



„ELEKTRO-SPARK” Sp. z o.o.
20-468 Lublin, ul. Energetyków 15
tel. (081) 744 56 31
fax (081) 441 76 80


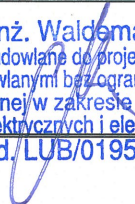
Rodzaj opracowania:

Analiza pomiaru poboru mocy czynnej, biernej i zawartości wyższych harmonicznych

Branża: **Elektryczna**

Inwestor: Urząd Statystyczny w Lublinie

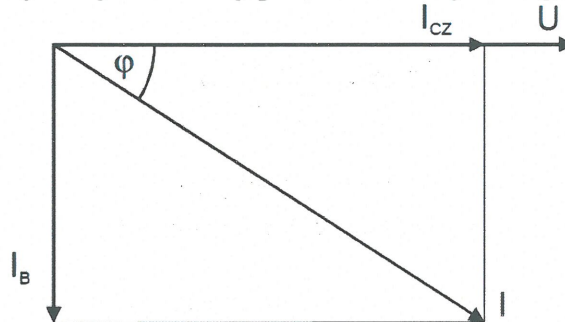
Obiekt: Urząd Statystyczny w Lublinie ul. Stanisława
Leszczyńskiego 48 20 - 068 Lublin

Opracował:	mgr inż. Sebastian Jałowicki	
Zweryfikował:	mgr inż. Waldemar Aftaruk	 mgr inż. Waldemar Aftaruk Uprawnienia budowlane do projektowania i kierowania robotami budowlanymi bez ograniczeń w specjalności instalacyjnej w zakresie sieci, instalacji i urządzeń elektrycznych i elektroenergetycznych nr ewid. LUB/0195/PW0E/07

Maj 2016 r.

Podstawowe informacje

Indukcyjne odbiorniki i urządzenia elektryczne w trakcie pracy pobierają z sieci energię elektryczną czynną i bierną. Odpowiadają temu pojęcia składowych czynnej i biernej prądu elektrycznego.



Składowe prądu elektrycznego (ICZ – prąd czynny, IB – prąd bierny, I – prąd wypadkowy)

Energia elektryczna czynna jest wynikiem przemian energetycznych określonego surowca energetycznego i może być zamieniona w inną postać energii (mechaniczną, ciepłą), użytkowana w urządzeniu przemysłowym. Moc czynna pobierana przez urządzenie z sieci trójfazowej wyrażona jest wzorem:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_{cz}$$

Energia elektryczna bierna służy do wytworzenia pola elektromagnetycznego, niezbędnego do działania silników indukcyjnych i transformatorów, i nie może być przemieniona w inną postać energii - przepływa jedynie pomiędzy źródłami i odbiorami prądu przemiennego. Moc bierna pobierana przez urządzenie z sieci trójfazowej wyrażona jest wzorem:

$$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_B$$

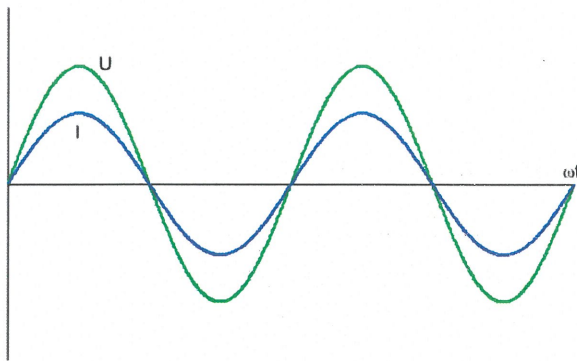
Wypadkowa mocy czynnej i biernej (suma geometryczna) jest moc pozorna S, wyrażona wzorem:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 3 \cdot U \cdot I$$

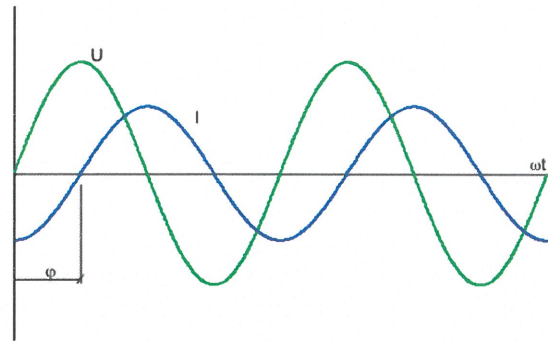
Współczynnik mocy jest równy:

$$\lambda = \frac{P}{S}$$

Przy zasilaniu napięciem i prądem sinusoidalnym, współczynnik mocy określany jest jako kąt przesunięcia fazowego φ pomiędzy prądem a napięciem i przedstawiany jako cosinus albo tangens tego kąta.



Przebieg napięcia i prądu sinusoidalnego przy obciążeniu rezystywnym

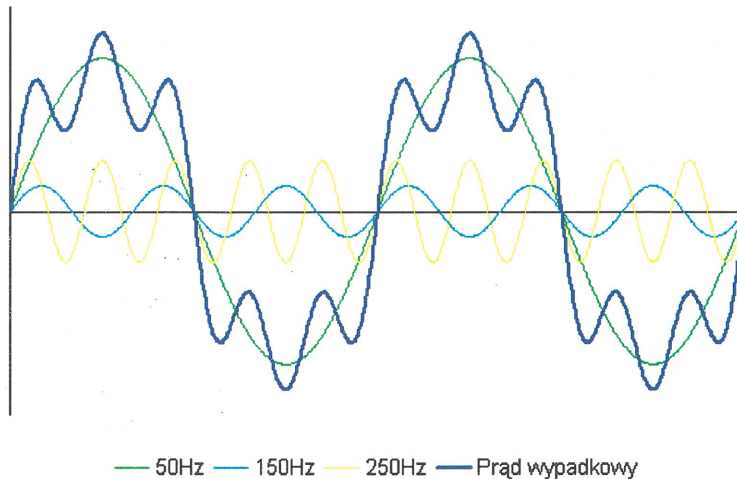


Przebieg napięcia i prądu sinusoidalnego przy obciążeniu indukcyjnym

Podstawowym źródłem mocy biernej są generatory w elektrowniach. Jednakże, wytwarzanie tam energii biernej niesie za sobą wiele negatywnych skutków zarówno dla dostawców energii, jak i dla jej odbiorców. Prąd bierny przepływający przez sieć przesyłową powoduje zmniejszenie jej przepustowości oraz zwiększenie strat mocy. Dostawcy energii elektrycznej rekompensują swoje straty poprzez narzucenie odbiorcom energii limitów mocy biernej, których przekroczenie wiąże się z poniesieniem dodatkowych opłat. Dla większości odbiorców energii, szczególnie dla zakładów przemysłowych o prostym systemie zasilająco rozdzielczym, jest to podstawowy negatywny skutek. Jednakże zakłady przemysłowe o rozbudowanej sieci rozdzielczej muszą liczyć się również z innymi skutkami, takimi jak m.in.: zmniejszona przepustowość sieci rozdzielczej, straty mocy czynnej w transformatorach i kablach zasilających wynikające z przepływu prądu biernego, spadki napięć w punktach odległych od źródła zasilania. Prawidłowo dobrane urządzenia kompensacyjne pozwalają na zlikwidowanie powyższych problemów. Najbardziej efektywną metodą kompensacji mocy biernej indukcyjnej jest kompensacja przez odbiory pojemnościowe, w szczególności kondensatory energetyczne lub automatycznie regulowane baterie kondensatorów.

