

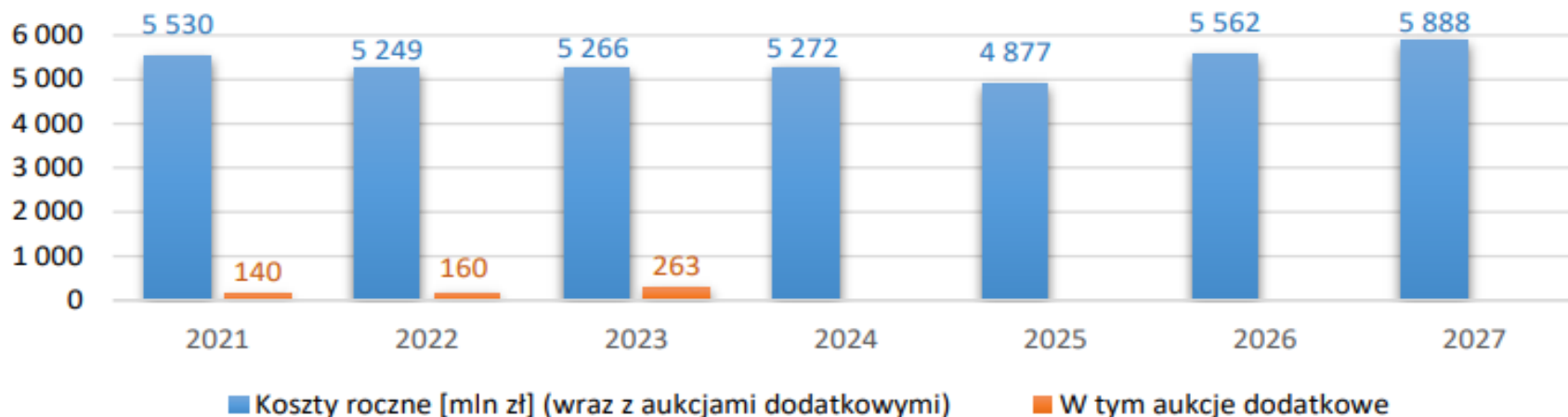
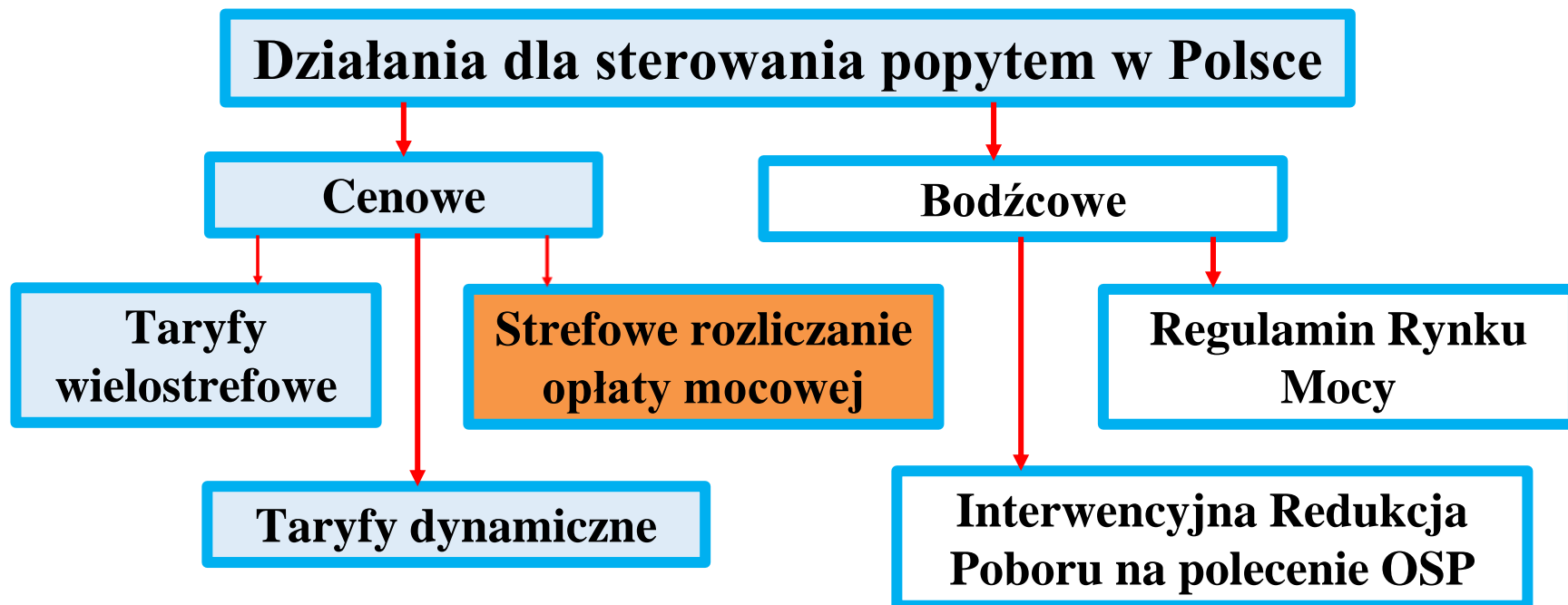
# **Cenowa elastyczność popytu odbiorców rozliczających strefowo opłatę mocową i jej zastosowanie**



