

PROJEKT TECHNICZNY

branża: ELEKTRYCZNA

KOMPENSACJA MOCY BIERNEJ BUDYNKU BIUROWEGO

Badanie i projekt baterii dławikowej

inwestor:

Zarząd Budynków i Lokali Komunalnych
ul. Mariacka 25
70-564 Szczecin
/WO-17017/

projekt:

El-Quint sp. z o.o.
ul. Gdańska 3d
70-660 Szczecin

styczeń 2016

Spis treści

1	Podstawa opracowania.....	4
2	Przedmiot i zakres opracowania.....	4
3	Stan istniejący.....	4
4	Przedprojektowa ocena jakości zasilania.....	4
4.1	Miejsce, termin i przyrząd pomiarowy.....	5
4.2	Ocena wyników pomiaru.....	5
4.2.1	Pomiar napięć.....	5
4.2.2	Pomiar prądów.....	5
4.2.3	Pomiar odkształceń napięcia.....	9
4.2.4	Pomiar odkształceń prądu.....	11
4.2.5	Przesunięcia fazowe.....	13
4.2.6	Przebiegi mocowe.....	14
4.3	Wnioski.....	19
5	Projekt układu kompensacji mocy biernej.....	21
5.1	Dobór dławika – dane wejściowe.....	21
5.2	Dobór dławika – dane znamionowe.....	24
5.3	Zasada działania.....	24
5.4	Wskazówki montażowe.....	24
5.5	Wykaz elementów.....	25
5.6	Spis rysunków.....	25

SPIS RYSUNKÓW

Rys. 1	Przebieg zmienności napięcia min/max.....	6
Rys. 2	Tygodniowy przebieg prądów 16 – 22.01.16.....	7
Rys. 3	Dobowy przebieg zmian prądu min-max 18.01 (pn) – pozostałe dni b/z, wysoki I_N niższy jedynie od I_3	7
Rys. 4	Rozkład prądów fazowych na składowe symetryczne: zgodną, przeciwną i zerową odpowiadający im współczynnik niesymetrii (oś lewa, wykres czerwony dolny).....	8
Rys. 5	Przetężenie w fazie L2 i jego wpływ na kształt napięcia 18.01.16 13:40.....	9
Rys. 6	Przebieg współczynnika zniekształceń napięcia THD 16 – 22.01.16.....	10
Rys. 7	Widmo przebiegu chwilowego napięcia z 13.01 15:25 (śr); 15 harmoniczna przekracza limit dopuszczalny – 0,5%.....	10
Rys. 8	Tygodniowy przebieg współczynnika harmonicznego prądu.....	12
Rys. 9	Oscylogram prądów godz. 13:39 (skala prawa) – THD _{IL3} =8%, THD _{IL2} =THD _{IL1} =16%.....	12
Rys. 10	Oscylogram prądów godz. 15:26 (skala prawa).....	13
Rys. 11	Przesunięcie między prądem i napięciem fazy L3 godz. 7:21 $\cos\phi=0,781$ (39°).....	14
Rys. 12	Wykres wektorowy prądów i napięć w godzinach pracy biura; $U_1=235V$, $U_2=235V$, $U_3=230V$; $I_1=24A$, $I_2=28A$, $I_3=55A$, $I_N=34A$ (nie zaznaczony); $\angle U_1 I_1=15^\circ$, $\angle U_2 I_2=23^\circ$, $\angle U_3 I_3=40^\circ$	14
Rys. 13	Przebieg mocy czynnej średniej i maksymalnej i biernej	16
Rys. 14	Częstość występowania mocy.....	16
Rys. 15	Przebieg kątów fazowych między prądem i napięciem – pod osią „0” charakter pojemnościowy.....	17
Rys. 16	Przebieg zmienności współczynnika mocy (dla podstawowej harmonicznej).....	18

Rys. 17 Wykres wektorowy prądów z uwzględnieniem zmiany charakteru i wielkości obciążenia w godzinach i poza godzinami pracy biura	18
Rys. 18 Wykres mocy biernej: indukcyjnej i pojemnościowej przy dławiku 2,5kVar załączanym w różnych godzinach; punkt przecięcia jednokolorowych krzywych wskazuje na minimum kosztów.....	22
Rys. 19 Wykres mocy biernej: indukcyjnej i pojemnościowej przy dławiku 3,0 kVar załączanym w różnych godzinach; punkt przecięcia jednokolorowych krzywych wskazuje na minimum kosztów.....	22
Rys. 20 Porównanie kosztów opłat za energię bierną dla różnych godzin załączenia dławika i różnej jego mocy (dane l'16)	23

1 Podstawa opracowania

Podstawę niniejszego opracowania wraz z projektem stanowią:

- a. Zlecenie Zarządu Budynków i Lokali Komunalnych dla spółki Elquint na wykonanie pomiarów diagnostycznych, a następnie projektu kompensacji mocy biernej dla budynku biurowego zlecienniodawcy mieszczącego się przy ul. Mariackiej 25 w Szczecinie.
- b. Wizja lokalna na budynku określająca możliwości montażu urządzeń diagnostycznych w pomieszczeniu głównej tablicy rozdzielczej, a następnie ocena możliwości lokalizacyjnych projektowanego kompensatora
- c. Dane zebrane w trakcie pomiarów napięcia, prądu, mocy, energii i pozostałych wielkości pochodnych determinujących dobór i zastosowanie projektowanych urządzeń
- d. aktualne normy, przepisy, katalogi urządzeń, w tym Elhand, Noratel

2 Przedmiot i zakres opracowania

Przedmiotem opracowania jest:

- W zakresie przedprojektowej oceny parametrów zasilania:
 - a. wybór miejsca podłączenia pomiaru (rys. 0 w załączniku)
 - b. diagnoza wielkości elektrycznych w punkcie przyłączenia budynku do sieci 0,4kV (jakość energii, odkształcenia prądów, napięcia)
 - c. ocena zapotrzebowania na moc czynną i bierną
- W zakresie projektu wykonawczego:
 - d. dobór urządzeń do kompensacji mocy biernej pobieranej przez budynek
 - e. dobór zabezpieczeń i pozostałych elementów w torze zasilania urządzeń kompensujących
 - f. dobór i programowanie urządzeń sterujących pracą projektowanego kompensatora
 - g. projekt nawiązania do istniejącego obwodu zasilania i rozdziału energii wewnątrz instalacji odbiorczej

3 Stan istniejący

Budynek ZBiLK zasilany jest z węzła kablowego przy ulicy Mariackiej ok. 15-metrowym kablem YAKY 4x240 z bezpiecznikami 125A wprowadzonym do tablicy rozdzielczej w piwnicy budynku. W tablicy rozdzielczej oprócz obwodów odpływowych do poszczególnych odbiorników zainstalowano półpośredni układ pomiaru energii z licznikiem typu ZMG 410 plombowanym przez służby ENEA Operator.

Wewnętrzna instalacja budynku chroniona jest wyłącznikiem LCB1-125/3 prod. F&G, a poszczególne obwody odpływowe rozłącznikami bezpiecznikowymi w wykonaniu skrzynkowym, bądź modułowym. Moc zamówiona dla budynku wynosi 45kW.

4 Przedprojektowa ocena jakości zasilania

W ramach przedprojektowej oceny jakości zasilania dokonano pomiarów następujących parametrów w miejscu przyłączenia definiujących jakość i charakter pobieranej mocy i energii.

- a. prąd i napięcie
- b. moc czynna i bierna
- c. współczynnik mocy i kąty przesunięcia
- d. sumaryczny współczynnik zniekształceń napięcia
- e. wyższe harmoniczne napięcia

4.1 Miejsce, termin i przyrząd pomiarowy

Pomiary przeprowadzono w dniach 13 – 22.01.2016 na zasilaniu głównym budynku ZBiLK przy ul. Mariackiej 25. Pomiary wykonano przyrządem PQBox 100 prod. AEBerle podłączonego w obwody prądowe za pośrednictwem cęg przekładnikowych pracujących na zakresie 0,1...200A. Rejestracji dokonano z 5-minutowym okresem uśredniania. Pomiary energii potwierdzono przebiegami z licznika rozliczeniowego ZMG 410 prod. Landis&Gyr.

4.2 Ocena wyników pomiaru

W kolejnych rozdziałach zaprezentowano wyniki pomiarów poszczególnych wielkości elektrycznych. Wyniki ujęto w formie graficznej, a tam gdzie wymagane było uszczegółowienie zaobserwowanych zjawisk również w formie tabelarycznej.

4.2.1 Pomiar napięć

Przebiegi napięć fazowych przedstawiono na Rys. 1 a charakterystyczne wartości liczbowe zebrano w Tabela 1. Napięcia maksymalne notowano w godzinach nocnych (0...5) swoje maksimum 241V osiągając pomiędzy godz. 0..1. Do wartości minimalnych 230V napięcie spadało w godz. 10..13, a więc w czasie pracy biura. Wartości maks-min niewiele różnią się między sobą. Na Rys. 1 wartości max-min na każdej fazie rysowano jednym kolorem – obszar pomiędzy nimi wyznaczał trend zmian wartości średniej napięcia.

Przebiegi napięć cechuje duża dobową regularność zmian wyznaczana wspomnianymi wyżej wartościami max-min. Odmienne kształty trendu notowano w dni wolne od pracy, kiedy to napięcie cechowała mniejsza amplituda zmian szczególnie dotycząca wyższych wartości minimalnych i zawężenie pasma zmian do 235...241V. Jest rzeczą oczywistą, że niższa wartość napięć w godzinach południowych wymuszona jest obciążeniem instalacji. W pierwsze dni pomiaru (cz, pt) napięcie w okolicach godz. 13 spadało do 228V.

Mimo zarejestrowanych i widocznych na Rys. 1 chwilowych zapadów napięcia z 17.01 (godz. 11:40) i 20.01 (godz. 10:51) nie zostały one sklasyfikowane jako zakłócenia gdyż nie przekroczyły progów zmian dopuszczalnych. Brak ich korelacji z prądem obciążenia każe przypuszczać, iż ich przyczyna leżała poza siecią odbiorcy.

4.2.2 Pomiar prądów

Na Rys. 2 przedstawiono tygodniowy przebieg prądów obciążenia przyłącza głównego ZBiLK. Przebiegi cechuje jeszcze większa niż w przypadku napięć regularność i powtarzalność zmian obciążenia. Rys. 2 ujmuje wartości średnie prądów, natomiast w celu bliższego przyjrzenia się przebiegom prądów na Rys. 3 pokazano wykres dobowy z uwzględnieniem wartości max - min. Wartości ekstremalne dla każdej fazy wykreślono jednym kolorem, pomiędzy nimi należy sytuować przebiegi fazowych prądów średnich.

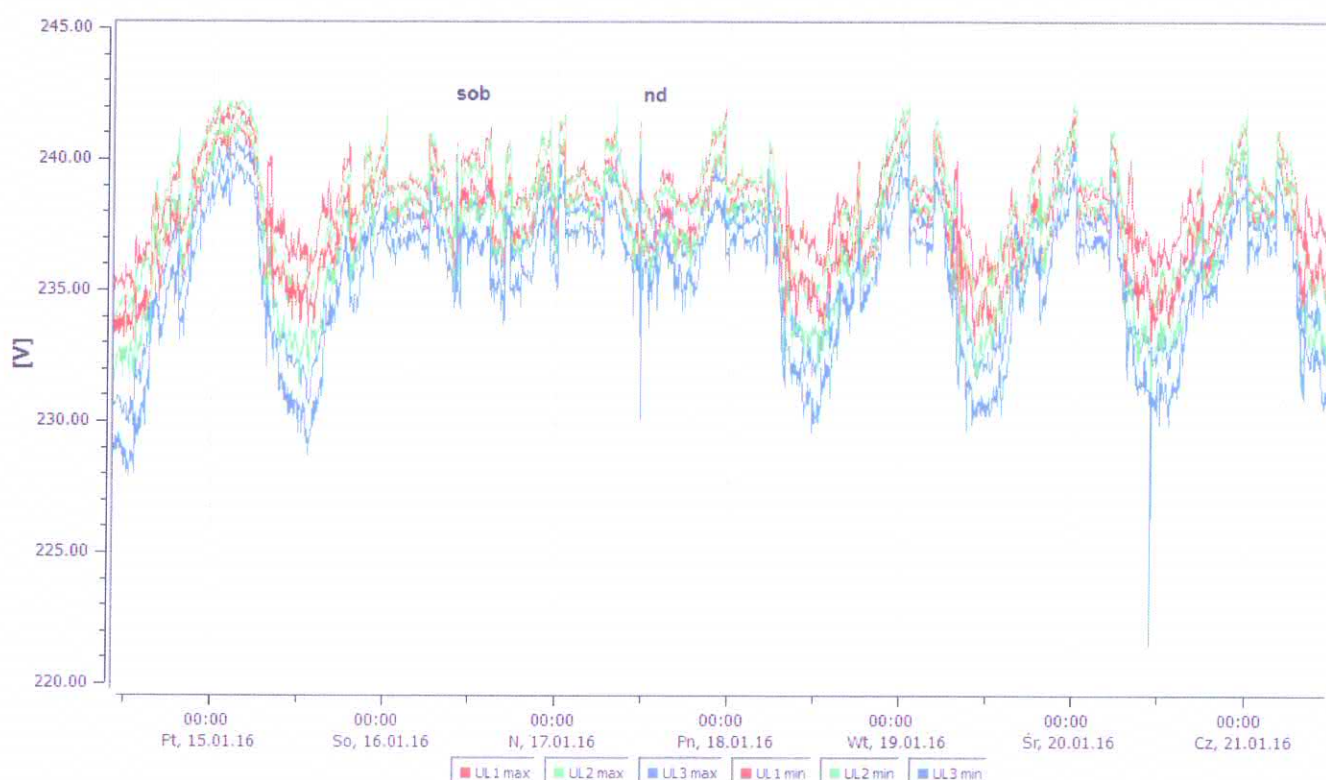
W pierwszej kolejności zwraca uwagę duża, rzędu 20% niesymetria prądu mierzona obecnością składowej przeciwnej. Efektem niesymetrii obciążenia jest obecność prądu w przewodzie neutralnym rzędu 48A, tj. wielkości porównywalnej z prądem fazy L3 i przewyższającym prądy faz pozostałych. W przebiegach z Rys. 2 dominującym jest prąd fazy L3 dochodzący do 60A wartości średniej. On też wywoływał najgłębsze spadki napięcia na swojej fazie (Rys. 1). Prąd L2 osiągał wartości pomiędzy 30 – 35A, a faza L1 obciążona była w granicach 20A. Dokładne wartości obciążenia średnich i maksymalnych z poszczególnych dni tygodnia zebrano w Tabela 1. Dane wartości prądów dotyczą wyłącznie

godzin pracy biura i obejmują wartości min – śr –max wyznaczone dla prądu średniego i maksymalnego oddzielnie dla każdej fazy.

