

# OPLĄTY DYSTRYBUCYJNE ZWIĄZANE Z POBOREM MOCY BIERNEJ PRZEZ ODBIORCÓW

**Autor: Szymon Ciura - Politechnika Śląska, Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów**

(„Energia Elektryczna” – nr 2/2011)

## 1. Wprowadzenie

Przedsiębiorstwa energetyczne, zajmujące się dostarczaniem energii do odbiorców, pobierają od tych odbiorców dodatkowe opłaty dystrybucyjne w przypadku dostarczania im energii przy współczynniku mocy  $\text{tg}\varphi$  większym od tzw. wartości umownej tego współczynnika  $\text{tg}\varphi_0$ . Zwykle przyjmuje się wartość  $\text{tg}\varphi_0 = 0,4$ . Autorzy wielu publikacji (np. [1–5]) uważają, że aktualnie stosowany sposób rozliczeń za ponadumowny pobór energii biernej jest nieprawidłowy i należałoby go zmienić. W szczególności podnoszone są następujące aspekty tego zagadnienia:

- ponadumowny pobór mocy i energii biernej skutkuje głównie wzrostem strat mocy i energii czynnej oraz ewentualnie koniecznością zwiększenia obciążalności prądowej/mocowej (przepustowości) niektórych elementów sieci, lecz opłaty z tego tytułu nie są skorelowane z ww. skutkami [2–5],
- opłaty za ponadumowny pobór energii biernej są za wysokie w porównaniu do skutków, wywoływanych zwiększonym przepływem mocy biernej [1, 5],
- opłaty za ponadumowny pobór energii biernej są za niskie w porównaniu z kosztami urządzeń kompensacyjnych i nie działają dostatecznie stymulująco na odbiorców [4],
- opłaty uzależnione od wartości średniej współczynnika mocy  $\text{tg}\varphi$  w okresie rozliczeniowym dają fałszywą informację o kosztach stałych i kosztach zmiennych dostawy energii elektrycznej [2–4],
- w opłatach za ponadumowny pobór energii biernej nie jest uwidoczniona cena energii biernej, pobranej przez odbiorców przy  $\text{tg}\varphi > \text{tg}\varphi_0$  [1],
- opłaty za ponadumowny pobór energii biernej powinny wynikać z kosztów związanych z zainstalowaniem urządzeń kompensacyjnych, zmniejszających pobór mocy i energii biernej [1].

W niniejszym referacie podjęto próbę wyjaśnienia niektórych podanych wyżej wątpliwości.

## 2. Aktualny sposób rozliczeń za ponadumowny pobór mocy biernej

Dla przypomnienia, zgodnie z [7] przez ponadumowny pobór energii biernej przez odbiorcę rozumie się ilość energii elektrycznej biernej odpowiadającą:

- a) współczynnikiowi mocy  $\text{tg}\varphi$  wyższemu od umownego współczynnika  $\text{tg}\varphi_0$  (niedokompensowanie) i stanowiącą nadwyżkę energii biernej indukcyjnej ponad ilość odpowiadającą wartości współczynnika  $\text{tg}\varphi_0$ , lub
- b) indukcyjnemu współczynnikowi mocy przy braku poboru energii elektrycznej czynnej, lub

c) pojemnościowemu współczynnikowi mocy (przekompensowanie) zarówno przy poborze energii elektrycznej czynnej, jak i przy braku takiego poboru.

Rozliczeniami za pobór energii biernej objęci są odbiorcy zasilani z sieci SN i WN, a w uzasadnionych przypadkach także odbiorcy zasilani z sieci nn, którzy użytkują odbiorniki o charakterze indukcyjnym. W okresie rozliczeniowym opłacie podlega ponadumowny pobór energii biernej, określony jako nadwyżka tej energii ponad ilość odpowiadającą wartości współczynnika  $\text{tg } \varphi_0$  (gdy  $\text{tg } \varphi > \text{tg } \varphi_0$ ), zmierzona w strefach, w których jest prowadzona kontrola poboru tej energii lub całodobowo, w zależności od rodzaju zainstalowanego układu pomiarowego. Wartość współczynnika mocy przyjmuje się w wysokości  $\text{tg } \varphi_0 = 0,4$ , chyba że indywidualna eksperytyza uzasadnia wprowadzenie niższej wartości, jednak w żadnym przypadku wartość współczynnika mocy  $\text{tg } \varphi_0$  nie może być niższa od wartości 0,2. Opłatę za nadwyżkę energii biernej  $O_b$  pobranej ponad ilość wynikającą ze współczynnika  $\text{tg } \varphi_0$  w okresie rozliczeniowym oblicza się według wzoru:

$$O_b = k \cdot C_{rk} \cdot \left( \sqrt{\frac{1 + \text{tg}^2 \varphi}{1 + \text{tg}^2 \varphi_0}} - 1 \right) \cdot A \quad (1)$$

w którym poszczególne symbole oznaczają:

- $C_{rk}$  – cenę energii elektrycznej, o której mowa w art. 23 ust. 2 pkt.18 lit. b ustawy, obowiązująca w dniu zatwierdzenia taryfy,
- $k$  – ustaloną w taryfie krotność ceny  $C_{rk}$ :
  - dla sieci WN  $k = 0,5$ ,
  - dla sieci SN  $k = 1,0$ ,
  - dla sieci nn  $k = 3,0$ ,
- $\text{tg } \varphi_0$  – umowny współczynnik mocy,
- $\text{tg } \varphi$  – współczynnik mocy, wyznaczony jako iloraz energii biernej i energii czynnej, pobranej przez określonego odbiorcę w danym okresie rozliczeniowym,
- $A$  – energię czynną pobraną w danym okresie rozliczeniowym całodobowo lub w strefie czasowej, w której prowadzona jest kontrola poboru energii biernej.

