacji mocy biernej.

IV. Wprowadzenie i definicje.

1. Moc czynna, bierna i pozorna.

W odkształconych obwodach prądu trójfazowego występują cztery rodzaje mocy:

- **Moc czynna** - jest to ta część energii elektrycznej, która jest zamieniana na pracę użyteczną.
- **Moc bierna** - jest to ta część energii, która pulsuje między źródłem energii a odbiornikiem i nie jest zamieniana na pracę. W zależności od rodzaju obciążenia może mieć charakter indukcyjny lub pojemnościowy. Wpływa na zwiększenie strat cieplnych oraz ogranicza sprawność transformatorów i linii kablowych.
- **Moc pozorna** - geometryczna suma mocy czynnej i biernej.
- **Moc odkształcona D** - jest wynikiem występowania przesunięć między harmonicznymi napięcia i prądu oraz niejednakowym rzędem tych harmonicznymi.

2. Współczynnik przesunięcia fazowego mocy DPF, $\cos \phi$.

$\cos \phi$ lub współczynnik przesunięcia fazowego mocy (DPF) jest to cosinus kąta przesunięcia fazowego pomiędzy napięciem i prądem. Parametr ten jest mierzony i regulowany przez regulatory współczynnika mocy w układach kompensacji mocy biernej. Współczynnik mocy lub całkowity współczynnik mocy (TPF) jest to stosunek pomiędzy mocą czynną [W] i mocą pozorną [VA]. Wartość współczynnika mocy zależy zawsze od $\cos \phi$: w szczególności, obie wartości są równe, gdy w układzie nie występują harmoniczne. W przypadku występowania harmonicznymi wartość współczynnika mocy jest niższa od wartości $\cos \phi$.

3. Wyższe harmoniczne.

Ogólnie każdy sygnał periodyczny może być przedstawiony jako suma funkcji sinus o częstotliwości podstawowej (np. 50 Hz – częstotliwość sieci) oraz sygnałów sinusoidalnych o częstotliwości 3, 5, 7, 11 razy większych od częstotliwości podstawowej. Sygnał o częstotliwości 5 razy większej od podstawowej nazywa się piątą harmoniczną.

W sieciach zasilających prądu trójfazowego symetrycznie obciążonych występują przede wszystkim 5, 7, 11 oraz 13 w znikomej mierze również 17, 19 i 23 harmoniczne.

W niesymetrycznym, względnie jednofazowym obciążeniu wyższymi harmonicznymi znaczące wielkości osiąga dodatkowo trzecia harmoniczna.

Parametrem opisującym ilościowo wyższe harmoniczne jest współczynnik THD. Jest to procentowy udział geometrycznej sumy poszczególnych składowych harmonicznymi w odniesieniu do wartości składowej podstawowej.

$$THD_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_h^2}}{U_1} \cdot 100\%[\%]$$

- THD_U** - współczynnik zawartości harmoniczných w napięciu [%],
U_h - wartość skuteczna h. harmoniczných [V],
U₁ - wartość skuteczna 1. harmoniczných [V].

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_k^2}}{i_1} \cdot 100\%[\%]$$

- THD_I** - współczynnik zawartości harmoniczných w prądzie [%],
I_k - wartość skuteczna k. harmoniczných [A],
i₁ - wartość skuteczna 1. harmoniczných [A].

Norma PN-EN 50160 określa dla sieci niskiego napięcia poziom zniekształceń harmoniczných napięcia w normalnych warunkach pracy, w ciągu każdego tygodnia, 95% ze zbioru dziesięciominutowych średnich wartości skutecznych dla każdej harmoniczných napięcia. Wartości te powinny być mniejsze lub równe wartościom zamieszczonym w poniższej tablicy. Rezonanse mogą powodować wystąpienie większych wartości dla indywidualnej harmoniczných, a współczynnik THD napięcia zasilającego (uwzględniający wszystkie harmoniczne, aż do rzędu 40. powinien być mniejszy lub równy 8 %.

Tab. 1. Wartości harmoniczných napięcia wg PN-EN 50160.

Harmoniczne nieparzyste				Harmoniczne parzyste	
Nie będące krotnością 3	Będące krotnością 3				
Rząd h	Wartość względna napięcia	Rząd h	Wartość względna napięcia	Wartość względna napięcia	Rząd h
5	6%	3	5%	2	2%
7	5%	9	1,5%	4	1%
11	3,5%	15	0,5%	6..24	0,5%
13	3%	21	0,5%		
17	2%				
19	1,5%				
23	1,5%				
25					
Nie podano wartości harmoniczných po rzędach > 25, ponieważ są one zwykle małe i w dużym stopniu niemożliwe do przewidzenia ze względu na efekty rezonansowe.					

Harmoniczne prądu płyną z generatora harmoniczných prądu (np. dioda prostownika przemiennika częstotliwości) do głównej sieci zasilającej i rozprzestrzeniają się w niej. Spadek napięcia wywołany harmonicznymi prądu w połączeniu z impedancją sieci zasilającej powoduje powstanie zniekształceń przebiegu napięcia. Sieć o wyższej impedancji powoduje wyższe zniekształcenia napięcia. Z kolei zniekształcenia (harmoniczne) napięcia mogą

oddziaływać na urządzenia przyłączone do tej samej linii zasilającej. Mogą także być przyczyną ich uszkodzeń.

Obecność harmonicznych zarówno prądu jaki i napięcia w sygnale zasilającym może prowadzić do wielu problemów takich jak:

- Obniżone wykorzystanie parametrów sieci elektrycznej.
- Zwiększone straty mocy.
- Zwiększona temperatura transformatorów, silników i przewodów.
- Obniżona żywotność wyposażenia i urządzeń elektrycznych i elektronicznych.
- Przewidywane powiększenie i nieprzewidziane koszty.
- Problemy z układem sterowania.
- Obniżony (hamujący i pulsujący) moment obrotowy silnika.

Problemy te nie tylko wpływają na obniżenie niezawodności i jakości całego systemu, ale także mogą być powodem zwarc, a w efekcie pożarów.

Urządzenia elektroniczne i energoelektroniczne takie jak: przemienniki częstotliwości (falowniki), układy regulacji tyrystorowej, UPS, świetlówki i żarówki energooszczędne, oświetlenie LED, telewizory oraz sprzęt komputerowy, są jednymi z powszechnie wykorzystywanych urządzeń, które generują harmoniczne wskutek pobierania niesinusoidalnego prądu.

Generalnie im więcej urządzeń elektronicznych i energoelektronicznych (odbiorników o charakterystyce nieliniowej) w systemie tym większe zniekształcenia i większe współczynniki THD (Total Harmonic Distortion).

V. Analiza wykonanych pomiarów.

Pomiar parametrów energii został wykonany w rozdzielnicy układu SZR obiektu



Rys. 1. Widok punktu pomiarowego.