Z fazy L2 zasilono prawdopodobnie oświetlenie zewnętrzne budynku, co sugeruje przebieg obciążeń w dni wolne od pracy z poborem na poziomie 10A zanikającym do granicy błędu pomiaru między godz. 8 – 16.

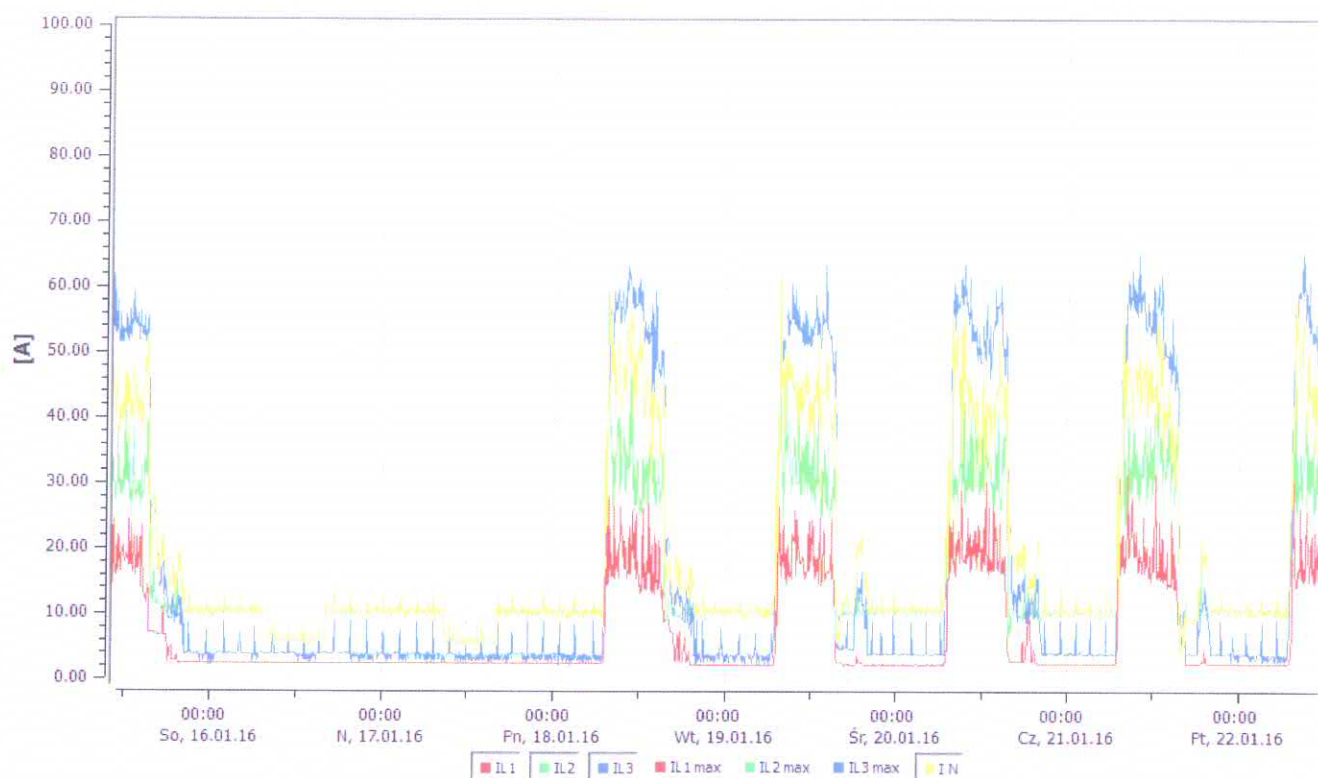
Godziny występowania poboru prądu wiążą się w sposób bezsporny z godzinami pracy biura 7:30 – 15:30 i w takich też godzinach obserwowano obciążenie na poziomie praktycznie niezmiennym, o wartościach jak wspomniano wyżej. Poza godzinami urzędowania prąd w przewodzie neutralnym na skutek zaniku prądów w fazach L1 i L3 zrównuje się z prądem fazy L2 (ok.10A) zasilającym odbiorniki oświetleniowe.

Dwa przetężenia zaobserwowane 18.01 (pn) godz. 13:40 i 14:01 nie wpłynęły na wartości chwilowe napięcia, wpłynęły jednak na kształt krzywej napięcia, co dokumentuje Rys. 5.

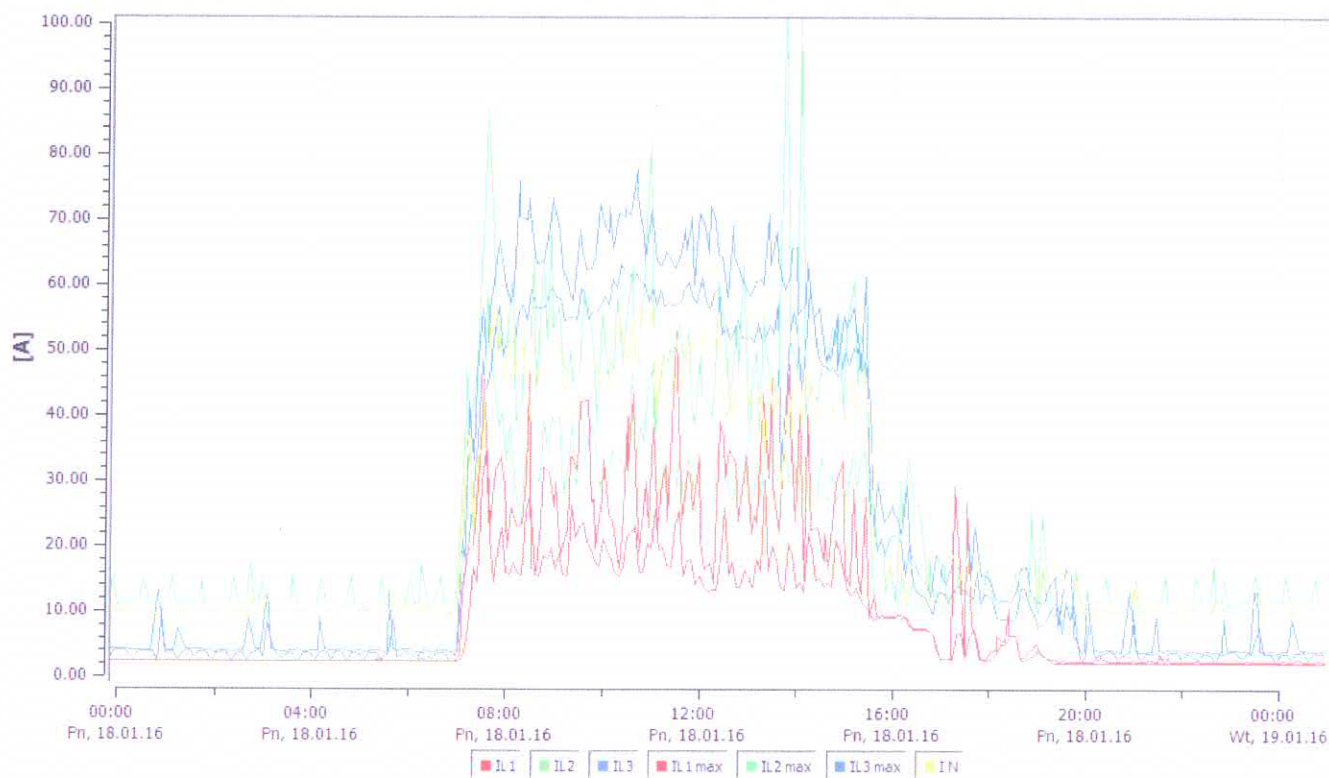


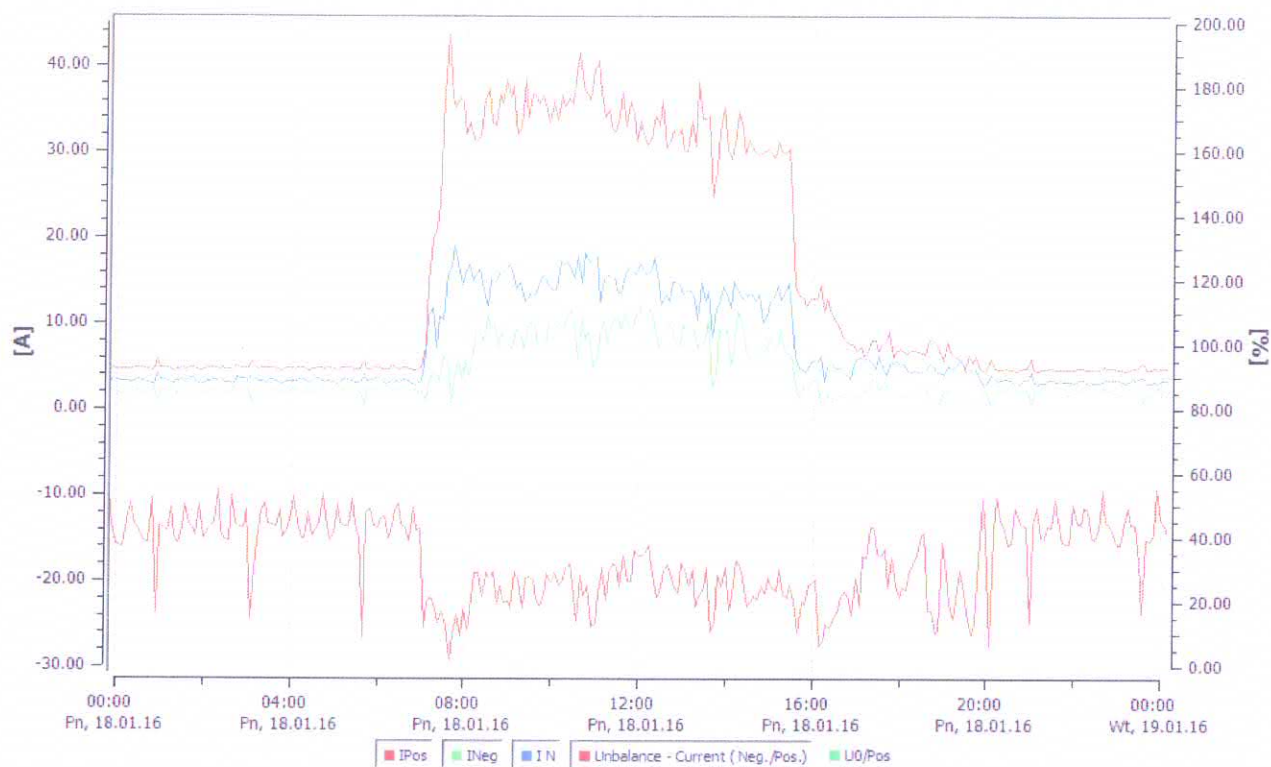
Rys. 1 Przebieg zmienności napięcia min/max

Widoczny na Rys. 4 przebieg składowych symetrycznych potwierdza wysoki prąd w przewodzie neutralnym, będący efektem dużej składowej zerowej, wyższej nawet od składowej przeciwnej. Porównując jego kształt z kształtem prądu fazy L3 należy sądzić iż w dominującej części jest to prąd powrotny od odbiorników fazy L3 nieznacznie zaledwie niższy od prądu rejestrowanego w tej fazie.