Oznaczmy dla uproszczenia dalszej analizy i zapisu, że  $\left( \sqrt{\frac{1 + \text{tg}^2 \varphi}{1 + \text{tg}^2 \varphi_0}} - 1 \right) = M$ . Wtedy iloczyn

$M \cdot A$  można przekształcić do postaci:

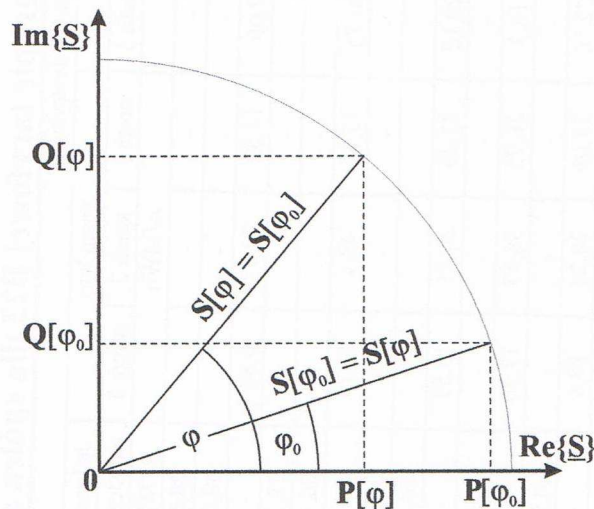
$$\begin{aligned} M \cdot A &= T \cdot P \cdot \left( \frac{\cos \varphi_0 - \cos \varphi}{\cos \varphi} \right) = T \cdot S \cdot (\cos \varphi_0 - \cos \varphi) = \\ &= T \cdot P[\varphi_0] - T \cdot P[\varphi] = A[\varphi_0] - A[\varphi] \end{aligned} \quad (2)$$

W wyrażeniu (2) przez  $T$  oznaczono czas trwania okresu rozliczeniowego, w którym odbiorca pobierał średnią moc czynną  $P$  przy średniej wartości współczynnika mocy  $\cos \varphi$ , czyli w rezultacie pobrał energię czynną w ilości  $A[\varphi]$ , natomiast przy wartości współczynnika mocy  $\cos \varphi_0$  odbiorca pobrałby energię w ilości  $A[\varphi_0]$ . Jednakże powyższa różnica energii  $A[\varphi_0] - A[\varphi]$  nie wynika ze strat energii, spowodowanych zwiększonym poborem energii biernej (ponad wartość  $\text{tg } \varphi_0$ ), lecz jest to efekt dostawy do odbiorcy zmniejszonej mocy czynnej  $P$  przy tej samej mocy pozornej  $S$ , pobieranej przez danego odbiorcę zarówno przy wartości współczynnika  $\text{tg } \varphi$ , jak i przy współczynniku  $\text{tg } \varphi_0$ . Zachodzi zatem:

$$S = \text{const} = P[\varphi_0] \cdot \sqrt{1 + \text{tg}^2 \varphi_0} = P[\varphi] \cdot \sqrt{1 + \text{tg}^2 \varphi} \quad (3)$$

co na płaszczyźnie zespolonej obrazuje rys. 1.

Przedstawiony wyżej sposób rozliczeń był omawiany już w 1992 r. w [8] wraz z wprowadzaniem nowych grup taryfowych i nowych zasad rozliczeń do ówczesnego nowego cennika za energię elektryczną. Argumentem za wprowadzeniem tego sposobu rozliczeń było jedynie stwierdzenie, że opłaty za energię czynną i energię bierną powinny być analogiczne, zatem odpowiednikiem ceny  $C_{rk}$  ze wzoru (1) przy  $k = 1,0$  była obowiązująca w cenniku cena energii elektrycznej dla danej grupy taryfowej odbiorców i określonej strefy czasowej, objętej kontrolą poboru energii biernej. Odpowiednikiem wyrażenia  $M$  ze wzoru (1) były zaś wartości procentowych dopłat  $d\%$ , zależnych od wielkości różnicy  $\text{tg} \varphi - \text{tg} \varphi_0$ .