W trakcie pomiarów zarejestrowano następujące wielkości parametrów energii:

- Maksymalna moc czynna pobrana P – 37,57 kW
- Maksymalna moc pozorna S – 40,08 kVA
- Maksymalna całkowita moc bierna QV indukcyjna – 12,28 kVar
- Maksymalna całkowita moc bierna QV pojemnościowa – 1,80 kVar
- Maksymalna moc bierna odkształcona D – 4,26 kVar
- Współczynnik mocy PF abs:

	Min	Średnia	Max
PFL1	0,575	0,897	1,000
PFL2	0,468	0,754	0,981
PFL3	0,323	0,741	0,998
PFtotal	0,492	0,765	0,968

• Napięcie skuteczne:

	Min	Średnia	Max
UL1	192,269 V	230,121 V	238,532 V
UL2	192,814 V	229,633 V	237,983 V
UL3	192,531 V	230,366 V	238,488 V

• THD U (całkowite odkształcenia napięcia):

	Min	Średnia	Max
THDL1	0,870 %	1,423 %	3,716 %
THDL2	1,091 %	1,704 %	3,458 %
THDL3	0,939 %	1,480 %	4,191 %

• TDD I (zniekształcenia prądu w [%] do max. składowej podstawowej):

	Min	Średnia	Max
TDD IL1 (72.03A)	0,750 %	2,115 %	5,088 %
TDD IL2 (72.03A)	1,338 %	1,889 %	4,545 %
TDD IL3 (72.03A)	1,085 %	1,648 %	4,065 %

• THD I (zniekształcenia prądu w [A]):

	Min	Średnia	Max
THD (A) I1	0,540 A	1,523 A	3,665 A
THD (A) I2	0,964 A	1,360 A	3,274 A
THD (A) I3	0,782 A	1,187 A	2,928 A
THD (A) IN	1,030 A	1,679 A	3,752 A

• Dominujące harmoniczne prądu:

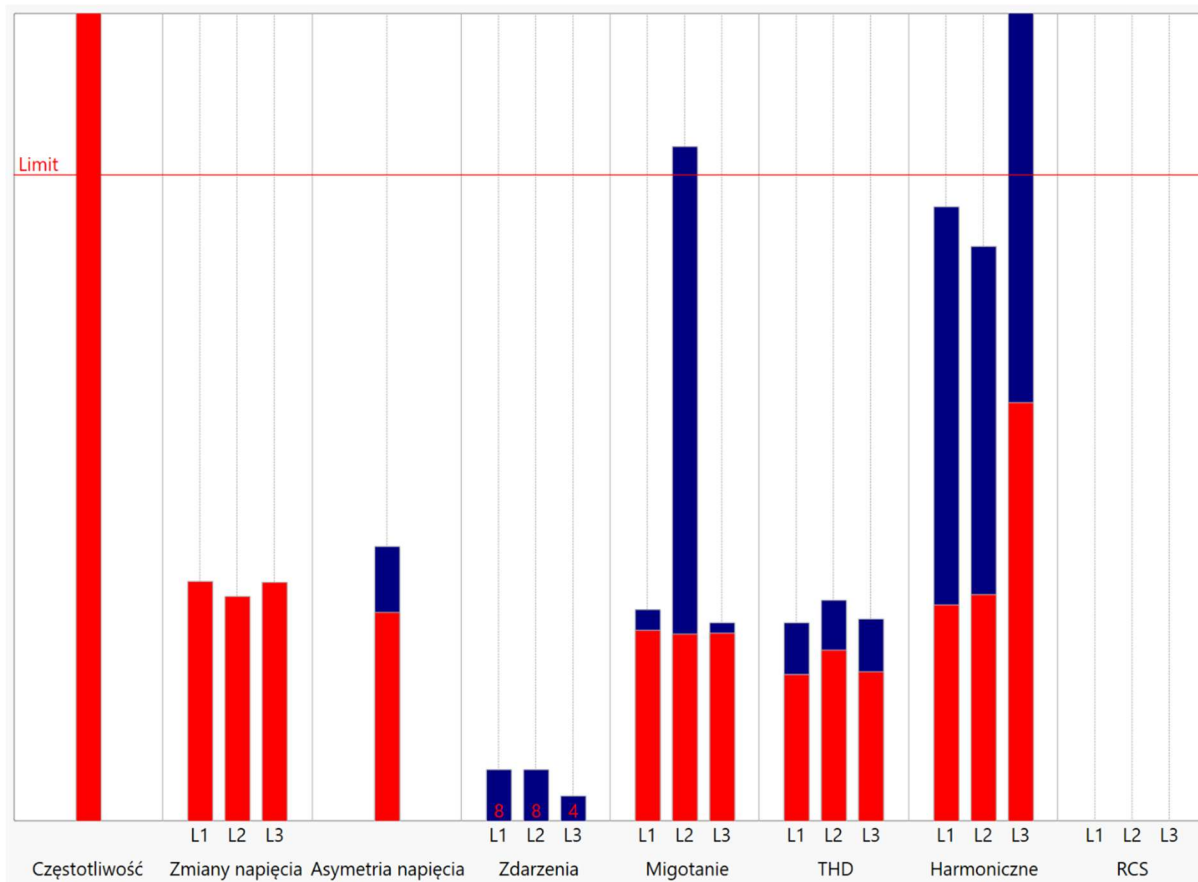
	Min	Średnia	Max
H2 I1	0,132 A	0,280 A	1,003 A
H2 I2	0,084 A	0,272 A	0,988 A
H2 I3	0,105 A	0,267 A	1,146 A
H2 IN	0,054 A	0,114 A	0,962 A
H3 I1	0,295 A	1,038 A	2,304 A
H3 I2	0,329 A	0,704 A	2,672 A
H3 I3	0,386 A	0,742 A	1,547 A
H3 IN	0,856 A	1,445 A	3,415 A
H5 I1	0,195 A	0,775 A	2,374 A
H5 I2	0,059 A	0,729 A	1,812 A
H5 I3	0,049 A	0,535 A	2,043 A

H5 IN	0,081 A	0,413 A	1,224 A
H7 I1	0,140 A	0,462 A	1,852 A
H7 I2	0,146 A	0,388 A	1,279 A
H7 I3	0,084 A	0,323 A	1,288 A
H7 IN	0,017 A	0,200 A	0,602 A
H9 I1	0,065 A	0,314 A	0,724 A
H9 I2	0,200 A	0,423 A	0,682 A
H9 I3	0,132 A	0,325 A	0,634 A
H9 IN	0,263 A	0,559 A	0,843 A