Rys. 2 Tygodniowy przebieg prądów 16 – 22.01.16

Rys. 3 Dobowy przebieg zmian prądu min-max 18.01 (pn) – pozostałe dni b/z, wysoki I_N niższy jedynie od I_3

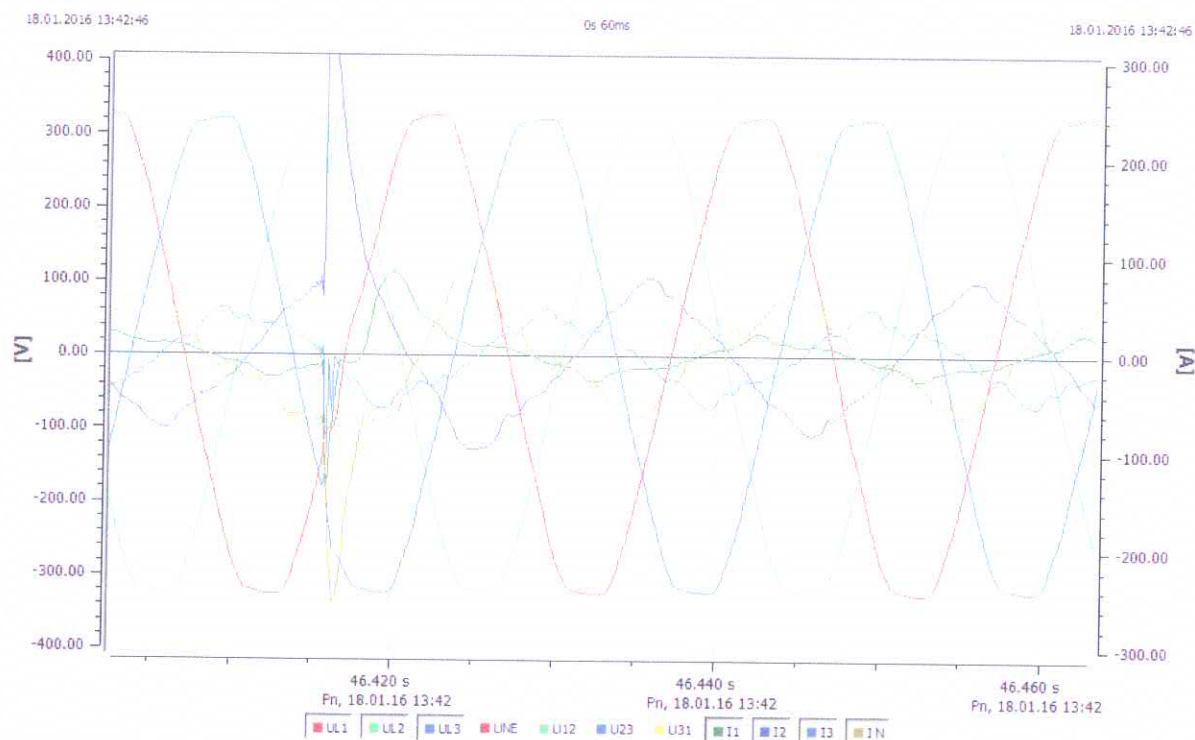


Rys. 4 Rozkład prądów fazowych na składowe symetryczne: zgodną, przeciwną i zerową odpowiadający im współczynnik niesymetrii (oś lewa, wykres czerwony dolny)

Tabela 1 Wartości uśrednione z podziałem na fazy

	L1			L2			L3			N		
napięcia	U_{1min} [V]	U_{1sr} [V]	U_{1max} [V]	U_{2min} [V]	U_{2sr} [V]	U_{2max} [V]	U_{3min} [V]	U_{3sr} [V]	U_{3max} [V]			
dość robocza	237	238	238	236	237	238	235	236	236			
dość świąteczna	238	239	239	238	239	239	237	238	238			
	L1			L2			L3			N		
prądy ¹	I_{1min} [A]	I_{1sr} [A]	I_{1max} [A]	I_{2min} [A]	I_{2sr} [A]	I_{2max} [A]	I_{3min} [A]	I_{3sr} [A]	I_{3max} [A]	I_{Nmin}	I_{Nsr}	I_{Nmax} [A]
prąd średni	10	18	35	25	33	59	32	54	63	28	46	59
prąd maksymalny	9	28	53	28	53	70	28	63	78	---	---	---

¹ godziny 7:30 – 15:30

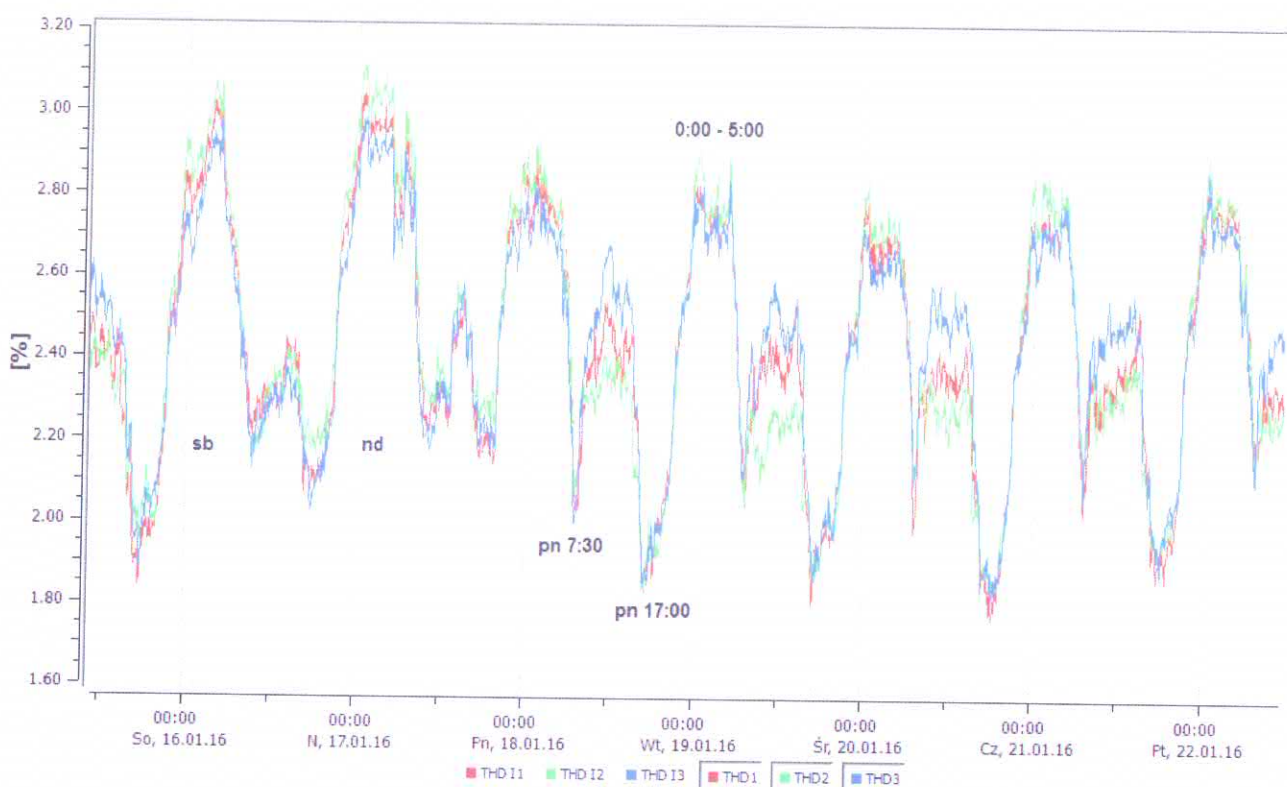


Rys. 5 Przetęczenie w fazie L2 i jego wpływ na kształt napięcia 18.01.16 13:40

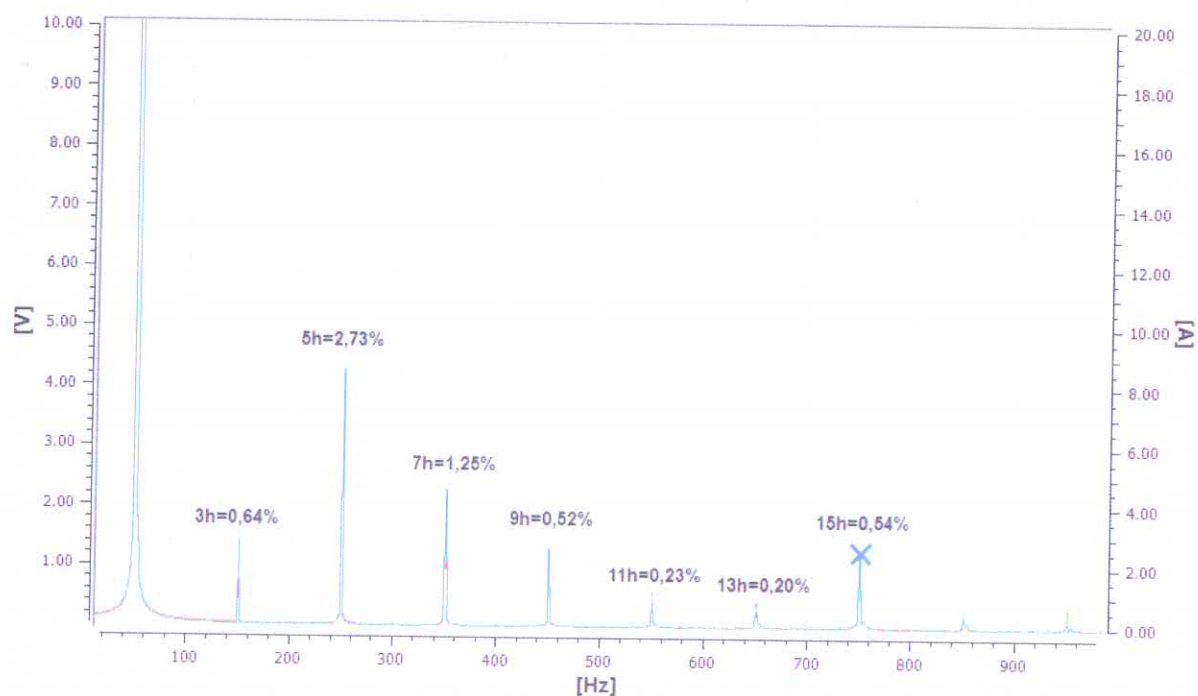
4.2.3 Pomiar odkształceń napięcia

Miarą odkształceń napięcia jest współczynnik THD. Wartość jego jest limitowana normami definiującymi jakość energii w publicznych sieciach zasilających. Jego przebieg zmienności przedstawia Rys. 6. W żadnym momencie obserwacji wartości dopuszczalne nie zostały przekroczone, co więcej lokują się one w dolnych granicach wielkości dopuszczalnych. Odkształcenia krzywej napięcia co prawda rosły w godzinach pracy biura w przedziale 2,2...2,6%, lecz maksimum wartości współczynnik osiągał w godzinach nocnych dochodząc do 3%, z czego najwyższa wartość wypadła w niedzielę. Nie można zatem stwierdzić, że jego przyczyną były urządzenia badanego odbiorcy.

Jedynym niepokojącym elementem przy badaniu zniekształceń napięcia jest występowanie ponadnormatywnej wartości 15-tej harmonicznej widocznej na rozkładzie częstotliwościowym napięcia z Rys. 7. Próg dopuszczalny dla tego rzędu wynosi 0,5%, więc nieznacznie został przekroczony.



Rys. 6 Przebieg współczynnika zniekształceń napięcia THID 16 – 22.01.16



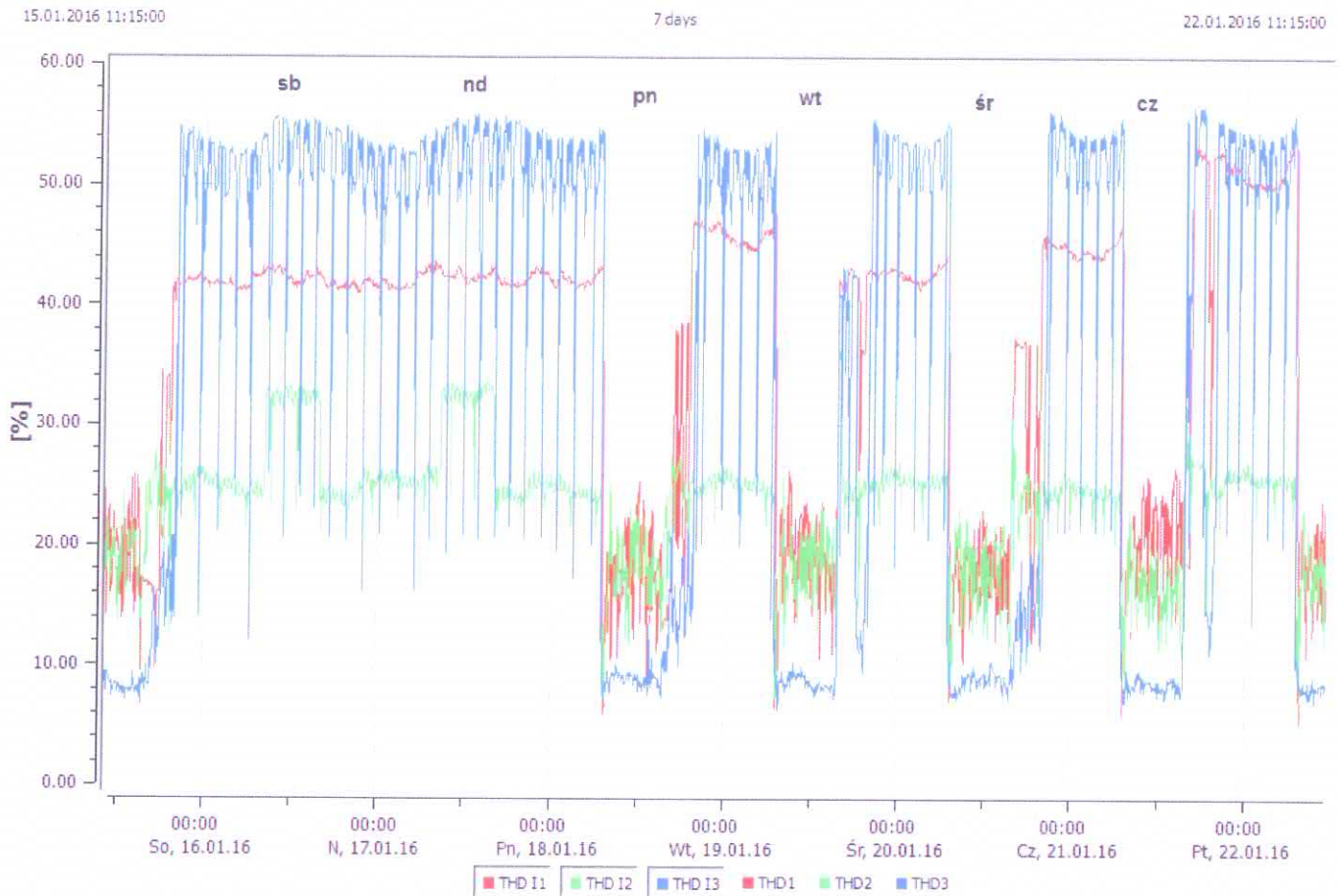
Rys. 7 Widmo przebiegu chwilowego napięcia z 13.01 15:25 (śr); 15 harmoniczna przekracza limit dopuszczalny – 0,5%

