

KOMPENSACJA MOCY BIERNEJ POJEMNOŚCIOWEJ DLA ŹRÓDEŁ OŚWIETLENIA LED - KOMPLEKSOWE OBNIŻENIE KOSZTÓW ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Marek Iwanicki, Marcin Dębek
PBW OLMEX S.A.

Wstęp

Ograniczanie kosztów prowadzenia działalności gospodarczej wymusza na podmiotach szukanie nowych możliwości ograniczania wydatków finansowych. W przypadku podmiotów, które w swoich zasobach posiadają duży udział odbiorów oświetleniowych, takie możliwości daje wymiana tradycyjnego oświetlenia na oświetlenie LED. Oświetlenie LED umożliwia ograniczenie opłat za energię czynną nawet do kilkudziesięciu %. Niestety może również spowodować, że na fakturze z OSD (Operatora Sieci Dystrybucyjnej) pojawią się dodatkowe opłaty za energię bierną pojemnościową, które wcześniej nie występowały. W poniższym artykule przedstawimy Państwu dlaczego takie opłaty mogą się pojawić i w jaki sposób można je wyeliminować.

Wprowadzenie

Ze względu na liczne zalety diody elektroluminescencyjne zwane z *ang.* LED (skrót od Light Emitting Diode) zyskują coraz większą popularność w rozwiązaniach oświetleniowych (w domach, halach produkcyjnych, parkingach, oświetleniu ulicznym czy publicznym). Oświetlenie LED charakteryzuje się bardzo dużą sprawnością energetyczną (małe straty podczas przetwarzania energii elektrycznej na światło), co bezpośrednio przekłada się na oszczędności finansowe. Kolejnym w ważnym czynnikiem jest bardzo długa żywotność diody LED oraz ich odporność na uszkodzenia w stosunku do pozostałych źródeł światła.

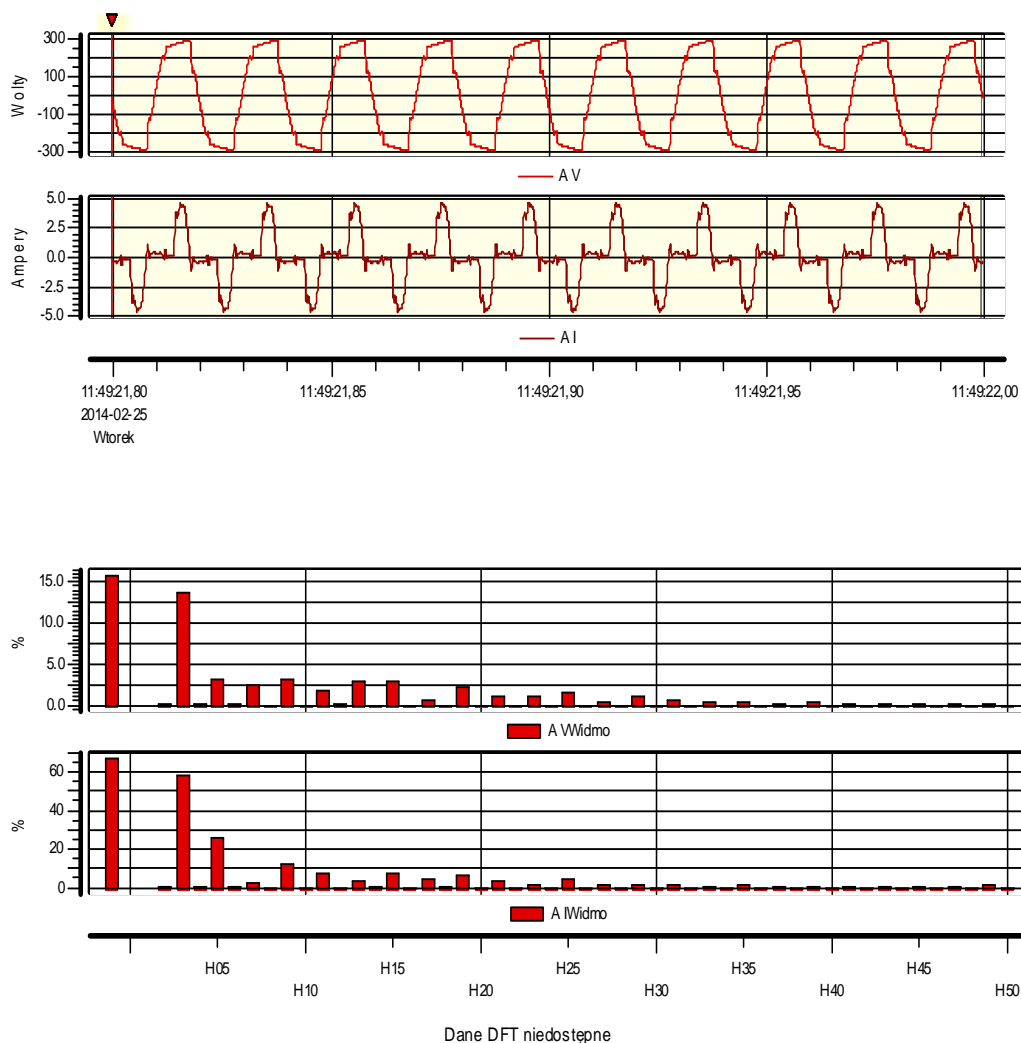
Praca całego systemu oświetlenia diodowego, a przede wszystkim jego trwałość, żywotność, niezawodność oraz jakość dawanego światła zależy w ogromnej mierze od zasilania. Oświetlenie LED to technologia posiadająca bardzo wysokie wymagania co do jakości zasilania, gdyż jest bardzo wrażliwa na wszelkiego rodzaju przepięcia, czy krótkotrwałe przekroczenia wartości prądu. Wymaga to konieczność stosowania dość kosztownych zasilaczy wyposażonych w elektronikę stabilizującą oraz stosowne filtry.

