



OLMEX KMB Sp. z o.o.

ul. Modrzewiowa 58, 11-010 Wójtowo

Tel. (+48 89) 532-43-70, e-mail: sekretariat@olmex-kmb.pl, www.kmb.olmex.pl.

Krajowy Rejestr Sądowy KRS: 0000700377 • Wysokość kapitału zakładowego 105 000 zł • NIP: 739-39-04-563

RODZAJ OPRACOWANIA	<u>RAPORT Z AUDYTU</u>
BRANŻA	ELEKTRYCZNA
PRZEDMIOT OPRACOWANIA	DOBÓR BATERII KONDENSATORÓW/DŁAWIKÓW DO KOMPENSACJI MOCY BIERNEJ Z UWZGLĘDNIENIEM WYŻSZYCH HARMONICZNYCH
KLIENT	Muzeum Sił Powietrznych w Dęblinie Instytucja Kultury Ministerstwa Obrony Narodowej ul. Lotników Polskich 1 08-530 Dęblin
OBIEKT	Muzeum Sił Powietrznych w Dęblinie Instytucja Kultury Ministerstwa Obrony Narodowej ul. Lotników Polskich 1 08-530 Dęblin
WYKONAŁ	ELKIS SP. Z O.O. e-mail: pomiary@elkis.pl
PRACA NR	E/041/06/21
DATA SPORZĄDZENIA	05.07.2021

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP.....	3
2. APARATURA POMIAROWA.....	3
3. WPROWADZENIE I DEFINICJE.....	4
4. OPIS I WYNIKI POMIARÓW:.....	8
5. POSTANOWIENIA KOŃCOWE.....	9
6. ZAŁĄCZNIKI.....	10

1. WSTEP.

Pomiary wykonano w dniach 23-24.06.2021 w celu doboru baterii dławików z uwzględnieniem wyższych harmonicznych

2. APARATURA POMIAROWA.

Pomiary przeprowadzono za pomocą następującej aparatury:

- analizator jakości energii elektrycznej **MI2883**, producent: METREL; SŁOWENIA
- elastyczne pętle Rogowskiego 3000/300/30A/1V

W celu ułatwienia analizy prezentowanych wyników zastosowano następujące oznaczenia, które poniżej wyjaśniam:

Oznaczenia literowe A,B,C odnoszą się do oznaczeń faz L1, L2, L3:

- **AV,BV,CV** – średnie 1 - minutowe napięcie odpowiednio w fazie L1, L2, L3 w [V],
- **AVrms, BVrms, CVrms** – średnia 1 - minutowe wartość skuteczna napięcia w [V],
- **AI, BI, CI** – średni 1- minutowy prąd odpowiednio w fazie L1, L2, L3 w [A],
- **AIrms, BIrms, CIrms** – średnia 1 - minutowy wartość skuteczna napięcia w [A],
- **AP(kW), BP(kW), CP(kW)** – średnia 1 - minutowy moc czynna w fazie L1, L2, L3 w [kW],
- **TOT P(kW)** – średnia 1 - minutowa moc czynna trójfazowa [kW],
- **AQ(kVAr), BQ(kVAr), CQ(kVAr)** – średnia 1 - minutowa moc bierna w fazie L1, L2, L3 w [kVAr];
- **TOT Q(kVAr)** – średnia 1 - minutowa moc bierna trójfazowa w [kVAr]
- **TOT PF** – średni trójfazowy 1 - minutowy współczynnik mocy [-]
- **AV harm, BV harm, CV harm** - udział procentowy napięcia odkształconego,
- **AI harm, BV harm, CV harm** – udział procentowy prądu odkształconego.

Pod obrazami oscyloskopowymi prądu i napięcia umieszczono widmo wyższych harmonicznych (do harmonicznej 50-tej) odpowiadające zarejestrowanym największym odkształceniom zaobserwowanym w trakcie pomiaru. Dla każdego powtórzenia pomiarowego wyznaczona jest wartość średnia, największa i najmniejsza z czasu uśredniania.

3. WPROWADZENIE I DEFINICJE.

3.1 Moc czynna, bierna i pozorna

W obwodach prądu trójfazowego występują 3 rodzaje mocy:

Moc czynna- jest to ta część energii elektrycznej, która jest zamieniana na pracę użyteczną

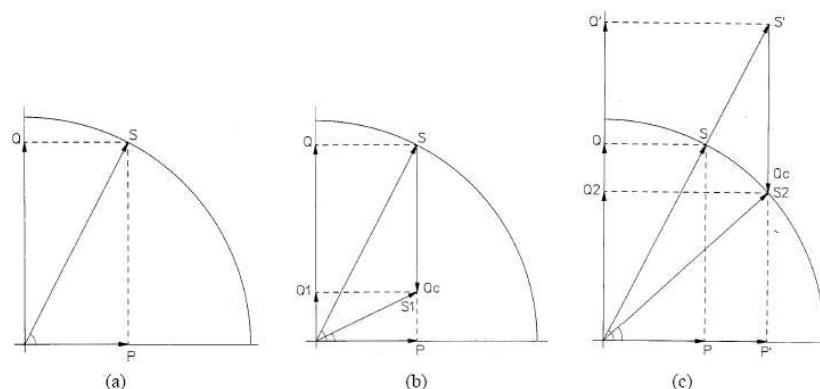
Moc bierna - jest to ta część energii, która pulsuje między źródłem energii a odbiornikiem i nie jest zamieniana na pracę.

Moc pozorna – geometryczna suma mocy czynnej i biernej

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.

Zarówno moc bierna indukcyjna jak i pojemnościowa wpływa na zwiększenie strat ciepłych oraz ogranicza sprawność transformatorów i linii kablowych.



