

**PROTOKÓŁ Z POMIARÓW JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ  
NR PQ\_071\_24\_PJ****Klient:**Nadleśnictwo Gorlice,  
Ul. Zagórzany 343, 38-333 Zagórzany**Wykonawca:**Aniro Sp. o.o.,  
ul. B. Chrobrego 64, 87-100 Toruń**Data wykonania analizy:**

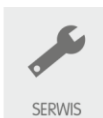
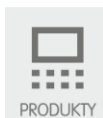
04.07.2024

**Data wykonania pomiarów:**

26.06-02.07.2024r

**Miejsce wykonania pomiarów:**Nadleśnictwo Gorlice  
Złącze kablowe**Urządzenie:**

PQ Box 150: Expert 2-9kHz

**Typ sieci:**Układ zasilania sieci: 3-fazowa 4-przewodowa  
/ gwiazda 400,00V 50Hz

## 1. Wprowadzenie i definicje.

### 1.1 Moc czynna, bierna, pozorna oraz odkształceń.

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.
- **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.

W zależności od odbiornika wyróżniamy:

- **energię bierną indukcyjną** związaną z elementami indukcyjnymi np. silniki, piece indukcyjne,
- **energię bierną pojemnościową** związaną z kondensatorami lub długimi odcinkami kabli, będących pod napięciem. Moc bierna indukcyjna jak i pojemnościowa wpływa na zwiększenie strat cieplnych oraz ogranicza sprawność transformatorów i linii kablowych.

### 1.2 Współczynnik przesunięcia fazowego mocy DPF, $\cos\phi$ .

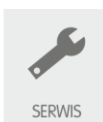
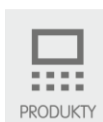
$\cos\phi$  lub współczynnik przesunięcia fazowego mocy (DPF) jest to współczynnik kąta przesunięcia fazowego pomiędzy napięciem i prądem. Parametr ten jest mierzony i regulowany przez regulatory współczynnika mocy w układach kompensacji mocy biernej.

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  $\cos(\phi)$ . Urządzenie do poprawy mocy, zawierające regulator i kondensatory, nie może ze względu na harmoniczne we właściwy sposób regulować współczynnika mocy, lecz może regulować  $\cos(\phi)$  w celu uzyskania zadanej wartości i utrzymania w ten sposób odpowiedniej wartości mocy biernej pobieranej lub oddawanej z sieci lub do sieci. W warunkach, gdy współczynnik mocy jest wciąż niższy niż nastawiona wartość, pomimo korekcji mocy biernej do  $\cos\phi=1$ , wymagane jest zainstalowanie filtrów harmonicznymi w celu redukcji zniekształceń spowodowanych przez nieliniowe obciążenia.

### 1.3 Wyższe harmoniczne.

Pojęcie „harmoniczne” jest związane przede wszystkim z odbiornikami nieliniowymi, czyli napędami regulowanymi używanymi najczęściej do regulacji prędkości obrotowej silników indukcyjnych i prądu stałego oraz odbiorniki typu zasilacze impulsowe, UPS-y, źródła oświetlenia typu LED i kompaktowe.

Każdy sygnał periodyczny może być przedstawiony, jako suma funkcji sinus o częstotliwości podstawowej (np. 50 Hz – częstotliwość sieci) oraz sygnałów sinusoidalnych o innych częstotliwościach (np. 150Hz, 250Hz 350Hz itp.) Sygnał o częstotliwości będącej wielokrotnością sygnału 50Hz, nazywany jest harmoniczną. Np. sygnał 150 Hz to 3-cia harmoniczna.



W sieciach zasilających występują przede wszystkim 5-te, 7-me, 11-te, 13-te, w znikomej mierze również 17-te, 19-te i 23-cie harmoniczne. W niesymetrycznym, względnie jednofazowym obciążeniu wyższymi harmonicznymi znaczące wielkości osiąga dodatkowo trzecia harmoniczna oraz jej nieparzyste wielokrotności. Parametrem opisującym ilościowo wyższe harmoniczne jest **współczynnik THD**. Jest to procentowy udział geometrycznej sumy poszczególnych składowych harmonicznych w odniesieniu do wartości składowej podstawowej. Wzór pozwalający wyznaczyć wartość współczynnika odkształceń w napięciu:

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

- THDU współczynnik zawartości harmonicznych w napięciu [%],
- $U_h$  wartość skuteczna n-tej harmonicznej [kV],
- $U_1$  wartość skuteczna 1-szej harmonicznej [kV].