Niestety producenci gotowych opraw lub instalatorzy LED często zapominają o tym fakcie i próbują oszczędzać właśnie na zasilaczach.

Generalnie możemy wykorzystać dwa rodzaje zasilaczy:

- **tradycyjne** (zwane też liniowymi) – oparte na typowym transformatorze i liniowej stabilizacji napięcia lub prądu za pomocą tranzystora, który zmieniając swój stopień przewodzenia reguluje parametry wyjściowe. Niestety ten typ zasilacza do oświetlenia LED nie nadaje się zbyt dobrze z uwagi na swoją niską sprawność na poziomie 40-60%, duże gabaryty oraz spore wydzielanie ciepła. Ponadto transformator na biegu jałowym będzie pobierał stały prąd bierny (straty biegu jałowego). Prąd ten w zależności od mocy i konstrukcji transformatora może dochodzić nawet do 20% prądu nominalnego. Co będzie powodować utrzymywanie się $\cos\phi$ na poziomie poniżej 0,9.
- **impulsowe** (zwane też przetwornicami) – oparte o cyfrowy układ przełączający napięcie z wysoką częstotliwością i kontrolujący jego średnią wartość za pomocą modulacji PWM. W zasilaczu impulsowym napięcie przemiennie jest prostowane za pomocą mostka Graetza i jego wartość szczytowa jest wygładzana przez kondensatory. Po mostku prostowniczym

i kondensatorze otrzymujemy więc od razu napięcie stałe ale o wysokiej wartości (300-320 V). Jest ono dalej filtrowane przez układy LC (cewki i kondensatory), które obniżają pulsowania, przepięcia i różne zakłócenia o wysokich częstotliwościach. Kolejnym elementem jest transformator podłączony przez tranzystor, który włącza i wyłącza prąd z bardzo dużą częstotliwością rzędu kilku do kilkunastu tysięcy razy na sekundę stosując modulację PWM. Dzięki tak dużej częstotliwości pracy oraz braku przemienności napięcia sprawność transformatora drastycznie się zwiększa. Dlatego może on być zdecydowanie mniejszy i lżejszy niż w zasilaczu liniowym przy podobnej mocy wyjściowej. Obniżone napięcie wyjściowe jest dalej ponownie prostowane (z uwagi na zniekształcenia wprowadzane przez transformator, które mogą mieć odwrotną polaryzację) i jeszcze raz wygładzane oraz filtrowane za pomocą kondensatorów oraz cewek. Na końcu znajduje się układ sprzężenia zwrotnego, który sprawdza wartość napięcia (lub prądu) na wyjściu i w przypadku jego zmian przekazuje informację do tranzystora sterującego dopływem prądu do transformatora. Tranzystor poprzez zmianę wypełnienia przebiegu PWM zmienia średnią wartość napięcia doprowadzonego do transformatora w taki sposób aby na wyjściu zawsze panowało stałe napięcie (lub prąd – w zasilaczach prądowych). Układ ten działa z bardzo dużą szybkością, dzięki czemu zmiany napięcia wyjściowego są bardzo małe i szybko korygowane. Na fot. nr 1 został przedstawiony obraz oscyloskopowy prądu i napięcia wraz z widmem harmonicznym do 50-tej składowej dla zasilacza impulsowego.