Trójkąt Mocy – a) brak układu kompensacji, b) kompensacja mocy biernej, c) przekompensowanie (brak automatycznej regulacji mocy biernej)

Ograniczenie w sieci mocy biernej powoduje zmniejszenie współczynnika mocy jak również spadek składowej prądu i wydłużenie żywotności kabli, transformatora jak i innych elementów sieci zasilającej.

3.2 Współczynniki mocy i sposoby jego rozliczania

Odbiorcy energii elektrycznej rozliczają się z zakładem energetycznym z ilości pobranej energii na podstawie wskazań zainstalowanych liczników energii czynnej i biernej. Zakłady energetyczne, dążąc do optymalizacji strat w sieciach, zawierają umowy z odbiorcami energii elektrycznej. W umowie takiej między innymi podawana jest, ustalona indywidualnie dla każdego zakładu, wartość tangensa kąta przesunięcia fazowego – $\text{tg}(\text{fi})$, która zawiera się najczęściej w przedziale 0,2 - 0,4. Utrzymanie zadanego $\text{tg}(\text{fi})$ pozwala na zmniejszenie opłat za energię elektryczną, natomiast przekroczenie tej wartości pociąga za sobą poniesienie dodatkowych opłat za energię bierną. Wielkość tych opłat jest bardzo zróżnicowana w zależności od posiadanych odbiorników oraz od sprawności układu kompensacji. W kwestii występowania oddawania energii biernej do sieci pojęcie współczynnika mocy przy rozliczaniu opłat z reguły nie istnieje tzn. rozliczana jest każda jednostka oddanej energii biernej do sieci.

W obecnym czasie w dobie liczników elektronicznych i pewnej dowolności sposobu naliczania opłat za energię bierną ukształtowało się kilka wyjątków od pierwotnie zastosowanych zasad. Przy stosowaniu liczników tarczowych jak i większości liczników elektronicznych sposób naliczania tg fi odbywał się poprzez iloraz zużytej energii biernej do energii czynnej w okresie miesiąca przy czym ilość pobieranej lub oddawanej energii biernej w danym czasie był wynikiem wypadkowego wektora mocy biernej z trzech faz. **Stosowane tradycyjne baterie kondensatorów z założenia podporządkowują się tym zasadom i jeżeli u danego odbiorcy występują inne sposoby naliczania opłat za moc bierną powinien przed zakupem proponowanego rozwiązania przekazać taką informację.** W przeciwnym razie układ może nie spełnić oczekiwań i pozostawić opłaty na niezadowolającym poziomie.

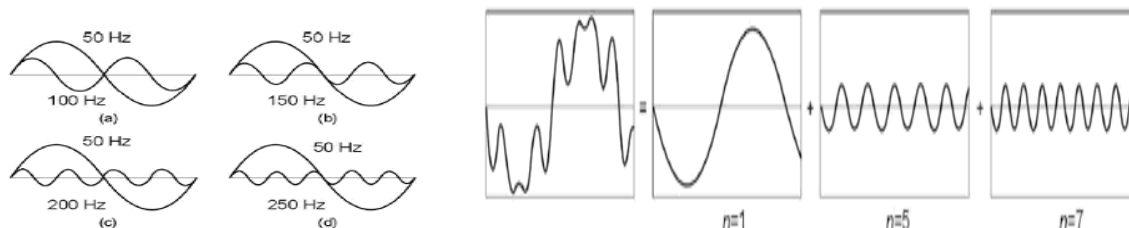
Przykładowe niestandardowe sposoby naliczania to np. zliczanie chwilowych przekroczeń tg fi i obliczanie końcowego współczynnika jako sumy owych przekroczeń i ilości energii biernej pobranej teoretycznie do wartości zadanego tg fi lub naliczanie energii z każdej fazy osobno i późniejsze sumowanie arytmetyczne otrzymanych wartości w liczniku.

W przypadku chwilowych przekroczeń i możliwościach bardzo szybkiego próbkowania licznika bardzo rzadko udaje się dotrzymać chwilowy współczynnik mocy a stosowanie baterii z łącznikami tyrystorowymi jest nieopłacalne w stosunku do pozostałej procentowej i kwotowej opłaty za przekroczenie tg fi . W przypadku występowania zliczania każdej fazy osobno zastosowanie nawet baterii trójfazowej z regulatorem trójfazowym uśredniającym może okazać się nie wystarczające i konieczne jest stosowanie baterii jednofazowych.

W przypadku standartowych układów rozliczeniowych uwzględniając zwłoki czasowe baterii stycznikowych przyjmuje się iż ograniczenie pierwotnie występujących średnich opłat za energię bierną bez pracujących układów kompensacji sięga minimum 80%. Dla układów nietypowych przy uzyskaniu wszystkich niezbędnych informacji od odbiorcy ewentualne inne szacowane zmniejszenie kosztów będzie ustalane indywidualnie. **Należy również pamiętać iż poprawna praca baterii zależy od prawidłowego jej montażu przez osoby posiadające odpowiednie uprawnienia. Pomyłka przy montażu baterii może skutkować poniesieniem znacznych kosztów za energię bierną oddaną za co w przypadku dokonania prac przez osoby trzecie firma OLMEX nie odpowiada.**

3.3. Wyższe harmoniczne

Pojęcie harmonicznej wywodzi się z akustyki. W przypadku przebiegów występujących w elektrotechnice, harmoniczna jest definiowana jako składowa przebiegu o częstotliwości będącej całkowitą krotnością częstotliwości podstawowej



Ogólnie w sieciach zasilających prądu trójfazowego symetrycznie obciążonych wyższymi harmonicznymi 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.

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

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

THD_U - współczynnik zawartości harmonicznych w napięciu [%],

U_h - wartość skuteczna h -tej harmonicznej [kV],

U_1 - wartość skuteczna 1-szej harmonicznej [kV].