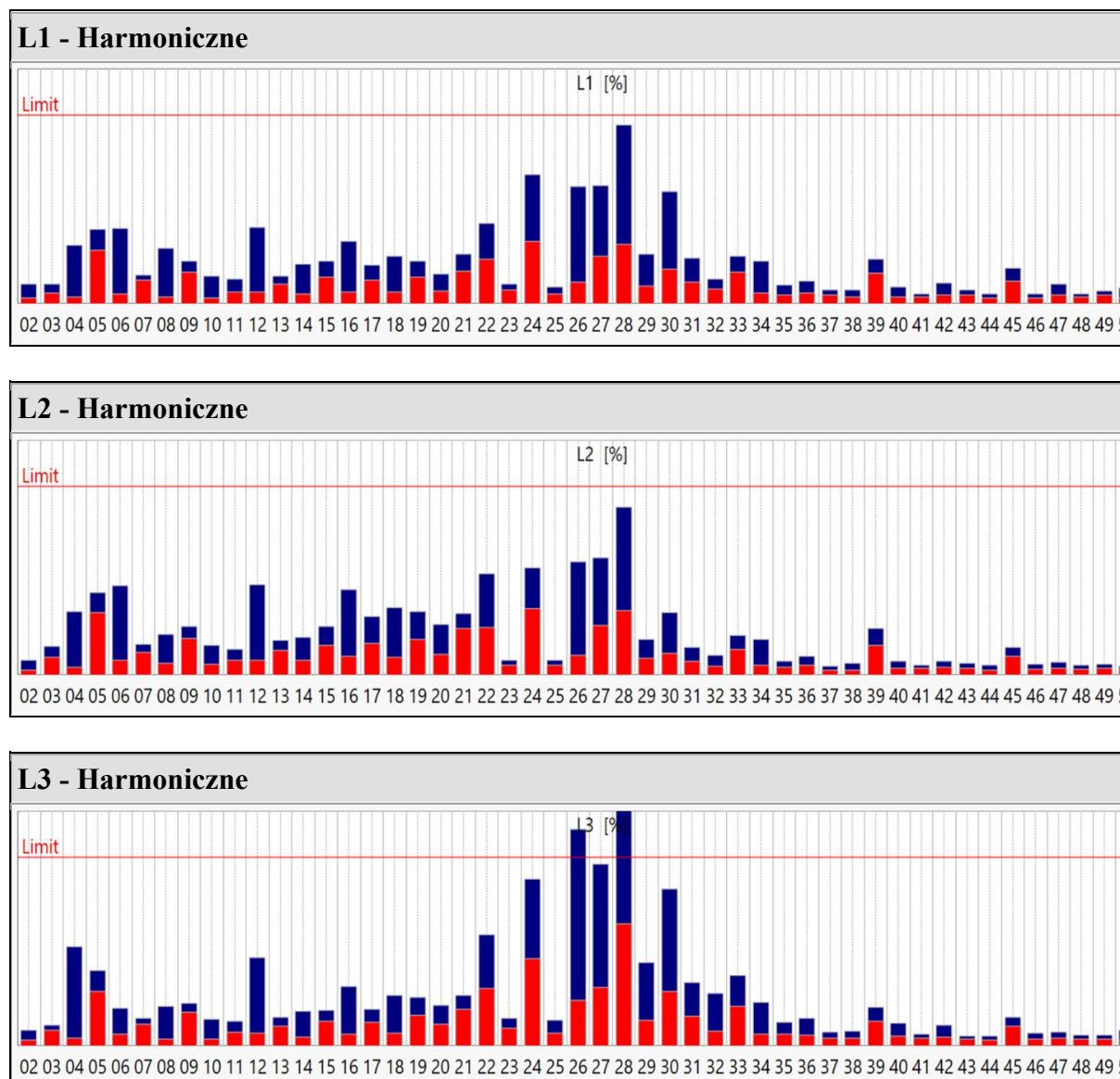
• Prąd skuteczny:

	Min	Średnia	Max
IL1	2,064 A	17,973 A	72,080 A
IL2	4,258 A	15,351 A	61,137 A
IL3	2,202 A	14,556 A	53,887 A
I Neutral	1,147 A	4,050 A	18,293 A

Poniżej podsumowanie wyników zmierzonych parametrów jakości energii w odniesieniu do limitów normy PN-EN 50160.

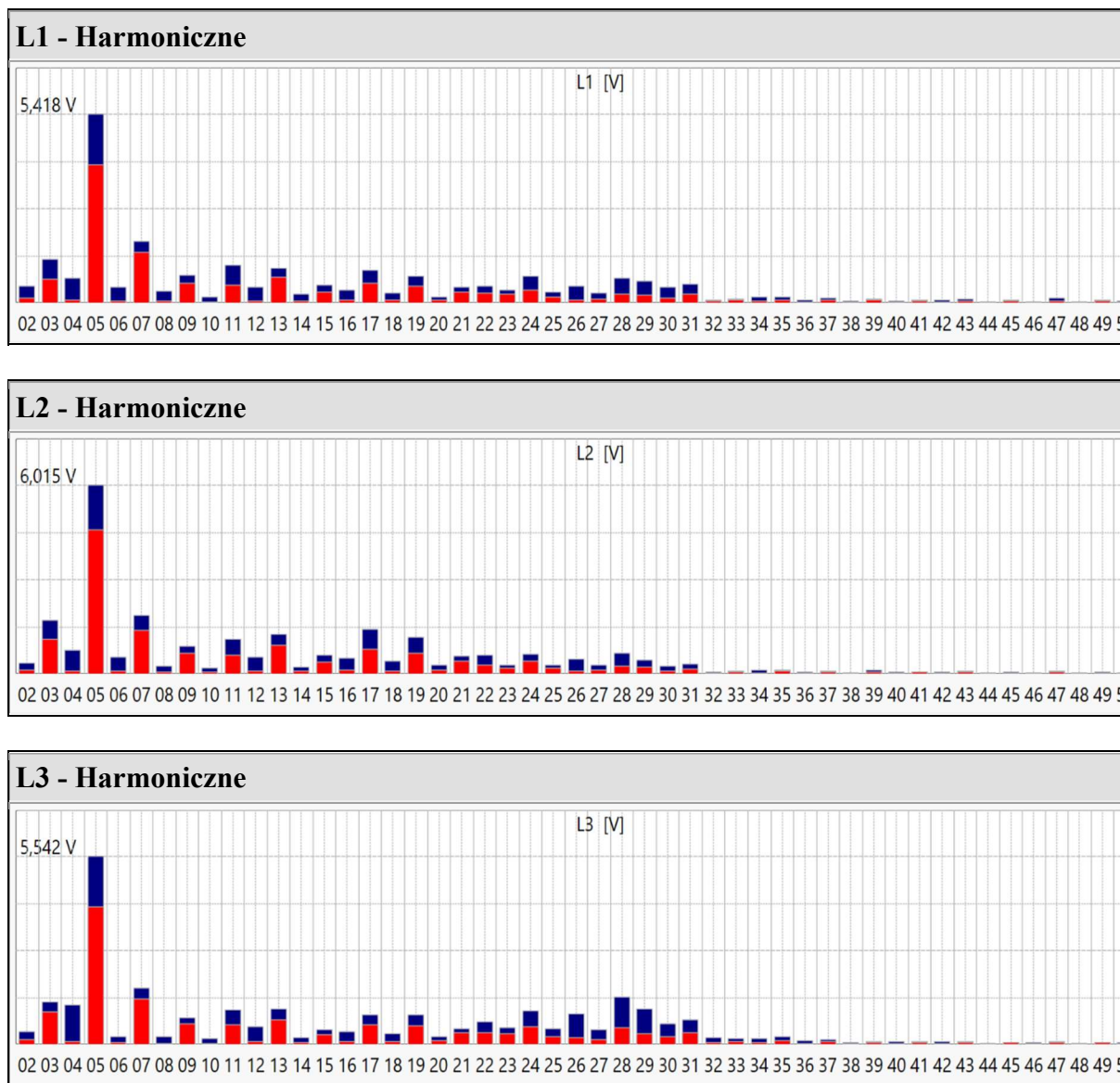


Rys. 2. Zmierzone parametry jakości energii w odniesieniu do limitów PN-EN 50160.