*Jerzy ANDRUSZKIEWICZ,  
Józef LORENC, Agnieszka WEYCHAN*

*Instytut Elektroenergetyki  
Politechnika Poznańska*

# Programy sterowania popytem wykorzystywane w Polsce



*Koszty roczne rynku mocy dla lat 2021–2027 [mln zł] [URE]*

## „Energetyczna” cenowa elastyczność popytu

Elastyczność cenowa popytu odbiorców korzystających z taryf strefowych jest definiowana poprzez zależności od (3) do (5) obrazujące zmiany konsumpcji energii  $\Delta E$  od wartości wyjściowej  $E_1$ , do wartości wynikowej  $E_2$ , przy korzystaniu z energii rozliczanej według taryfy strefowej, na skutek zmiany ceny rozliczeniowej  $\Delta P$  energii powodującej zmianę użytkowania energii od wartości wyjściowej  $P_{1sr}$  do ceny  $P_{2sr}$ :

$$\Delta E = E_2 - E_1 \quad (3)$$

$$\Delta P = P_{2sr} - P_{1sr} \quad (4)$$

$$\varepsilon = (\Delta E / E_1) / (\Delta P / P_{1sr}) \quad \rightarrow \quad \Delta E = \varepsilon * (\Delta P / P_{1sr}) * E_1 \quad (5)$$

Cena średnia taryfy dwustrefowej wyznaczana jest zgodnie z następującą zależnością:

$$P_{sr} = \sum_1^2 (E_i * P_i) / \sum_1^2 E_i \quad (6)$$

Poprzez  $P$  rozumiana jest cena rozliczeniowa energii elektrycznej dla taryfy płaskiej lub strefy taryfy strefowej obejmująca wszystkie koszty ponoszone przez odbiorców, poza podatkami, związane z zakupem energii i jej dostawą.

$$P = C_{Ez} + \sum S_i + \frac{\sum O_{Ci}}{E_a} \quad (7)$$

$C_{Ez}$  – jednostkowa cena energii w taryfie jednostrefowej lub strefie taryfy strefowej,

$S_i$  – stawki zmienne opłaty dystrybucyjnej dla taryfy jednostrefowej lub strefy taryfy strefowej,

$O_{Ci}$  – suma opłat stałych naliczanych w taryfie jednostrefowej lub wielostrefowej,

$E_a$  – konsumpcja roczna energii analizowanego odbiorcy.

Elastyczność sformułowana równaniem (5) odzwierciedla tylko zmiany konsumpcji energii w analizowanym okresie bez uwzględniania możliwych przesunięć konsumpcji pomiędzy strefami.

# Elastyczność cenowa popytu własna i wzajemna

Zachowanie odbiorcy poddanemu taryfie wielostrefowej (dynamicznej) o „n” strefach można opisać równaniem:

$$E_2(i) = E_1(i) * \left( 1 + \varepsilon_{i,i} \frac{P_{2i} - P_{1i}}{P_{1i}} + \sum_{j=1, j \neq i}^n \varepsilon_{i,j} \frac{P_{2j} - P_{1j}}{P_{1j}} \right) \quad (8)$$

gdzie  $E_{2i}$ ,  $E_{1i}$  – energie w strefach przy cenach rozliczeniowych odpowiednio  $P_{2i}$  oraz  $P_{1i}$ ,

$\varepsilon_{i,i}$  oraz  $\varepsilon_{i,j}$  – elastyczności własna strefy „i” oraz wzajemne (krzyżowe) pomiędzy strefami „i” oraz „j”.

W przypadku przejścia z rozliczenia wg taryfy jednostrefowej (płaskiej) „f” do taryfy dwustrefowej o strefie szczytowej „p” i pozaszczytowej „o” zależność (8) można uprościć do poniższych równań:

$$\Delta E_p = E_{p2} - E_{p1} = E_{p1} \left( \varepsilon_s \frac{P_p - P_f}{P_f} + \varepsilon_c \frac{P_o - P_f}{P_f} \right) \quad (9)$$

$$\Delta E_o = E_{o2} - E_{o1} = E_{o1} \left( \varepsilon_c \frac{P_p - P_f}{P_f} + \varepsilon_s \frac{P_o - P_f}{P_f} \right) \quad (10)$$

gdzie:

$E_{p1}$ ,  $E_{p2}$  – energie w strefie „p” dla cen rozliczeniowych  $P_f$  oraz  $P_p$ ,

$E_{o1}$ ,  $E_{o2}$  – energie w strefie „o” dla cen rozliczeniowych  $P_f$  oraz  $P_o$ ,

$\varepsilon_s$  – elastyczność własna odzwierciedlająca zmianę konsumpcji odbiorców w strefie „p” lub „o” na zmianę ceny w tej strefie,

$\varepsilon_c$  – elastyczność wzajemna pomiędzy strefami odzwierciedlająca zmianę konsumpcji w strefie „p” na skutek zmiany ceny w strefie „o” oraz zmianę konsumpcji w strefie „o” na zmianę ceny w strefie „p”.