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \cdot 100[\%]$$

THD_I - współczynnik zawartości harmonicznych w prądzie [%],

I_h - wartość skuteczna h -tej harmonicznej [kV],

I_1 - wartość skuteczna 1-szej harmonicznej [kV].

Norma PN-EN 50160 określa m.in. dla sieci niskiego napięcia, iż w normalnych warunkach pracy, w ciągu każdego tygodnia, 95% ze zbioru 10-minutowych, średnich wartości skutecznych

dla każdej harmonicznej napięcia powinno być mniejsze lub równe wartościom zamieszczonym w niżej podanej tabeli. Rezonanse mogą powodować wystąpienie większych wartości dla indywidualnej harmonicznej. Ponadto, współczynnik THD napięcia zasilającego (uwzględniający wszystkie harmoniczne, aż do rzędu 40) powinien być mniejszy lub równy 8 %.

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 harmonicznnych po rządach > 25, ponieważ są one zwykle małe i w dużym stopniu niemożliwe do przewidzenia ze względu na efekty rezonansowe.					

Wartości poszczególnych harmonicznnych napięcia w złączu sieci elektroenergetycznej odbiorcy dla rządów do 25, wyrażone w % U_n . (źródło EN/PN50160). Opracowano na podstawie Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego

Mówiąc o harmonicznnych w instalacjach zasilania, należy podkreślić, że **harmoniczne prądu** są największym problemem, ponieważ to one wywołują większość negatywnych skutków, a w szczególności niekorzystnie działają na baterię kondensatorów. Prądy harmoniczne oddziałują cieplnie na kondensator i mogą spowodować jego przeciążenie i uszkodzenie. Dodatkowo istnieje możliwość wystąpienia rezonansu równoległego z baterią podczas którego następuje gwałtowne zwielokrotnienie prądów w obwodzie i uszkodzenia zarówno baterii jak i innych odbiorów

. W przypadku wystąpienia podwyższonych ilości wyższych harmonicznnych w prądzie należy stosować **ochronę dławikową baterii** o odpowiednim stopniu tłumienia w zależności od występujących składowych harmonicznnych. O zawartości harmonicznnych, czyli o odkształceniu przebiegu mówi nam współczynnik odkształcenia harmonicznego. THDI (total harmonic distortion). Jest on miarą dodatkowego prądu harmonicznego w całkowitej wartości skutecznej.

Żadna norma nie mówi precyzyjnie o dopuszczalnych ilościach poszczególnych harmonicznnych ani granicznym współczynnikiem THDI w zasilaniu. Firma OLMEX przy decyzji o zastosowaniu ochrony dławikowej baterii kieruje się swoim wieloletnim doświadczeniem oraz wyznaczonymi algorytmami odnoszącymi się m.in. do zawartości THDI w torze zasilania baterii oraz możliwościami występowania rezonansu równoległego, a poprawność podejmowanych decyzji potwierdzona jest niezawodnością i małą awaryjnością pracujących urządzeń.

4. **OPIS I WYNIKI POMIARÓW.**

Obiekt zasilony jest z przyłącza kablowego i rozliczany jest w taryfie C23 w układzie półpośrednim (250/5) za pomocą licznika ELSTER nr 041444423. Pomiary dokonano na zasilaniu głównym nn podczas normalnej pracy w okresie doby

Wyniki pomiarów przedstawiono w postaci wykresów liniowych – wykazy obciążeń, oraz wykresów słupkowych z wizualizacją widma wyższych harmonicznych napięcia i prądu wyrażonych w procentach.

Na rys. 1 przedstawiono wykresy wartości skutecznej napięcia i prądu fazowego

Na rys 2 umieszczono przebiegi mocy czynnej i biernej jedno i trójfazowej zmierzonej bądź obliczonej

Na rys. 3 przedstawiono wykres współczynnika mocy $\cos \phi$ lub $\tan \phi$ jedno lub 3 fazowego

Na rys. 4 przedstawiono prócz wartości skutecznej napięcia i prądu, procentowy udział napięcia i prądu odkształconego VTHD i ITHD oraz najczęściej występujące w sieciach niskiego napięcia wartości 3 –ej, 5-ej, 7-mej, 11-ej oraz 13-ej składowej harmonicznej.

Na rys. 5, Przedstawiono obrazy oscyloskopowe napięcia i prądu wraz z widmem harmonicznych do 50 ej składowej

Zasilanie główne nn

Pomiary wykazały pobór sumaryczny mocy czynnej od 4,5 do ok 35 kW przy poborze mocy biernej do ok 10 kVar przy zachowanym $\tan \phi$ oraz oddawaniu mocy biernej do ok -3,3 w pikie do 5,5 kVar. Prąd w torze głównym wyniósł do ok 100A przy napięciu roboczym 210-242 V. Dla zastanych warunków proponuję zastosowanie baterii dławików o mocy ok 5 kvar

Pomiary wyższych harmonicznych wykazały lekko podwyższone wartości przy THDU do 7,8% i THDI do ok 10A