Rys. 1. Graficzne przedstawienie aktualnej podstawy wyznaczenia opłaty za ponadumowny pobór mocy biernej

Sytuacja przedstawiona na rys. 1, kiedy wzrostowi poboru mocy i energii biernej towarzyszy adekwatne obniżenie poboru mocy i energii czynnej (lub odwrotnie) w przypadku pojedynczych odbiorców energii elektrycznej w rzeczywistości nie zachodzi. Jednakże nie jest to sytuacja całkowicie nierealna. Może ona mieć miejsce w takim przypadku, kiedy moc pozorna  $S$  przy współczynniku mocy  $\text{tg} \varphi_0$  stanowi maksymalne (dopuszczalne) obciążenie danego elementu sieci (linii lub transformatora). Wtedy wzrostowi wartości tego współczynnika do  $\text{tg} \varphi > \text{tg} \varphi_0$  powinno towarzyszyć obniżenie poboru mocy czynnej przez odbiorców od wartości  $P[\varphi_0]$  do  $P[\varphi]$ , aby określony element sieci nie był przeciążony, lub powinien nastąpić wzrost przepustowości tego elementu sieci. W rzeczywistości częściej ma miejsce ten drugi przypadek, z czego wynika, że wyrażenie  $M$  we wzorze (1) i (2) może być co najwyżej przydatne do wyznaczenia wysokości opłaty dystrybucyjnej, związanej z poniesionymi kosztami stałymi zwiększenia przepustowości danego elementu sieci wskutek poboru energii czynnej przy wartości współczynnika mocy  $\text{tg} \varphi > \text{tg} \varphi_0$ . W przypadku linii zwykle wiąże się to z wymianą przekroju przewodów na większy, w przypadku transformatorów – z wymianą na jednostkę o większej mocy. W praktyce opłata ta jest trudna do zastosowania, chociaż propozycja wzrostu składowej stałej opłaty sieciowej z tego powodu pojawiła się już w [5] oraz w [6], a nawet została wprowadzona w życie w taryfie jednej ze spółek dystrybucyjnych w 2000 r. z inspiracji autora niniejszego referatu (w owym czasie URE dopuszczał w taryfach spółek dystrybucyjnych ich „własne” zapisy i zasady rozliczeń).

Jak widać, aktualny sposób rozliczeń za ponadumowny pobór energii biernej zupełnie nie odpowiada skutkom wywołanym przepływem mocy biernej, objawiającym się wzrostem strat energii czynnej. Opłata wyliczana wg wzoru (1) nie jest *de facto* opłatą za nadwyżkę pobranej energii biernej, jak to sugeruje zapis zawarty w [7], ani też opłatą za zwiększone straty energii czynnej wskutek zwiększonego poboru energii biernej. Opłata wyliczana z wykorzystaniem wzoru (1) mogłaby stanowić jedynie jeden z elementów łącznej opłaty za zwiększony pobór mocy biernej, uwzględniający część składowej stałej opłaty dystrybucyjnej, związanej z koniecznością modernizacji sieci dystrybucyjnych w celu nieograniczania dostawy mocy czynnej do odbiorców. Mogłaby ona być związana z pobraną mocą czynną w szczycie obciążenia i przeliczana na jednostkę mocy umownej  $P_u$ . Jest to częściowo zbieżne z propozycjami, przedstawionymi w [2, 3], jednakże ustalenie wysokości opłaty jednostkowej z tego tytułu może być – jak już wyżej wspomniano – trudne do wykonania i praktycznego zastosowania. Najprostszy nasuwający się sposób uwzględnienia wartości  $\operatorname{tg} \varphi$  w rozliczeniach z odbiorcami sprowadzałby się od strony dostawców energii do kontroli poboru mocy biernej równoległe z kontrolą poboru mocy czynnej  $P$  przez odbiorców oraz do nakładania na odbiorców odpowiednich opłat za przekroczenie „umownej” mocy pozornej  $S_u$ , wyznaczonej jako  $S_u = P_u \cdot \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi_0}$ . Przekroczenie tak wyznaczonej mocy  $S_u$  mogłoby nastąpić tylko wtedy, kiedy  $P_{\max} > P_u$  przy  $\operatorname{tg} \varphi \leq \operatorname{tg} \varphi_0$  lub w przypadku, kiedy  $\operatorname{tg} \varphi > \operatorname{tg} \varphi_0$  przy  $P_{\max} \leq P_u$ . Spełniony byłby zatem postulat z [8], aby pobór mocy biernej był traktowany analogicznie, jak pobór mocy czynnej.

Opłata za przekroczenie mocy  $S_u$  mogłaby zatem być pobierana tylko w przypadku, kiedy  $P_{\max} \cdot \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi} > S_u$  i wyliczana wg wzoru:

$$O_b = k \cdot S_{SVn} \cdot \left( P_{\max} \cdot \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi} - P_u \cdot \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi_0} \right) \quad (4)$$

w którym poszczególne symbole oznaczają:

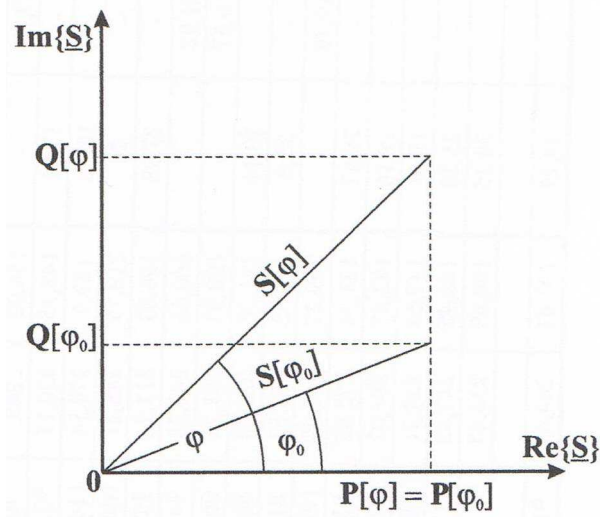
- $O_b$  – opłatę za ponadumowny pobór mocy biernej i/lub mocy czynnej,
- $S_{SVn}$  – składnik stały opłaty sieciowej, obowiązujący na poziomie sieci o napięciu  $V_n$ ,
- $k$  – ustaloną w taryfie krotność stawki  $S_{SVn}$ ,
- $P_{\max}$  – maksymalną moc czynną, określoną zgodnie z §41 rozporządzenia [7], pobraną przy wartości  $\operatorname{tg} \varphi$ ,
- $P_u$  – moc umowną, określoną zgodnie z [7].