Elastyczności sformułowana na podstawie równań (9) i (10) odzwierciedlają zmiany konsumpcji energii w analizowanym okresie i przesunięcia konsumpcji pomiędzy strefami.

# Strefowe rozliczanie opłaty mocowej odbiorców zasilanych z poziomu SN grupy taryfowej B

Do końca września każdego roku Prezes Urzędu Regulacji Energetyki oblicza i publikuje wysokość opłaty mocowej, która jest składnikiem opłaty dystrybucyjnej, bazując na przepisach ustawy o rynku mocy oraz na rozporządzeniu Ministra Klimatu i Środowiska. W roku 2024 stawka opłaty wynosi  $s_m = 126,7$  zł/MWh za energię pobieraną w dniu robocze w okresie szczytowego zapotrzebowania od 7:00 do 22:00.

Wysokość opłaty dla odbiorców grupy taryfowej B jest także uzależniona od parametru  $s$  [%] wyrażającego procentową różnicę pomiędzy średnim zużyciem energii w godzinach szczytowego zapotrzebowania, a średnim zużyciem w pozostałych godzinach doby.

$$s[\%] = 100 * s_w = 100 * \left[ \left( \frac{E_p}{15} \right) / \left( \frac{E_o}{9} \right) - 1 \right] \quad (11)$$

gdzie  $E_p$  – energia pobrana od 7:00 do 22:00

$E_o$  – energia pobrana od 22:00 do 7:00

Wyróżnia się cztery grupy odbiorców:

- $s < 5\%$  opłata obniżona do 17%,
- $5\% \leq s < 10\%$  opłata obniżona do 50%,
- $5\% \leq s < 10\%$  opłata obniżona do 83%,
- $s \geq 15\%$  opłata pełna 100%

**Zatem opłata strefowa dla taryfy B rozliczana jest dwustrefowo w dni robocze:**

- **strefa nocna od 22:00 do 7:00 przy stawce 0,00 zł/MWh**
- **strefa dzienna od 7:00 do 22:00 przy stawce pełnej lub obniżonej**

## Strefowe rozliczanie opłaty mocowej

Wprowadzenie strefowego rozliczania opłaty mocowej o wartości  $S_m$  w zł/kWh w strefie szczytowej oraz zerowej wartości w strefie pozaszczytowej, przy korzystaniu z energii przez odbiorców średniego napięcia rozliczanych dotychczas według taryfy jednostrefowej po kosztach  $P_f$ , obejmujących cenę energii wraz usługą jej dostarczania, spowodowało przejście na taryfę dwustrefową o cenach szczytowej  $P_p$  oraz pozaszczytowej  $P_o$ :

$$P_p = P_f + k(s_w) * S_m; \quad P_o = P_f \quad (11)$$

Osiągnięcie parametru  $s_w$  o wartościach 0,15; 0,10 oraz 0,05 pozwala na uzyskanie odpowiednio redukcji stawki opłaty mocowej wyrażanej współczynnikami  $k(s_w)$  do  $0,83S_m$ ,  $0,5S_m$  oraz  $0,17S_m$ .

Wymaganą wartość  $k(s_w)$  można osiągnąć zmniejszając szczytowe zużycie energii o  $\Delta E_p$  i zwiększając zużycie pozaszczytowe o  $\Delta E_o$ :

$$k(s_w) = f(s_w) = f\left(\frac{9(E_p - \Delta E_p)}{15(E_o + \Delta E_o)} - 1\right) \quad (12)$$

## Współczynniki elastyczności taryfy jednostrefowej ze strefowym rozliczeniem opłaty mocowej

Zależności (9) oraz (10), obrazujące zmiany konsumpcji szczytowej i pozaszczytowej w funkcji cen taryfowych oraz elastyczności popytu własnej  $\varepsilon_s$  i wzajemnej  $\varepsilon_c$  odbiorcy, ulegają, wyniku zerowej stawki opłaty mocowej w okresie pozaszczytowym (6), redukcji do następującej postaci:

$$\Delta E_p = E_p * \left( \varepsilon_s \frac{k(s_w)S_m}{P_f} \right) \quad (13)$$