5. POSTANOWIENIA KOŃCOWE

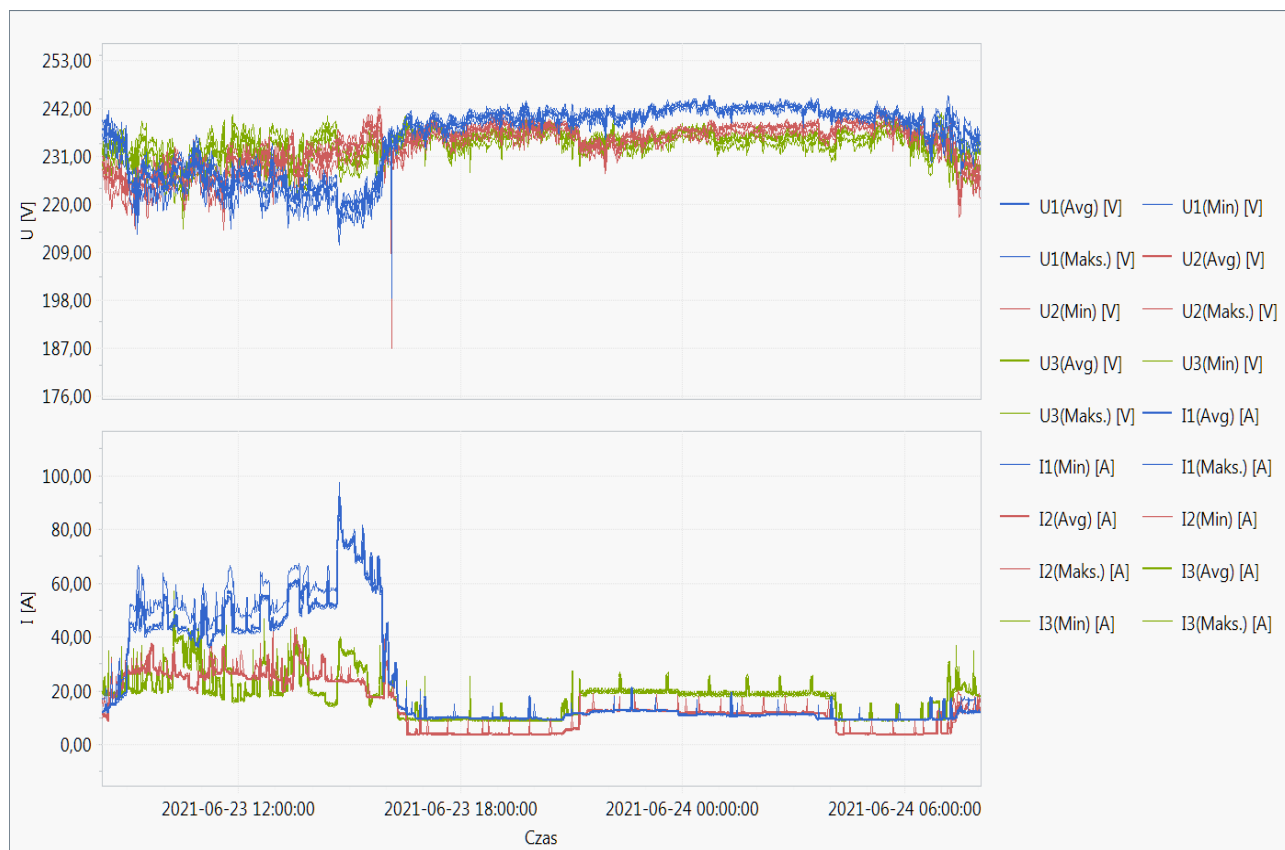
Na podstawie wykonanych pomiarów oraz oględzin proponuję zastosowanie następującego rozwiązania:

BDA 5,25/0,75 w szeregu 1:2:4

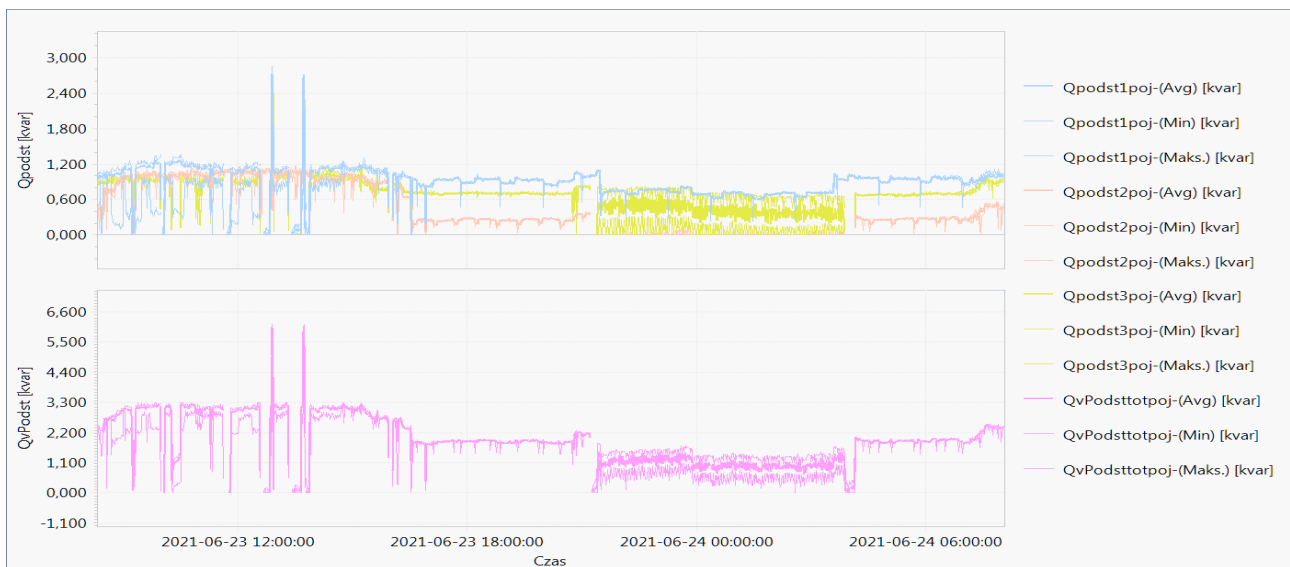
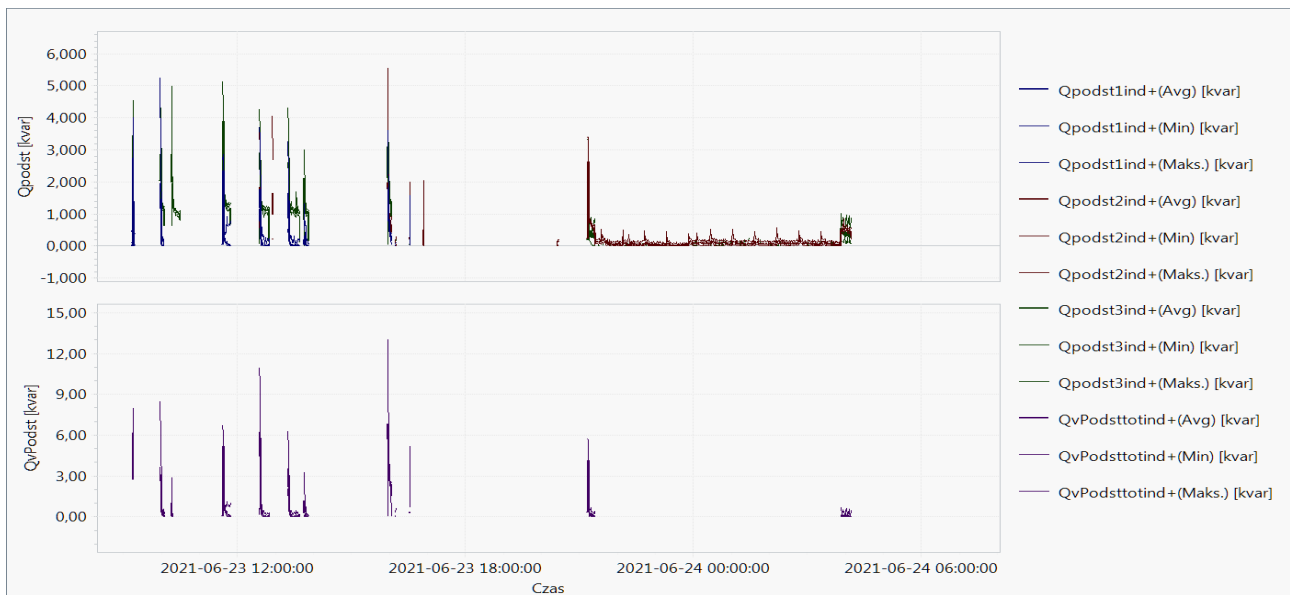
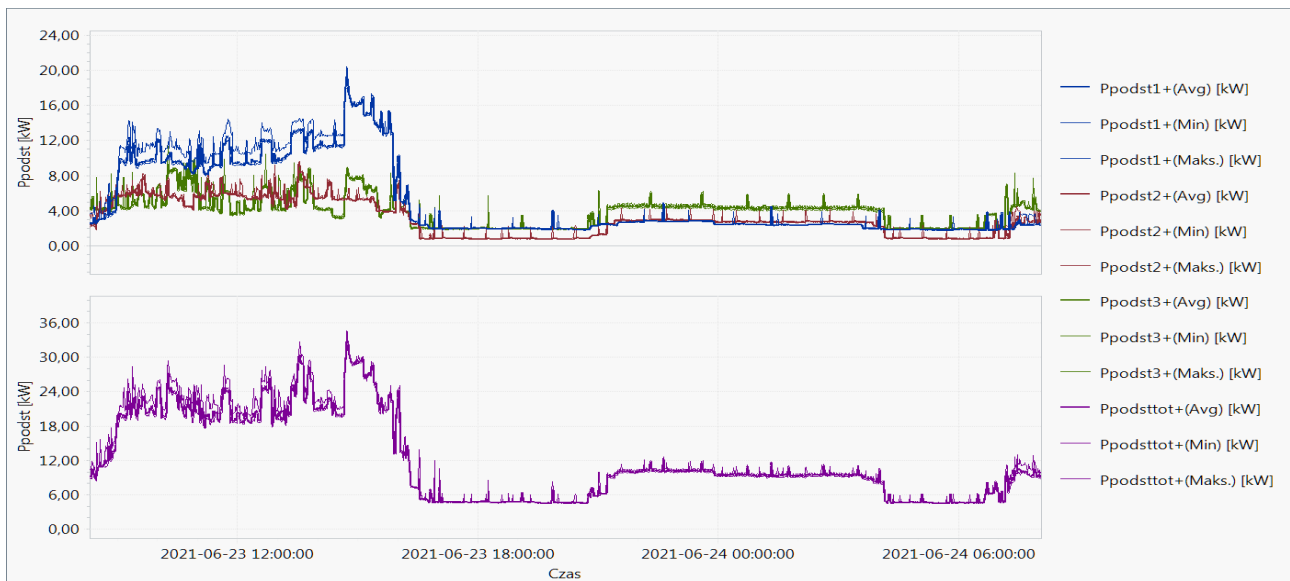
lub