Poziom harmonicznych w sieci zasilającej

Szerokie zastosowanie w przemyśle urządzeń energoelektronicznych, przede wszystkim nieliniowych przekształtników (stacje prostownikowe trakcji elektrycznej, regulowane napędy elektryczne, technika grzewcza), jak również takich odbiorników jak zgrzewarki, spawarki i piece łukowe, wiąże się z generowaniem wyższych harmonicznych, czyli przebiegów sinusoidalnych o częstotliwościach wyższych od częstotliwości podstawowej (harmoniczna 3-cia: 150Hz, harmoniczna 5-ta: 250Hz, harmoniczna 7-ma: 350Hz itd.).



Przebieg odkształcony obecnością wyższych harmonicznych

Praca baterii kondensatorów w „zanieczyszczonej” sieci niesie za sobą duże zagrożenia wynikające z:

- przeciążenia kondensatorów w związku z wyższą wartością skuteczną odkształconego prądu (zgodnie z normami, kondensatory mogą pracować przy prądzie nie przekraczającym 130% prądu znamionowego),
- możliwości wystąpienia rezonansu pomiędzy pojemnością baterii a indukcyjnościami sieci zasilającej, co może powodować powstawanie prądów o wartościach zbliżonych do zwarciovych.

W sieciach, w których przebiegi napięć i prądów odkształcone są przez występujące wyższe harmoniczne stosowane są baterie z dławikami rezonansowymi.

W urządzeniach tego typu, w układ kondensatorów włączany jest szeregowo dławik, którego indukcyjność z pojemnością kondensatorów tworzą obwód rezonansowy o częstotliwości rezonansowej własnej f_r . Dla częstotliwości mniejszych od f_r , w tym dla częstotliwości podstawowej 50Hz, układ posiada charakter pojemnościowy (kompensuje moc bierną indukcyjną). Dla częstotliwości powyżej wartości f_r , obwód dławik-kondensatory posiada charakter indukcyjny, uniemożliwiając dla tych częstotliwości wystąpienie rezonansu w obwodzie bateria – sieć.

W filtrach odstrojonych parametry LC dobierane są tak, aby częstotliwość rezonansowa własna f_r baterii przyjmowała wartość poniżej częstotliwości odpowiadającej najniższemu rzędowi zarejestrowanych w sieci wyższych harmonicznych. Przykładowo, jeżeli w sieci zarejestrowano harmoniczne: 5h, 7h, 11h, 13h.... parametry L i C filtra dobierane są tak, aby uzyskać częstotliwość rezonansową w przedziale od 174Hz do 210Hz (najczęściej 189Hz). Filtry odstrojone stosuje się najczęściej w automatycznie regulowanych bateriach wieloczołowych.

W filtrach dostrojonych, czyli pasywnych filtrach wyższych harmonicznych, częstotliwość rezonansowa własna f_r zbliżona jest, maksymalnie z dokładnością na jaką pozwala tolerancja zastosowanych parametrów LC, do częstotliwości filtrowanej wyższej harmonicznej.

W normalnych warunkach pracy w ciągu tygodnia 95% średnich 10-cio minutowych wartości skutecznych każdej z harmonicznych napięcia zasilającego powinno być mniejsze lub równe wartościom podanym w poniższej tabeli. Rezonans może powodować wyższy udział poszczególnych harmonicznych. Całkowita zawartość harmonicznych (do 40-tej włącznie) (THD) powinna być niższa lub równa 8%.

Zawartość wyższych harmonicznych w % U_n (U_c)

Harmoniczne nieparzyste				Harmoniczne parzyste	
nie będące wielokrotnością 3-ciej		będące wielokrotnością 3-ciej			
nr harm.	zawartość	nr harm.	zawartość	nr harm.	zawartość
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	1,5%				

Wnioski z wykonanego pomiaru

Pomiary zostały przeprowadzone w dniu 27.04.2016 od godziny 07:10 do godziny 14:10 oraz z 04.05.2016 na 05.05.2016 pomiędzy godziną 13:00 a 7:00 w rozdzielnicy głównej TG zasilającej budynek Urzędu. Przebiegi wartości prądu, mocy czynnej i biernej były zróżnicowane dla poszczególnych faz. Zaobserwowano dużą niesymetryczność obciążenia. Pomiary wykazały średni pobór mocy czynnej w dzień ok. 3 kW. Średnia zmierzona wartość mocy biernej w ciągu dnia wynosiła około 3kvar. Średnia wartość prądu w ciągu dnia dla 1 i 2 fazy wyniosła około 20A natomiast dla 3 fazy około 40A. W nocy tendencje pomiaru były zachowane, wskazania w mniejszych wartościach. Spadek tg ϕ (przekompensowanie) można zaobserwować na fazie L1 i L2.

Pomiary wyższych harmonicznych wykazały podwyższone wartości wyższych harmonicznych THDI. Dzień: trzecia harmoniczna w fazie L1 i L2 ok. 20%, L3 ok. 10%; piąta L1 i L2 ok. 20%, L3 ok. 15%; siódma L1 ok. 15%. Noc: trzecia harmoniczna w fazie L1 ok. 20%, L2 ok. 40%, L3 ok. 10%; piąta w trzech fazach ok. 15%; siódma L1 ok. 15%. Podwyższony poziom zniekształceń wynika najprawdopodobniej z faktu zasilania z tej rozdzielnicy urządzeń do zamiany parametrów sieciowych (prąd, napięcie, częstotliwość) na napięcie i prąd o wartościach stałych (UPS, zasilacze komputerów, faksów, kopiarek itp.) wprowadzają do energetycznej sieci zasilającej zakłócenia.