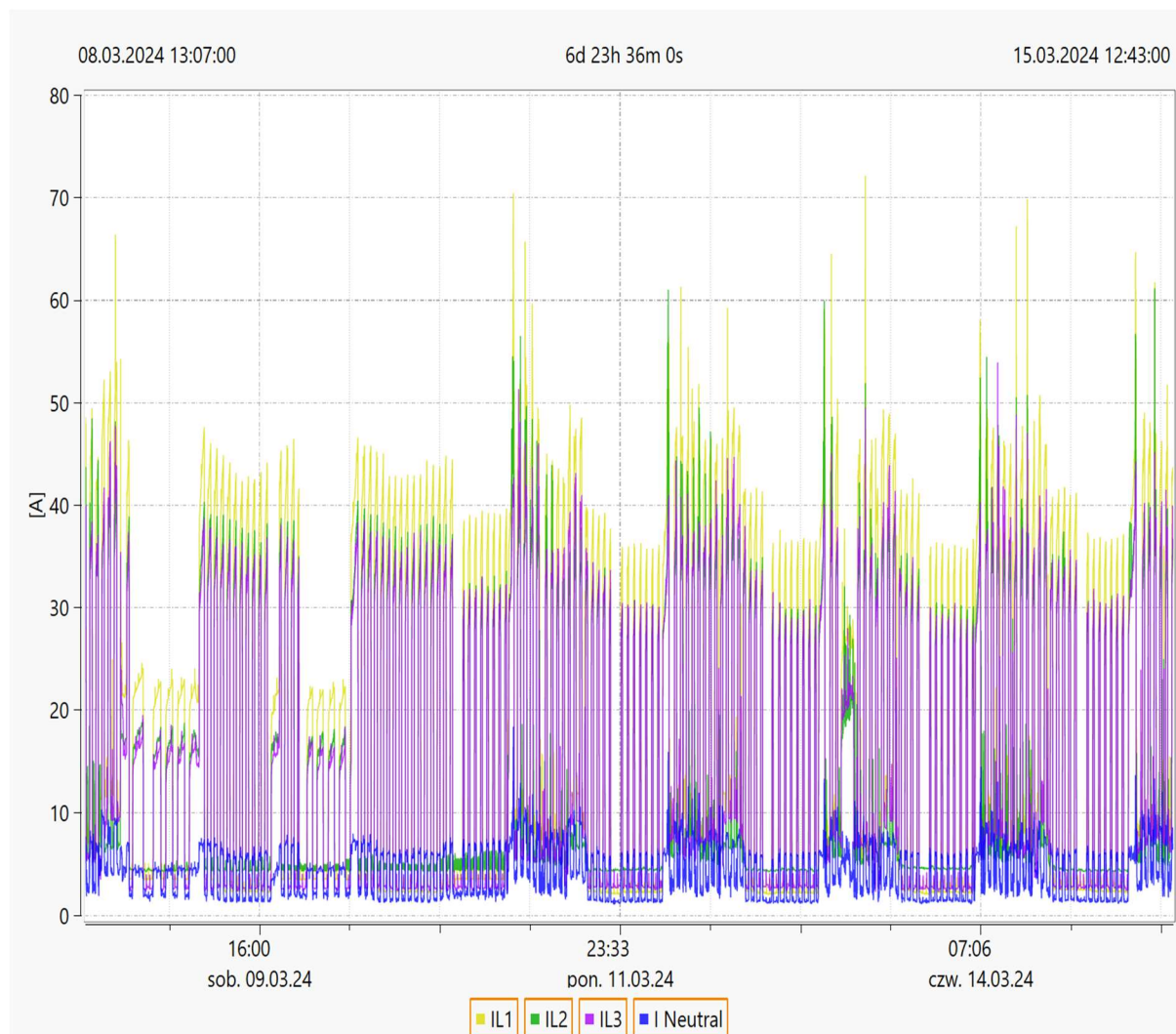


Rys. 3. Spektrum harmonicznych napięcia w wartościach procentowych w wartościach procentowych limitu.

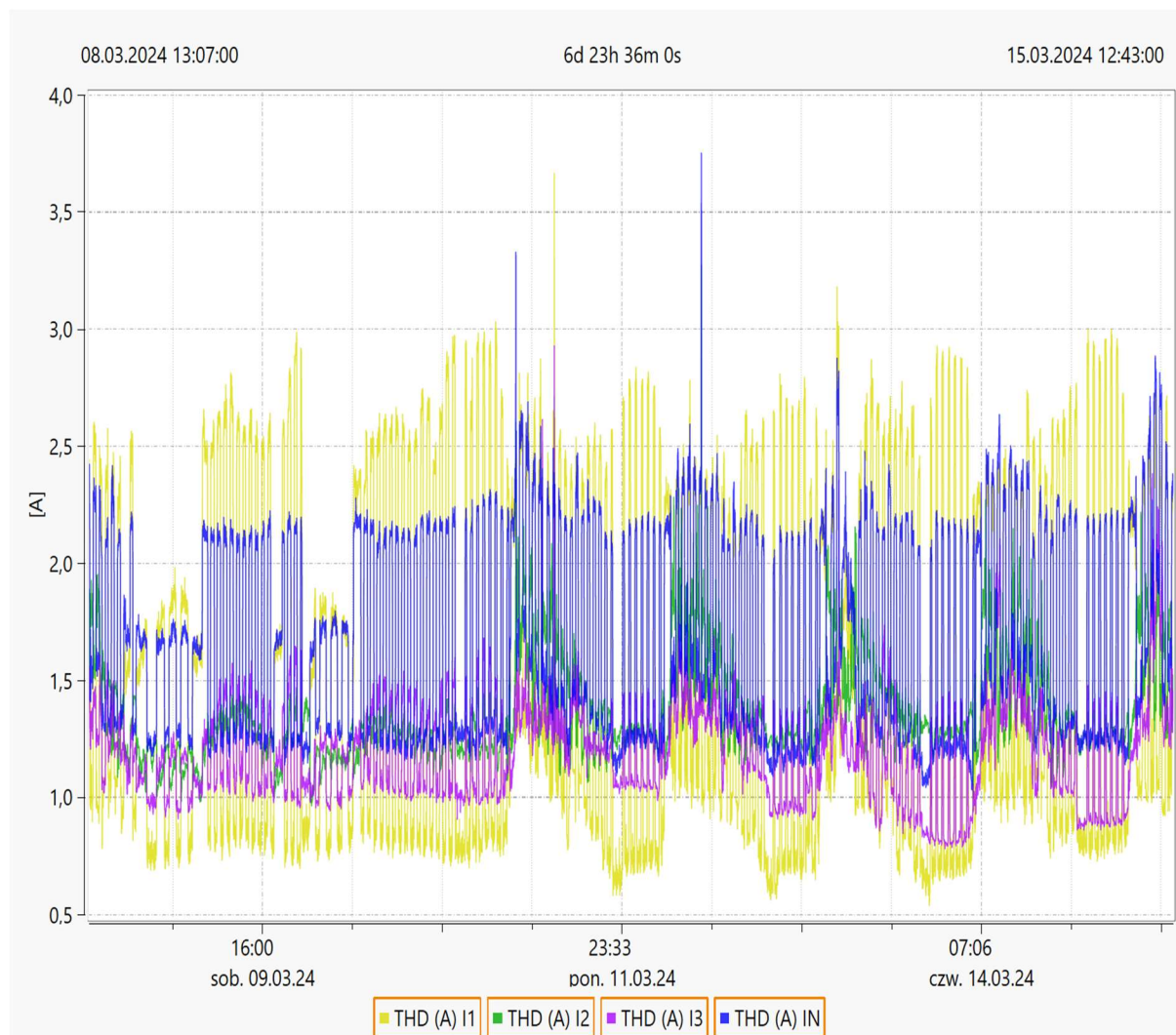
Szczytowe wartości skuteczne harmonicznego napięcia przekraczają poziom 5,0 V.