4.2.4 Pomiar odkształceń prądu

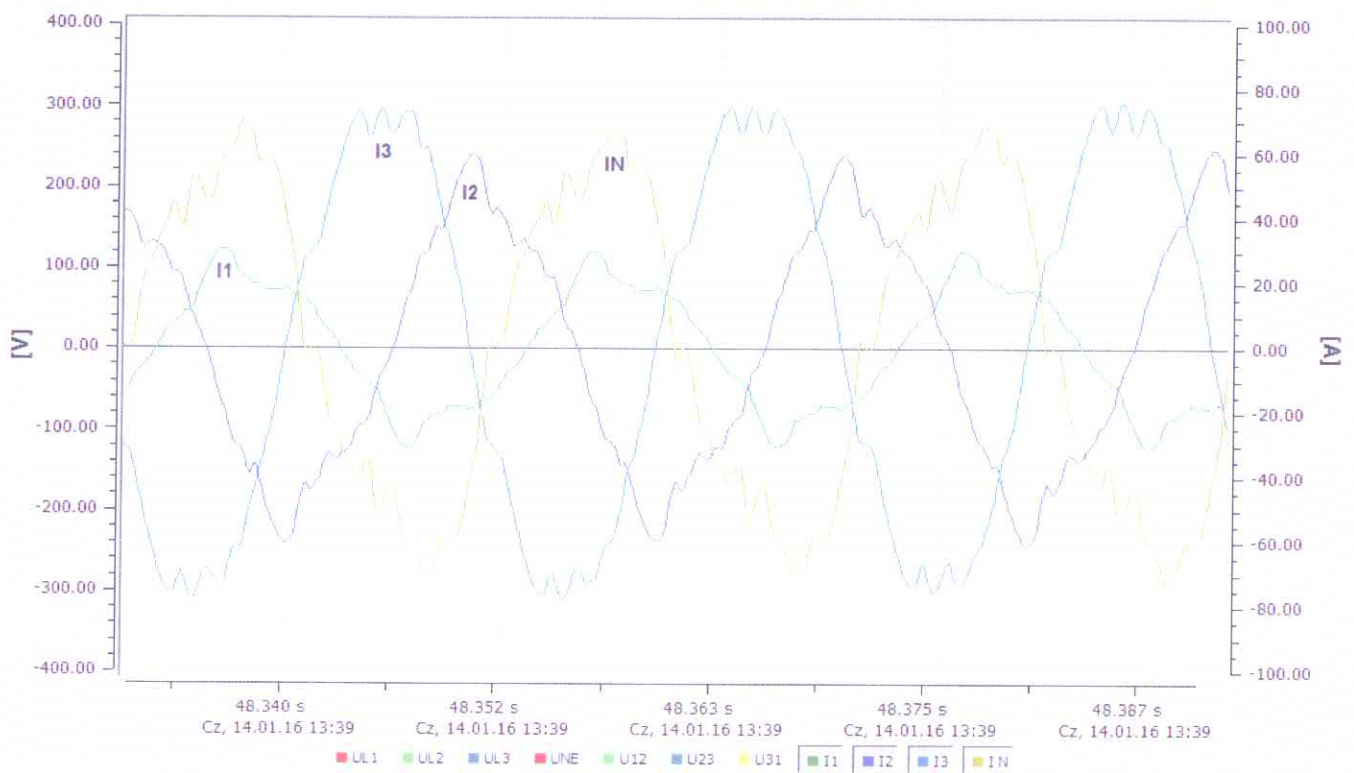
Zupełnie inaczej sytuacja przedstawia się w stosunku do zniekształceń obserwowanych w prądzie. Na przebiegu THD_I (prądowym) pokazanym na Rys. 8 zwraca uwagę najwyższa wartość zniekształceń na fazie L3. Należy jednak zauważyć że pojawia się ono wyłącznie w godzinach nocnych przy prądach na poziomie 5A, gdzie uwidacznia się wpływ zakłóceń i błędów przetworników pomiarowych znajdujących się w torze przesyłu sygnału pomiarowego ze szczególnym uwzględnieniem wykorzystanych do pomiaru prądu cęg magnetycznych. Impulsową zmienność przebiegu prądu fazy L3 łatwo powiązać z tak samo zmiennym impulsowym przebiegiem prądu w godz. 16...7 (Rys. 3).

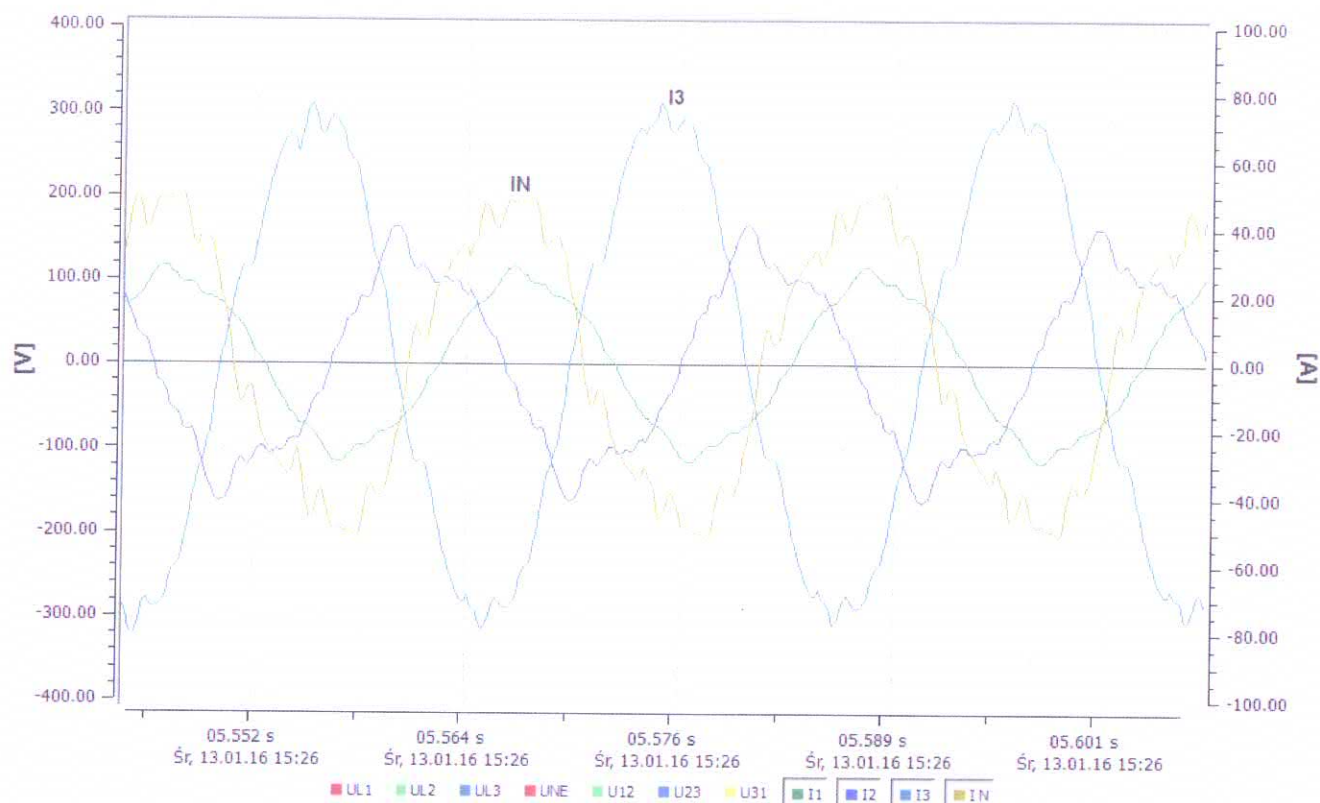
Istotniejszym wnioskiem płynącym z obserwacji współczynnika THD_I jest zawartość zniekształceń w godzinach pracy biura 7:30 – 15:30. W tych godzinach współczynnik nie przekracza 20%, a jego wartość zarejestrowana na fazie L3 jest tym razem najmniejsza. W jaki sposób omawiany współczynnik przekłada się na kształt krzywej prądu przedstawia Rys. 9 i Rys. 10. Obydwa oscylogramy obejmują godziny pracy biura, stąd wartości szczytowe prądów dochodzą do 80A (skuteczne do 60A p. Rys. 3). Podobnie jak na Rys. 3 znaczące wartości porównywalne do przebiegów fazowych notowane są na przewodzie neutralnym. Również stopień odkształcenia prądu w przewodzie neutralnym nie odbiega od stopnia zniekształcenia prądów fazowych, co sugeruje iż w przewodzie neutralnym zamyka się w decydującej większości prąd fazy L3 (częściowa zbieżność kształtów).

Już pobieżny osąd stopnia odkształcenia krzywych prądu z Rys. 9 lub Rys. 10 wskazuje na większe odkształcenie prądów faz L2 i L1 od mającego najwyższą wartość prądu I_{L3} . Łączny stopień odkształcenia prądu fazy L3 na wyniósł 8% przy dwukrotnie wyższym zniekształceniu prądów faz pozostałych. Nie są to jednak zniekształcenia na tyle wysokie, by uniemożliwiać niepoprawną pracę odbiorników lub w sposób niekorzystny oddziaływać na sieć zasilającą. Odkształcenie prądów reprezentowane współczynnikiem THD_I jest praktycznie jednakowe przez cały czas pracy biura. Większe obawy może budzić dysproporcja pomiędzy obciążeniem faz uwidaczniająca się w wysokich przepływach prądów neutralnych oraz w wysokiej zawartości składowych przeciwnych i zerowych w prądach fazowych uwidocznione na Rys. 4.



Rys. 8 Tygodniowy przebieg współczynnika harmonicznego prądu

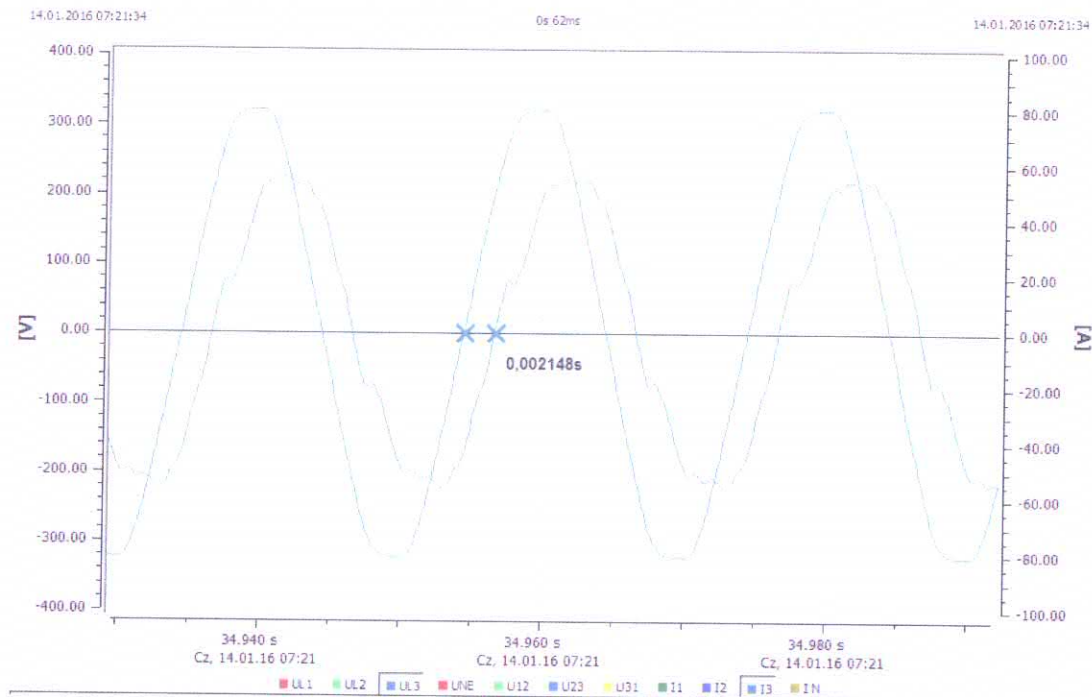
Rys. 9 Oscylogram prądów godz. 13:39 (skala prawa) – $THD_{I1,3}=8\%$, $THD_{I1,2}=THD_{I1}=16\%$



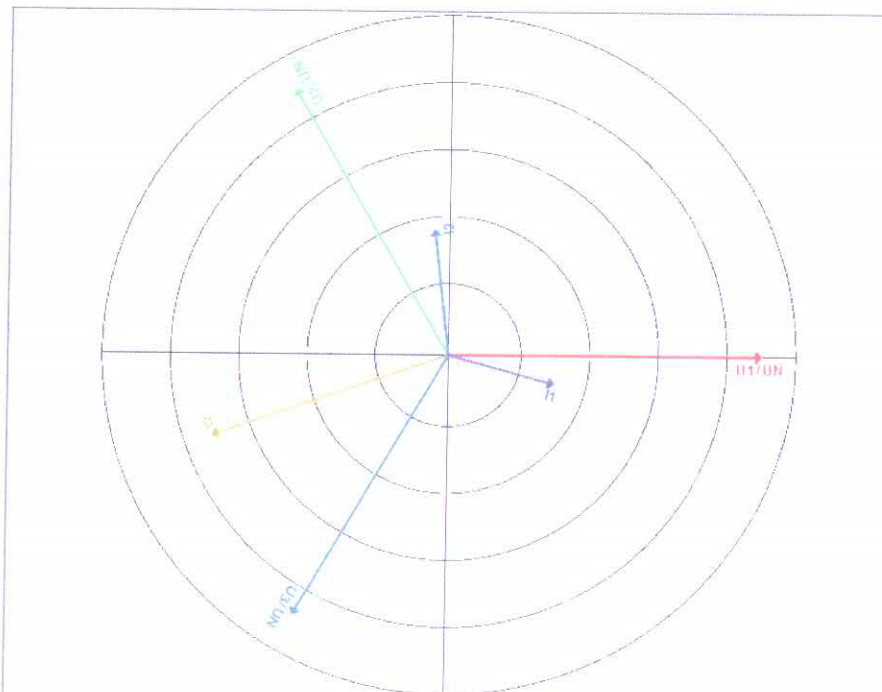
Rys. 10 Oscylogram prądów godz. 15:26 (skala prawa)

4.2.5 Przesunięcia fazowe

Na oscylogramie z Rys. 11 przedstawiono wzajemną chwilową relację pomiędzy prądem i napięciem fazy L3. Rys. 12 przedstawia odpowiadającą mu gwiazdę napięć i prądów w pełnym układzie trójfazowym. Na niej znajdują potwierdzenie dalekie od symetrycznych wektory prądów fazowych, zarówno jeśli chodzi o kąty jak i amplitudy. Przykładowe, z godz. 7:21 „zdjęcie” przebiegu z Rys. 11 wskazuje na silnie indukcyjny charakter odbioru z współczynnikiem mocy $\cos\varphi=0,78$. Wartość prądu na rysunku mimo godziny jeszcze przed otwarciem biura już jest bliska wartości docelowej, a stopień odkształcenia sięga 8%.