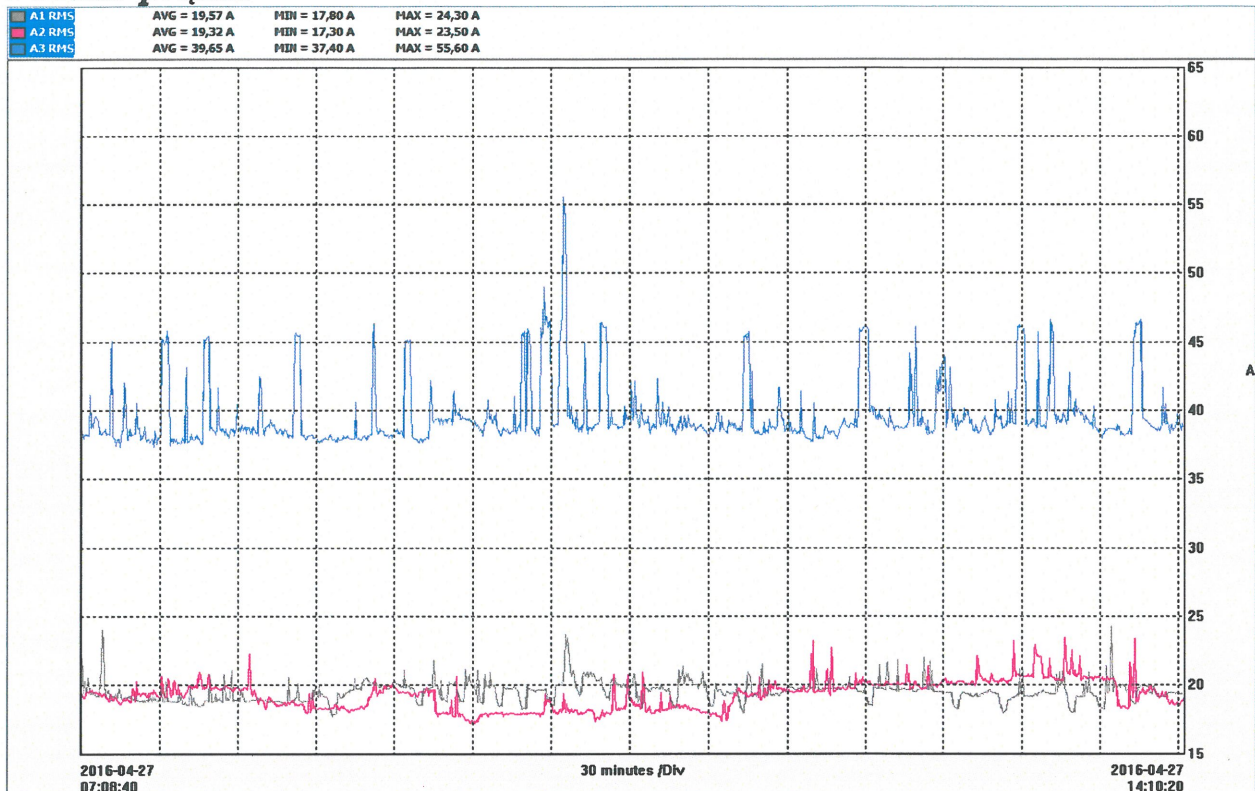
Ze względu na występowanie podwyższonych wartości wyższych harmonicznych THDI oraz dużą niesymetryczność obciążenia pracy RG

występuje przekompensowanie, dlatego w oparciu o wykonane pomiary i analizę faktur proponujemy rozwiązanie:

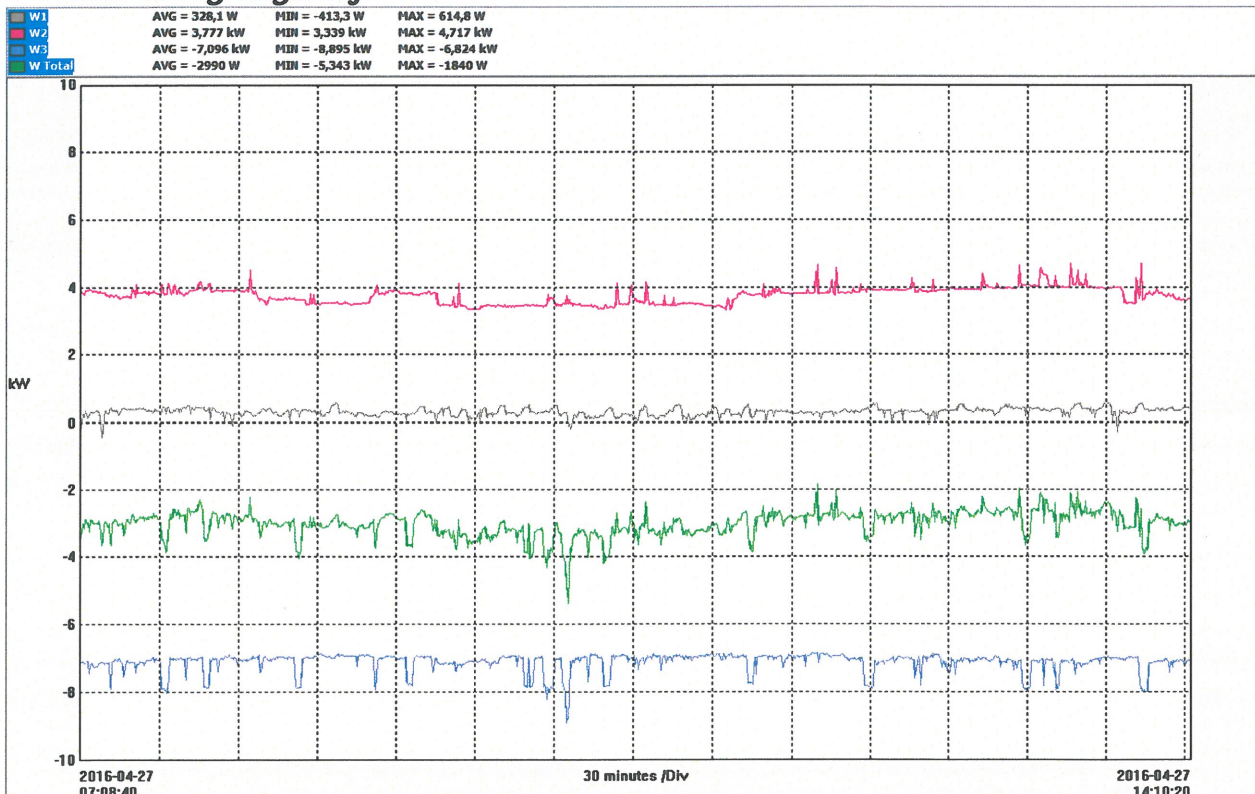
Zastosowanie kompensatora mocy biernej pojemnościowej z dławikami kompensacyjnymi o mocy 10 kvar, szereg regulacyjny 1:1:2 ze stopniem regulacji 2,5 kvar. Ponieważ występuje duża niesymetryczność obciążenia należy zastosować regulator uśredniający współpracujący z trzema przekładnikami. W tym celu istniejącą rozdzielnicę należy wyposażyć w trzy przekładniki prądowe na fazie L1, L2 i L3. Dodatkowo należy przeanalizować układ zasilania odbiorów, tak by odciążyć fazę L3 w celu poprawy symetrii poboru mocy.