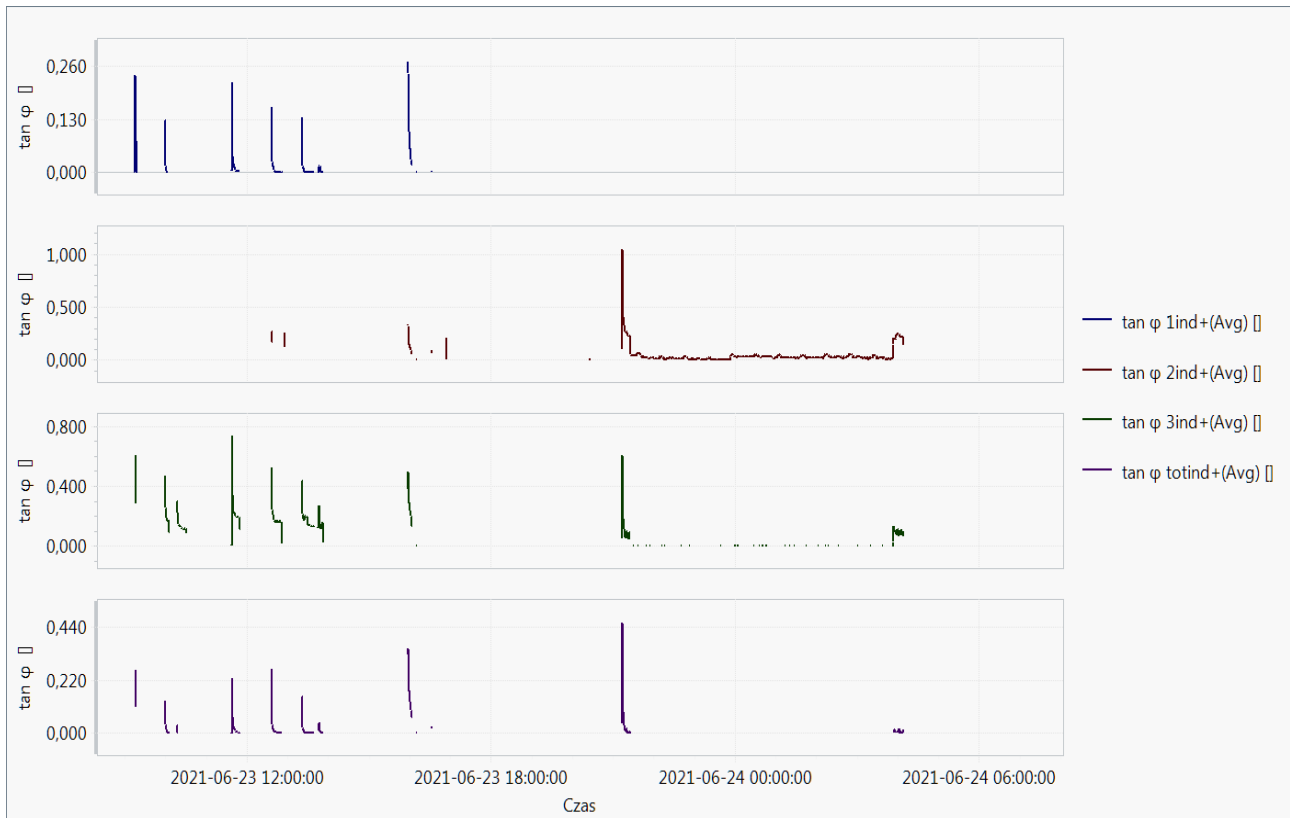
zamiennie układ SVG 20 kvar

Należy zauważyć że chwilami napięcie sieci spada do wartości 210 V a bateria dławików może dodatkowo obniżyć nieznacznie napięcie