Rys. 11 Przesunięcie między prądem i napięciem fazy L3 godz. 7:21 $\cos\varphi=0,781$ (39°)



Rys. 12 Wykres wektorowy prądów i napięć w godzinach pracy biura; $U_1=235V$, $U_2=235V$, $U_3=230V$; $I_1=24A$, $I_2=28A$, $I_3=55A$, $I_N=34A$ (nie zaznaczony); $\angle U_1 I_1=15^\circ$, $\angle U_2 I_2=23^\circ$, $\angle U_3 I_3=40^\circ$

4.2.6 Przebiegi mocowe

Na kolejnych wykresach przedstawiono przebiegi mocy czynnej i biernej, starając się uchwycić najistotniejsze z punktu widzenia projektu aspekty ich zmian i współzależności. Wykresy mocy czynnej i biernej wykreślano w identycznej skali po obu stronach wykresów, co pozwala na porównania wprost obu przebiegów.

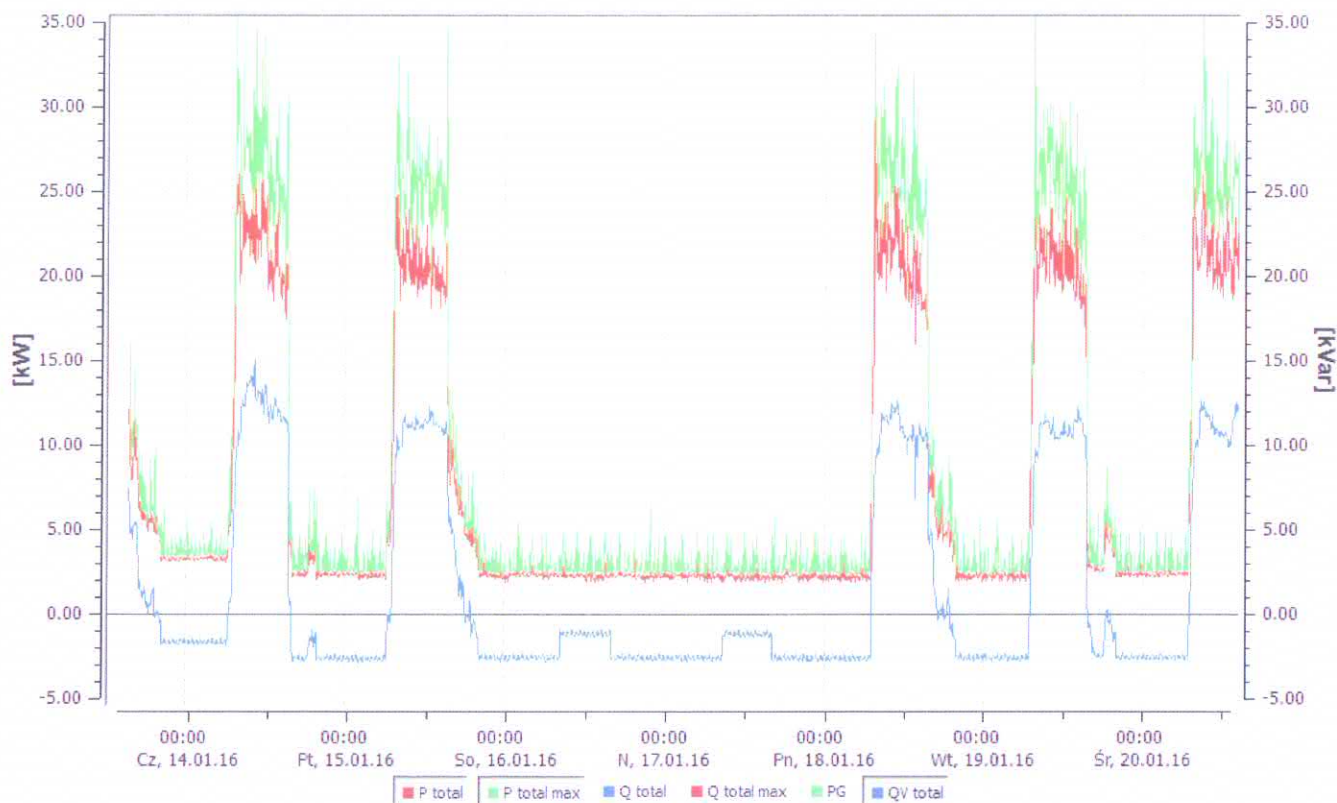
Na Rys. 13 pokazano przebieg tygodniowy mocy czynnej maksymalnej i średniej oraz średniej mocy biernej. Obciążenia dochodzą do **25kW** przy mocy zamówionej 45kW, co wskazuje na blisko 80-procentowe przewymiarowanie zapotrzebowania w stosunku do realnych potrzeb. Moce chwilowe dochodzące do 35kW nie są mocami rozliczeniowymi, więc przy doborze mocy umownej należy się kierować mocą średnią zweryfikowaną dodatkowo w okresie letnim.

Pobór mocy biernej w godz. 7:30 – 15:30 lokował się na stałym poziomie 12kvar. Najistotniejszym faktem z punktu widzenia doboru urządzeń kompensacyjnych jest zmiana charakteru mocy poza godzinami pracy biura. Przebieg pod zerową linią prostą na Rys. 13 wskazuje na pojemnościowy charakter mocy biernej. Moc ta ulega nieznacznej (o ok. 1kvar) zmianie między 8 i 16 w dni wolne od pracy, gdy załączone zostaje oświetlenie zewnętrzne okolic budynku. Zmiana ta widoczna jest również na Rys. 3, gdzie prąd fazy L2 rośnie po załączeniu oświetlenia z 8 do 10A. Co ciekawe, z Rys. 13 wynika że prąd ten ma charakter wyłącznie bierny, co oczywiście jest nieprawdą, lecz podkreśla fakt że współczesne wydawcze źródła światła sterowane elektronicznie stanowią dla sieci w głównej mierze obciążenie bierne.

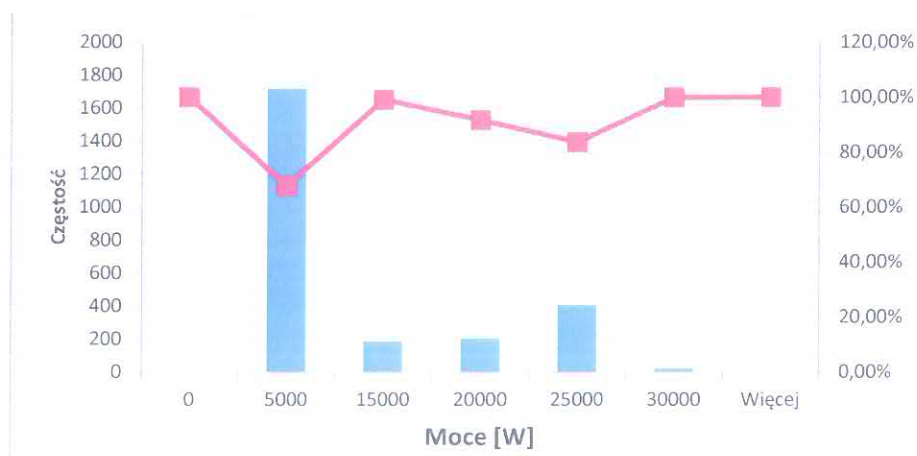
W ciągu dnia dominują odbiorniki siłowe, takie jak np. wentylatory, które mocowo przeważają nad komputerami, stąd charakter mocy biernej w ciągu dnia zmienia się na zdecydowanie indukcyjny.

Potwierdzeniem zmiany charakteru mocy biernej są przebiegi z Rys. 15 które dodatkowo uszczegóławiają jak przebiega zmiana charakteru odbiornika z podziałem na fazy. Parametrem wykorzystanym do tej analizy graficznej jest kąt fazowy poszczególnych prądów. I tak, wszystkie 3 fazy odwracają się w stosunku do odpowiednich napięć, przy czym prąd I_{L3} zmienia zwrot o 50° , prąd I_{L2} o 70° , a w czasie pracy oświetlenia o 35° , natomiast I_{L1} o 75° . Obrót gwiazdy napięć względem napięciowych wektorów odniesienia pokazuje Rys. 17.

Ujęcie statystyczne przebiegów mocowych prezentuje Rys. 14. Wynika z niego, że zbioru wszystkich wartości mocy najwięcej czasu, bo przez 32% były to moce z przedziału do 5kW, czyli występujące w godzinach nocnych i dniach wolnych od pracy. Spośród mocy występujących w dzień dominującymi były te z przedziału 20...25kW.