Wyniki rejestracji etap pierwszy - dzień:

Pomiar prądu:

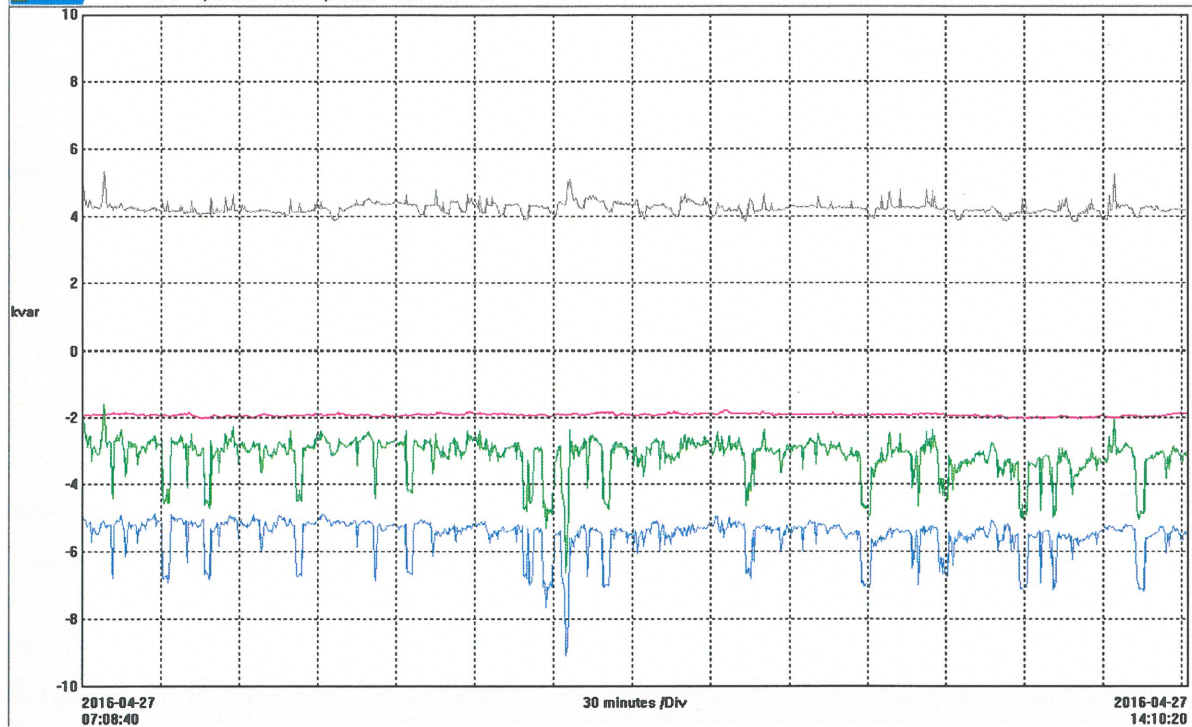


Pomiar mocy czynnej:



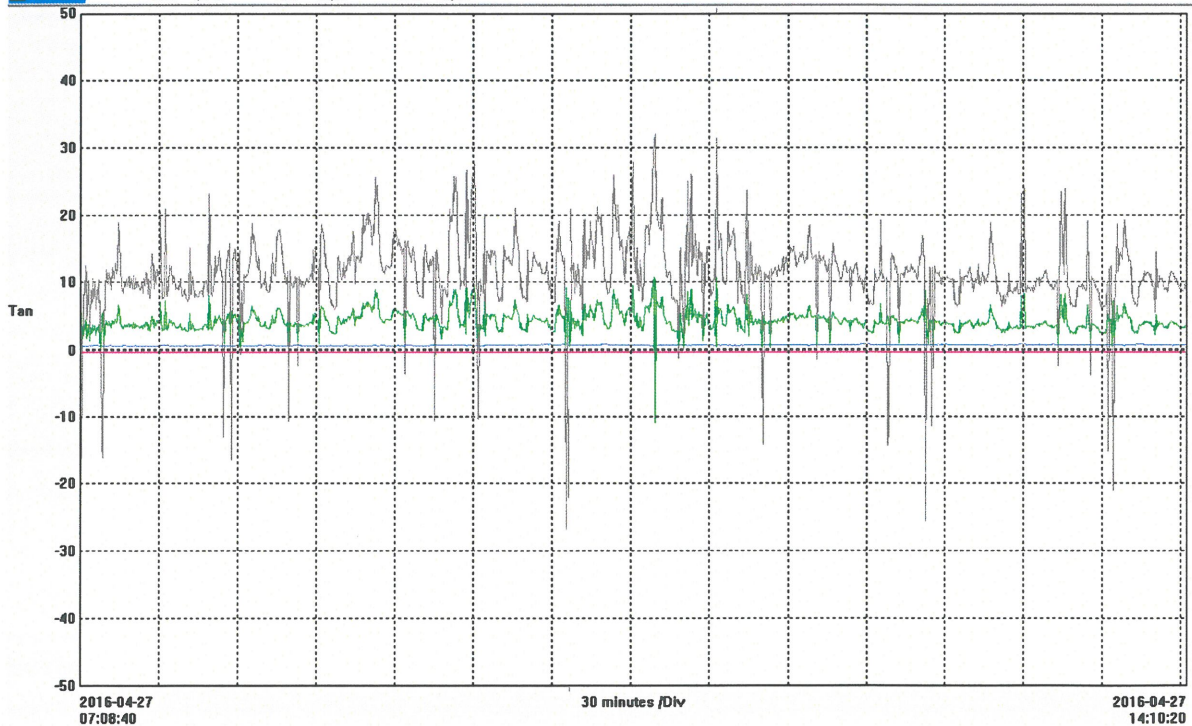
Pomiar mocy biernej:

var1	AVG = 4,263 kvar	MIN = 3,859 kvar	MAX = 5,370 kvar
var2	AVG = -1903 var	MIN = -2011 var	MAX = -1772 var
var3	AVG = -5,496 kvar	MIN = -9,063 kvar	MAX = -4,854 kvar
var Total	AVG = -3,137 kvar	MIN = -6,599 kvar	MAX = -1587 var