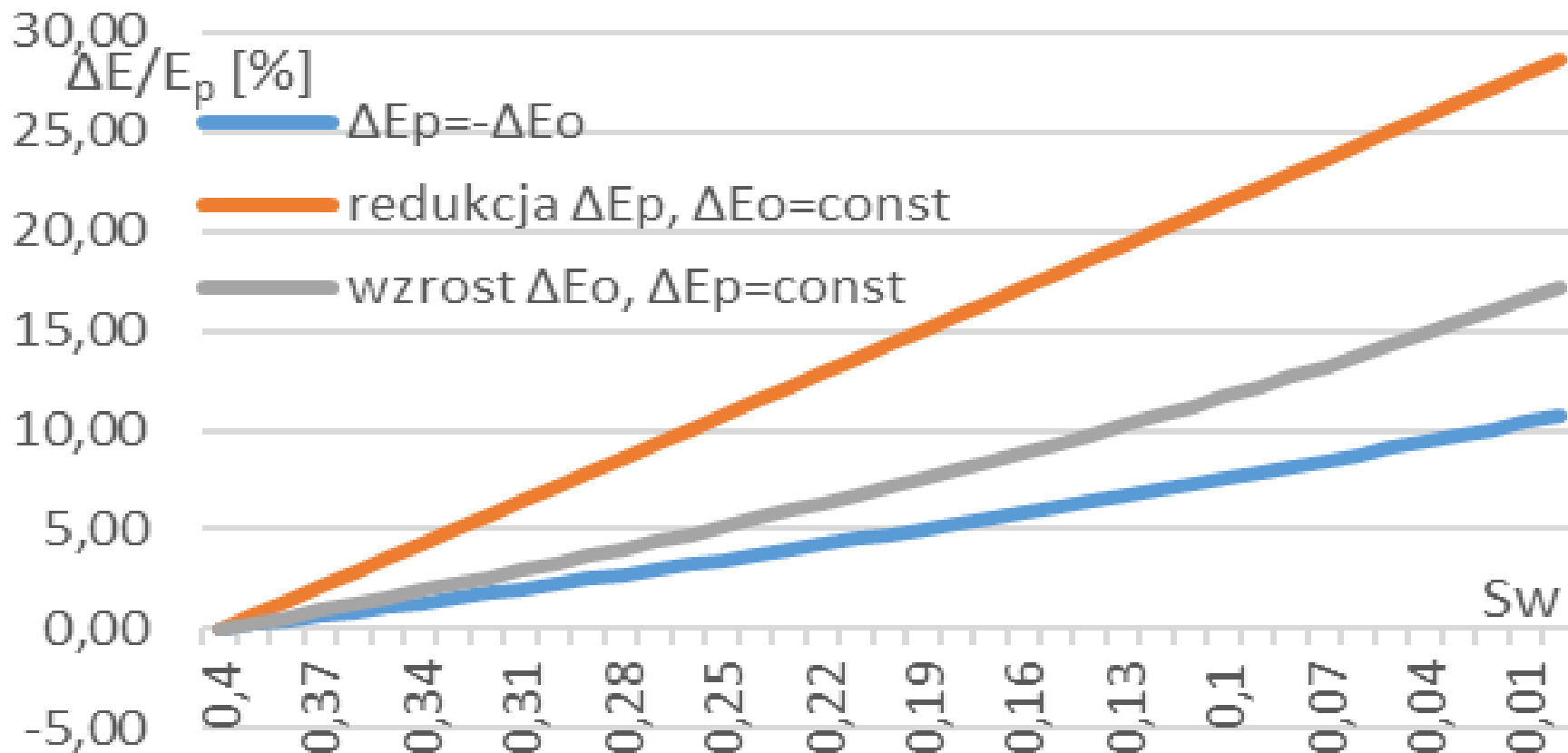
$$\Delta E_o = E_o * \left( \varepsilon_c \frac{k(s_w)S_m}{P_f} \right) \quad (14)$$

Wartości elastyczności są zatem ściśle powiązane z wartościami redukcji konsumpcji i można je wyznaczyć przekształcając zależności (9) oraz (10):

$$\varepsilon_s = \frac{\Delta E_p}{E_{p1}} \frac{P_f}{k(s_w)S_m} \quad (15)$$

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta E_o}{E_{o1}} \frac{P_f}{k(s_w)S_m} \quad (16)$$