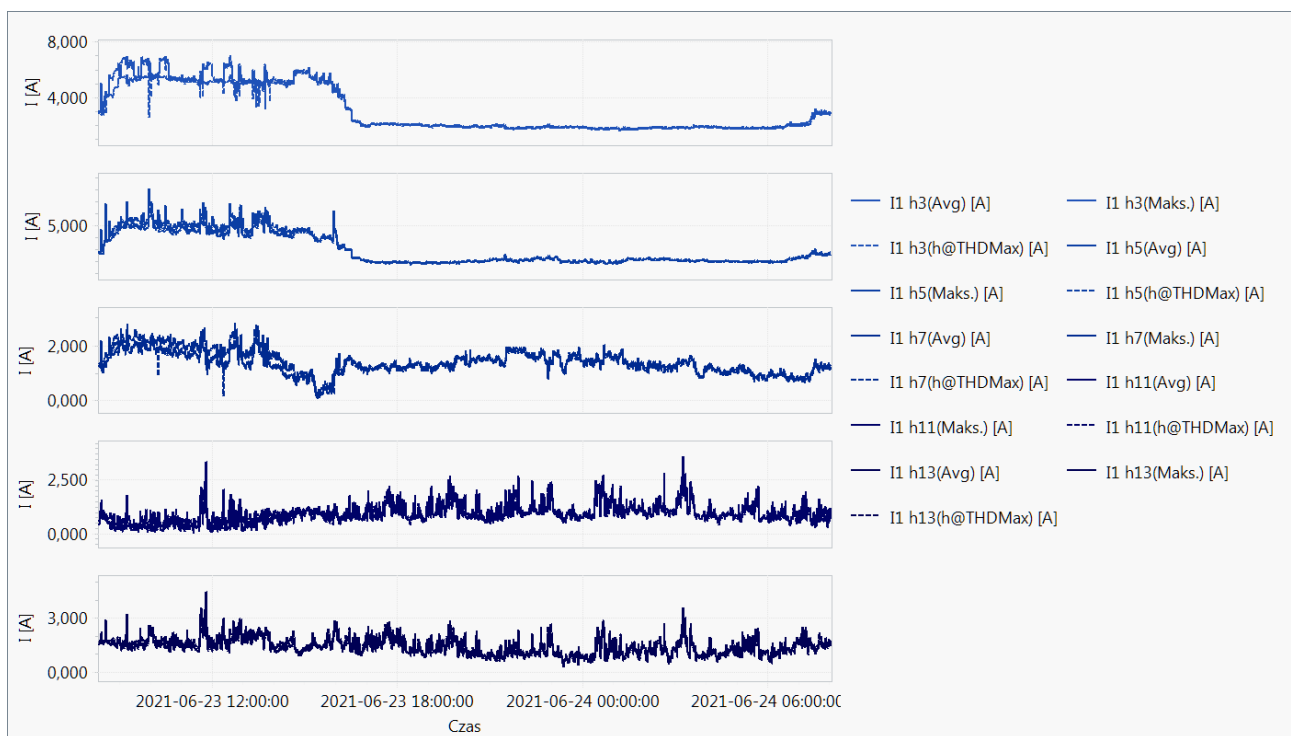
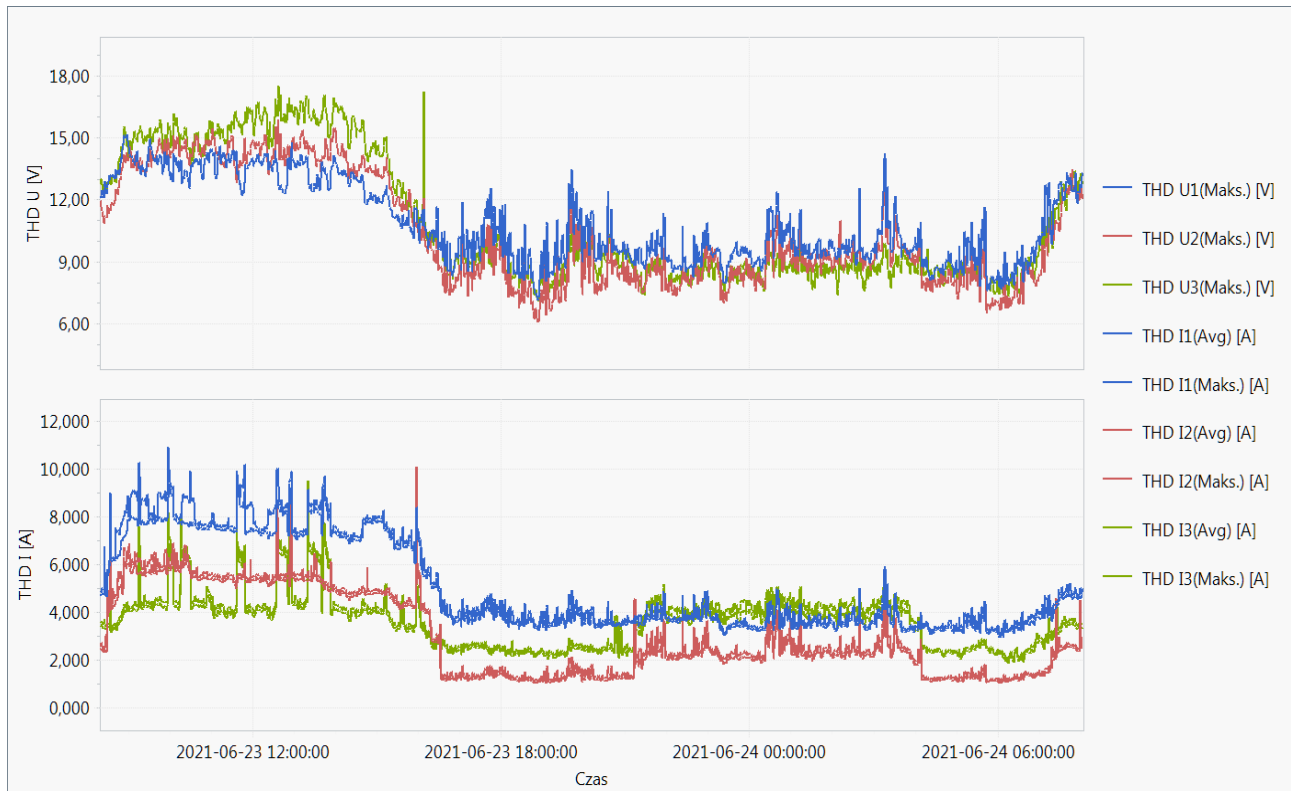
RYS.1 WYKRES WARTOŚCI SKUTECZNEJ NAPIĘCIA I PRĄDU FAZOWEGO – ZASILANIE GŁÓWNE NN