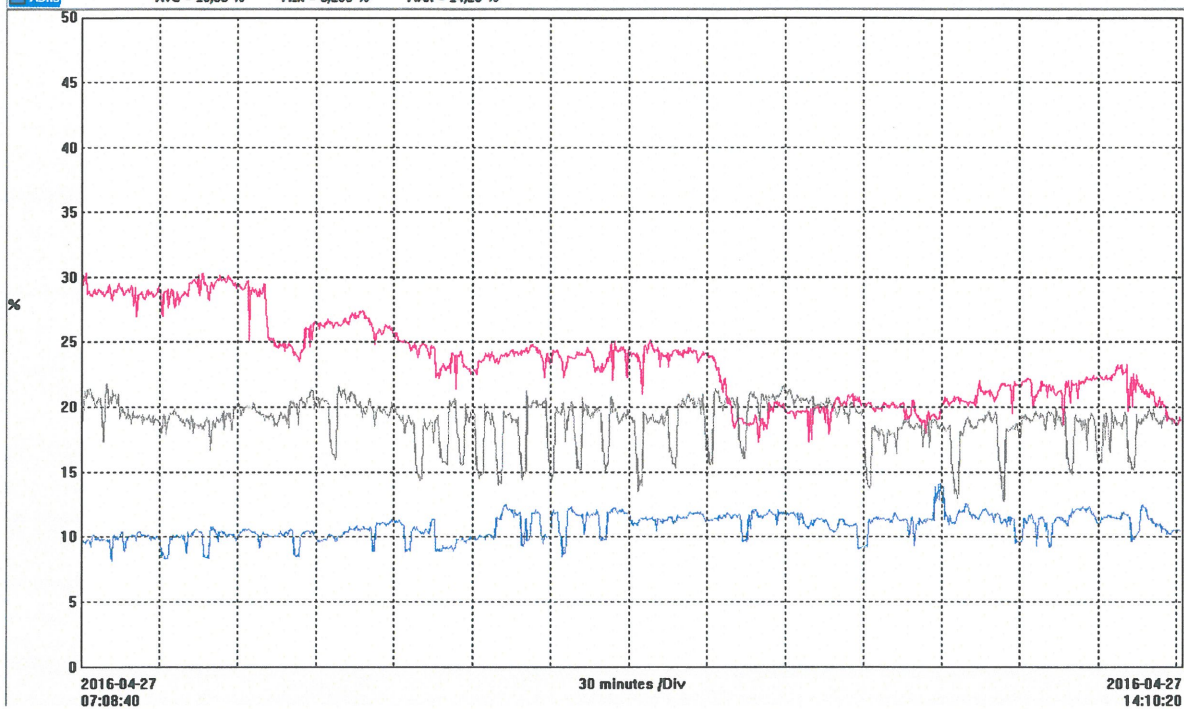
Pomiar współczynnika mocy tg φ:

Tan1	AVG = 11,50	MIN = -26,62	MAX = 32,16
Tan2	AVG = -0,3264	MIN = -0,3780	MAX = -0,2470
Tan3	AVG = 0,7124	MIN = 0,6330	MAX = 0,9840
Tan Mean	AVG = 4,321	MIN = -10,79	MAX = 10,86

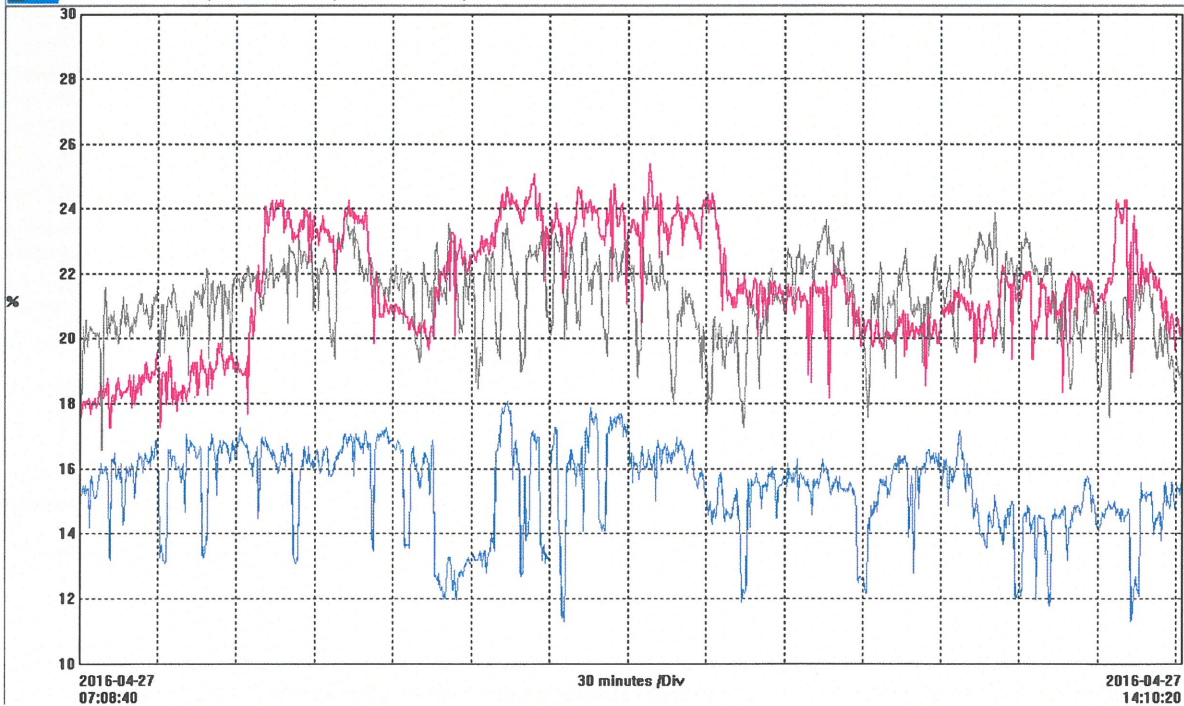


Wartość trzeciej harmonicznej:

A1h3	AVG = 19,00 %	MIN = 12,80 %	MAX = 21,90 %
A2h3	AVG = 23,63 %	MIN = 17,40 %	MAX = 30,40 %
A3h3	AVG = 10,88 %	MIN = 8,200 %	MAX = 14,20 %