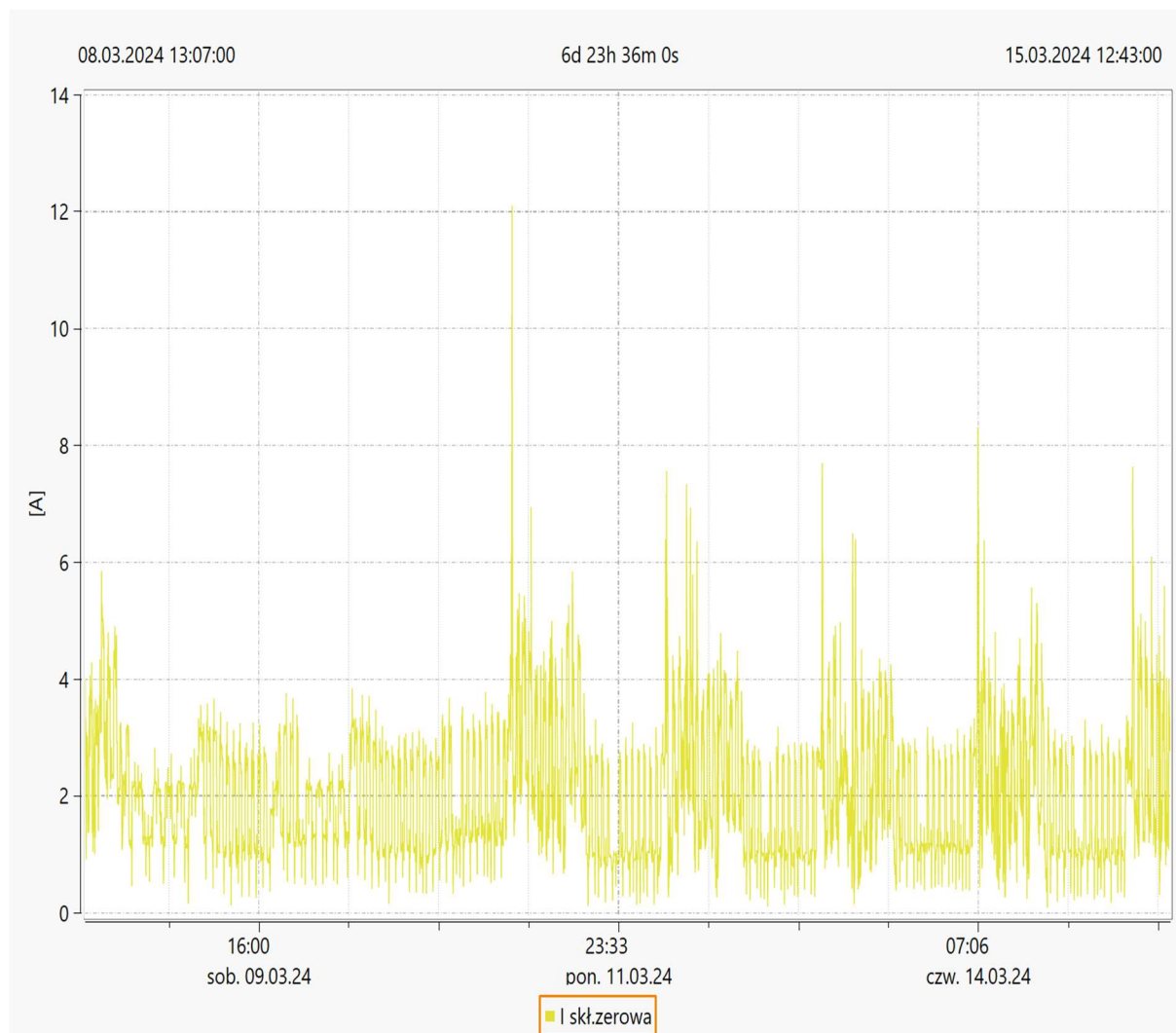
Rys. 4. Spektrum harmonicznego napięcia w [V].



Rys. 5. Wykres wartości prądów fazowych oraz w przewodzie neutralnym w [A].



Rys. 6. Wykres wartości THD prądów fazowych oraz w przewodzie neutralnym w [A].



Rys. 7. Wykres składowej zerowej wskazujący na niewielką asymetrię obciążenia.



Rys. 8. Zestawienie wartości całkowitych mocy czynnej, biernej i pozornej składowej podstawowej.



Rys. 9. Wykres zarejestrowanych wartości mocy biernej składowej podstawowej w poszczególnych fazach.

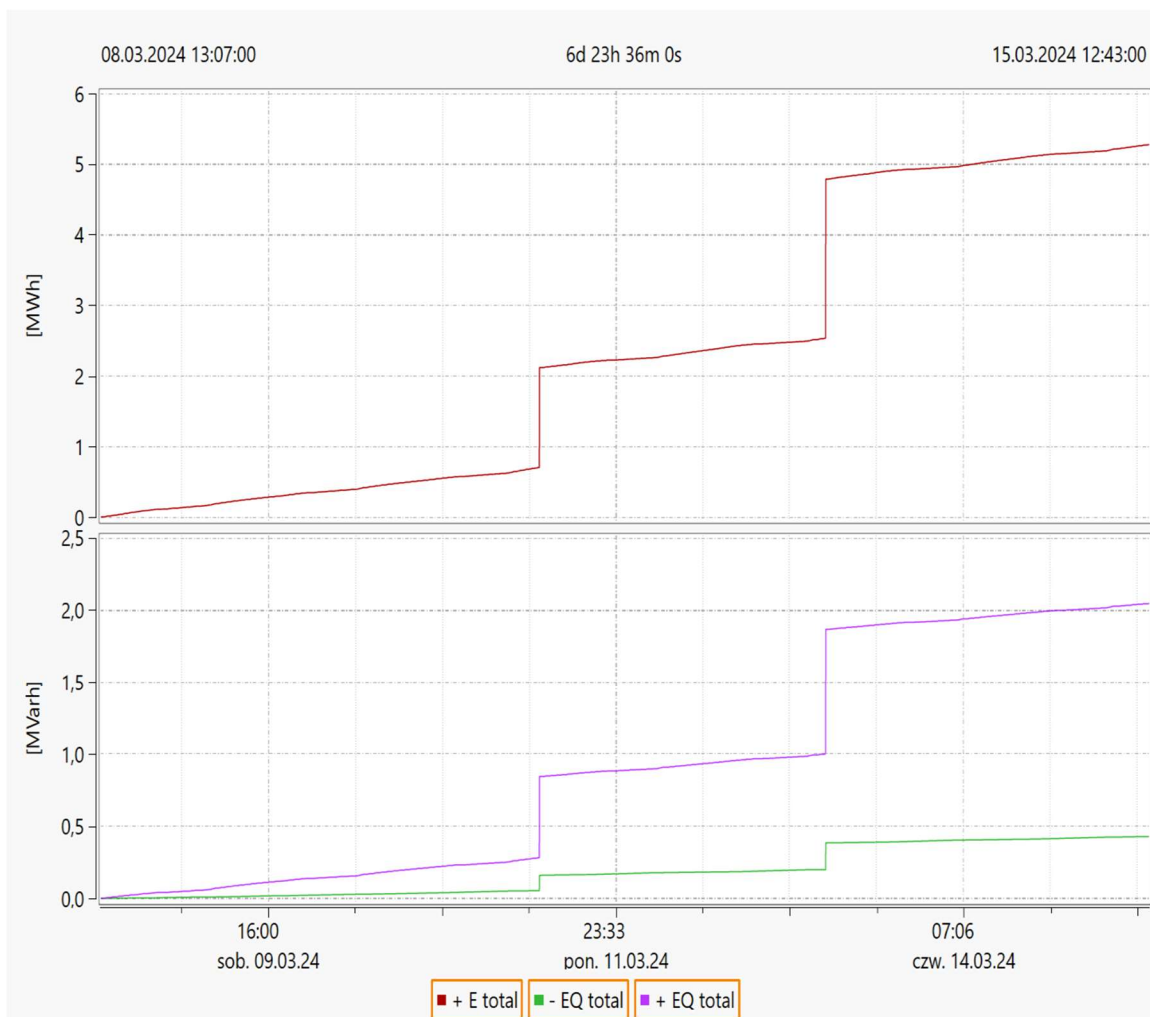
	Min	Średnia	Max
QVL1	-865,237 Var	1,156 KVar	4,332 KVar
QVL2	-952,174 Var	684,266 Var	5,327 KVar
QVL3	-2,124 KVar	1,023 KVar	4,612 KVar

Rys. 10. Wartości mocy biernej składowej podstawowej w poszczególnych fazach w szczegółach.