Wzór pozwalający wyznaczyć wartość współczynnika odkształceń w prądzie:

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

- THDI współczynnik zawartości harmonicznych w napięciu [%],
- $I_k$  wartość skuteczna h-tej harmonicznej [kV],
- $i_1$  wartość skuteczna 1-szej harmonicznej [kV].

Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007r. określa, dla sieci niskiego napięcia poziom zniekształceń harmonicznych napięcia w normalnych warunkach pracy, w ciągu każdego tygodnia, 95% ze zbioru 10-minutowych, średnich wartości skutecznych dla każdej harmonicznej napięcia. Wartości te powinny być mniejsze lub równe wartościom zamieszczonym w poniższej tabeli. Współczynnik THD napięcia zasilającego (uwzględniający wszystkie harmoniczne, aż do rzędu 40) powinien być mniejszy lub równy 8 %.

		≥110kV	<110kV	
<b>Harmoniczne</b>	Harmoniczne nieparzyste (nie będące nieparzystą wielokrotnością 3)			95% tygodnia, wartość względna napięcia w procentach w stosunku do składowej podstawowej ( $U_h$ )
	H5	2	6	
	H7	2	5	
	H11	1,5	3,5	
	H13	1,5	3	
	H17	1	2	
	H19	1	1,5	
	H23	0,7	1,5	
	H25	0,7	1,5	
	H>25 (nieparzyste)	0,2+12,5/H		

Harmoniczne parzyste		
H2	1,5	2
H4	1	1
H>4 (parzyste)	0,5	0,5
Harmoniczne nieparzyste ( będące nieparzystą wielokrotnością 3)		
H3	2	5
H9	1	1,5
H15	0,5	0,5
H21	0,5	0,5

Spadek napięcia wywołany harmoniczną prądu w połączeniu z impedancją sieci zasilającej powoduje powstanie zniekształceń harmonicznym napięcia. Sieć o najwyższej impedancji powoduje najwyższe zniekształcenia napięcia. Z kolei zniekształcenia harmonicznym napięcia mogą oddziaływać na urządzenia przyłączone do tej samej linii zasilającej takie jak regulatory silników, sprzęt komputerowy, pomiarowy, laboratoryjny. Mogą także być przyczyną ich uszkodzeń. Ich obecność 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,
- przestoje powodujące zwiększone i nieprzewidziane koszty,
- problemy z układem sterowania PLC,
- obniżony, hamujący i pulsujący moment obrotowy silnika.

Problemy te nie tylko wpływają na obniżenie niezawodności i jakości całego systemu, ale także mogą być powodem zwarć, a w efekcie pożary. Urządzenia elektroniczne i energoelektroniczne takie jak: falowniki (przebiegniki częstotliwości), układy regulacji tyrystorowej, UPS, świetlówki i żarówki energooszczędne, oświetlenie LED, nowoczesne telewizory oraz sprzęt komputerowy, są jednymi z powszechnie wykorzystywanych urządzeń, które generują harmoniczne wskutek pobierania niesinusoidalnego prądu. Im więcej urządzeń elektronicznych i energoelektronicznych w systemie (odbiorników o charakterystyce nieliniowej) tym większe zniekształcenia i większy współczynnik THD (Total Harmonic Distortion).