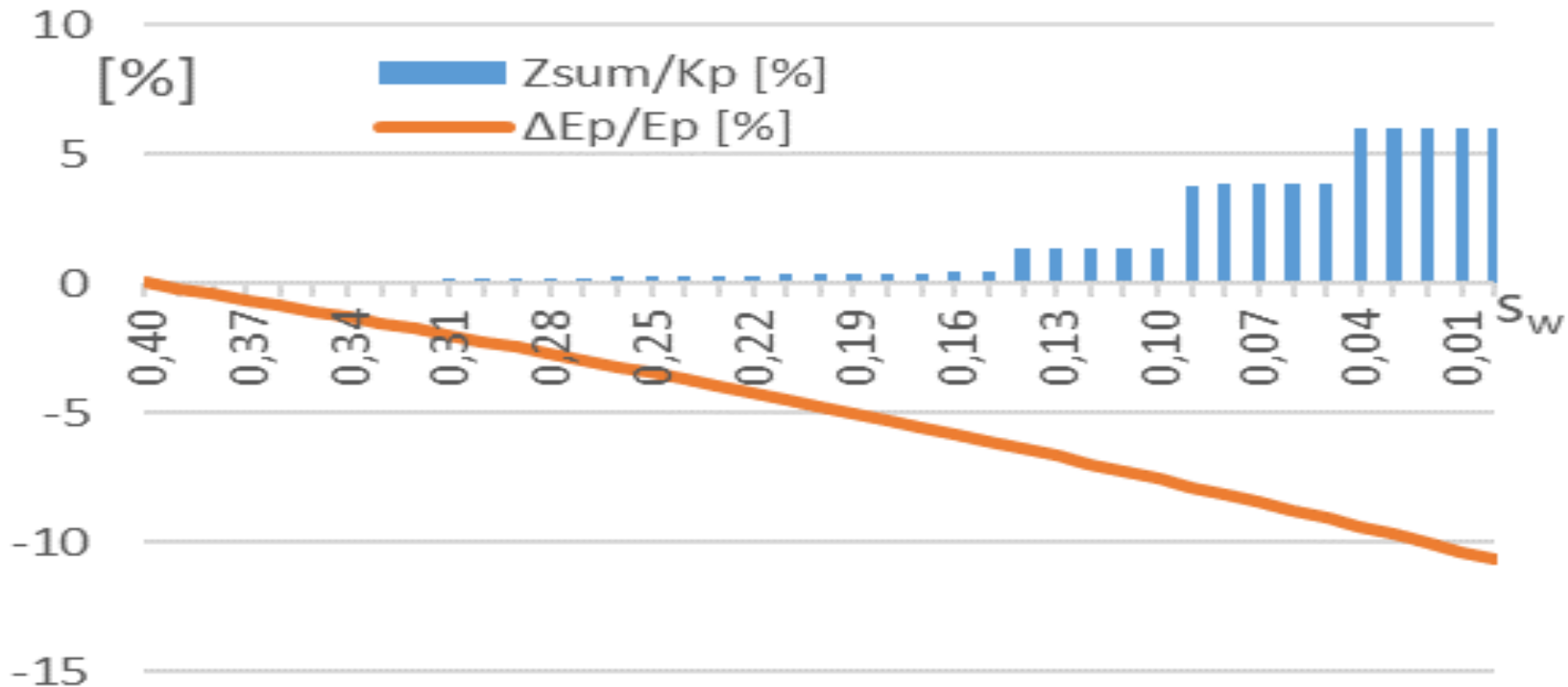
## Efektywność różnych strategii osiągnięcia parametru $s_w$



Przebiegi przedstawione pokazują, że zdecydowanie najbardziej efektywną strategią osiągnięcia pożądanej wartości współczynnika  $s_w$ , zapewniającego redukcję wartości opłaty mocowej, jest strategia przesuwania konsumpcji ze strefy szczytowej do pozaszczytowej w ramach jednego okresu rozliczeniowego opłaty mocowej.