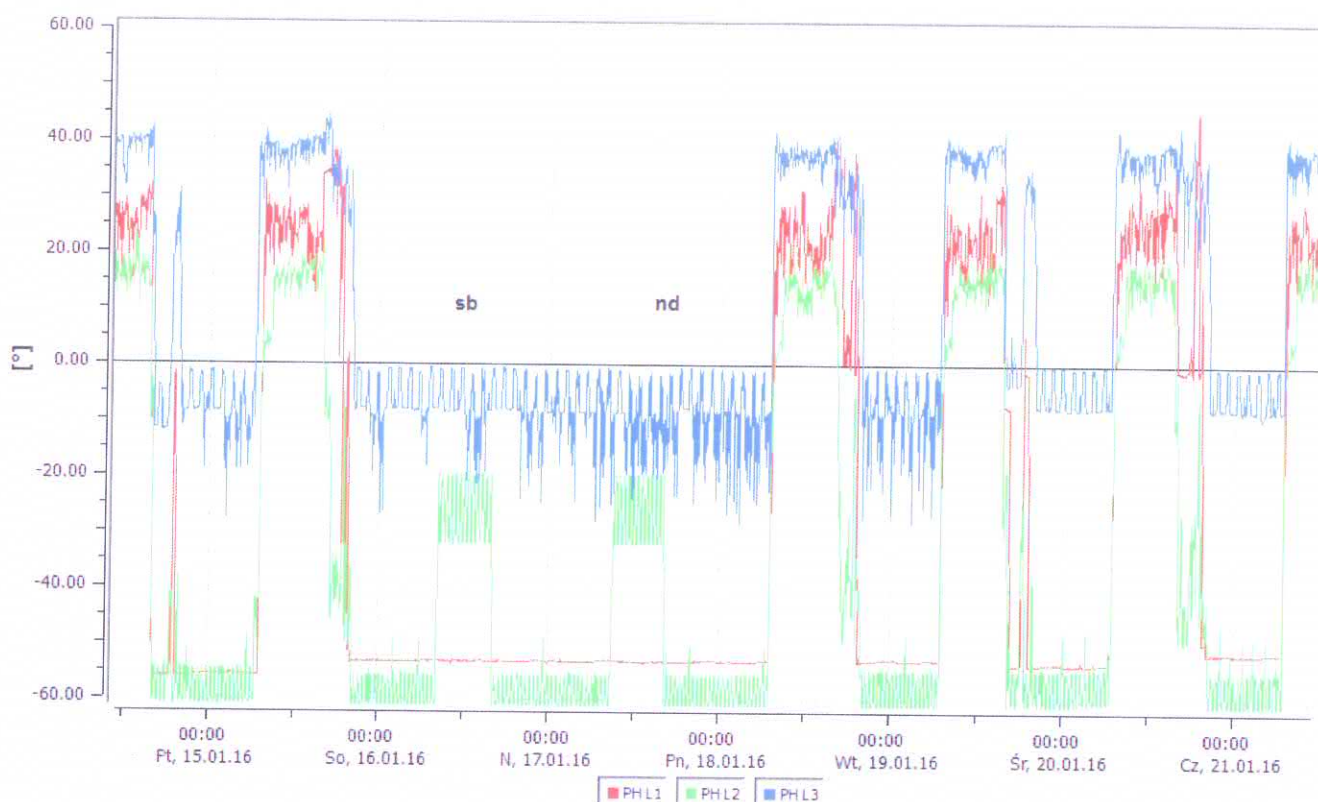


Rys. 13 Przebieg mocy czynnej średniej i maksymalnej i biernej



Rys. 14 Częstość występowania mocy

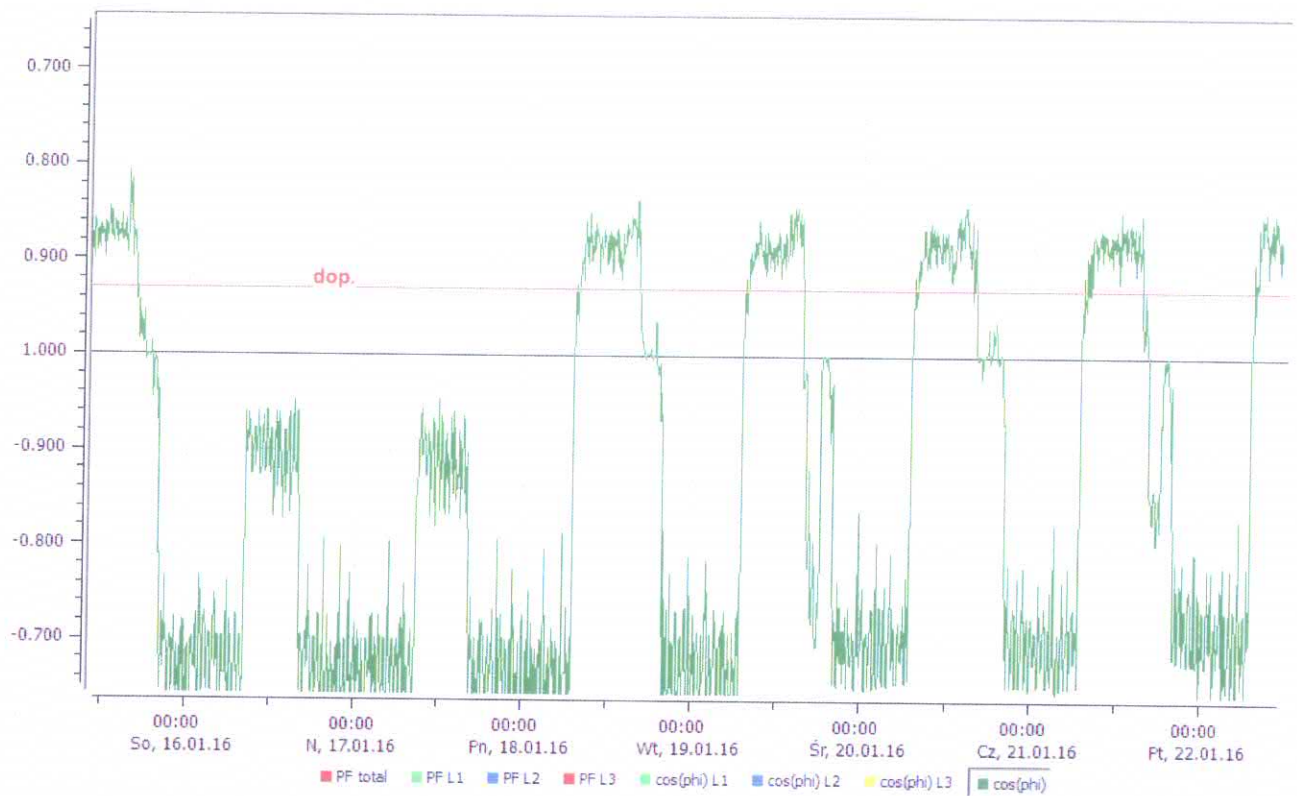
W Tabeli 2 zebrano wartości liczbowe opisujące wykresy z Rys. 13...Rys. 16, przy czym ten ostatni pokazuje jak zmienia się $\cos\varphi$ w zależności od pory doby. Pojemnościowy charakter współczynnika poza godzinami pracy biura zamienia się w silnie indukcyjny w ciągu dnia przekraczając wartości dopuszczalne. Przy doborze kompensacji indukcyjnej należy uważać by nie powiększać przekompensowania, o które nie trudno w sytuacji niskich (0,83..0,84) współczynników mocy w czasie pracy biura.



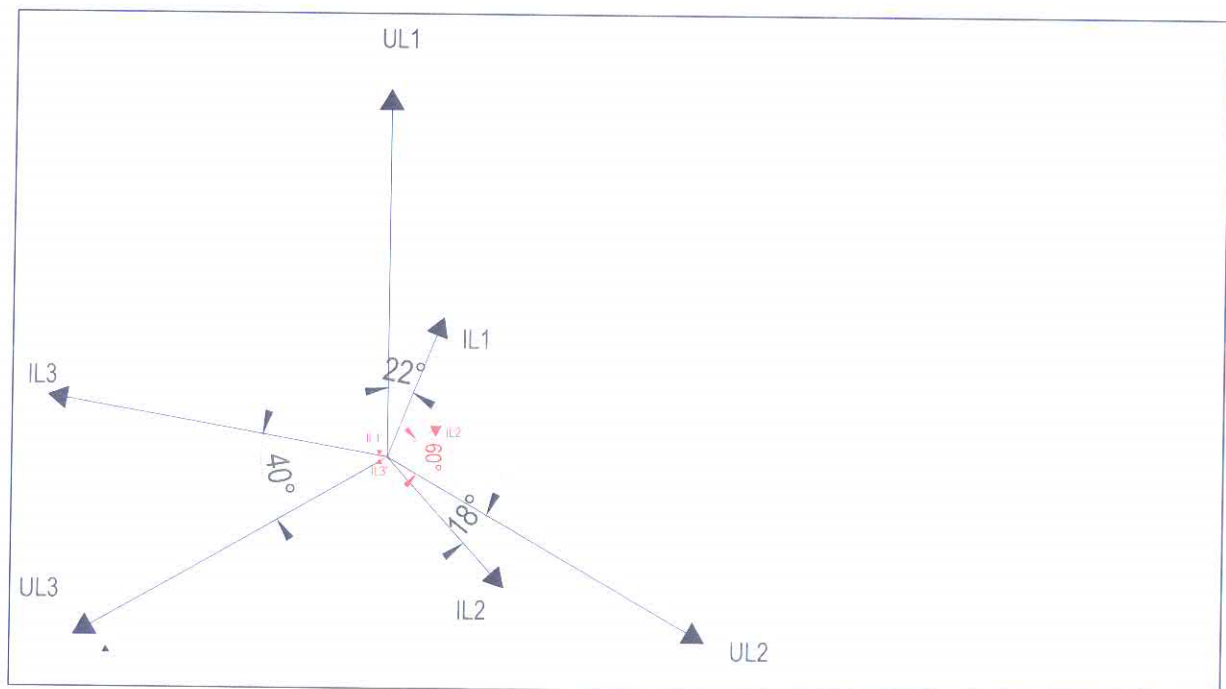
Rys. 15 Przebieg kątów fazowych między prądem i napięciem – pod osią „0” charakter pojemnościowy

Tabela 2 Charakterystyczne wielkości mocy i współczynnika mocy z podziałem na doby

Lp.	Data	$P_{\min}$ [kW]	$P_{\text{śr}}$ [kW]	$P_{\max}$ [kW]	$Q_{\min}$ [kvar]	$Q_{\text{śr}}$ [kvar]	$Q_{\max}$ [kvar]	$\cos\varphi_{\min}$	$\cos\varphi_{\text{śr}}$	$\cos\varphi_{\max}$
1.	14 I cz	2	10	26	-3	3	15	-0,62	-0,93	0,83
2.	15 I pt	2	9	25	-3	3	12	-0,60	-0,91	0,81
3.	16 I sb	2	2	3	-3	-2	0	-0,57	-0,75	1,00
4.	17 I nd	2	2	3	-3	-2	0	-0,56	-0,74	1,00
5.	18 I pn	2	9	29	-3	3	13	-0,56	-0,89	0,84
6.	19 I wt	2	9	28	-3	2	12	-0,57	-0,87	0,84
7.	20 I śr	2	9	26	-3	3	13	-0,65	-0,91	0,84
8.	21 I cz	2	9	28	-3	2	13	-0,64	-0,89	0,85



Rys. 16 Przebieg zmienności współczynnika mocy (dla podstawowej harmonicznej)



Rys. 17 Wykres wektorowy prądów z uwzględnieniem zmiany charakteru i wielkości obciążenia w godzinach i **poza** godzinami pracy biura

4.3 Wnioski

- a. Wartości napięć na zasilaniu budynku ZBiLK mieściły się w dopuszczalnych granicach przez cały okres trwania pomiarów. Rzeczywiste wartości napięć, tj. 235...240V, czyli w granicach do 4% powyżej wartości znamionowej muszą być uwzględnione w procesie doboru urządzeń kompensacyjnych.
- b. Pomiary prądów dochodzą do 60A na fazie najbardziej obciążonej (L3). Pozostałe fazy L2 i L1 odpowiednio do 40 i do 30A. W godzinach nocnych obciążenie spada do 10A z dominującą fazą L2 zasilającą oświetlenie zewnętrzne.
- c. Niesymetria obciążenia rzędu 20% powoduje przepływ prądu w przewodzie neutralnym o wielkości zbliżonej do fazy L3. Nierównomierne rozłożenie obciążenia i przewaga odbiorników jednofazowych skutkuje wysoką obecnością w przebiegach prądów fazowych zarówno składowej przeciwnej (obecność 10%) jak i zerowej (15%).
- d. Przebieg obciążenia charakteryzuje duża równomierność i regularność zmian obserwowanych w cyklu dobowym.
- e. Niewielkie całkowite zniekształcenie napięcia skutkuje współczynnikiem THD_U na poziomie 2,5%. Przy czym jego maksimum występuje w godzinach nocnych, stąd jest ono niezależne od pracy urządzeń biurowych. Jednostkowo zwraca uwagę wyższy od normatywnego poziom harmonicznej rzędu 15-tego (0,54% > 0,50%). Prąd harmoniczny tego samego rzędu nie przekracza 2,5% - prawdopodobnym źródłem tego odchylenia jest sieć zewnętrzna.
- f. Zniekształcenia prądu reprezentowane współczynnikiem THD_I są największe poza godzinami pracy biura. Ze względu na niewielką wartość prądu w tym czasie nie stanowią one jakiegokolwiek zagrożenia, a w dużej części na ich wielkość nakładają się błędy pomiaru. THD_I w godzinach pracy biura (7:30... 15:30) jest stosunkowo niewielkie i nie przekracza 20 - 25%, przy czym najmniejsze jest w fazie najbardziej obciążonej. Przebieg prądu w przewodzie neutralnym nie jest bardziej odkształcony niż prądy fazowe.
- g. Zaobserwowano przewymiarowanie mocy umownej w stosunku do mocy realnie zapotrzebowanej. Wartość **29kW** mocy pobieranej stanowi nieco ponad połowę mocy zamówionej, stąd należałoby rozważyć zmniejszenie mocy w celu ograniczenia comiesięcznych kosztów stałych ponoszonych na zakup energii elektrycznej. Z kolei zmniejszenie mocy skutkuje przejściem do niższej grupy taryfowej i związanymi z nią niższymi opłatami. Co więcej, w niższej grupie taryfowej nie obowiązuje rozliczenie z energii biernej, lecz praktyka pokazuje, iż po przejściu odbiorcy do niższej grupy taryfowej poddawany jest on obserwacji taryfowej związanej z wielkością poboru mocy biernej. W sytuacji występowania ponadnormatywnych poborów odbiorca ponownie podlega rozliczeniom za energię bierną mimo zmiany taryfy.
- h. Profil poboru mocy podobnie jak prądów odbywa się w cyklu dobowym z dużą powtarzalnością. Moc czynna zmienia się od 2kW w nocy do 25...29kW w godzinach pracy biura. Poborom dziennym odpowiada stosunkowo wysoki pobór mocy biernej 12...15kvar, co w efekcie daje niekorzystny $\cos\varphi = 0,83...0,85$ w szczycie obciążenia. Do wartości wymaganej współczynnik ten jest kompensowany w skali miesiąca w sposób naturalny zerowym zużyciem mocy biernej indukcyjnej w odpowiednio licznych pozostałych godzinach doby, w tym w dni świąteczne.
- i. W godzinach poza pracą biura moc bierna zmienia charakter na pojemnościowy wynikający z całodobowej pracy serwerów IT zasilanych za pośrednictwem UPS-a o mocy 4kVA. Moc pojemnościowa osiąga jednakową wartość 3kvar zmniejszając się do 2kvar w godzinach załączenia oświetlenia zewnętrznego zasilanego z fazy L2.

- j. Zamieszczony wykres wektorowy prądów pozwala unaocznąć na czym polega zmiana we wzajemnych relacjach prądów i napięć w trakcie pracy biura i po jej zakończeniu.
- k. Szczególną uwagę przy doborze urządzeń kompensacyjnych należy poświęcić jak zapobiec przekompensowaniu indukcyjnemu, które może wystąpić w sytuacji nałożenia się mocy dławika na moc pobieraną przez indukcyjne odbiorniki siłowe załączane w ciągu dnia.
- l.

5 Projekt układu kompensacji mocy biernej

Bazując na wynikach tygodniowego okresu pomiarowego oraz wspomagając się danymi z licznika rozliczeniowego zaprojektowano układ kompensacji mocy biernej pojemnościowej, pozwalający na ograniczenie i zminimalizowanie opłat ponoszonych przez odbiorcę z tego tytułu.

5.1 Dobór dławika – dane wejściowe

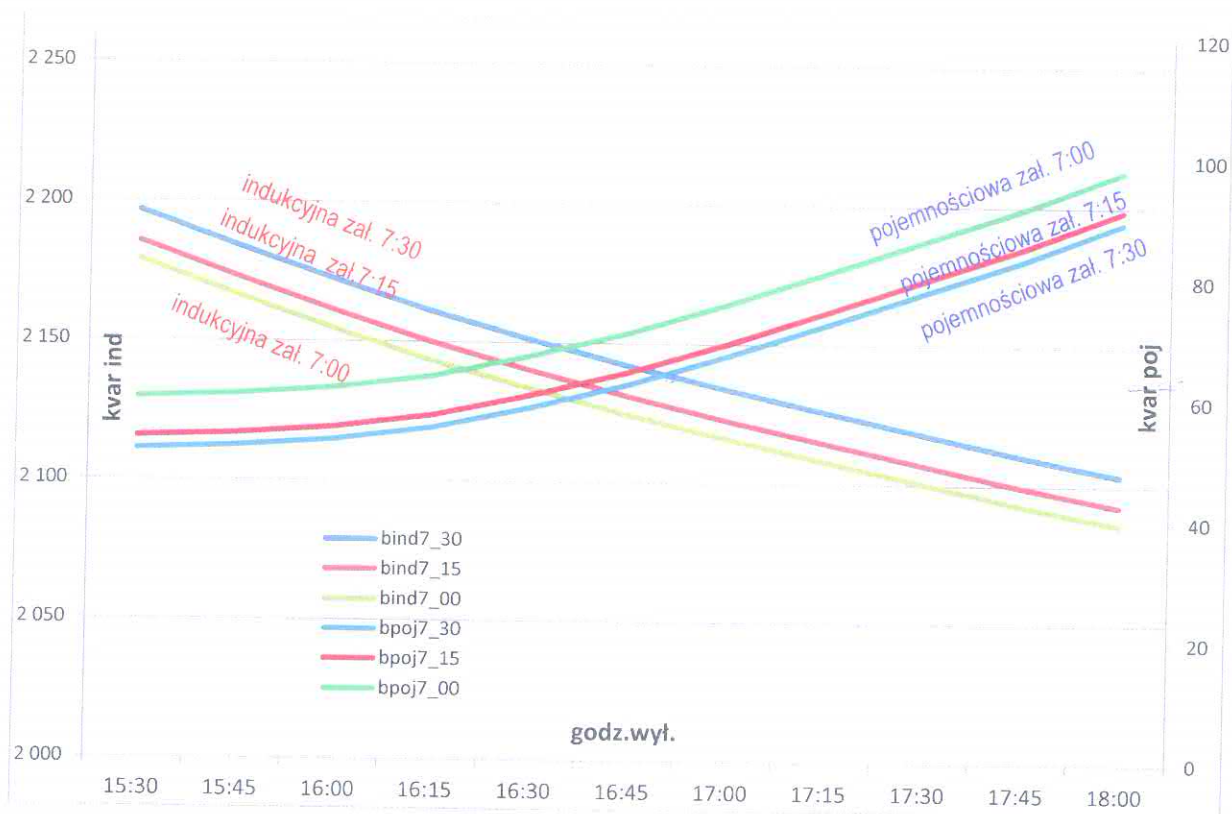
W procesie doboru dławika posłużono się symulacją porównawczą opłat ponoszonych obecnie w układzie bez kompensacji i po zainstalowaniu dławika. Zmiennymi w procesie doboru były:

- a. moc dławika
- b. czas załączenia / wyłączenia dławika

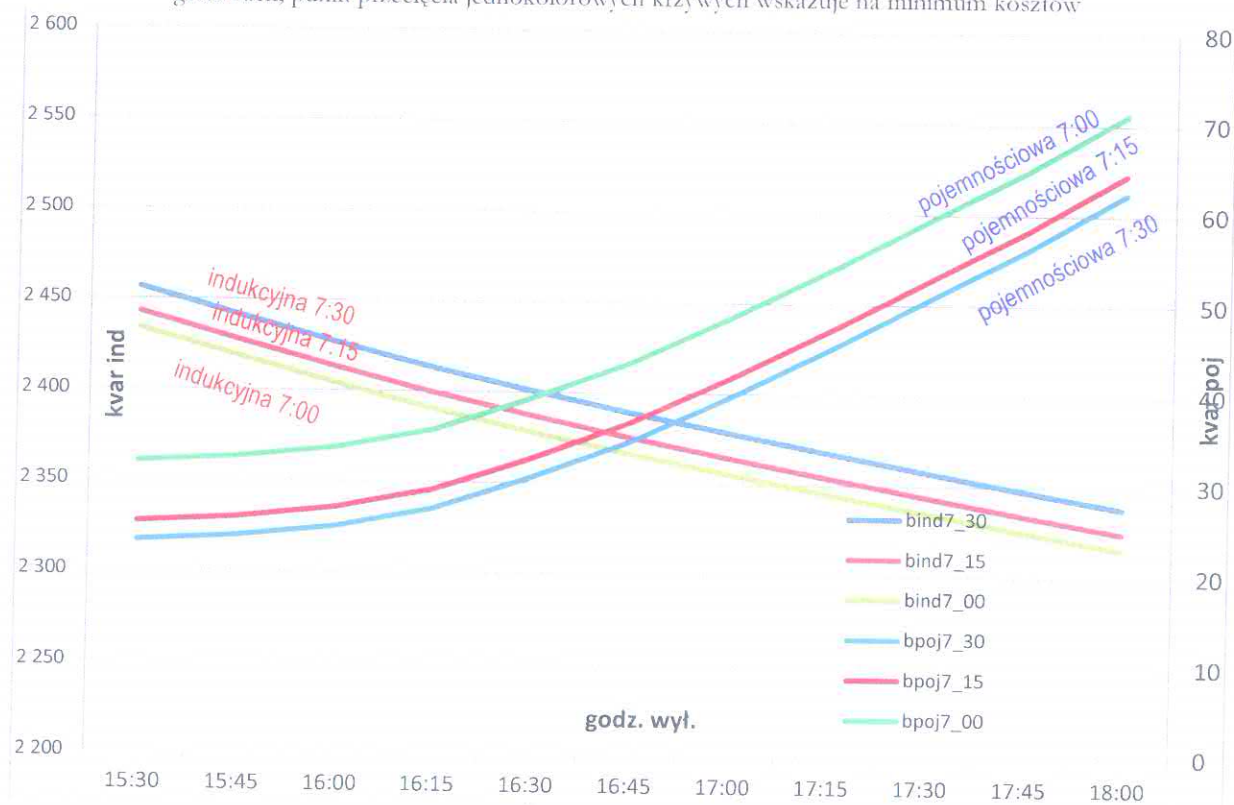
Na Rys. 18 przedstawiono wykres zmian mocy biernej pojemnościowej i mocy biernej indukcyjnej dla różnych godzin załączenia i wyłączenia dławika o mocy 2,5kvar. Rozpatrzono 3 różne godziny załączania dławika związane z czasem rozpoczęcia pracy biura: 7:00, 7:15 i 7:30. Godziny te zestawiono z godzinami wyłączenia dławika związanymi z czasem zaniku obciążenia pracy dziennej biura: 15:30, 15:45, 16:00, 16:15, 16:30, 16:45, 17:00, 17:15, 17:30, 17:45, 18:00, które odłożono na osi rzędnych. Wykres należy czytać parami, tzn. tylko jednokolorowe krzywe mogą występować jednocześnie, bo nie można mocy biernej indukcyjnej załączyć o 7:00, a mocy biernej pojemnościowej o 7:30. Ideą wykresu było znalezienie takiego optimum jak najniżej położonego osi odciętych, aby jednego i drugiego rodzaju energii biernej było jak najmniej, a co za tym idzie generowały jak najmniej kosztów. W przypadku z Rys. 18 są to godziny 7:15 (załączenie) i 16:30 (wyłączenie).

Na Rys. 19 zaprezentowano analogiczne wykresy dla mocy dławika 3,0kvar. Minimum mocy biernej pobieranej przy tej wielkości dławiku przypadło na podobne godziny pracy 7:15 – 16:45. Z wykresu można odczytać ile przy takim rozwiązaniu zostanie pobranej mocy biernej. Dla obu rodzajów mocy będą to wielkości minimalne. W żadnym przypadku nie będą to jednak – o czym należy pamiętać – wartości zerowe.

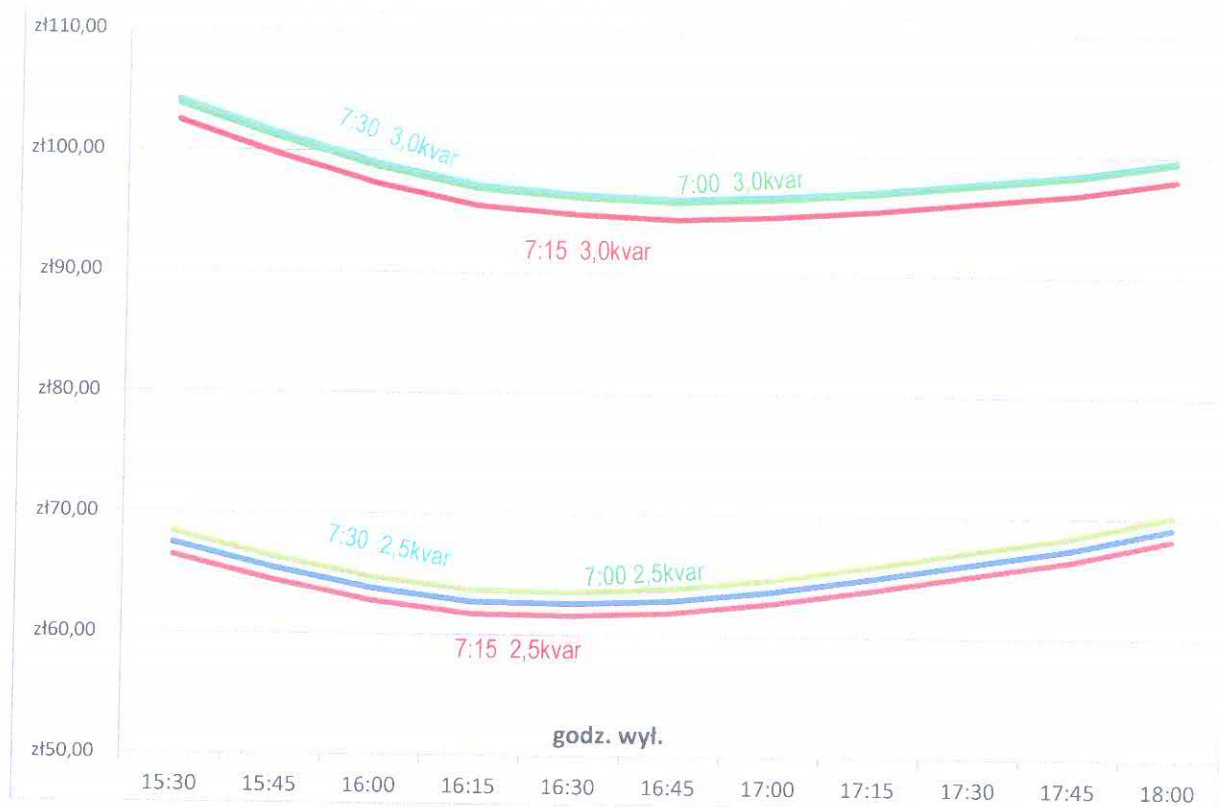
Krzywa reprezentująca moc bierną indukcyjną zmienia się według zależności pierwiastkowej, czyli wykładniczo, moc bierna pojemnościowa wg zależności liniowej, czyli wprost proporcjonalnie.



Rys. 18 Wykres mocy biernej indukcyjnej i pojemnościowej przy dławiku 2,5kVar załączanym w różnych godzinach; punkt przecięcia jednokolorowych krzywych wskazuje na minimum kosztów



Rys. 19 Wykres mocy biernej indukcyjnej i pojemnościowej przy dławiku 3,0 kVar załączanym w różnych godzinach; punkt przecięcia jednokolorowych krzywych wskazuje na minimum kosztów



Rys. 20 Porównanie kosztów opłat za energię bierną dla różnych godzin załączenia dławika i różnej jego mocy (dane P16)

Na Rys. 20 pokazano jak będzie się kształtować wysokość opłat dodatkowych za energię bierną dla różnych godzin załączenia i różnej mocy dławika. Jak widać, moc 3kvar jest przewymiarowaniem dławika na obecny stan aktualny i generuje ona wyższy koszt opłat dodatkowych niż moc 2,5kvar. Dla obu mocy minimum kosztów wypada dla godzin pracy dławika między 7:15 a 16:30..16:45. Krzywa kosztowa jest złożeniem dwóch krzywych mocy biernych z Rys. 18 i Rys. 19. Koszty opłat za energię bierną przy różnych rozwiązaniach zestawiono w Tabela 3. W wierszu 5. pokazano koszt opłat dodatkowych ponoszonych bez zainstalowanego dławika (obecnie), w wierszu 3. i 4. koszt opłat przy załączonym dławiku non-stop, a w wierszach 1-2 koszt opłat przy optymalnym doborze godzin pracy dławika.

Tabela 3 Zestawienie kosztów energii biernej za P16

Lp.	godz.zał.dławika	godz.wył.dławika	moc dławika	koszt en.biernej
1.	7:15	16:30	2,5 kvar	61,62 zł
2.	7:15	16:45	3,0 kvar	94,53 zł
3.	0:00	-	2,5 kvar	134,87 zł
4.	0:00	-	3,0 kvar	197,34 zł
5.	-	-	0,0 kvar	569,30 zł

Procedurę doboru dławika uzupełniają wykresy załączone do opracowania – rys.21 pokazujący przebiegi wartości przy dławiku pracującym non-stop i rys. 22 z wykresami dla pracy dławika w dobranych godzinach. Oś prawa jest osią wartości dla wykresu współczynnika mocy przed (linia ciągła) i po (linia przerywana) kompensacji. Fioletowa linia prosta wskazuje na wartość dopuszczalną współczynnika powyżej której obowiązują opłaty

dotatkowe. Linia niebieską wykreślono moc czynną, nie ulegającą zmianie niezależnie od stopnia kompensacji. Linia czerwona odpowiada mocy biernej indukcyjnej, która to moc przyrasta w wybranych godzinach doby po zastosowaniu kompensacji (linia czerwona przerywana). I wreszcie linia zielona reprezentuje moc bierną pojemnościową skutecznie skompensowaną niemal do zera, czego dowodem jest brak linii zielonej przerywanej. Oba wykresy dotyczą kompensacji dławikiem 2,5-kvarowym.

5.2 Dobór dławika – dane znamionowe

Ostatecznie dobiera się dławik o mocy **2,5kvar** o następujących danych znamionowych:

- wykonanie izolacja powietrzna, wyk. wewnętrzne; IP00
- moc znam. 2,5kvar
- indukcyjność własna 204mH
- napięcie rzeczywiste pracy 410V
- układ połączeń gwiazda izolowana; uziemiona obudowa
- prąd znam. 3,6A
- straty mocy 95W
- wymiary /szer x głęb x wys/ 24 x 19 x 21 cm
- waga (bez obudowy) 14kg

5.3 Zasada działania

Dobry dławik będzie sterowany zegarem PCZ-521 prod. TimeNet. Zaprogramowany następująco:

- załączenie dławika w godz. 7:15 – 16:30 w dni powszednie
- wyłączenie dławika 16:45 – 7:00 w dni powszednie oraz całodobowe wyłączenie w dni świąteczne i wolne od pracy

Na drzwiczki w tablicy rozdzielczej wyprowadzić sygnalizację załączenia / wyłączenia dławika oraz przyciski sterujące jego pracą w trybie pracy „ręcznej”. W trybie pracy „automatycznej” dławik jest załączany zgodnie z programem zegara. Tryb pracy „R”/”A” wybiera się przełącznikiem również wyprowadzonym na drzwiczki.