## 2. ANALIZA WYKONANYCH POMIARÓW.

### 2.1. Analiza jakości energii elektrycznej w Nadleśnictwie Gorlice

W trakcie pomiarów zarejestrowano następujące wielkości parametrów energii:

- maksymalna moc czynna P pobrana – 12,3 kW
- maksymalna moc pozorna S – 14,6 kVA
- maksymalna moc bierna Q pojemnościowa – 4,04 kVar
- maksymalna moc bierna odkształcenia D – 52,43 kVar
- współczynnik mocy PF (abs)

	Min	Średnia	Max
PFL1	0,585	0,803	0,972
PFL2	0,143	0,591	0,971
PFL3	0,223	0,721	0,982
PFtotal	0,386	0,626	0,877

- napięcie skuteczne:

	Min	Średnia	Max
UL1	237,168 V	240,475 V	243,613 V
UL2	236,358 V	239,538 V	243,386 V
UL3	237,127 V	240,471 V	243,725 V

- THD U (całkowite odkształcenia napięcia):

	Min	Średnia	Max
THDL1	1,143 %	1,733 %	2,379 %
THDL2	1,239 %	1,853 %	2,656 %
THDL3	1,397 %	1,990 %	2,604 %

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

	Min	Średnia	Max
TDD IL1 (23.71A)	5,371 %	8,556 %	18,751 %
TDD IL2 (23.71A)	3,275 %	5,471 %	10,182 %
TDD IL3 (23.71A)	4,460 %	7,408 %	12,197 %

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

	Min	Średnia	Max
<b>THD (A) I1</b>	1,274 A	2,029 A	4,447 A
<b>THD (A) I2</b>	0,777 A	1,297 A	2,414 A
<b>THD (A) I3</b>	1,058 A	1,757 A	2,892 A
<b>THD (A) IN</b>	2,078 A	3,789 A	7,942 A

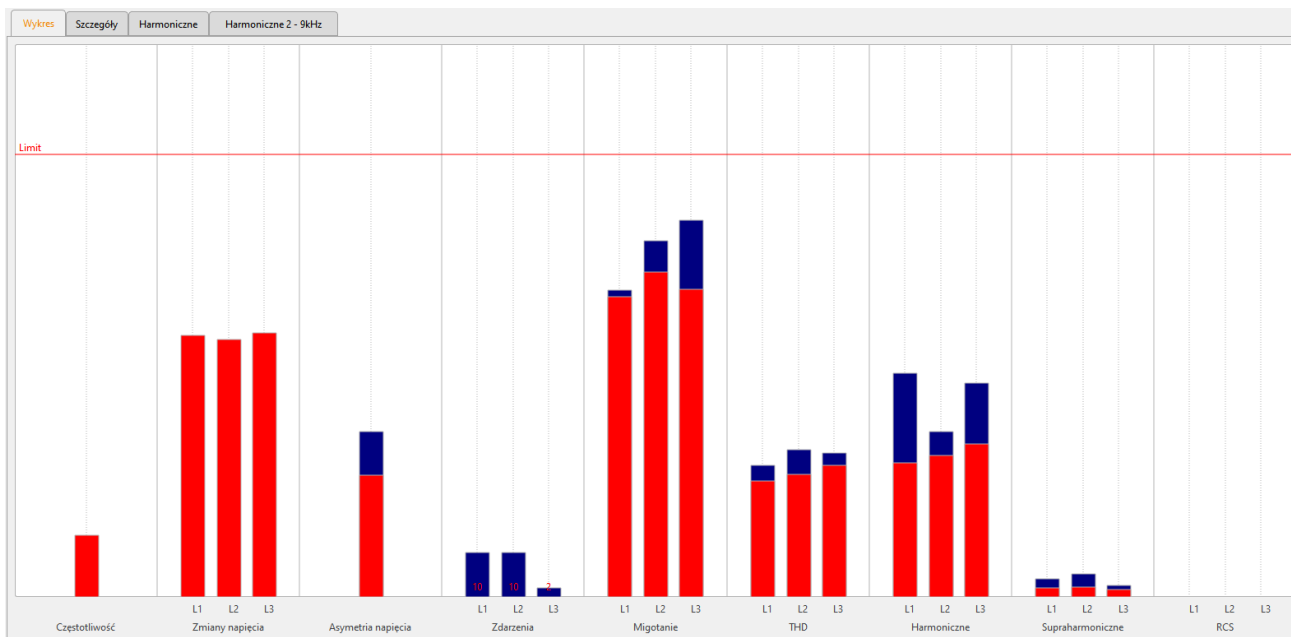
- dominujące harmoniczne prądu:

	Min	Średnia	Max
<b>H3 I1</b>	0,695 A	1,507 A	3,858 A
<b>H3 I2</b>	0,270 A	0,718 A	1,739 A
<b>H3 I3</b>	0,384 A	0,955 A	2,095 A
<b>H3 IN</b>	1,453 A	3,320 A	7,632 A
<b>H5 I1</b>	0,569 A	0,912 A	1,962 A
<b>H5 I2</b>	0,402 A	0,785 A	1,444 A
<b>H5 I3</b>	0,714 A	1,140 A	1,708 A
<b>H5 IN</b>	0,102 A	0,504 A	1,495 A
<b>H7 I1</b>	0,120 A	0,423 A	1,021 A
<b>H7 I2</b>	0,198 A	0,369 A	0,742 A
<b>H7 I3</b>	0,136 A	0,533 A	0,938 A
<b>H7 IN</b>	0,090 A	0,479 A	1,072 A

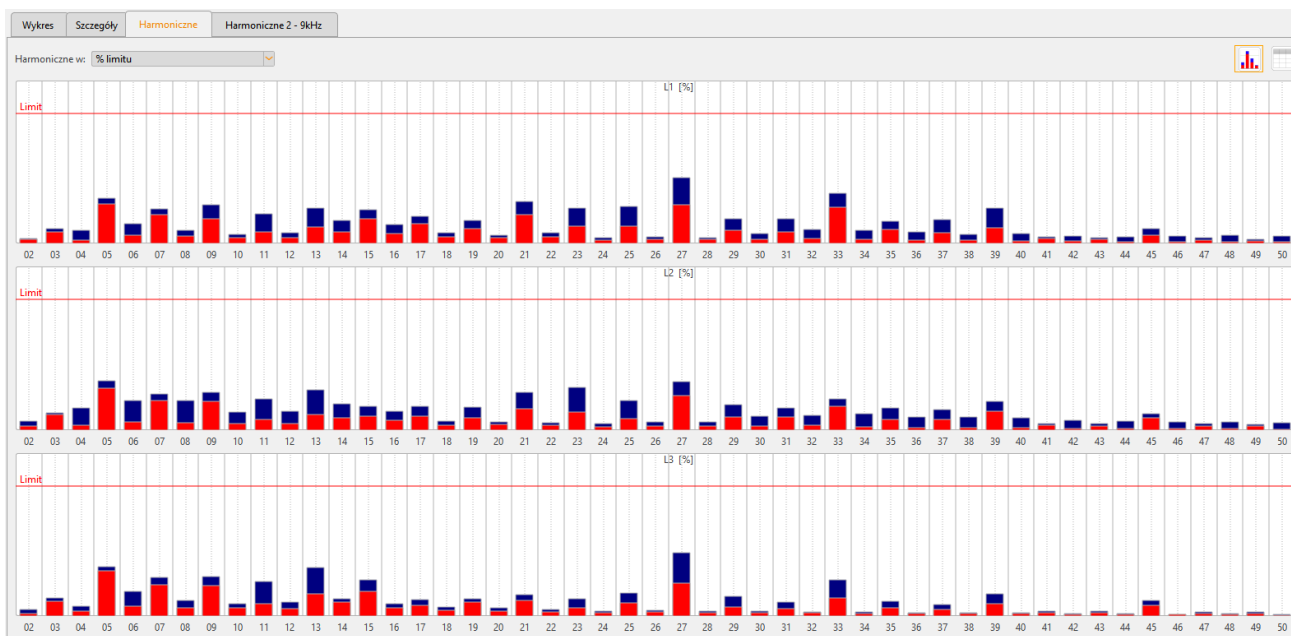
- prąd skuteczny:

	Min	Średnia	Max
<b>IL1</b>	5,528 A	9,177 A	20,895 A
<b>IL2</b>	3,523 A	6,911 A	23,714 A
<b>IL3</b>	5,140 A	8,646 A	20,472 A
<b>I Neutral</b>	3,950 A	7,493 A	13,473 A

