



Magdalena WĘGLARZ

## ANALIZA KORZYŚCI DLA ŚRODOWISKA Z OTWARCIA LOKALNEGO RYNKU CIEPŁA

**Magdalena Węglarz**, dr inż. – Politechnika Wrocławska

adres korespondencyjny:  
Wydział Informatyki i Zarządzania  
ul. Łukasiewicza 5, 50-370 Wrocław  
e-mail: magdalena.weglarz@pwr.edu.pl

### ANALYSIS OF ENVIRONMENT BENEFITS IN CASE OF OPENING LOCAL HEAT MARKET

**SUMMARY:** In the article the new method of estimation the consumers' benefits on building the heating block producing heat with renewable energy resources (RES). The study applies to the situation when the new ecological heating company wants to enter to monopolized market. The analysis was based on game theory. The results of four games were compared in the article. There are two utility functions introduced: maximization of producers' profits and minimization of consumers' costs. For each utility function there two cases analyzed: when monopolist has to share the part of the market with new players following the market principles and when the heat produced on the basis of RES has the priority over conventional heat production.

**KEYWORDS:** cost and benefit analysis, game theory, local heat market

---

## Wstęp

W Polsce rynek ciepła jest rynkiem typowo lokalnym o strukturze monopolu. W większości przypadków na lokalnym rynku działa jeden producent, który jest jednocześnie dostawcą ciepła. Procesy liberalizacji, które na rynku energii w Polsce są mocno zaawansowane, na rynku ciepła przebiegają nieco wolniej. Obecnie rynek ciepła podlega przekształceniom, pojawiają się lokalne rynki, na których nastąpiło rozdzielanie produkcji ciepła i dystrybucji. Jednym z elementów skutecznego procesu liberalizacji jest powołanie niezależnego operatora systemu dystrybucyjnego (OSD) na danym rynku ciepła. Zasady działania operatora muszą być jasne i przejrzyste, gdyż to od niego zależą wielkości produkcji poszczególnych producentów ciepła. Kolejnym krokiem, który już można zaobserwować na niektórych rynkach, jest pojawianie się nowego producenta ciepła.

W artykule został przedstawiony rynek ciepła w typowym mieście, w którym funkcjonuje jeden producent ciepła, zaspokajający potrzeby całego miasta. Producent ten jest właścicielem kilku źródeł ciepła, opartych na węglu oraz współspalaniu biomasy. Zakładamy, że nie jest on producentem ekologicznego ciepła. Właścicielem sieci dystrybucyjnej jest przedsiębiorstwo sieciowe odpowiedzialne za dostarczanie ciepła odbiorcom. Przedsiębiorstwo to pełni funkcję operatora sieci dystrybucyjnej. Na rynek wchodzi nowy producent. Nowy producent będzie produkował ciepło wyłącznie oparte na odnawialnych źródłach energii (OZE), jednakże jego możliwości produkcji nie mogą w pełni zaspokoić zapotrzebowania całego miasta. Nie analizujemy kosztów inwestycji ani jej lokalizacji, interesuje nas tylko aspekt korzyści dla środowiska i kosztów ciepła dla odbiorców.

W dalszej części artykułu rozważono dwie możliwości wyznaczania ceny rozliczeniowej, czyli ceny sprzedaży ciepła dla odbiorców. Pierwsza dotyczy sytuacji, gdy cena rozliczeniowa wynika z krzywej popytu dla całej gałęzi. Na podstawie analizy dostępnej literatury przyjęto, że krzywa popytu na ciepło nie jest linią pionową<sup>1</sup>, tylko jest funkcją malejącą ceny. Druga dotyczy sytuacji, gdy OSD ustala wielkości produkcji dla każdego podmiotu, biorąc pod uwagę ich średnie koszty i preferencje odnośnie pierwszeństwa produkcji ciepła z OZE. W tym wypadku przyjęto określoną marżę zysku dla obu podmiotów.

---

<sup>1</sup> Co mogłoby mieć miejsce jedynie w przypadku czystego monopolu.

Przedstawiony w artykule problem jest kontynuacją rozważań przedstawionych we wcześniejszej pracy<sup>2</sup>, gdzie analizowano działania monopolisty z punktu widzenia odstraszenia strategicznego. W niniejszym artykule jest analizowany dalszy etap rozwoju rynku, czyli sytuacja, gdy nowy producent wchodzi na rynek. Pojawiają się pytania: Jak ocenić czy korzystne jest wejście na rynek nowego podmiotu? Dla kogo jest to korzystne? Jeśli dla odbiorcy, to jak to policzyć? Jeśli dla otoczenia – środowiska, to również jak to ocenić?