Fot. 1 Obraz oscyloskopowy prądu i napięcia oraz widmo harmonicznym dla zasilacza 500W.

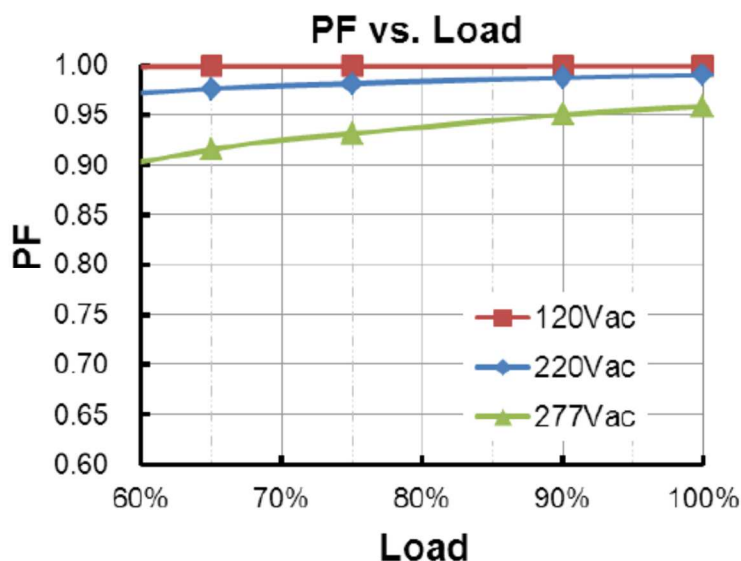
Źródło generowanych opłat

Można zauważyć że jednym z ważniejszych elementów zasilacza jest kondensator, ponieważ od jego jakości zależy stopień wygładzenia napięcia oraz jego filtracji. Kondensator ten pracuje przy stosunkowo wysokim napięciu zasilania (okolice 300 V) dlatego musi mieć odpowiednio wysokie dopuszczalne napięcie pracy (zazwyczaj 400 V). Takie kondensatory są drogie, więc sporo producentów oszczędza używając kondensatorów o małej pojemności i słabej jakości. Wiąże się to ze znacznie gorszym wygładzaniem napięcia, jego słabszą filtracją a także ryzykiem szybkiego zmniejszania się pojemności w miarę upływu czasu. Ponadto kondensator niskiej jakości może ulec szybkiemu uszkodzeniu. Jest to jeden z elementów (po zabezpieczeniach wejściowych) od jakości którego zależy jakość całego zasilacza.

Jakość dobranych kondensatorów można określić na podstawie określonego na zasilaczu *PF ang. Power Factor* (współczynnik mocy) fot nr 2. Zasilacze (które nie są wyposażone w filtr PFC) posiadające PF pojemnościowy na poziomie 0,96-0,98, będą się charakteryzowały niższą filtracją, wyższą generacją harmonicznym oraz słabszymi parametrami jakościowymi zasilania.

Zasilacze posiadające PF pojemnościowy na poziomie 0,92-0,95, będą się charakteryzowały wyższą filtracją, niższą generacją harmonicznym oraz wyższymi parametrami jakościowymi zasilania. Niestety będą również, generować większą moc bierną pojemnościową do sieci.

Power Factor



Fot. 2 Zależność PF od obciążenia dla zasilacza typu EUG-075SxxxDV.