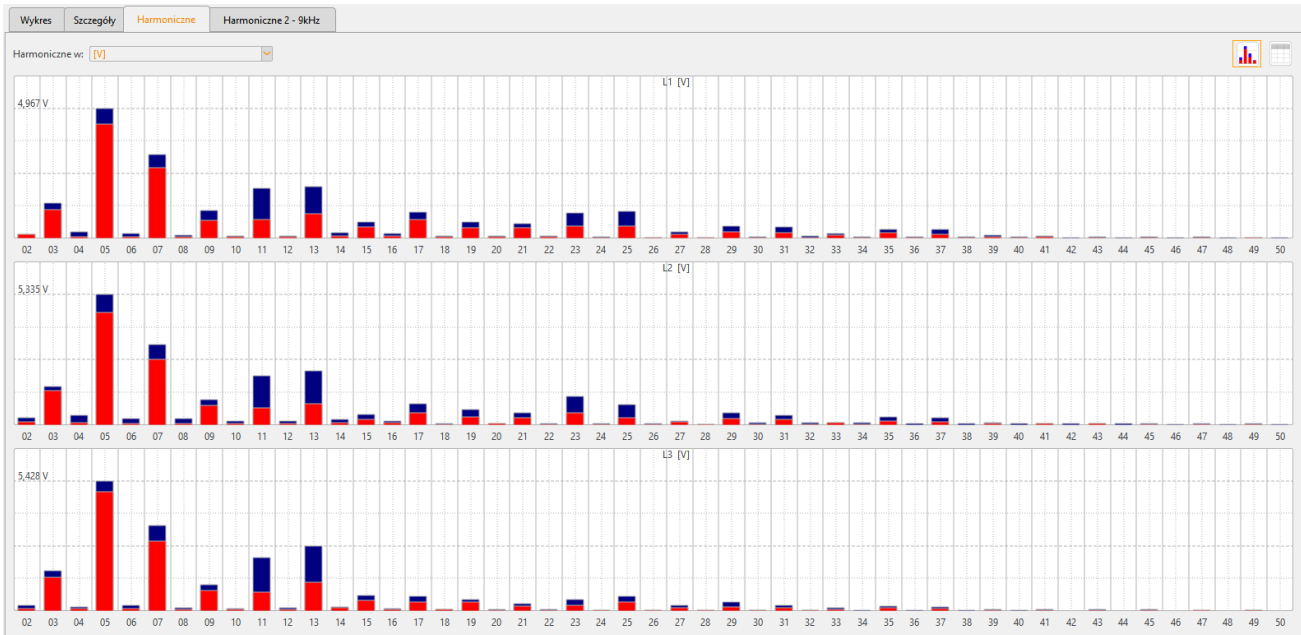
- Limity normy PN-EN 50160:



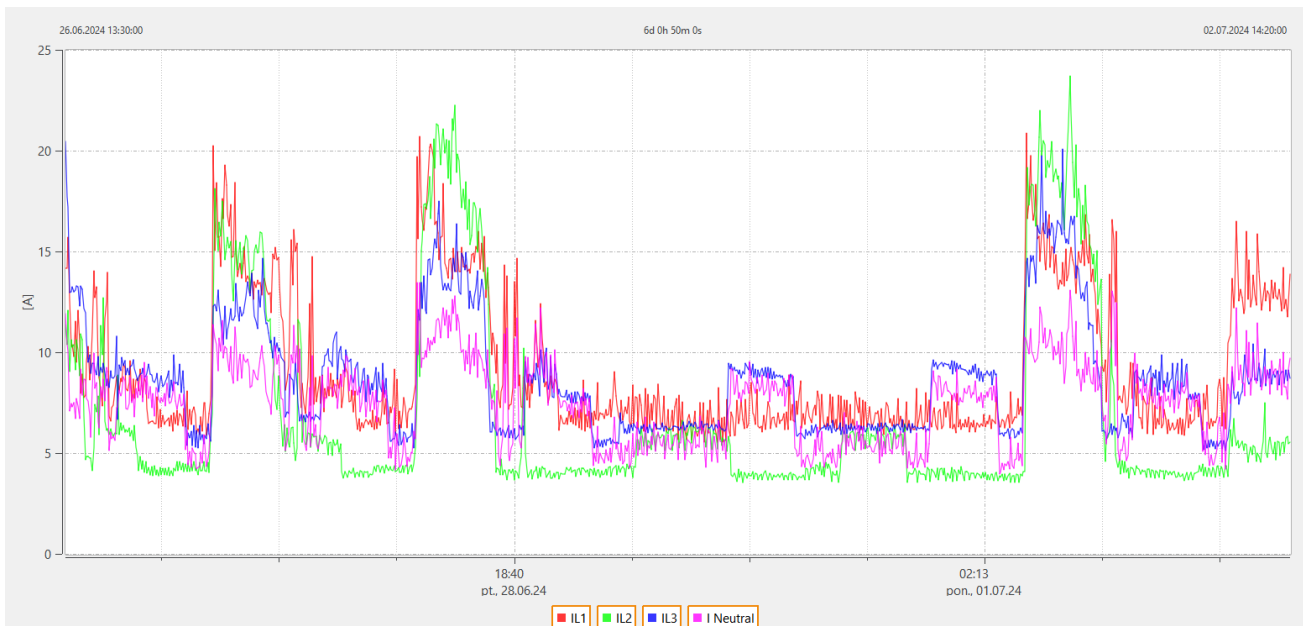
- Spektrum harmonicznych napięcia w porównaniu do procentowych wartości limitu normy PN-EN 50160:



- Spektrum wartości skutecznych harmonicznych napięcia [V]:

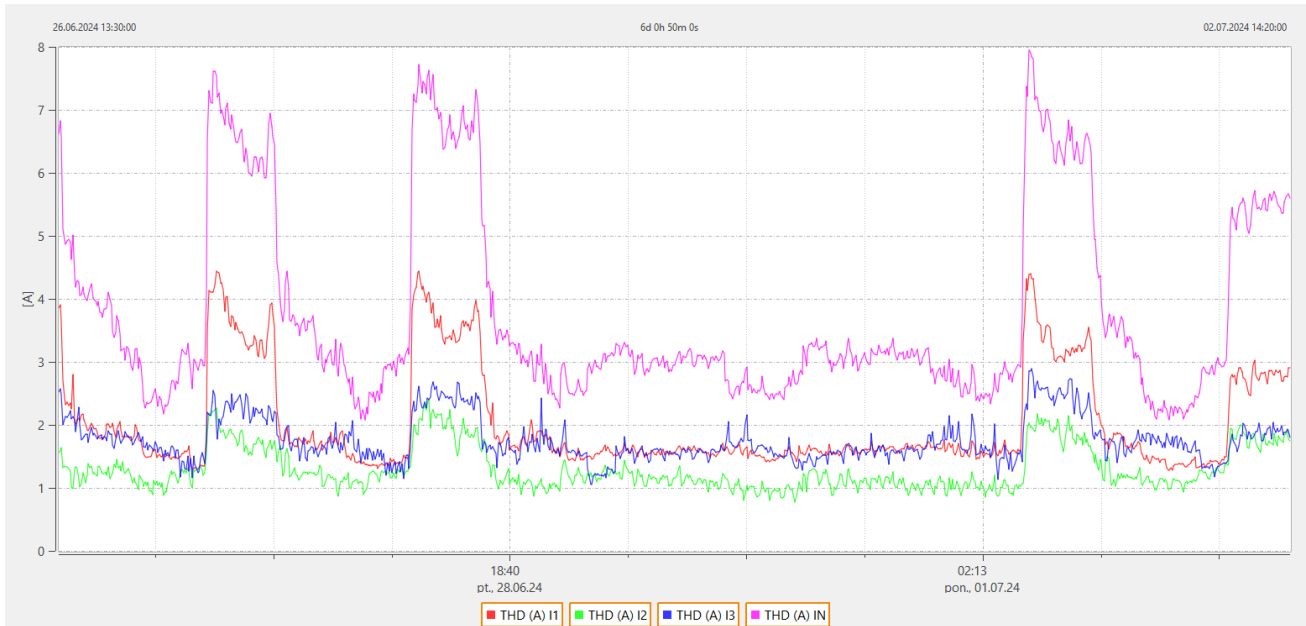


- Wykres wartości skutecznych prądu [A]:

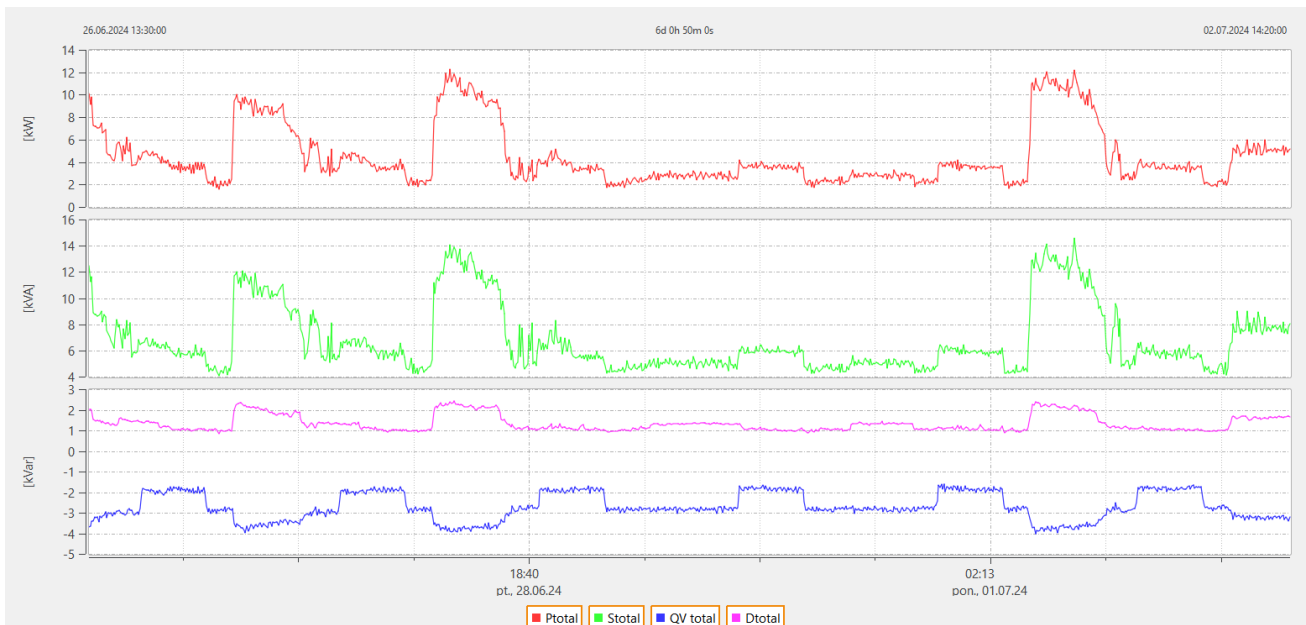




- Wykres wartości THD prądu [A]:



- Wykres wartości całkowitej mocy pozornej, czynnej i biernej

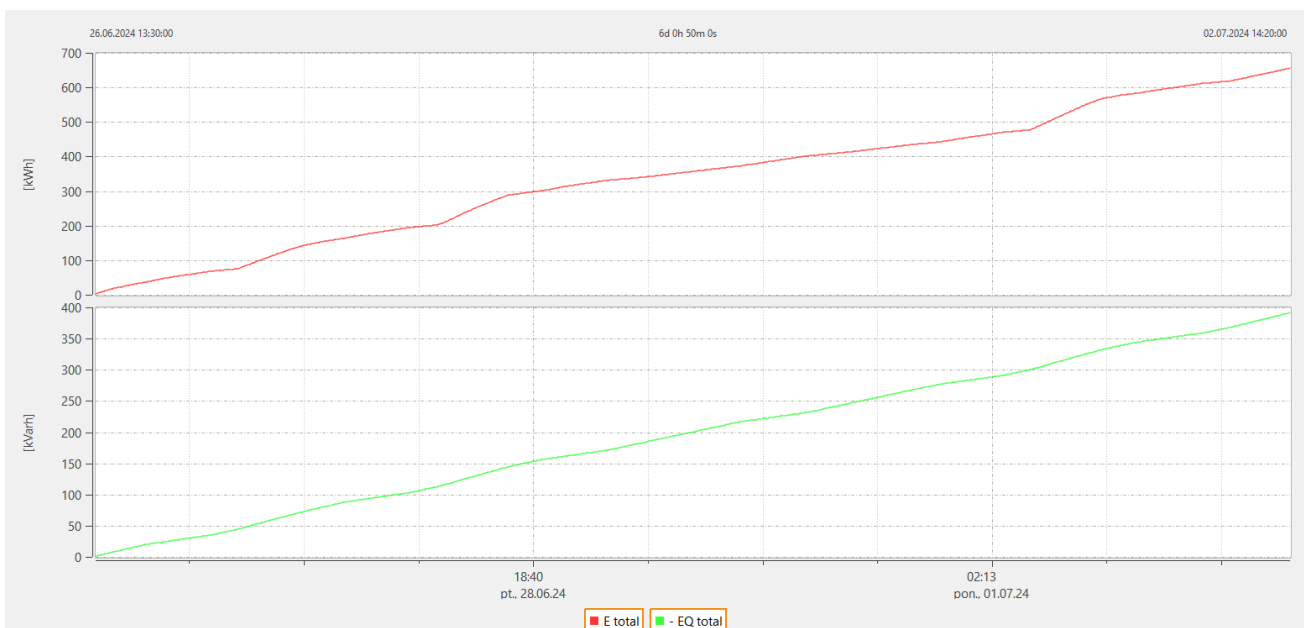


- Wykres wartości fazowych i całkowitej mocy bierniej



	Min	Średnia	Max
<b>QVL1</b>	-1,497 KVar	-955,671 Var	-710,062 Var
<b>QVL2</b>	-1,204 KVar	-796,382 Var	-615,740 Var
<b>QVL3</b>	-1,509 KVar	-947,147 Var	-105,222 Var
<b>QV total</b>	-4,004 KVar	-2,699 KVar	-1,613 KVar

- Wykres wartości całkowitej energii czynnej i bierniej



### 3. WNIOSKI

Pomiar został przeprowadzony w dniach 26.06-02.07.2024r w Nadleśnictwie Gorlice. Parametry jakości energii elektrycznej zostały odniesione do limitów określonych w normie PN-EN50160 oraz RMG z dnia 4 maja 2007r.

W punkcie przyłączenia Nadleśnictwa Gorlice zmierzona częstotliwość zawierała się w wartościach od 49,90Hz do 50,12Hz co jest zgodne z normą oraz RMG. Wartości napięcia wynosiły od 236,4V do 243,7V co również zawiera się w dopuszczalnych limitach. Wskaźnik długookresowego migotania światła  $P_{It}$  w 95% okresu pomiaru wyniósł 0,73. Norma i RMG zezwala na przekroczenie dopuszczalnego limitu 1 przez maksymalnie 5% tygodniowego pomiaru, a więc wskaźnik  $P_{It}$  nie przekracza normy. Najwyższa zarejestrowana wartość odkształcenia napięcia  $THD_U$  wyniosła 2,65%, i nie przekracza limitu  $THD_U$  określonego w normie PN-EN50160 oraz RMG z dnia 4 maja 2007r. wynoszącego 8%.

W Nadleśnictwie Gorlice nie ma zainstalowanego układu kompensacji mocy biernej. Podczas pomiarów analizator zarejestrował zużycie energii czynnej 655,4kWh oraz zużycie energii biernej pojemnościowej 391,4kVarh. Pobór energii biernej pojemnościowej powoduje opłaty za energię bierną. 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.

mgr. inż. Paweł Jabłoński

*upr. SEP D/23/336/22, E/22/336/22*

Aniro Sp. o.o.