W artykule został zaproponowany sposób oszacowania korzyści dla mieszkańców z tytułu wybudowania nowego bloku ciepłowniczego, produkującego ciepło oparte o OZE, dla którego oczekuje się zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych i pyłów. Ocena korzyści wiąże się z różnymi aspektami, pierwszy z nich dotyczy cen ciepła dla odbiorcy końcowego po wejściu nowego producenta, drugi dotyczy ochrony środowiska, a dokładnie wysokości emisji gazów cieplarnianych i pyłów z obu źródeł ciepła, trzeci dotyczy problemu wyczerpywania zasobów naturalnych i zwiększenia dywersyfikacji dostaw paliw pierwotnych, czwarty dotyczy zwiększania produkcji ciepła ze źródeł odnawialnych. W dalszej części został przedstawiony pierwszy z wyżej wymienionych aspektów.

## Analiza kosztów i korzyści

„Analiza kosztów i korzyści stanowi metodę oceny przedsięwzięć i programów realizowanych w ramach sektora publicznego”<sup>3</sup>. Celem analizy kosztów i korzyści jest przeanalizowanie wpływu przedsięwzięcia na dobrobyt społeczny na obszarze, na którym jest realizowana dana inwestycja (na przykład regionu, kraju). Cechami charakterystycznymi dla tego rodzaju inwestycji są zarówno stosunkowo wysokie wydatki inwestycyjne, jak i pewna uciążliwość realizacji przedsięwzięcia inwestycyjnego lub/i jej eksploatacji dla społeczeństwa. Argumentami za realizacją takich przedsięwzięć inwestycyjnych są korzyści, jakie będzie czerpać społeczeństwo po oddaniu inwestycji do użytkowania.

Dla każdego wariantu działania analizę wykonujemy w trzech etapach<sup>4</sup>:

- I) identyfikacja wszystkich skutków tego działania (korzystnych i niekorzystnych) dla wszystkich członków społeczeństwa, których działanie dotyczy;
- II) wycena tych różnych korzyści i kosztów w kategoriach pieniężnych;

<sup>2</sup> E. Ropuszyńska-Surma, M. Węglarz, *Strategia zachowań przedsiębiorstw na rynku ciepła*, „*Ekonomometria*” 2012 nr 4(38), s. 145-156.

<sup>3</sup> W. Samuelson, S. Marks, *Ekonomia menedżerska*, Warszawa 2009, s. 637.

<sup>4</sup> *Ibidem*, s. 641-643.

III) zalecenie realizacji danego wariantu wtedy i tylko wtedy, gdy jego wynikiem jest korzyść społeczna netto, czyli nadwyżka całkowitych korzyści nad całkowitymi kosztami.

Najtrudniejsze problemy z wyceną powstają tam, gdzie koszty i korzyści są niepewne, nie powstają na rynku, są niematerialne lub oczekuje się ich w odległej przyszłości. Charakter niematerialny mają właśnie koszty w postaci zanieczyszczenia środowiska. Niniejszy artykuł dotyczy oceny korzyści dla środowiska z tytułu likwidacji emisji gazów cieplarnianych i pyłów, a zatem wyceny dobra niebędącego przedmiotem obrotu rynkowego. Kiedy nie ma cen rynkowych, niezbędne jest zastosowanie specjalnych metod wyceny. Istnieją różne sposoby wyceny dóbr niebędących przedmiotem obrotu rynkowego. Jednym z nich jest ustalanie wartości na podstawie średnich cen rynkowych. Wnioski dotyczące wartości dóbr niebędących przedmiotem obrotu rynkowego można wyprowadzić z obserwacji zachowania jednostek na innych, „pokrewnych” rynkach<sup>5</sup>. Można też wyceniać straty i korzyści, opierając się na metodzie skłonności do płacenia. Metoda ta ma na celu ocenę skłonności ludzi do przeznaczania własnych dochodów na przykład zachowanie lub poprawę istniejących warunków ekologicznych. Inną metodą jest metoda kosztów podróży, która opiera się na fakcie, że konsumenci ujawniają swoją wycenę środowiska przez faktyczną konsumpcję, w tym wypadku przez wydatki związane z podróżą<sup>6</sup>.

W artykule zaproponowano inne podejście. Korzyści dla środowiska z tytułu zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych i pyłów, oceniamy mierząc, ile konsumenci są w stanie zapłacić za droższe, bardziej ekologiczne ciepło, otrzymując w konsekwencji czystsze powietrze.

## Zastosowanie teorii gier

Przeprowadzona analiza dotyczy sytuacji, gdy na zmonopolizowany rynek wchodzi nowy producent. Firma będąca na rynku jest właścicielem konwencjonalnej ciepłowni, a nowy podmiot planuje budowę nowego bloku ciepłowniczego opartego na OZE. Analizujemy sytuację, gdy monopolista zgadza się na udział w rynku nowego gracza. Analiza została wykonana z wykorzystaniem teorii gier, która może być zastosowana jedynie w sytuacji oligopolu, którego szczególnym przypadkiem jest duopol. Na analizowanym rynku ciepła występują silne zależności pomiędzy poszczególnymi podmiotami, są bardzo duże bariery wejścia, produkt jest jednorodny, a na rynku działają dwie firmy, więc rynek ma formę oligopolu.

<sup>5</sup> Ibidem, s. 650-653.

<sup>6</sup> M. Solińska, I. Soliński, *Efektywność ekonomiczna proekologicznych inwestycji rozwojowych w energetyce odnawialnej*, Kraków 2003, s. 32-33.