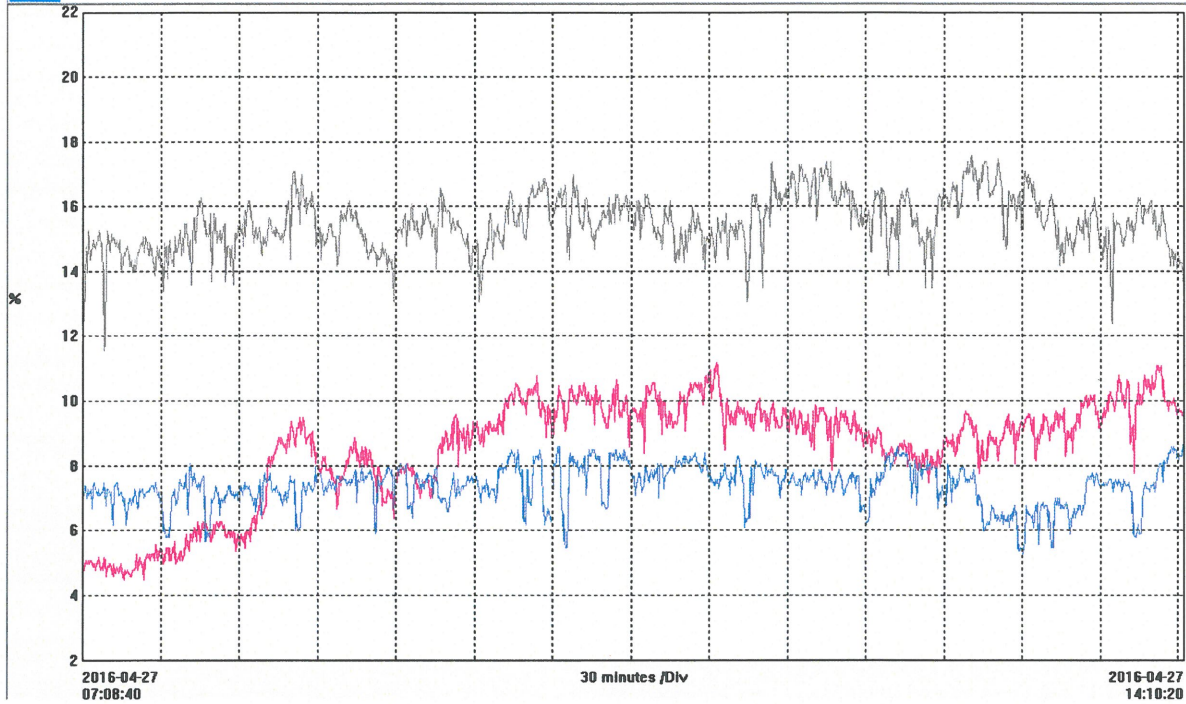
**Wartość piątej harmonicznej:**

A1h5	AVG = 21,31 %	MIN = 16,60 %	MAX = 24,00 %
A2h5	AVG = 21,58 %	MIN = 17,30 %	MAX = 25,40 %
A3h5	AVG = 15,41 %	MIN = 11,30 %	MAX = 18,10 %



Wartość siódmej harmonicznej:

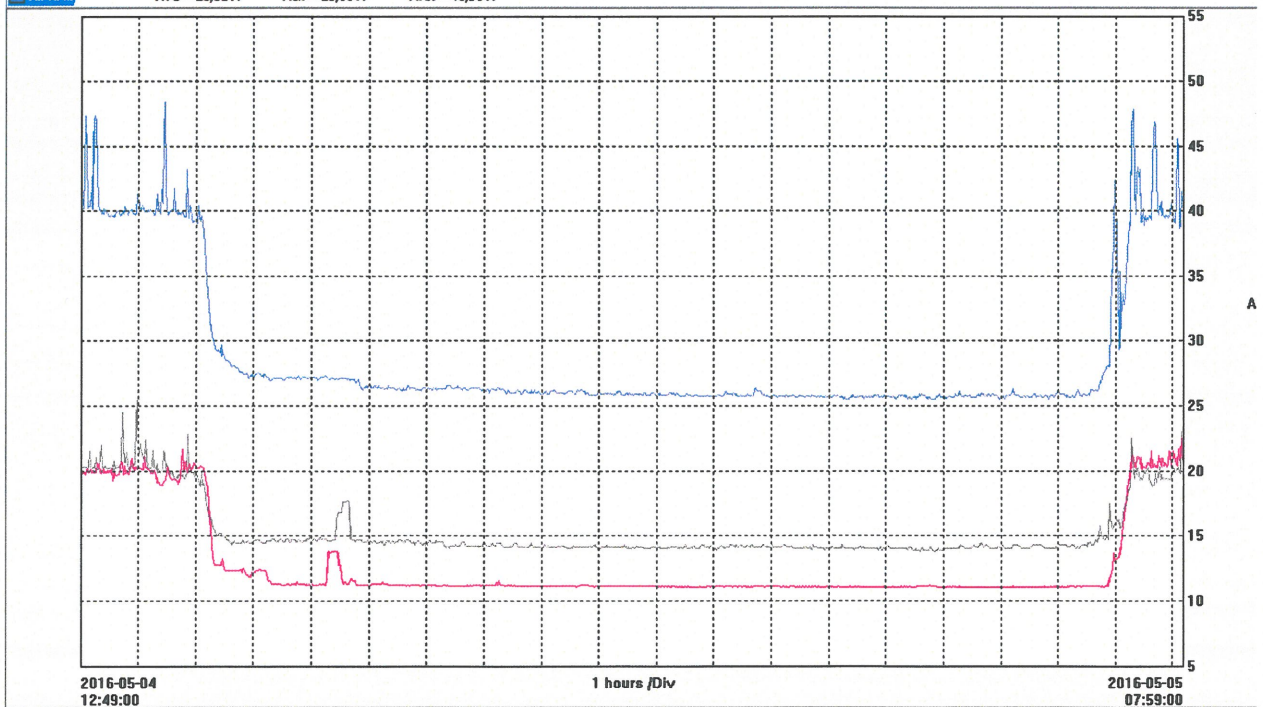
A1h7	AVG = 15,52 %	MIN = 11,60 %	MAX = 17,60 %
A2h7	AVG = 8,586 %	MIN = 4,500 %	MAX = 11,20 %
A3h7	AVG = 7,392 %	MIN = 5,300 %	MAX = 8,700 %



Wyniki rejestracji etap drugi - noc:

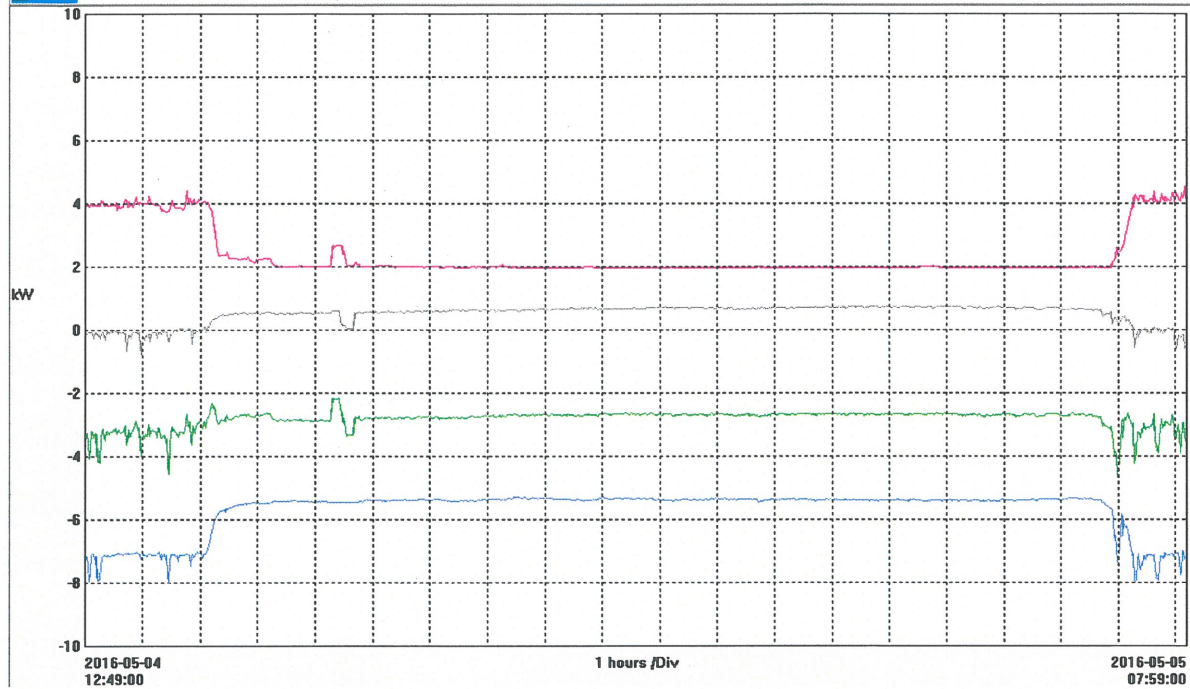
Pomiar prądu:

A1 RH5	AVG = 15,40 A	MIN = 13,90 A	MAX = 25,50 A
A2 RH5	AVG = 12,87 A	MIN = 11,10 A	MAX = 22,60 A
A3 RH5	AVG = 28,81 A	MIN = 25,60 A	MAX = 48,50 A



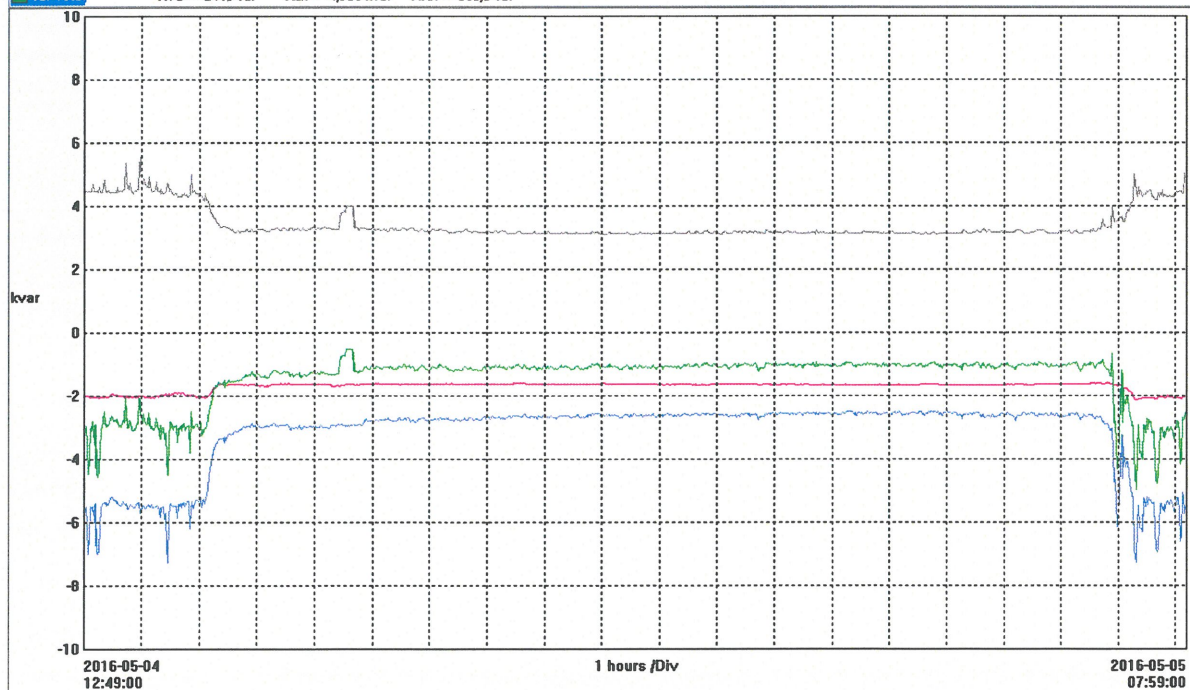
Pomiar mocy czynnej:

W1	AVG = 524,0 W	MIN = -741,4 W	MAX = 760,5 W
W2	AVG = 2374 W	MIN = 1976 W	MAX = 4,549 kW
W3	AVG = -5,705 kW	MIN = -7,993 kW	MAX = -5,274 kW
W Total	AVG = -2807 W	MIN = -4,638 kW	MAX = -2145 W



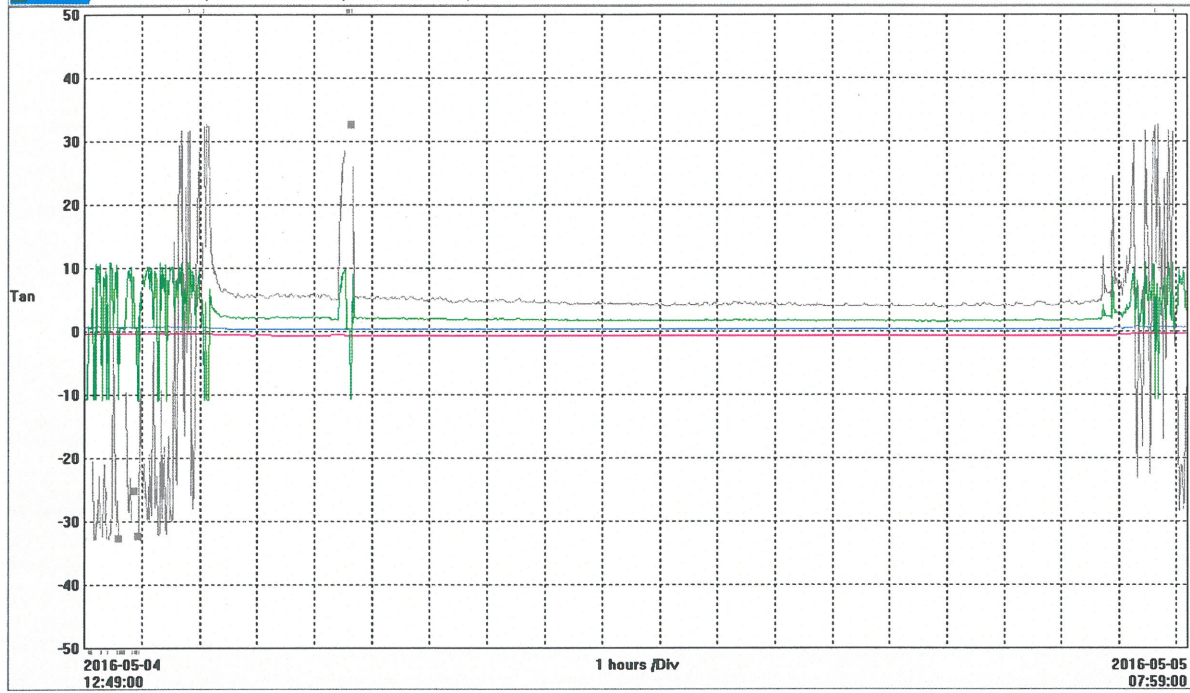
Pomiar mocy biernej:

var1	AVG = 3,433 kvar	MIN = 3,114 kvar	MAX = 5,545 kvar
var2	AVG = -1689 var	MIN = -2132 var	MAX = -1580 var
var3	AVG = -3,191 kvar	MIN = -7,260 kvar	MAX = -2467 var
var Total	AVG = -1446 var	MIN = -4,950 kvar	MAX = -503,3 var