Aktualnie przyjmuje się  $k = 10$  przy zmierzonej jednorazowo maksymalnej mocy  $P_{\max} > P_u$ , lub  $k = 1$  przy sumie 10 największych mocy  $P_{\max} > P_u$  w danym okresie rozliczeniowym, bez uwzględniania wartości  $\operatorname{tg} \varphi$  oraz  $\operatorname{tg} \varphi_0$ . Sposób ten mocno dyscyplinuje odbiorców, lecz pobierana opłata raczej nie jest związana z rzeczywistymi kosztami przekroczenia mocy  $P_u$ .

Warto zauważyć, że rozliczenia prowadzone z odbiorcami zgodnie ze wzorem (4) nagradzałyby w pewien sposób tych odbiorców, którzy pobieraliby energię przy  $\operatorname{tg} \varphi < \operatorname{tg} \varphi_0$ . W miejsce zmniejszonego poboru energii biernej odbiorcy ci mogliby bowiem zamówić nieco mniejszą moc  $P_u$ , przekraczając ją bez opłat dodatkowych o kilka procent (przy  $\operatorname{tg} \varphi_0 = 0,4$  oraz  $\operatorname{tg} \varphi \approx 0$  zmniejszenie mocy umownej  $P_u$  mogłoby wynosić maksymalnie około 7% w odniesieniu do maksymalnej mocy  $P_{\max}$ , pobieranej przez tego odbiorcę).

### 3. Wyznaczanie rzeczywistych skutków ponadumownego poboru energii biernej

Skoro wzór (1) nie odzwierciedla rzeczywistych skutków ponadumownego poboru energii biernej, objawiającego się wzrostem strat energii czynnej w sieciach przesyłowych i rozdzielczych, należy znaleźć zależność, która oddawałaby istotę tego zagadnienia. Do tego celu posłużyć może rys. 2, obrazujący rzeczywiste zachowanie się odbiorców energii elektrycznej. Dany odbiorca może bowiem pobierać określoną moc czynną  $P$  przy wartości współczynnika mocy zbliżonej do  $\text{tg } \varphi_0$ , wymuszonej zastosowaniem określonego urządzenia kompensacyjnego. Po wyłączeniu tego urządzenia przy tej samej mocy czynnej  $P$  zwiększy się pobór mocy biernej przez tego odbiorcę od wartości  $Q[\varphi_0]$  do wartości  $Q[\varphi]$ , a współczynnik mocy – do wartości  $\text{tg } \varphi$  (w rzeczywistości może mieć również miejsce odwrotna sytuacja, czyli zmniejszenie współczynnika mocy od wartości  $\text{tg } \varphi$  do  $\text{tg } \varphi_0$  po włączeniu urządzenia kompensacyjnego). W obu przypadkach zachodzi pytanie, jak zmieniają się straty mocy i energii czynnej na drodze przesyłu mocy/energii, spowodowane wzrostem/obniżeniem wartości współczynnika mocy u odbiorcy. Jeśli za odniesienie przyjąć straty mocy  $\Delta P[\varphi_0]$ , związane z dostawą mocy czynnej oraz biernej przy wartości współczynnika mocy  $\text{tg } \varphi_0$ , to przy tej samej mocy czynnej  $P$  straty mocy czynnej przy wartości  $\text{tg } \varphi$  wzrosną do  $\Delta P[\varphi]$ .



Rys. 2. Ilustracja rzeczywistego zachowania się odbiorcy, przyłączonego do sieci

Straty te wyznacza się w tym przypadku jako:

$$\Delta P[\varphi] = \Delta P[\varphi_0] \cdot \left( \frac{1 + \text{tg}^2 \varphi}{1 + \text{tg}^2 \varphi_0} \right). \quad (5a)$$

Wzrost strat mocy od wartości  $\Delta P[\varphi_0]$  do wartości  $\Delta P[\varphi]$  to skutek o wymiarze ekonomicznym wzrostu poboru mocy biernej (ponadumownego poboru mocy biernej) i określony jest wzorem:

$$\Delta P[\varphi] - \Delta P[\varphi_0] = \Delta P[\varphi_0] \cdot \left( \frac{1 + \text{tg}^2 \varphi}{1 + \text{tg}^2 \varphi_0} - 1 \right). \quad (5b)$$

Po wymnożeniu obu stron wyrażenia (5b) przez T (czas trwania okresu rozliczeniowego) otrzymuje się:

$$\Delta A[\varphi] - \Delta A[\varphi_0] = \frac{\Delta A_{\%}[\varphi_0]}{100} \cdot \left( \frac{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi_0} - 1 \right) \cdot A, \quad (5c)$$

przy czym przez  $\Delta A_{\%}[\varphi_0]$  oznaczono średnie roczne procentowe straty energii, przyporządkowane w taryfie odbiorcom, zasilanym z sieci o napięciu  $V_n$ , natomiast przez  $A$  oznaczono energię czynną, pobraną w danym okresie rozliczeniowym całodobowo lub w strefie czasowej, w której prowadzona jest kontrola poboru energii biernej.