Wymagania OSD

Zgodnie z obowiązującymi przepisami (taryfami) rozliczeniami za pobór energii biernej objęci są odbiorcy zasilani z sieci średniego i wysokiego napięcia. Rozliczeniami tymi mogą być objęci w uzasadnionych przypadkach także odbiorcy zasilani z sieci niskiego napięcia, którzy użytkują odbiorniki o charakterze indukcyjnym/pojemnościowym, o ile zostało to określone w technicznych warunkach przyłączenia lub w umowie. Ponieważ przepisy nie definiują "uzasadnionego przypadku" a odbiorniki o ww charakterze użytkują dziś wszyscy odbiorcy (silniki, lodówki, chłodnie, oświetlenie LED, UPS-y), dlatego rozliczeniem za

ponadumowny pobór energii biernej może zostać objęty praktycznie każdy odbiorca zasilany napięciem poniżej 1 kV.

W taryfie w oparciu o którą rozlicza nas OSD pobór energii biernej określono jako ilość energii elektrycznej biernej odpowiadającą:

- współczynnikowi mocy $\text{tg}\varphi$ wyższemu od umownego współczynnika $\text{tg}\varphi_0$ (niedokompensowanie) i stanowiącą nadwyżkę energii biernej indukcyjnej ponad ilość odpowiadającą wartości współczynnika $\text{tg}\varphi_0$,
- indukcyjnemu współczynnikowi mocy przy braku poboru energii elektrycznej czynnej,
- pojemnościowemu współczynnikowi mocy (przekompensowanie) zarówno przy poborze energii elektrycznej czynnej, jak i braku takiego poboru.

Montowane na chwilę obecną przez OSD elektroniczne liczniki energii elektrycznej umożliwiają pomiar i rejestrację energii czynnej i biernej w czterech kwadrantach. Co umożliwi pomiar energii biernej w każdym z ww przypadków.

Taki sposób naliczania opłat powoduje, że nawet nieduża moc rzędu 2-3 kVar generowana przez zasilacze w ciągu miesiąca (ok. 720 h) spowoduje oddanie do sieci ponad 2000 kVarh. Przy średniej stawce 0,5 zł/1kvarh koszt przekompensowania będą wynosić 1000 zł miesięcznie. Co w wielu przypadkach przewyższa oszczędności uzyskane na obniżeniu zużycia energii czynnej.

Rozwiązanie problemu

Aby zapobiec temu zjawisku zasilacz powinien być wyposażony w filtr PFC (filtr poprawy współczynnika mocy). Jest to specjalny układ (cewka indukcyjna) pilnujący aby współczynnik mocy miał wartość jak najbliższą 1. Zasilacze wyposażone w pasywne oraz aktywne filtry PFC (w pewnym zakresie mocy) są już dostępne na rynku. Zabudowa filtrów, niestety wpływa na cenę końcową zasilacza.

W przypadku braku filtrów PFC w zasilaczach, należy do układu dobrać i zainstalować zewnętrzne źródło indukcyjności w postaci dławików w celu wyeliminowania pojemnościowego charakteru zasilaczy. W przypadku grupy odbiorów oświetleniowych (oświetlenie uliczne, oświetlenie hali czy placu) układ kompensacyjny jest dobierany dla całego obwodu oświetleniowego (grupy zasilaczy zasilanych z jednego obwodu).

Na fotografii nr 3 przedstawiono baterię dławików indukcyjnych typu BDA. Bateria w wykonana w obudowie termoutwardzalnej o stopniu IP44. W zależności od potrzeb klienta baterie są wykonywane w obudowach o różnych wymiarach jak również stopniu ochrony IP.

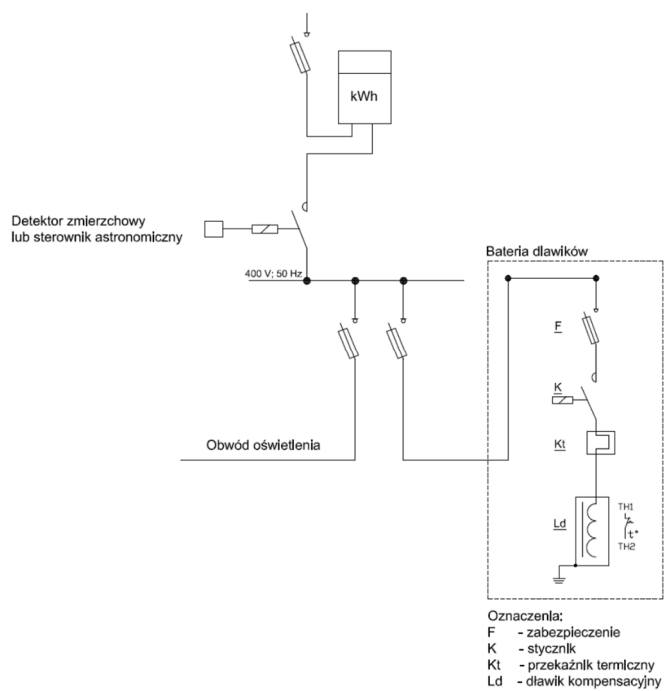
Baterie wyposażone są w zabezpieczenia:

- zwarciove, realizowane przez wyłączniki nadmiarowo prądowe lub rozłączniki bezpiecznikowe z wkładkami gG;
- zabezpieczenie termiczne, realizowane jest przez przekaźnik termiczny zainstalowany na styczniku;
- zabezpieczenie temperaturowe, realizowane poprzez zamontowany na dławiku czujniki temperatury;

Na schemat 1 przedstawiono poglądowy sposób podłączenia do sieci baterii dławików indukcyjnych.

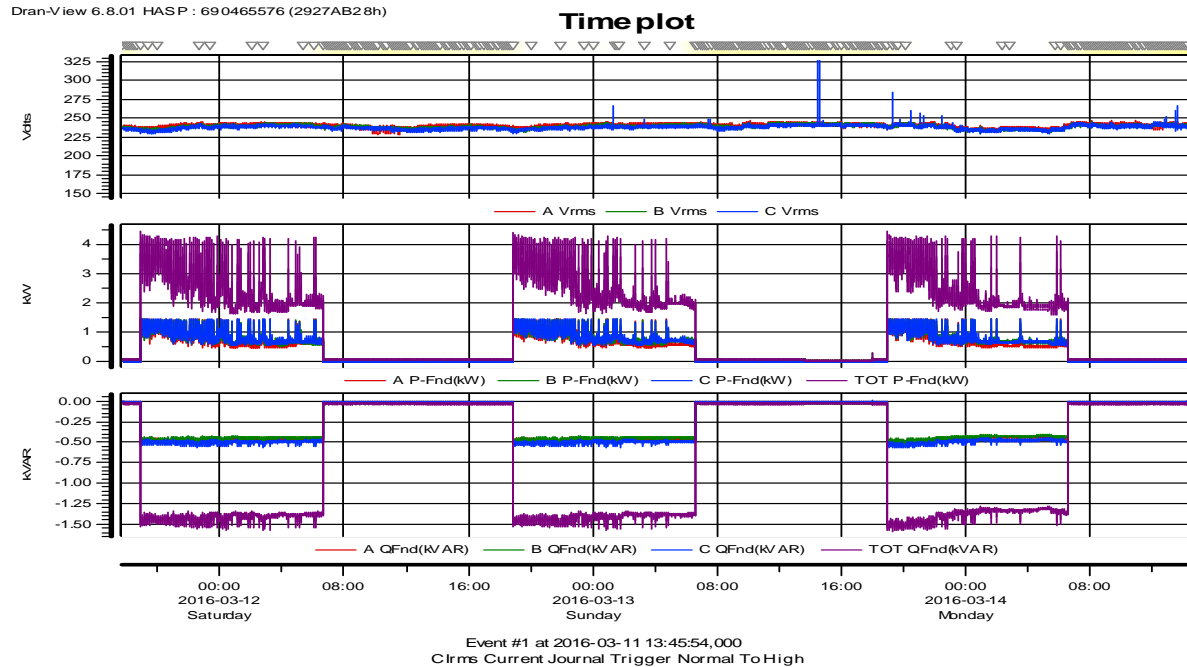


Fot. 3 Widok baterii dławików indukcyjnych.