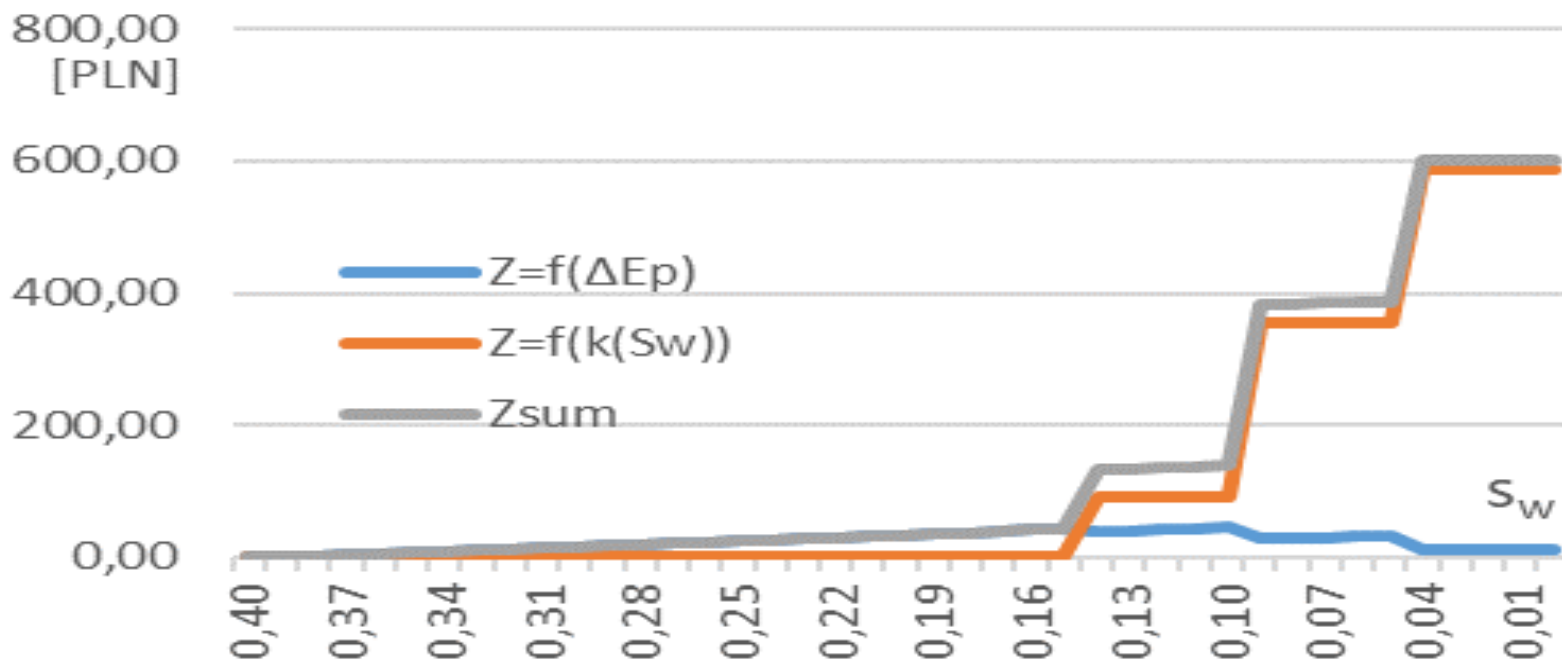
## Ograniczenie kosztów w stosunku do redukcji konsumpcji szczytowej



Wykresy przedstawione pokazują, że zasadniczo zysk z przesunięcia konsumpcji wynika ze zmian we współczynniku  $k(s_w)$  obniżającego wartość stawki opłaty mocowej po osiągnięciu wartości progowych parametru  $s_w$ . Sam zysk wynikający bezpośrednio z redukcji konsumpcji w okresie szczytowym o  $-\Delta E_p$ , mimo że jest niezbędnym warunkiem dla zmian w stawce opłaty mocowej, nie jest tak istotny i przyjmuje coraz mniejsze wartości po przejściu wartości progowych na skutek obniżenia stawki opłaty mocowej.

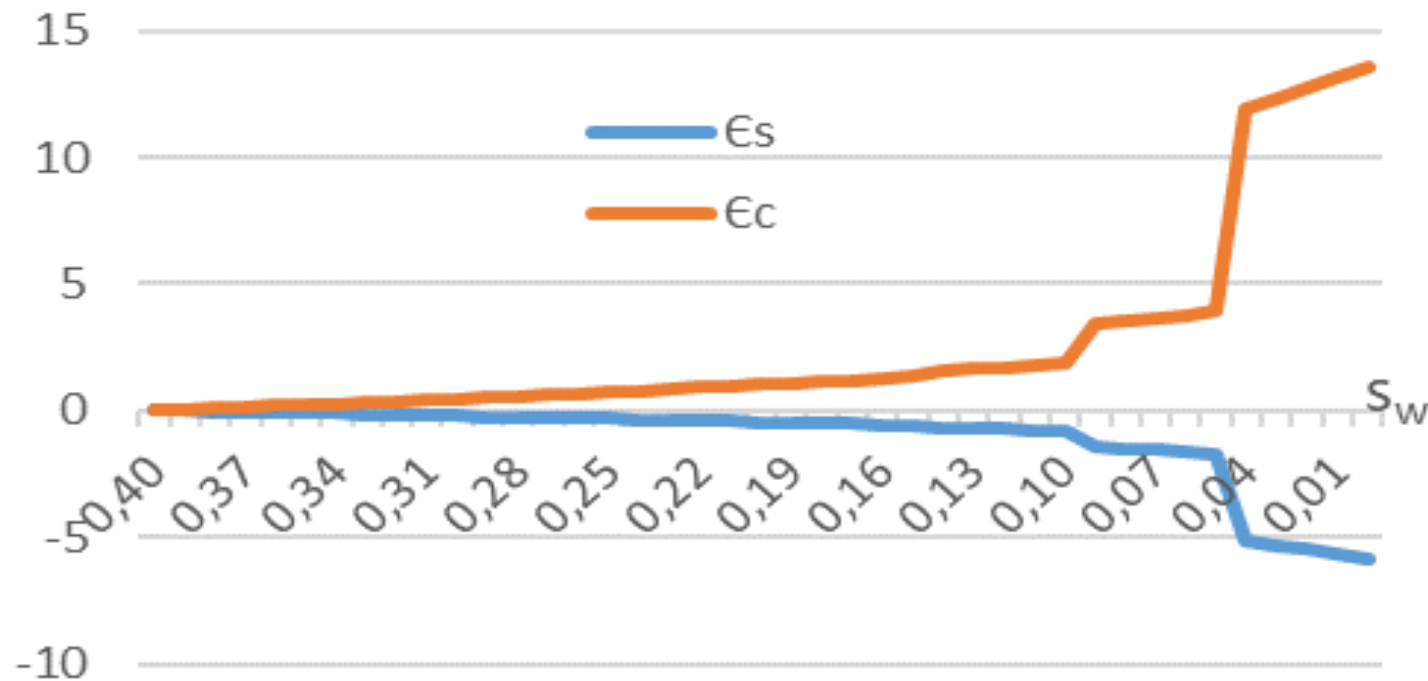
## Przykładowe zyski z przesunięcia zapotrzebowania do strefy pozaszczytowej