Ostatecznie zależność służąca do wyznaczania opłaty za ponadumowny pobór energii biernej, uwzględniająca koszty zakupu energii na pokrycie strat energii czynnej po cenie  $C_{rk}$  miałaby postać:

$$O_b = k \cdot C_{rk} \cdot \left( \frac{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi_0} - 1 \right) \cdot A. \quad (6)$$

Przez  $k$  oznaczono tutaj krotność ceny  $C_{rk}$ . Krotność ta przy przedstawionym sposobie rozliczeń oraz założeniu, że ponadumowny pobór energii biernej jest tożsamy z pobieraniem energii niezgodnie z warunkami umowy, kiedy wg [7] odpowiednią opłatę ustala się z uwzględnieniem dwukrotnej ceny  $C_{rk}$ , powinna być równa co najwyżej:

$$k = \frac{2 \cdot \Delta A_{\%}[\varphi_0]}{100}. \quad (7)$$

Ponadto wprowadzenie do wzoru (5c) oraz (7) pełnych strat  $\Delta A_{\%}[\varphi_0]$ , przyporządkowanych w taryfie odbiorcom, zasilanym odpowiednio z sieci o napięciu 110 kV, SN lub nn oznacza, że opłata  $O_b$  wyznaczana wg wzoru (6) byłaby zawyżona w stosunku do rzeczywistych kosztów, związanych z ponadumownym poborem energii biernej, gdyż straty napięciowe oraz ewentualne straty handlowe, wchodzące w skład sumarycznych strat  $\Delta A_{\%}[\varphi_0]$ , nie są zależne od obciążenia poszczególnych elementów sieci na drodze przesyłu energii do ww. odbiorców. Przy tym wzrost poboru energii biernej przez danego odbiorcę nie powoduje wzrostu strat energii, określonego wzorem (5c), na całej drodze dostawy energii do tego odbiorcy. Dla wyznaczenia dokładnego wzrostu strat  $\Delta A[\varphi] - \Delta A[\varphi_0]$  wywołanych przez danego odbiorcę należałoby znać wartości energetycznych równoważników mocy biernej  $k_e$  [9] w miejscu przyłączenia do sieci poszczególnych odbiorców, przy znanym obciążeniu mocą bierną tych odbiorców. Jednakże dla uproszczenia rozliczeń ww. nieścisłości można dopuścić z korzyścią dla OSD.

#### **4. Ekonomiczny wymiar dodatkowych strat energii w świetle ponoszonych opłat za ponadumowny pobór energii biernej**

Zachodzi teraz pytanie, jaki jest rzeczywisty ekonomiczny (finansowy) wymiar dodatkowych strat energii, występujących przy ponadumownym poborze energii biernej w odniesieniu do ponoszonych opłat przez odbiorców z tego tytułu. W tym celu należy oszacować poziom procentowych strat energii  $\Delta A_{\%}[\varphi_0]$ , przyporządkowywany w taryfach odbiorcom zasilanym z poszczególnych poziomów napięcia. Tabela 1 zawiera orientacyjne procentowe straty energii dla sieci NN, WN, SN i nn, przyjęte na podstawie [9] (straty te dla sieci rozdzielczych przyjęto dla „najgorszego” OSD) oraz wyliczone na tej podstawie sprawności dostawy energii odbiorcom zasilanym z poszczególnych poziomów napięcia.

Tabela 1

Orientacyjne procentowe straty energii w krajowych sieciach elektroenergetycznych i sprawność dostawy energii odbiorcom, zasilanym z tych sieci

Sieć elektroenergetyczna	NN	WN	SN	nn <sup>*)</sup>
Poziom strat energii w danej sieci [%]	2,0	3,3	7,1	10,0
Sprawność dostawy energii odbiorcom [%]	98,0	94,8	88,0	79,2

<sup>\*)</sup> Dla sieci nn uwzględniono tylko orientacyjny poziom strat technicznych w wysokości około 66% łącznych strat wykazywanych w tej sieci wg [9]

Z tabeli 1 po uwzględnieniu założenia przedstawionego wzorem (7) wynika, że krotności  $k$  dla odbiorców zasilanych z poszczególnych sieci rozdzielczych (110 kV, SN i nn) odnoszące się do ceny  $C_{rk}$  nie powinny być wyższe, niż 0,10 dla sieci 110 kV, 0,24 dla sieci SN oraz 0,42 dla sieci nn. Krotności  $k$  zatwierdzone w taryfach OSD i rekomendowane przez Prezesa URE zestawiono przy wzorze (1), lecz odnoszą się one do aktualnego sposobu rozliczeń, z uwzględnieniem wyrażenia  $M$ , zdefiniowanego w ww. wzorze. Oznaczmy zatem przez  $K$  wyrażenie  $\left( \frac{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi_0} - 1 \right)$ , występujące we wzorach (5b), (5c) i (6). Między wyrażeniem  $K$  oraz wyrażeniem  $M$  ze wzoru (1) i (2) zachodzi prosta zależność:

$$K = M^2 + 2 M . \quad (8)$$

Dla niewielkich różnic między  $\operatorname{tg} \varphi$  a  $\operatorname{tg} \varphi_0$  można pominąć wyraz występujący w kwadracie i założyć dla uproszczenia analizy, że  $K \approx 2 M$ . Wtedy przybliżoną równowagę wysokości opłat, ponoszonych przez odbiorców przy rozliczeniach prowadzonych wg wzoru (1) z opłatami, mającymi uzasadnienie teoretyczne, wyznaczonymi z uwzględnieniem wzoru (6) i założenia (7) uzyskuje się przy krotnościach  $k$ , odnoszących się do wzoru (1) na poziomie 0,21 dla sieci 110 kV, 0,48 dla sieci SN oraz 0,84 dla sieci nn.

Jak widać, aktualnie stosowana wysokość opłat za ponadumowny pobór energii biernej ma charakter mocno restrykcyjny w odniesieniu do odbiorców. Opłaty te są kilkakrotnie wyższe od finansowych skutków, związanych z zakupem energii na pokrycie dodatkowych strat, wywołanych poborem ponadumownych ilości energii biernej, na co zwrócono już uwagę w [1, 5]. Szczególnie mocno dotyka to odbiorców, zasilanych z sieci nn, dla których ponoszona opłata jest ponad 14-krotnie wyższa, niż koszt zakupu energii na pokrycie ww. strat, i to liczonych wg wskaźników, dotyczących „najgorszego” OSD oraz przy innych założeniach, bardzo korzystnych dla OSD.

Tak duży wzrost opłat ponad rzeczywisty koszt zakupu energii ma swe źródło w kolejnych zmianach przepisów wykonawczych do *Prawa energetycznego* na przestrzeni czasu. Zamiast ceny energii elektrycznej  $C_{rk}$  we wzorze (1) w przedostatniej wersji rozporządzenia taryfowego występował składnik zmienny stawki sieciowej  $S_{ZVn}$  przy krotności  $k = 2$  zgodnej z założeniem, że ponadumowny pobór energii biernej jest niezgodny z warunkami umowy. Składnik ten wg pierwotnych założeń (pierwszego rozporządzenia taryfowego) miał odzwierciedlać przede wszystkim koszt zakupu energii czynnej na pokrycie strat energii. Po wprowadzeniu obowiązku „uzmienniania” składnika stałego stawki sieciowej i związanych z nim opłat, wartości składników  $S_{ZVn}$  w taryfach ówczesnych spółek dystrybucyjnych mocno wzrosły w porównaniu do

pierwotnej wartości tych składników, uwzględniających tylko koszty zakupu energii na pokrycie strat. Szczególnie zaznaczyło się to u odbiorców, zasilanych z sieci nn. Niestety, nie poszło za tym np. zmniejszenie krotności  $k$  lub wprowadzenie do wzoru (1) innego współczynnika zmniejszającego, równoważącego potencjalne, zawyżone przychody spółek dystrybucyjnych mimo kilku publikacji (np. [5, 6]), pokazujących tę nieprawidłowość. Do rozporządzenia taryfowego wprowadzono natomiast w 2007 r. w celu rozliczeń ponadumownego poboru energii biernej wg wzoru (1) – zamiast różnych stawek  $S_{ZVn}$  u poszczególnych dostawców energii – jednakową dla wszystkich cenę energii  $C_{rk}$  [7], natomiast do taryf dystrybucyjnych dostawców energii – jednakowe wartości krotności  $k$ , umożliwiające osiągnięcie średnio takich samych przychodów przez dostawców, jak z zawyżoną już opłatą wg stawek  $S_{ZVn}$  przy krotności  $k = 2$ . Aktualnie ma miejsce taka sytuacja, że im większy był stopień „uzmiennienia” składnika stałego stawki sieciowej i związanych z nim opłat dla grupy odbiorców, zasilanych odpowiednio z poziomu napięcia 110 kV, SN oraz nn, tym bardziej restrykcyjnie odbiorcy ci obciążani są w związku z poborem ponadumownych ilości energii biernej.

## 5. Analiza efektywności kompensacji mocy biernej przez odbiorców

W opracowaniu [1] przedstawiona została propozycja kształtowania opłat, związanych z ponadumownym poborem energii biernej, oparta na jednostkowych kosztach wytwarzania energii biernej w nowo instalowanych bateriach kondensatorów. Pobierane opłaty za tę energię powinny wg [1] zapewnić opłacalność kompensacji mocy biernej u odbiorców. Jako kryterium tej opłacalności przyjęto w [1] co najmniej 2-krotnie większą opłatę roczną z powodu przekroczenia wartości  $\text{tg } \varphi_0$  od rocznych kosztów wytwarzania adekwatnej ilości energii w nowo zainstalowanej baterii kondensatorów. W praktyce sprowadziłoby się to do porównania średnich wartości ww. opłat rocznych z rocznym kosztem zainstalowania i eksploatacji odpowiedniej baterii, lub sumy zdyskontowanych na rok  $t = 0$  opłat ponoszonych w czasie „życia” baterii z kosztem jej zainstalowania i zsumowanymi po zdyskontowaniu rocznymi kosztami eksploatacji. Większa niż 2-krotna opłata za przekroczenie wartości  $\text{tg } \varphi_0$  w porównaniu z kosztem zainstalowania i eksploatacji baterii kondensatorów oznaczały dużą efektywność zastosowanej kompensacji z jednej strony, lecz także zbyt wysoki poziom opłat  $O_b$  z powodu wysokiej krotności  $k$  we wzorze (1) z drugiej strony.