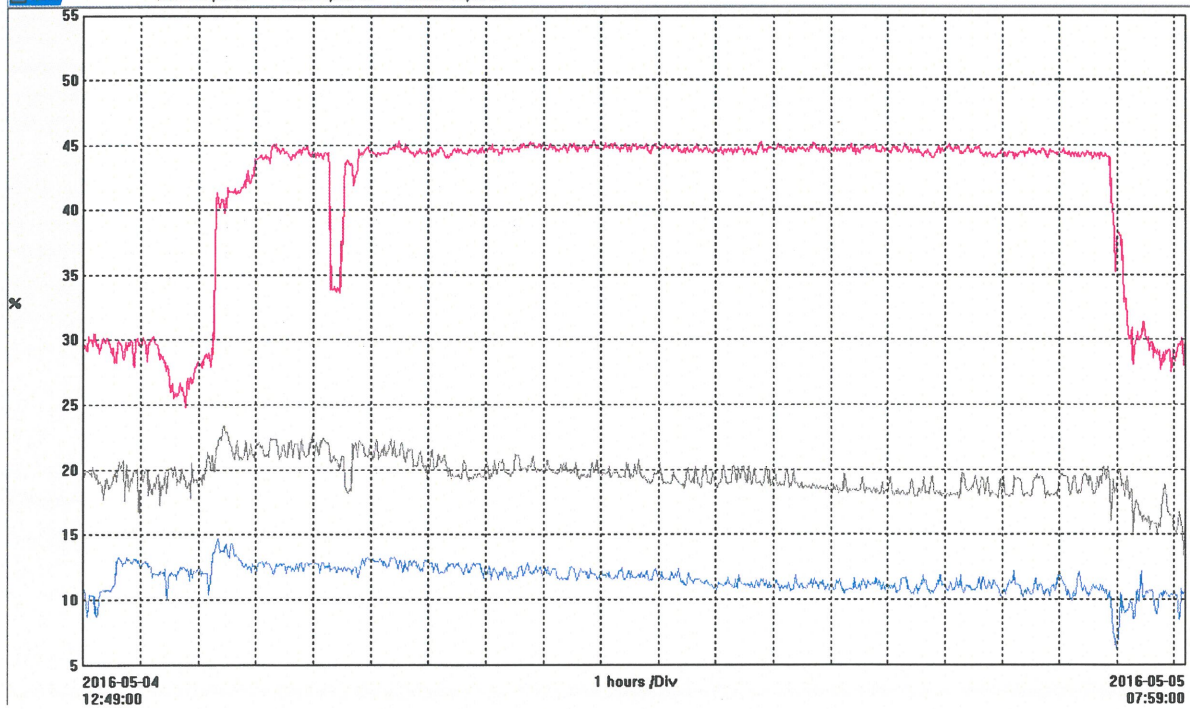
Pomiar współczynnika mocy $\text{tg } \varphi$:

	AVG	MIN	MAX
Tan1	3,071	-32,77	32,73
Tan2	-0,5117	-0,5830	-0,2570
Tan3	0,4586	0,3630	0,8770
Tan Mean	2,320	-10,92	10,91



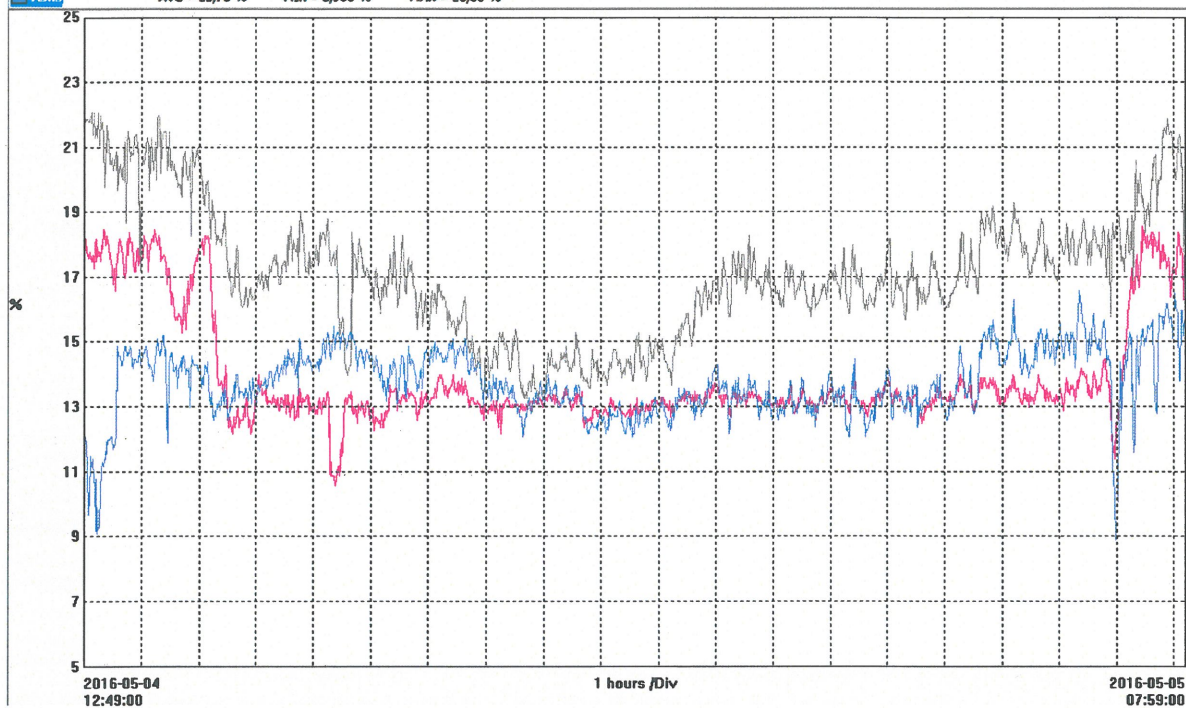
Wartość trzeciej harmonicznej:

	AVG	MIN	MAX
A1h3	19,55 %	13,50 %	23,50 %
A2h3	41,58 %	24,90 %	45,40 %
A3h3	11,69 %	6,300 %	14,80 %



Wartość piątej harmonicznej:

A1h5	AVG = 17,13 %	MIN = 13,00 %	MAX = 22,10 %
A2h5	AVG = 13,93 %	MIN = 10,60 %	MAX = 18,60 %
A3h5	AVG = 13,78 %	MIN = 8,900 %	MAX = 16,60 %



Wartość siódmej harmonicznej:

A1h7	AVG = 15,18 %	MIN = 11,50 %	MAX = 18,00 %
A2h7	AVG = 4,615 %	MIN = 2,800 %	MAX = 7,100 %
A3h7	AVG = 7,590 %	MIN = 5,000 %	MAX = 9,400 %