VI. Podsumowanie i wnioski.

Kompensacja mocy biernej.

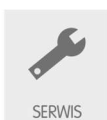
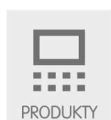
W badanym punkcie zasilania występuje moc bierna o zmiennym charakterze, lecz prawdopodobnie tylko moc bierna pojemnościowa generuje dodatkowe koszty. Wyliczony współczynnik tgφ dla okresu rejestracji wyniósł 0,39, czyli znajduje się na granicy umownego współczynnika mocy.



	Min	Średnia	Max
+ E total	792,035 Wh	2,337 MWh	5,279 MWh
- EQ total	0,000 Varh	183,515 KVarh	426,673 KVarh
+ EQ total	362,659 Varh	912,646 KVarh	2,049 MVarh

Rys. 11. Wykres oraz wartości całkowitej energii czynnej pobranej oraz biernej indukcyjnej (+EQ) i pojemnościowej (-EQ).

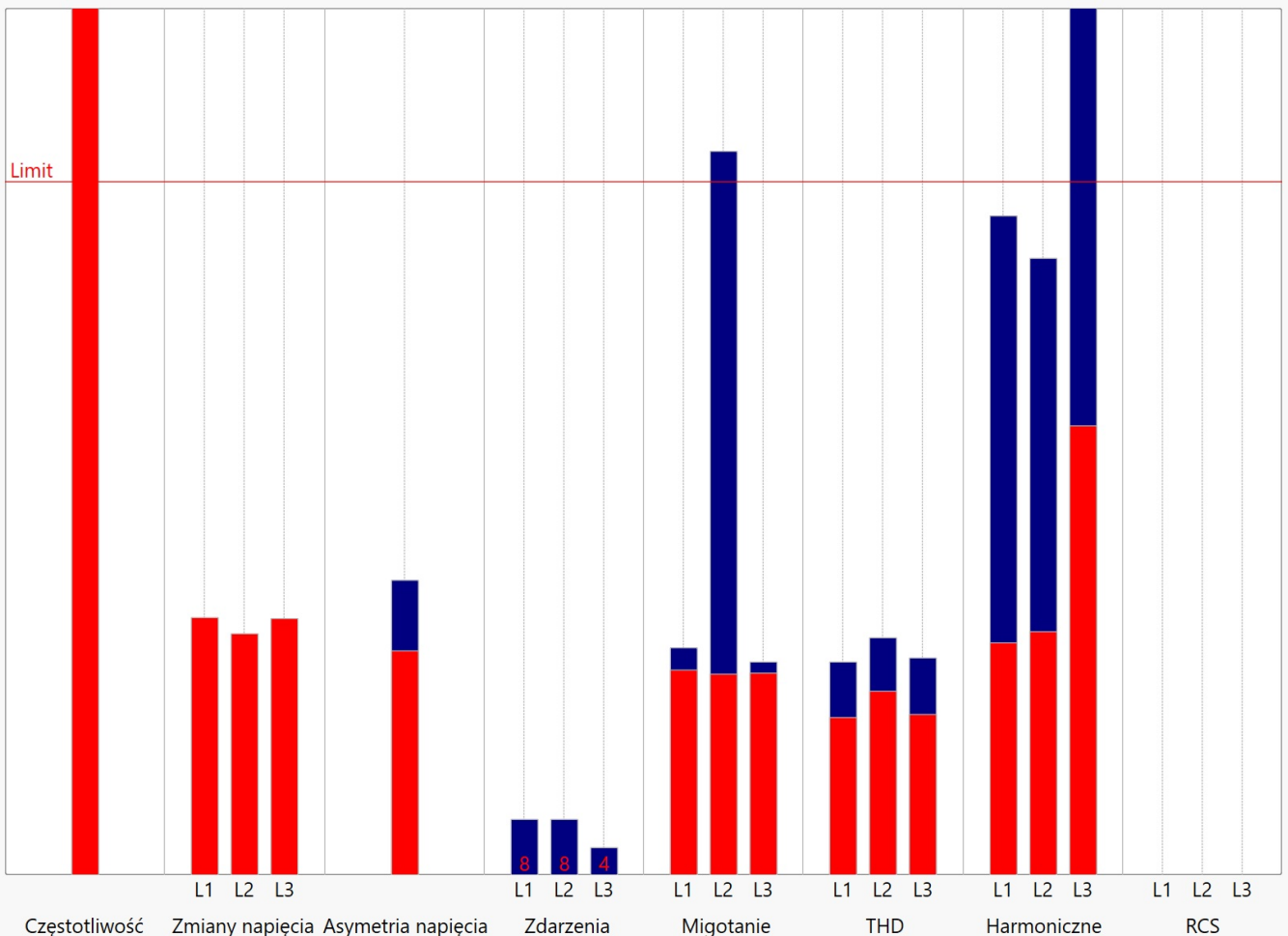
W celu wyeliminowania dodatkowych kosztów z tytułu energii biernej zaleca się zastosowanie w badanym punkcie zasilania układu kompensacji aktywnej o mocy 15 kvar typu **ASVG 15** umieszczonego w dedykowanej obudowie zlokalizowanej w bezpośrednim sąsiedztwie rozdzielnic układu SZR.



Nadleśnictwo Drygały

Klient		Telefon:	
Adres:	Drygały, ul. Grunwaldzka 22 12-230 Biała Piska	Powód pomiarów:	
Kontakt:		Wersja SW:	7.0.0.1
Rodzaj sieci:	U: Układ 4 przewodowy	Interwał:	60 s
Napięcie nominalne:	230.00 V / 398.37 V	Sygnaly sterujące f [Hz]:	75 Hz
Częstotliwość:	50 Hz	Czas zakończenia:	15.03.2024 12:43:00
Czas rozpoczęcia:	08.03.2024 13:07:00	Liczba interwałów:	10056
Czas trwania:	6d 23h 36m 0s	Nr seryjny:	1816-102
Typ Pq-Box:	PQ Box 100: Light B0	Wersja DSP:	1.419
Firmware:	2.032		