Warto w tym miejscu dokonać takiego przybliżonego porównania. Przyjmijmy, że pewien odbiorca pobiera energię przy średniej wartości współczynnika mocy  $\text{tg } \varphi = 0,65$ . Pobór ten nie będzie ulegał istotnym zmianom w ciągu kolejnych lat. Średnioroczny pobór energii czynnej przez tego odbiorcę wynosi około 2,8 GWh przy średnim poborze mocy biernej około 0,80 Mvar. Dla skompensowania mocy biernej do poziomu  $\text{tg } \varphi \leq \text{tg } \varphi_0 = 0,4$  potrzebna jest regulowana bateria kondensatorów o mocy 300 kvar. Okres „życia” baterii kondensatorów wg [9] wynosi  $T = 10$  lat (stopa amortyzacji liniowej  $a = 0,1$ ). Cena baterii regulowanej, automatycznie załączanej o mocy 300 kvar, zainstalowanej w sieci SN wynosi wg danych, uzyskanych od jednego z OSD około  $K \approx 67$  tys. zł. Stopę dyskonta przyjęto na poziomie  $p = 0,07$ , natomiast roczny współczynnik kosztu utrzymania baterii przyjęto wg [1] jako  $r_e = 0,045$ . Roczna ratę kapitałową wyznacza się ze wzoru:

$$r_r = \frac{p \cdot (1 + p)^T}{(1 + p)^T - 1} \quad (9)$$

i przy powyższych założeniach wynosi ona  $r_r = 0,1424$ . Łączna rata kosztów rocznych wynosi natomiast  $r_e + r_r = 0,1874$ . Wyznaczony koszt roczny dla tej baterii wynosi zatem około  $K_r \approx 12,6$



tys. zł. Jeśli przyjąć wg [10] dla 2010 r. cenę  $C_{rk} = 197,21$  zł/MWh, otrzymuje się przy powyższych założeniach opłatę roczną, ponoszoną przez tego odbiorcę, wyznaczoną wg wzoru (1) w wysokości  $O_b \approx 59,3$  tys. zł. Wynika stąd niezwykle wysoka efektywność kompensacji mocy biernej u odbiorcy przy istniejących opłatach za przekroczenie wartości  $\text{tg } \varphi_0 = 0,4$ . Oczywiście tego typu analiza powinna być wykonana przez każdego odbiorcę, ponoszącego opłaty za ponadumowny pobór energii biernej, gdyż uzyskane wyniki nie mają charakteru uniwersalnego. Jednakże już na podstawie wyników powyższej analizy można stwierdzić, że tak duża efektywność kompensacji mocy biernej spowodowana jest w pierwszej kolejności zbyt wysokim poziomem potencjalnych opłat  $O_b$ , naliczanych przez OSD w odniesieniu do odbiorców, znacznie przekraczającym skutki wywołane poborem ponadumownych ilości mocy i energii biernej. Tym samym nie jest uzasadnione stwierdzenie, zawarte w [4], że opłaty za ponadumowny pobór energii biernej są za niskie w porównaniu z kosztami urządzeń kompensacyjnych i nie działają dostatecznie stymulująco na odbiorców. Nawet około (2÷3)-krotnie niższe opłaty od aktualnie ponoszonych działałyby na odbiorców wystarczająco stymulująco, a dla OSD kompensowałyby zawiązką koszty zakupu energii na pokrycie strat, stanowiących efekt zwiększonego poboru energii biernej.