5.4 Wskazówki montażowe

Elementy sterownicze dławika zabudować w istniejących tablicach rozdzielczych zgodnie z rysunkami. Dławik w obudowie blaszanej perforowanej zamontować na podłodze pod tablicą licznikową. Zapewnić naturalny obieg powietrza chłodzącego. Przewody do dławika prowadzić po ścianie w korytku/rurce. Obudowę dławika uziemić. Całość prac montażowych zakończyć pomiarami rezystancji izolacji ułożonych nowych odcinków przewodów oraz badaniem skuteczności ochrony ppor.

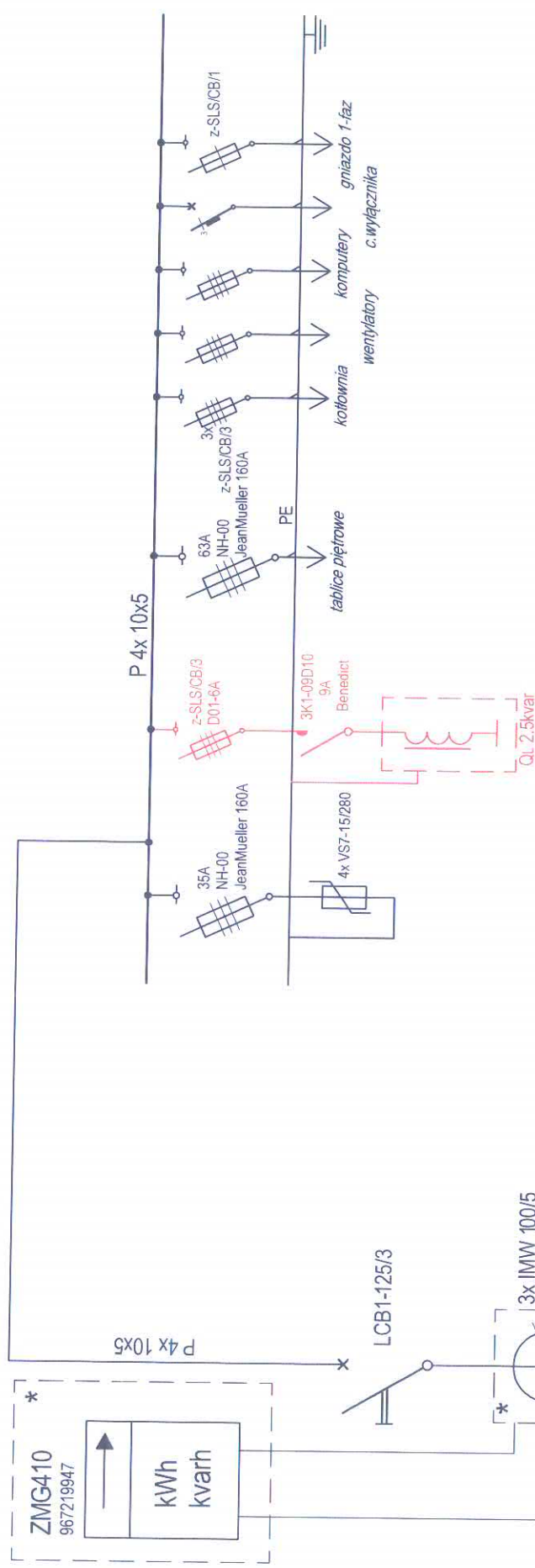
Dławik zasilić z szyn miedzianych za wyłącznikiem patrząc od strony sieci.

5.5 Wykaz elementów

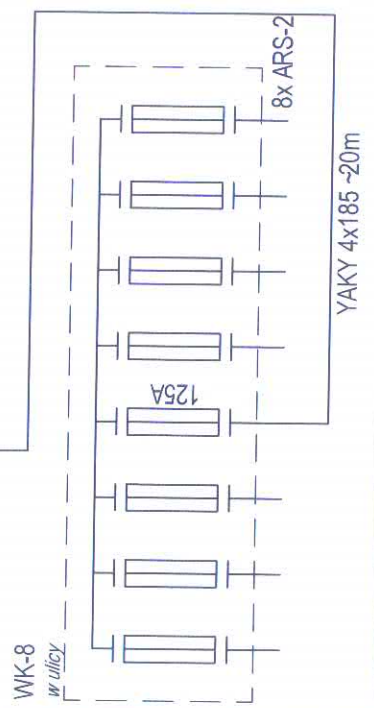
Lp.	Element	Typ	Producent	Podstawowe dane znam.	Szt.
1	dławik kompensacyjny 3-faz	ED3K	np. Noratel	2,5kvar; 410V; 14kg	1
2	lampki sygnalizacyjne	NEF-30	np. Promet	zielona 230VAC	1
3	lampki sygnalizacyjne	NEF-30	np. Promet	czerwona 230VAC	1
4	Obudowa	blaszana, perforowana		34 x 28 x 23 (szer x wys x głęb)	1
5	przełącznik dwupółosiowy				1
6	Przewód	LY 2,5			wg potrzeb
7	Przewód	LY 1,5			wg potrzeb
8	przycisk monostabilny		np. Promet	zielony zwierny 230VAC	1
9	przycisk monostabilny		np. Promet	czerwony rozwierny 230VAC	1
10	Rozłącznik instalacyjny bezpiecznikowy		Eaton	63A, 3-bieg., + reduktor do wkładki D01	1
11	stycznik	K1-09D10	Benedict	9A; AC23; styki pom.2z+1r	3
12	wkładka bezpiecznikowa	instalacyjna małogabarytowa		D01 gG 6A	4
13	zegar	PCZ-521	F&F	jednokanałowy, programowalny 230VAC; 1,5W	1

5.6 Spis rysunków

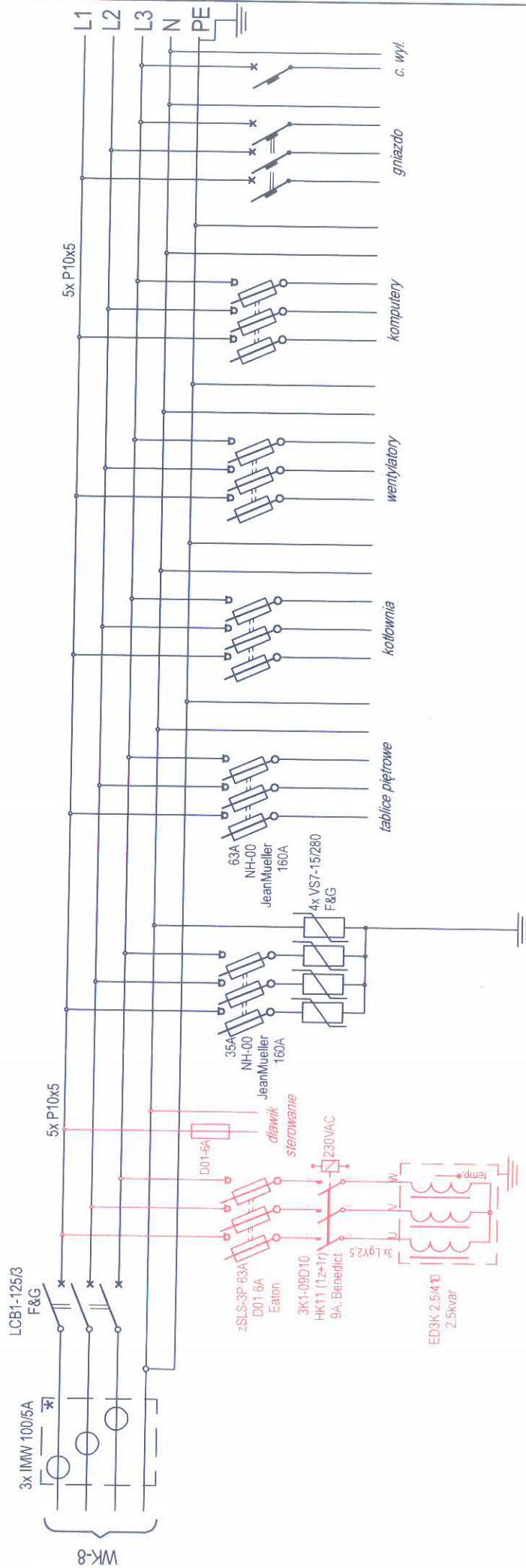
1. Rys. 21 Przebiegi mocy czynnej, biernej i współczynnika mocy przy kompensacji całodobowej 2,5kvar
2. Rys. 22 Przebiegi mocy czynnej, biernej i współczynnika mocy przy kompensacji w godzinach 7:15 – 16:30 2,5kvar
3. Rys. 23 Przebiegi mocy czynnej, biernej i współczynnika mocy przy kompensacji całodobowej 3,0kvar
4. Rys. 1 Schemat przyłącza I tablicy głównej budynku
5. Rys. 2 Schemat główny podłączenia dławika
6. Rys. 3 Schemat obwodów wtórnych dławika
7. Rys. 4 Widok głównej tablicy rozdzielczej



* - elementy plombowane



Lokalizacja przyrządu pomiarowego		
Projekt dławika kompensującego		
Zakład Budynków i Lokali Komunalnych		
data	01.2016	Rys. 1
proj.:	Elquint	



Schemat główny podłączenia dławika

Projekt dławika kompensującego
Zakład Budynków i Lokali Komunalnych

data

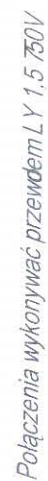
01.2016

Rys. 2

proj.:

Elquint

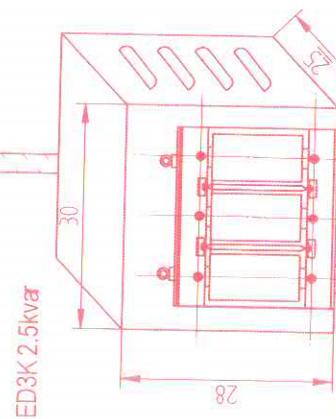
Na czerwono zaznaczono elementy projektowane



Projekt dławika kompensującego
Zakład Budynków i Lokali Komunalnych

01.2016

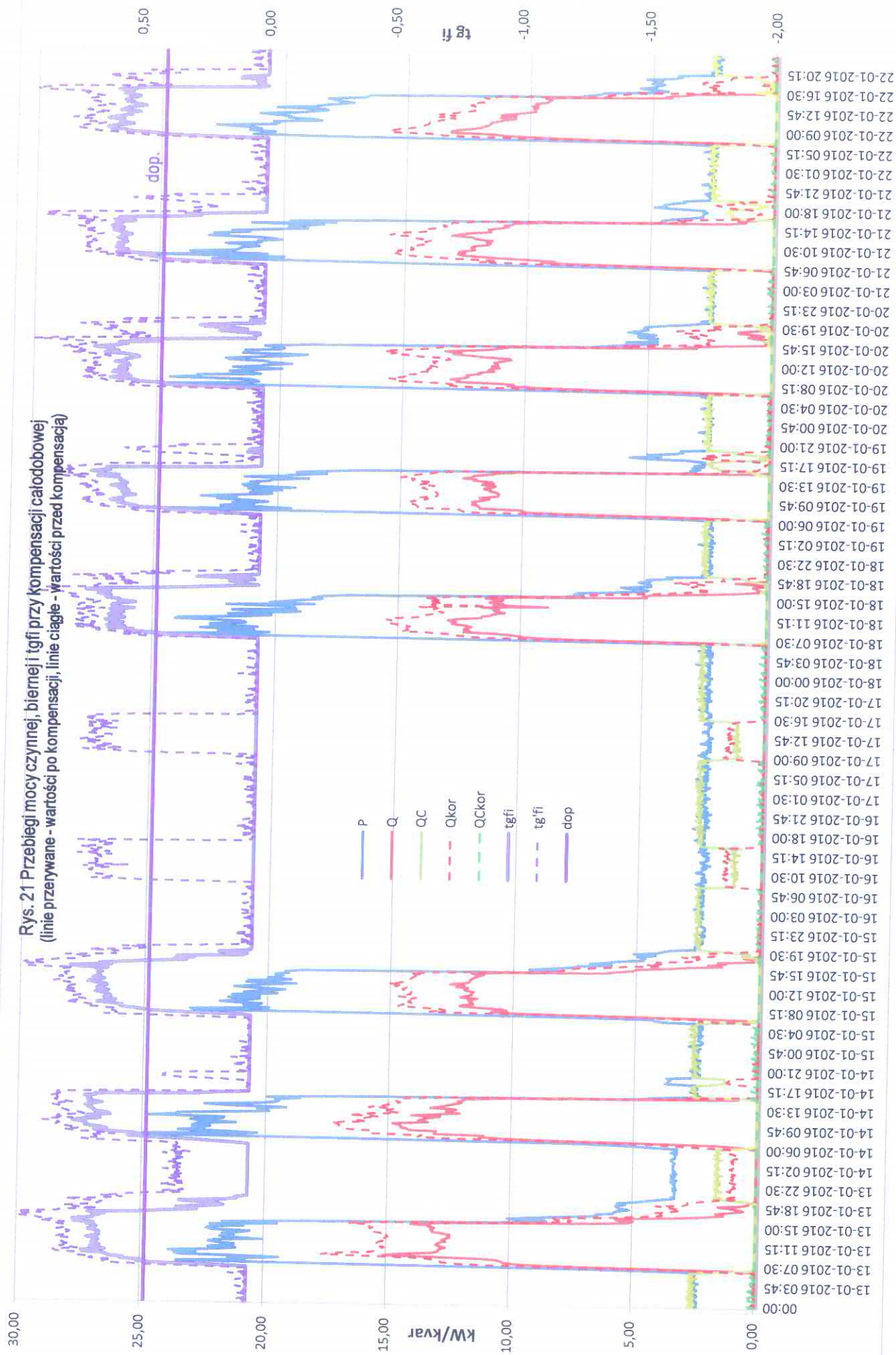
proj.:	Elawint
--------	---------



Projekt dławika kompensującego Zakład Budynków i Lokali Komunalnych

01.2016

proj.:



Rys. 22 Przebiegi mocy czynnej, bierniej i tgfi przy kompensacji 7:15...16:30
(linie przerywane - wartości po kompensacji, linie ciągłe - wartości przed kompensacją)