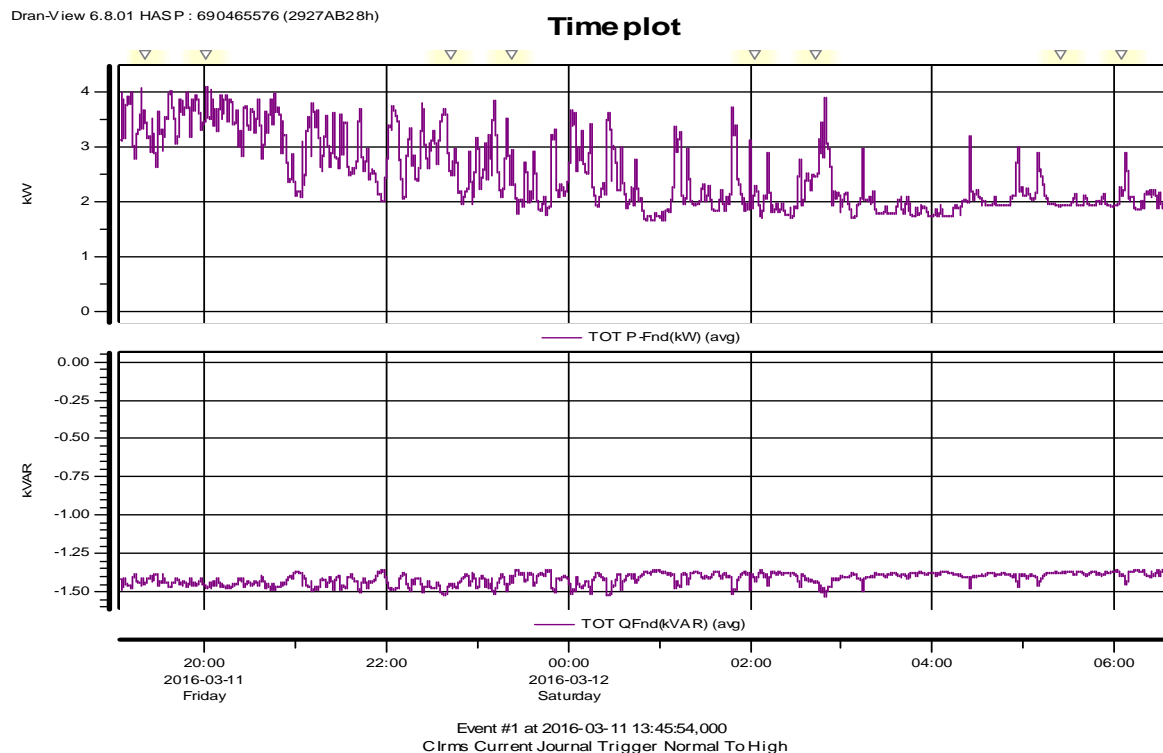


Schemat 1 Sposób podłączenia baterii dławików.

Na fotografii nr 4 został przedstawiony przebieg obciążenia dla obwodu oświetlenia promenady spacerowej z regulacją natężenia oświetlenia indywidualnie w każdej oprawie. Z analizy przebiegu zmienności obciążenia mocy czynnej i biernej fot. nr 5 widzimy że zmiana mocy czynnej (wysterowanie natężenie oświetlenia) nie wpływa w sposób znaczący na zmianę mocy biernej. Dla tego obwodu możemy dobrać statyczny dławik indukcyjny o wartości ok. 1,6 kVar, który zapewni indukcyjny charakter odbioru.



Fot. 4 Pomiar obciążenia mocą czynną i bierną promenady.



Fot. 5 Zmienność obciążenia mocy czynnej i biernej promenady.

Podsumowanie

W celu kompleksowego obniżenie kosztów związanych z modernizacją układu oświetlenia należy podczas prac zwrócić uwagę na sposób rozliczania przez OSD energii biernej, parametry zastosowanych zasilaczy, oraz bilans mocy biernej. W przypadku wystąpienia pojemnościowego współczynnika mocy, bądź niedotrzymania $\text{tg}\varphi$ zapisanego w warunkach umownych należy zastosować urządzenia kompensacyjne, które wyeliminują ewentualne opłaty z tytułu energii biernej.

Literatura

1. *PN-EN 62053-23:2006 Urządzenia do pomiarów energii elektrycznej (prądu przemiennego) – Wymagania szczegółowe -- Część 23: Liczniki statyczne energii biernej (klas 2 i 3)*
2. *Rozporządzenie Ministra Gospodarki w sprawie szczegółowych zasad kształtowania i kalkulacji taryf oraz rozliczeń w obrocie energią elektryczną Dz.U. 2011 Nr 189, poz. 1126 z późniejszymi zmianami.*
3. www.inventronics-co.com
4. www.enterius.eu Zasilacze jak są zbudowane i jak działają.
5. www.energa-operator.pl Taryfa Energa-Operator SA na 2017 rok.
6. *Badania własne Przedsiębiorstwa Badawczo-Wdrożeniowego "OLMEX" S.A.*