## 6. Podsumowanie i wnioski

Przedstawiona w niniejszym referacie dość obszerna – choć nie wyczerpująca zagadnienia (np. poboru energii o charakterze pojemnościowym i opłat z tym związanych) – analiza aktualnie stosowanych opłat za ponadumowny pobór energii biernej przez odbiorców pozwala stwierdzić, że opłaty te wyznaczone są na podstawie nieprawidłowego wzoru (1), nie mającego „pokrycia” ani w teorii, ani w rzeczywistych zachowaniach odbiorców. Wzór (1) można by co najwyżej wykorzystać do wyznaczania wysokości opłat dystrybucyjnych, związanych z przekroczeniami mocy umownej przez odbiorców, z uwzględnieniem wartości  $\text{tg } \varphi$ . Istnieje silna i prawie liniowa korelacja między aktualnie stosowanym wzorem (1), służącym do wyznaczania opłaty z tytułu przekroczenia wartości  $\text{tg } \varphi_0$ , a wzorem proponowanym w niniejszym referacie i uzasadnionym teoretycznie oraz zgodnym z rzeczywistym zachowaniem się odbiorców, lecz właśnie to teoretyczne uzasadnienie i zgodność z rzeczywistością wydaje się być wystarczającym argumentem za stosowaniem do wyznaczania opłaty  $O_b$  tego nowego wzoru, oznaczonego w referacie numerem (6). Niezwykle ważne jest przy tym skorygowanie krotności  $k$  do ceny energii  $C_{rk}$  we wzorze (6) do rekomendowanych w referacie wartości. Pozostawienie „starych” mnożników  $k$  jak we wzorze (1) w „nowym” wzorze (6) skutkowałoby bowiem podniesieniem wysokości opłaty  $O_b$  o ponad 100%, choć dostawcy energii na pewno nie protestowałiby z tego powodu. Aktualnie stosowana wysokość jednostkowej opłaty, wymuszanej restrykcyjnymi wartościami krotności  $k$  do ceny energii  $C_{rk}$  powoduje, że potencjalne przychody OSD z tytułu tej opłaty, pobieranej od odbiorców, znacznie przekraczają skutki wywołane poborem ponadumownych ilości energii biernej. Zachodzi przy tym dość oczywista sytuacja, że im wyższy jest poziom opłaty za pobór ponadumownych ilości energii, tym bardziej opłacalna staje się kompensacja mocy biernej i tym większe są przychody OSD z tego tytułu w przypadku niedotrzymania przez odbiorców wartości  $\text{tg } \varphi$  w określonych granicach. Wysoka opłata pobierana przez OSD działa mocno stymulująco na odbiorców oraz na wytwórców urządzeń kompensacyjnych. Okazuje się bowiem, że koszty roczne związane z tymi urządzeniami są wielokrotnie niższe od potencjalnych opłat, ponoszonych przez odbiorców w przypadku wysokich wartości  $\text{tg } \varphi$ . Oczywiście kompensacja mocy biernej niesie ze sobą inne jeszcze pozytywne, lecz trudniej mierzalne efekty w porównaniu z obniżeniem strat mocy i energii w elementach sieci elektroenergetycznych, lecz wprowadzanie jej nie musi się odbywać poprzez stosowanie tak restrykcyjnych opłat za niedotrzymanie umownej wartości  $\text{tg } \varphi_0$  i do tego – niekoniecznie kosztem odbiorców. Aktualnie stosowane opłaty jednostkowe z tego tytułu dopuszczone zostały przez URE w celu utrzymania przychodów OSD z tych

opłat na odpowiednio wysokim, lecz nieuzasadnionym względami merytorycznymi poziomie. Przychody z tych opłat wliczane są do przychodu regulowanego OSD [11], zatem im wyższe są te opłaty, tym potencjalnie niższe powinny być stawki opłat dystrybucyjnych dla wszystkich odbiorców danego OSD. Z tego powodu nie należy mieć wielkiej nadziei, że opłaty te skorygowane zostaną przez URE do „rozsądnych” granic, mających związek z ekonomicznymi skutkami ponadumownego poboru energii biernej, wywołanymi w sieciach OSD z jednej strony oraz kosztami wytwarzania tej energii w urządzeniach kompensacyjnych, stanowiących własność odbiorców z drugiej strony.

## Literatura

- [1] Szostek T.: *O potrzebie zmiany obecnie stosowanych zasad rozliczeń odbiorców finalnych za pobraną energię bierną*. Energetyka 1999, nr 10
- [2] Szczerba Z.: *Czy pomiar „energii biernej” ma sens?*. Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej, Seria ELEKTRYKA. Gdańsk 2000
- [3] Szczerba Z.: *Czy liczniki kvarh powinny być stosowane?* Acta Energetica 2009, nr 2
- [4] Bućko P.: *Badania struktury taryfy za energię z uwzględnieniem mocy biernej pod kątem stymulowania zachowania użytkowników energii elektrycznej*. Raport z realizacji Projektu badawczego zamawianego nr PBZ-MEiN-1/2/2006 „Bezpieczeństwo elektroenergetyczne kraju”. Gdańsk, grudzień 2007
- [5] Ciura Sz., Kocot H.: *Rozliczenia z odbiorcami w świetle rozporządzeń do Prawa energetycznego – realia i oczekiwania*. Materiały VI Konferencji naukowo-technicznej „Rynek energii elektrycznej”. Wyd. Politechniki Lubelskiej. Lublin 1999
- [6] Ciura Sz.: *Uwzględnienie sprawności dostawy energii elektrycznej w opłatach przesyłowych*. Materiały Konferencji naukowo-technicznej „Straty energii elektrycznej w spółkach dystrybucyjnych”. Wyd. PTPiREE. Poznań 1999
- [7] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 2 lipca 2007 r. w sprawie szczegółowych zasad kształtowania i kalkulacji taryf oraz rozliczeń w obrocie energią elektryczną. Dz. U. nr 128, poz. 895 z 2007 r.
- [8] Borecki J., Wilczyński A., Kalinowski T., Olichwer T.: *Problemy rozliczeń za pobór energii biernej*. Energetyka 1992, nr 11
- [9] Kulczycki J. i inni (praca zbiorowa): *Straty energii elektrycznej w sieciach dystrybucyjnych*. Wyd. PTPiREE. Poznań 2009
- [10] Informacja (nr 3/2010) Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki w sprawie średniej ceny energii elektrycznej na rynku konkurencyjnym za rok 2009. Warszawa, 29 marca 2010. [www.ure.gov.pl](http://www.ure.gov.pl)
- [11] Taryfy OSD na rok 2011. URE, Departament Taryf. Warszawa 2010. [www.ure.gov.pl](http://www.ure.gov.pl)