$$Z = \Delta E_p * k(s_w) * S_m + (E_p - \Delta E_p) * (S_m - k(s_w) * S_m) \quad (17)$$



Na podstawie wykresów przedstawionych można stwierdzić, że zyski procentowe uzyskiwane z redukcji w opłacie mocowej stanowią niewielki procent całych kosztów korzystania odbiorcy z energii elektrycznej. Przy redukcji opłaty  $S_m$  do 87% wartości początkowej jest to poniżej 2% kosztów, przy redukcji 50% to niecałe 4% a przy redukcji do 13% dochodzimy do 7% kosztów.

## Zmiany współczynników elastyczności w funkcji osiągniętych wartości parametru $s_w$



Osiągnięcie wymaganych poziomów redukcji obciążenia szczytowego wymaga znaczących poziomów współczynników elastyczności analizowanego odbiorcy. Jak widać z porównania bezwzględne wartości współczynników elastyczności bardziej proporcjonalnie odzwierciedlają zmienność zysku na skutek redukcji obciążenia w okresie szczytowym niż sama wartość tej redukcji  $\Delta E$ .

## Zmiany redukcji konsumpcji w okresach szczytowych przy zmianach parametrów taryfy

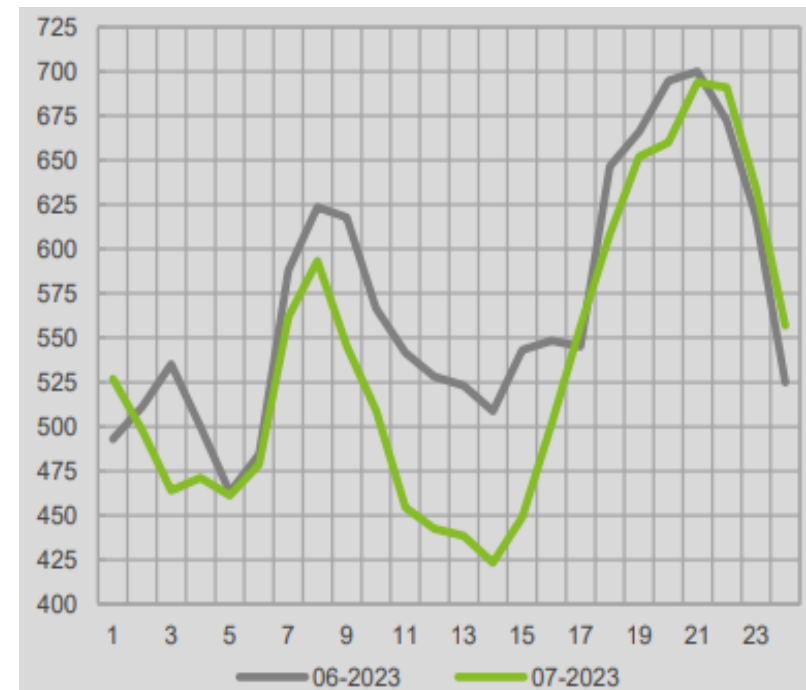
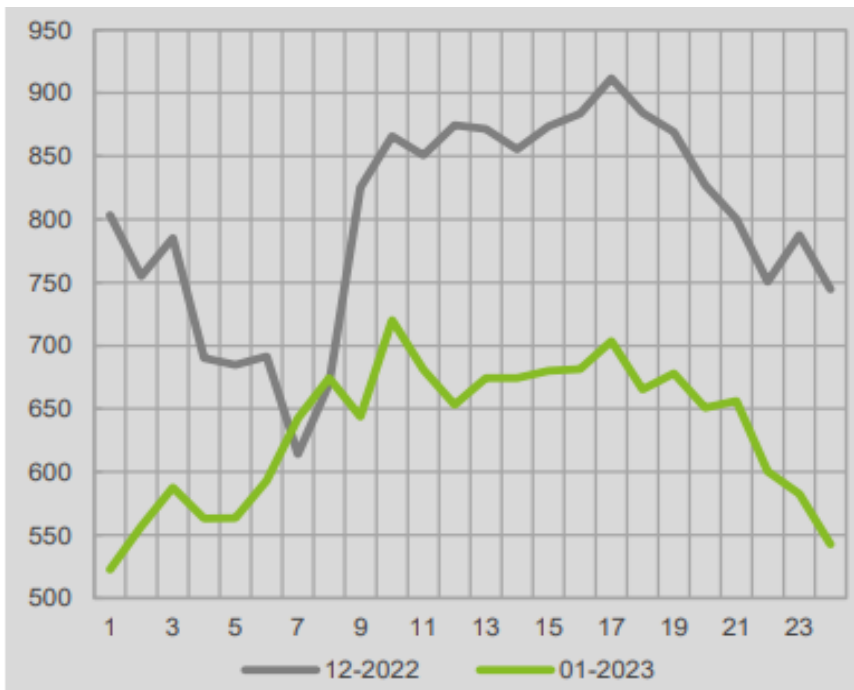
Czynnikiem wpływającym na siłę oddziaływania opłaty mocowej jest jej wartość w stosunku do innych kosztów użytkowania energii elektrycznej przez odbiorców. Zależność obrazującą ten wpływ można analizować na podstawie (18) powstałej przez podzielenie ograniczeń konsumpcji w okresie szczytowym wyznaczanych zgodnie z (13) dla dwóch okresów:

$$\Delta E_{p2} = \Delta E_{p1} \frac{\varepsilon_{s2}}{\varepsilon_{s1}} \frac{E_{p2}}{E_{p1}} \frac{k(s_{w2}) S_{m2}}{k(s_{w1}) S_{m1}} \frac{P_{f1}}{P_{f2}} \quad (18)$$

Przy założeniu, że stosunek  $E_{p2}/E_{p1}$  odzwierciedla przyrost rynku produktów końcowych odbiorcy, proporcjonalnych do zmian zużycia energii, z zależności (18) można wnioskować o wpływie pozostałych czynników na zmiany konsumpcji szczytowej. Założenie o stałej elastyczności cenowej popytu  $\varepsilon_s$  odbiorcy pozwala na oszacowanie zmian w konsumpcji w okresach szczytowych na skutek zmian cen w analizowanych okresach.

# Racjonalność ograniczania poboru energii w okresach zimowym i letnim

Poniżej przedstawiono zmienność miesięcznych średnioważonych cen energii dla poszczególnych godzin na podstawie sprawozdań TGE dla okresu zimowego i letniego. Z pobieżnej analizy wynika, że obecnie stosowane zróżnicowanie cen opłaty mocowej jest racjonalne dla okresu zimowego natomiast w okresie letnim bardziej korzystne wydaje się zastosowanie innych okresów wysokich stawek opłaty pokrywających się z okresami szczytowymi letnimi.



Zatem przykładowo jako zasadne okresy rozliczeń opłaty mocowej można przyjąć:

- okres zimowy: 7:00 – 22:00 (10 h),
- okres letni : 7:00 – 11:00 oraz 17:00 - 22:00 (9 h).

# Podsumowanie

1. Poznanie elastyczności cenowej popytu jest istotne dla prowadzenia procesu cenowego sterowania popytem.
2. Elastyczność  $\epsilon$  definiowana tylko na podstawie tylko oszczędności wolumenu energii, którą można nazwać elastycznością „energetyczną”, nie pokazuje wszystkich korzyści mogących wystąpić na skutek cenowego sterowania popytem.
3. Współczynniki elastyczności własnej  $\epsilon_s$  oraz wzajemnej  $\epsilon_c$  odbioru pozwalają odzwierciedlić zmiany występujące na skutek sterowania cenami zarówno jeśli chodzi o redukcję zużycia energii jak i o przesunięcie konsumpcji ze stref szczytowych do pozaszczytowych.
4. Znajomość współczynników elastyczności własnej i wzajemnej odbioru, przy założeniu ich liniowości przy niewielkich zmianach cen oraz okresów sterowania, pozwala modelować jego zachowanie w przypadku sterowania cenowego popytem.
5. Wyznaczenie elastyczności własnych i wzajemnych w skali dobowej, tygodniowej, miesięcznej czy też rocznej dla populacji odbiorców rozliczanych w grupach taryfowych będzie możliwe w oparciu o zarejestrowane pomiary konsumpcji energii tych grup przez liczniki zdalnego odczytu w systemie CSIRE.

Dziękuję za uwagę