Przegląd



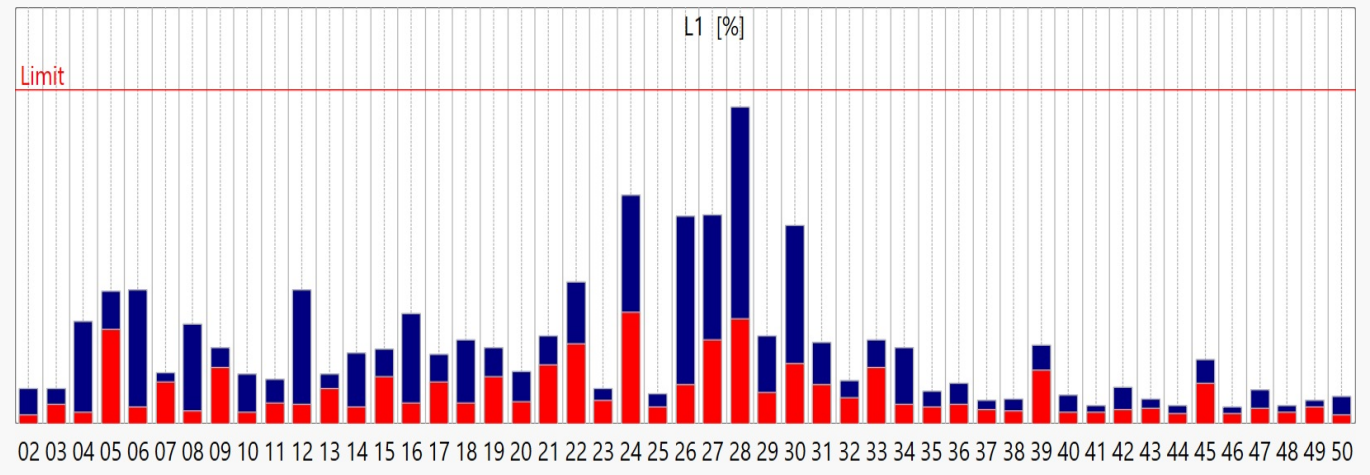
Nadleśnictwo Drygały

Klient		Telefon:	
Adres:	Drygały, ul. Grunwaldzka 22 12-230 Biała Piska	Powód pomiarów:	
Kontakt:		Wersja SW:	7.0.0.1
Rodzaj sieci:	U: Układ 4 przewodowy	Interwał:	60 s
Napięcie nominalne:	230.00 V / 398.37 V	Sygnaly sterujące f [Hz]:	75 Hz
Częstotliwość:	50 Hz	Czas zakończenia:	15.03.2024 12:43:00
Czas rozpoczęcia:	08.03.2024 13:07:00	Liczba interwałów:	10056
Czas trwania:	6d 23h 36m 0s	Nr seryjny:	1816-102
Typ Pq-Box:	PQ Box 100: Light B0	Wersja DSP:	1.419
Firmware:	2.032		

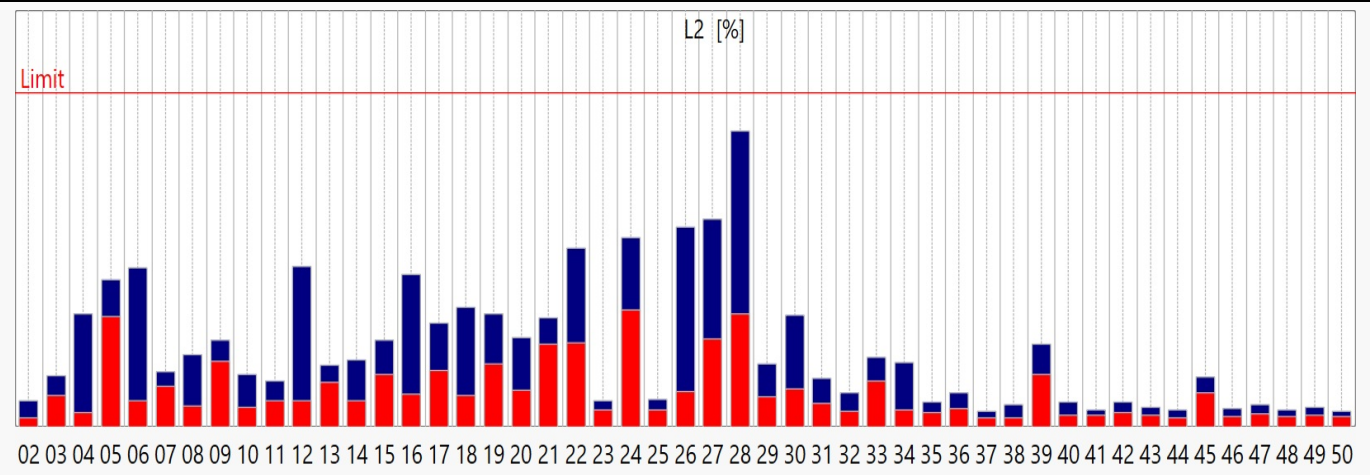
Wyniki statystyczne

	Wartość maksymalna	99.50%	0.50%	Wartość minimalna	Limit wartości max	Limit wartości min	Ilość interwałów
Częstotliwość:	50,10 Hz	50,06 Hz	49,94 Hz	0,00 Hz	50,50 Hz	49,50 Hz	60 336
	Wartość maksymalna	95.00%	5.00%	Wartość minimalna	Limit wartości max	Limit wartości min	Ilość interwałów
Zmiany napięcia L1:	238,53 V	233,96 V	225,57 V	222,05 V	253,00 V	207,00 V	10 052
Zmiany napięcia L2:	237,98 V	233,27 V	225,43 V	222,28 V	253,00 V	207,00 V	10 052
Zmiany napięcia L3:	238,49 V	234,21 V	225,76 V	222,78 V	253,00 V	207,00 V	10 052
	Wartość maksymalna	95.00%			Limit wartości max		Ilość interwałów
Asymetria napięcia:	0,85	0,65			2,00		10 051
Migotanie L1:	0,33	0,30			1,00		80
Migotanie L2:	1,04	0,29			1,00		80
Migotanie L3:	0,31	0,29			1,00		80
	Wartość maksymalna	99.00%		Wartość limitu			Liczba
RCS L1:	0,00	0,00		9,00			0
RCS L2:	0,00	0,00		9,00			0
RCS L3:	0,00	0,00		9,00			0