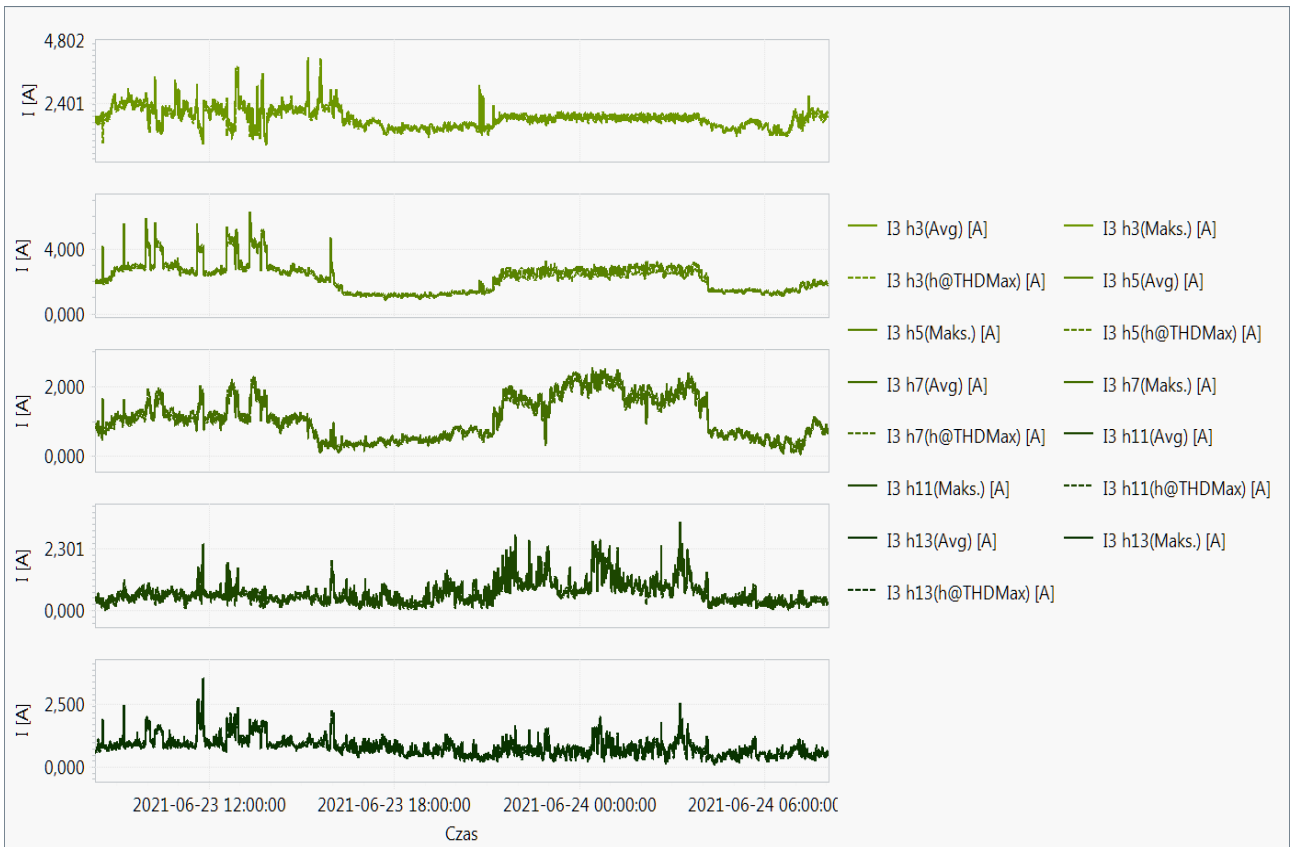
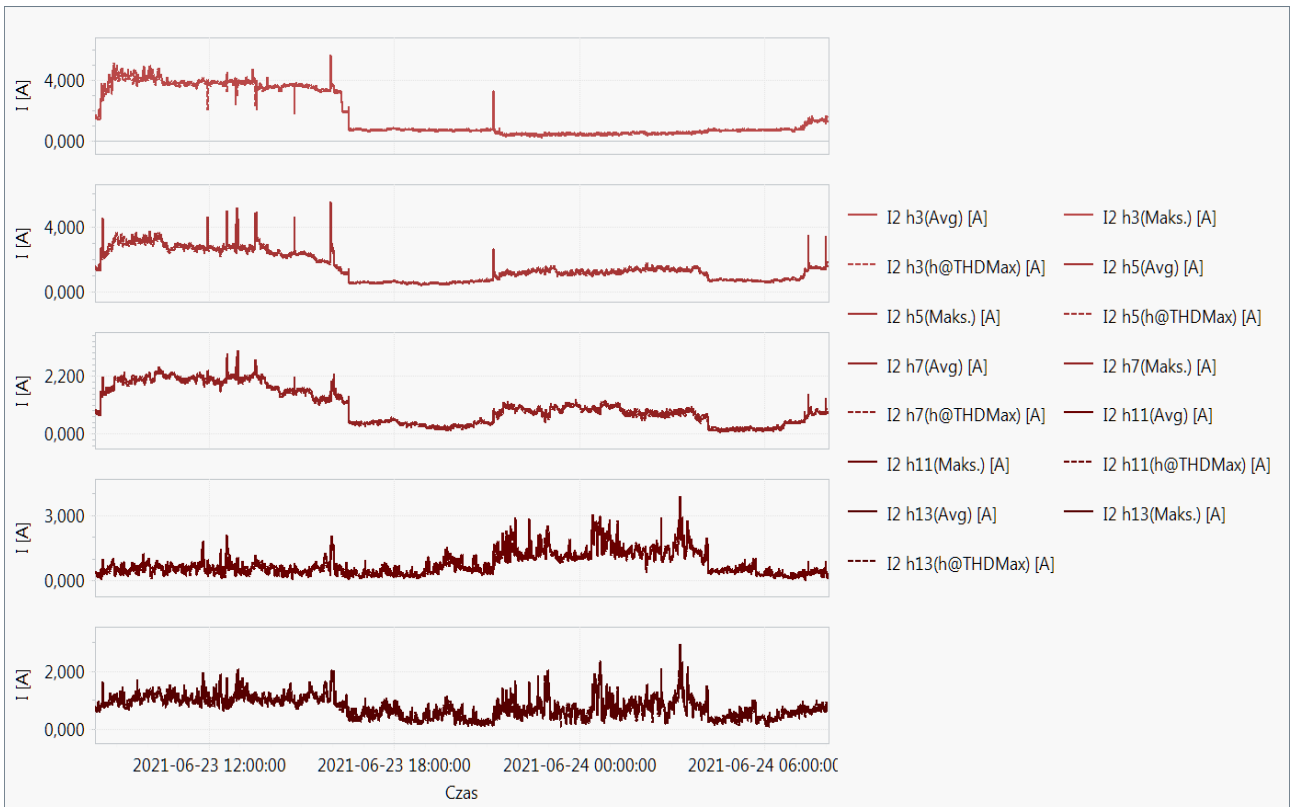
RYS.2. WYKRESY MOCY CZYNNEJ I BIERNEJ W POSZCZEGÓLNYCH FAZACH ORAZ/LUB MOCY TRÓJFAZOWEJ – ZASILANIE GŁÓWNE NN



RYS.3. WYKRES WSPÓLCZYNNIKA MOCY COS FI – ZASILANIE GŁÓWNE NN

RYS.4. WYKRES WARTOŚCI SKUTECZNEJ NAPIĘCIA I PRĄDU Z PROCENTOWYM UDZIAŁEM WARTOŚCI VTHD I ITHD ORAZ DLA DOMINUJĄCYCH CZĘSTOTLIWOŚCI W UDZIALE THD – ZASILANIE GŁÓWNE NN





RYS.5 OBRAZ OSCYLOSKOPOWY NAPIĘCIA I PRĄDU WRAZ Z WIDMEM HARMONICZNYCH DO 50EJ SKŁADOWEJ – ZASILANIE GŁÓWNE NN