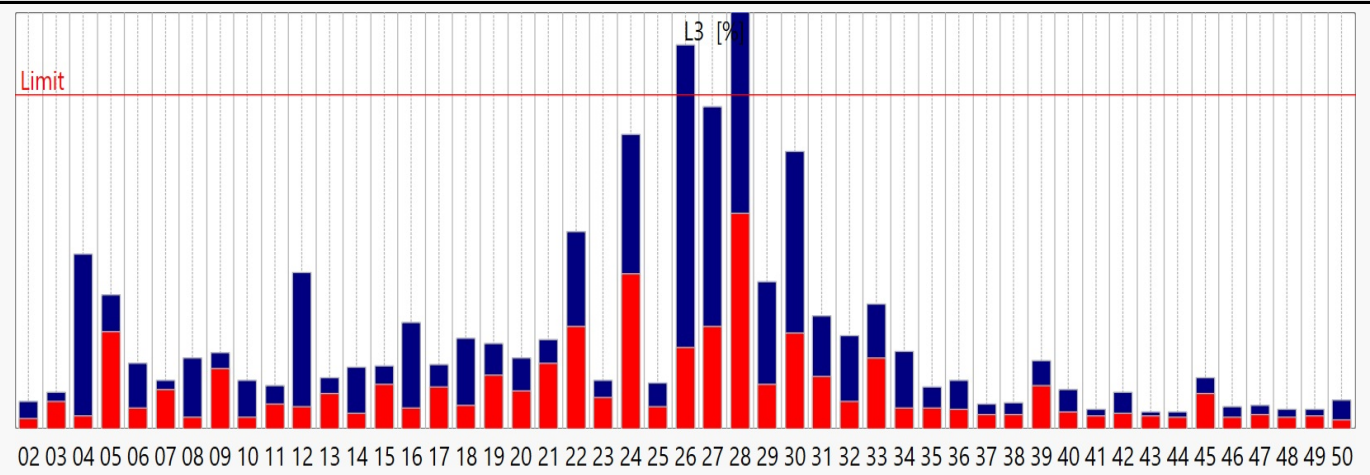
L1 - Harmoniczne



L2 - Harmoniczne



L3 - Harmoniczne



Harmoniczne

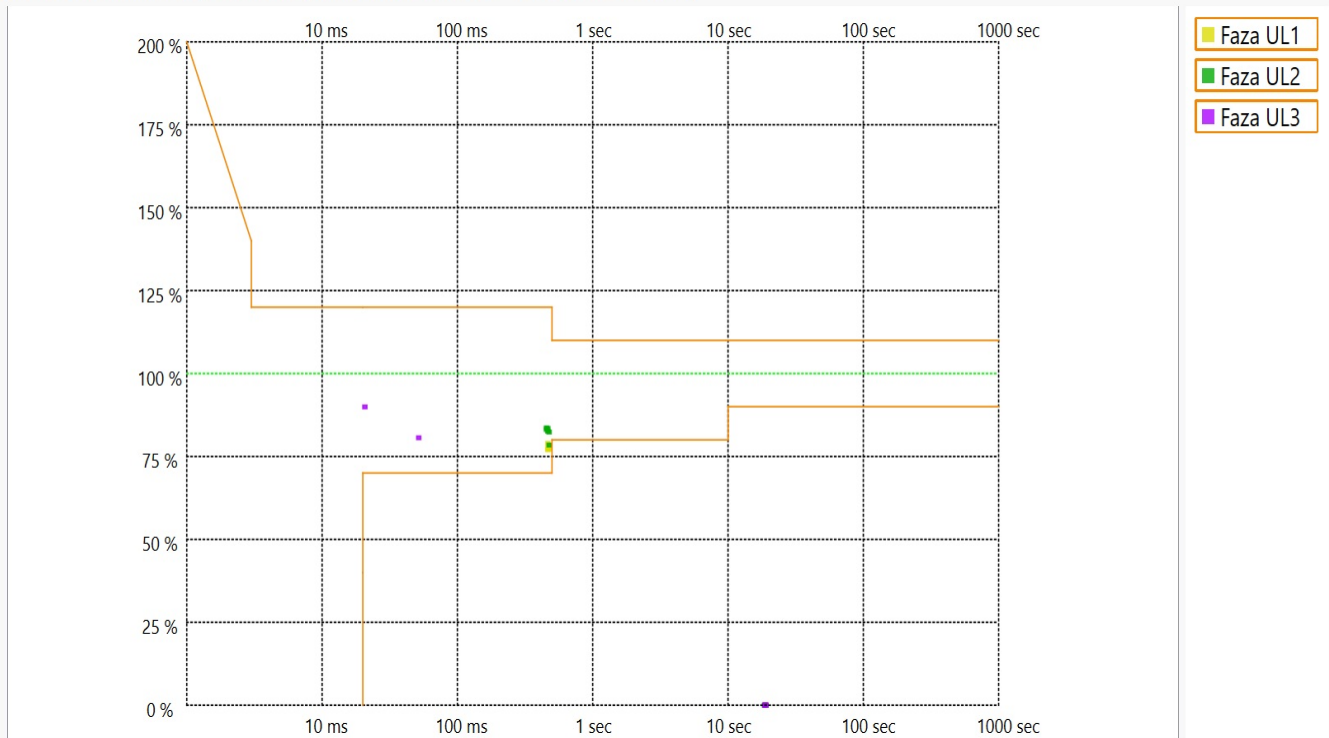
	Wartości graniczne [%]	L1 - 95,00% [%]	L1 - Max [%]	L2 - 95,00% [%]	L2 - Max [%]	L3 - 95,00% [%]	L3 - Max [%]
THD	8,00	1,82	2,46	2,12	2,74	1,85	2,50
02	2,00	0,06	0,21	0,06	0,16	0,06	0,17
03	5,00	0,30	0,54	0,48	0,76	0,42	0,55
04	1,00	0,04	0,31	0,04	0,34	0,04	0,52
05	6,00	1,72	2,38	1,99	2,64	1,75	2,40
06	0,50	0,03	0,20	0,04	0,24	0,03	0,10
07	5,00	0,63	0,77	0,61	0,82	0,59	0,73
08	0,50	0,02	0,15	0,03	0,11	0,02	0,11
09	1,50	0,25	0,34	0,29	0,39	0,27	0,34
10	0,50	0,02	0,07	0,03	0,08	0,02	0,07
11	3,50	0,22	0,47	0,27	0,49	0,26	0,45
12	0,50	0,03	0,20	0,04	0,24	0,03	0,23
13	3,00	0,32	0,45	0,40	0,56	0,31	0,46
14	0,50	0,03	0,11	0,04	0,10	0,02	0,09
15	1,00	0,14	0,23	0,16	0,26	0,13	0,19
16	0,50	0,03	0,17	0,05	0,23	0,03	0,16
17	2,00	0,25	0,42	0,34	0,62	0,25	0,39
18	0,50	0,03	0,13	0,05	0,18	0,04	0,14
19	1,50	0,21	0,34	0,29	0,51	0,24	0,38
20	0,50	0,03	0,08	0,06	0,13	0,06	0,11
21	0,75	0,13	0,20	0,19	0,25	0,15	0,20
22	0,50	0,12	0,21	0,13	0,27	0,15	0,30
23	1,50	0,11	0,16	0,08	0,12	0,14	0,22
24	0,50	0,17	0,34	0,18	0,28	0,23	0,44
25	1,50	0,08	0,14	0,08	0,12	0,10	0,21
26	0,35	0,04	0,22	0,04	0,21	0,09	0,40
27	0,20	0,05	0,13	0,05	0,12	0,06	0,19
28	0,34	0,11	0,32	0,12	0,30	0,22	0,63
29	1,06	0,10	0,28	0,10	0,20	0,14	0,47
30	0,33	0,06	0,20	0,04	0,11	0,10	0,27
31	0,97	0,11	0,24	0,07	0,14	0,15	0,33
32	0,33	0,03	0,04	0,02	0,03	0,03	0,09
33	0,20	0,03	0,05	0,03	0,04	0,04	0,07
34	0,32	0,02	0,07	0,02	0,06	0,02	0,07
35	0,83	0,04	0,08	0,03	0,06	0,05	0,10
36	0,32	0,02	0,04	0,02	0,03	0,02	0,05
37	0,77	0,03	0,06	0,02	0,04	0,03	0,06
38	0,32	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03
39	0,20	0,03	0,05	0,03	0,05	0,03	0,04
40	0,31	0,01	0,03	0,01	0,02	0,02	0,04
41	0,67	0,02	0,04	0,02	0,03	0,03	0,04
42	0,31	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,03
43	0,63	0,03	0,05	0,02	0,04	0,02	0,03
44	0,31	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02
45	0,20	0,02	0,04	0,02	0,03	0,02	0,03
46	0,30	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02
47	0,55	0,03	0,06	0,02	0,04	0,02	0,04
48	0,30	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02
49	0,52	0,03	0,04	0,02	0,03	0,02	0,03
50	0,30	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,03

PQ-Zdarzenia

Przebiecia przejściowe:	0	Zmiany częstotliwości:	1
Jednofazowa szybka zmiana napięcia:	25	Jednofazowa przerwa w zasilaniu:	6
Zapady jednofazowe:	20	Wolna zmiana napięcia:	0
Wzrosty jednofazowe:	0		

Krzywa ITIC/CBMA

Analiza zdarzeń w krzywej ANSI [08.03.2024 13:07:00 - 15.03.2024 12:43:00]



Matryca zdarzeń

Zapad napięcia U [%]	Czas trwania t [ms]				
	10 ≤ t < 200	200 ≤ t < 500	500 ≤ t < 1000	1000 ≤ t < 5000	5000 ≤ t < 60000
90 > u ≥ 80	1	0	0	0	0
80 > u ≥ 70	0	6	0	0	0
70 > u ≥ 40	0	0	0	0	0
40 > u ≥ 5	0	0	0	0	0
5 > u	0	0	0	0	2

Wzrost napięcia U [%]	Czas trwania t [ms]		
	10 ≤ t < 500	500 ≤ t < 5000	5000 ≤ t < 60000
u ≥ 120	0	0	0
120 > u ≥ 110	0	0	0