Teoria gier zajmuje się logiczną analizą sytuacji konfliktu i kooperacji. O grze w rozumieniu teorii gier można mówić, gdy spełnione są następujące warunki<sup>7</sup>:

- można wskazać co najmniej dwóch graczy, którymi mogą być podmioty gospodarcze,
- każdy gracz ma do wyboru pewną liczbę strategii, które określają sposób rozgrywania przez niego gry,
- gracze zachowują się racjonalnie, każdy dąży do maksymalizacji funkcji celu,
- wynik gry jest wyznaczony przez kombinację strategii poszczególnych graczy,
- każdemu wynikowi gry odpowiada zestaw wypłat dla graczy wyrażony liczbowo, wyznaczony na podstawie funkcji celu.

Gracze wpływają na przebieg gry, wybierając swoje strategie, jednak ostateczny wynik gry zależy nie tylko od danego gracza, ale również od decyzji innych uczestników. W artykule skupiono się na grach niekooperacyjnych, czyli takich gdzie gracze rywalizują między sobą o udział w rynku. Zaproponowana gra jest grą dwuosobową o sumie niezerowej.

W artykule przedstawiono wyniki czterech gier. Zaproponowano dwie różne funkcje celu, pierwsza z nich to maksymalizacja zysków producentów, a druga to minimalizacja kosztów konsumentów. Dla każdej funkcji celu zaproponowano dwa przypadki. Pierwszy, gdy monopolista musi podzielić się udziałem w rynku z nowym graczem na zasadach rynkowych jednakże bez żadnych preferencji. Drugi, gdy preferujemy produkcję ciepła z OZE, dając pierwszeństwo udziału w rynku nowemu podmiotowi, co powoduje, że ciepło z OZE ma pierwszeństwo w obciążeniach grafików.

## Modelowanie funkcji wypłat

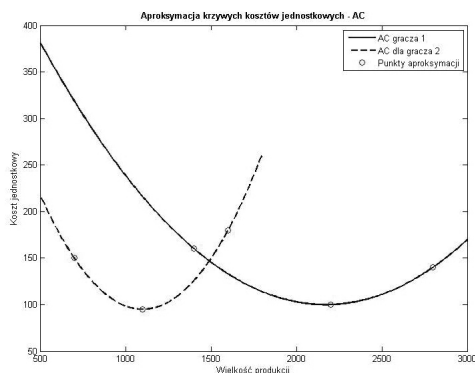
Zgodnie z modelem Cournota, który jest najbardziej odpowiedni z racji specyfiki rynku ciepła, przyjęto, że strategiami graczy są ich wielkości produkcji  $q_i$ , które są wzajemnie ze sobą powiązane. Wielkość całego rynku ciepła jest sumą produkcji obu graczy i oznaczono ją jako  $Q = q_1 + q_2$ . Przyjęto ograniczenie wielkości produkcji dla całego rynku ciepła na poziomie  $Q_{max} = 2750 \text{ GWh}$ . Przyjęto również, że dla gracza A maksymalna wielkość produkcji wynosi  $2500 \text{ GWh}$ , a dla gracza B –  $1500 \text{ GWh}$ . Natomiast wielkości produkcji dla poszczególnych graczy, przy których przedsiębiorstwa osiągają najniższe koszty przeciętne, wynoszą odpowiednio:  $Q_A = 2170 \text{ GWh}$  i  $Q_B = 1080 \text{ GWh}$ .

<sup>7</sup> P.D. Straffin, *Teoria gier*, Warszawa 2004, s. 1-2.

Zdefiniowano funkcję użyteczności poszczególnych graczy jako różnicę między przychodami i kosztami całkowitymi<sup>8</sup>:

$$TP_i = p_i * q_i - TC_i, \quad i \in \{1,2\} \quad (1)$$

Aby obliczyć macierze wypłat dla graczy, w przypadku wyboru różnych strategii, należy zamodelować krzywą kosztów przeciętnych poszczególnych graczy. Na podstawie analiz przeprowadzonych w wybranym przedsiębiorstwie ciepłowniczym, otrzymano kilka punktów leżących na krzywej kosztów przeciętnych. Przy wykorzystaniu tych punktów aproksymowano równanie krzywej dla gracza A. Natomiast krzywą kosztów przeciętnych gracza B aproksymowano opierając się na danych z podobnego bloku działającego w innym mieście.



Rysunek 1. Krzywe kosztów jednostkowych i punkty aproksymacji

Na rysunku 1 przedstawiono punkty aproksymacji oraz obliczone krzywe kosztów przeciętnych, dla których wyznaczono następujące parametry równań:

$$AC_1 = 0,0001 * q_1^2 - 0,4393 * q_1 + 576,7 \quad (2)$$

$$AC_2 = 0,0003 * q_2^2 - 0,7525 * q_2 + 509,33 \quad (3)$$

Aby istniała równowaga Nasha w analizowanej grze, czyli, aby gra miała tylko jedno rozwiązanie, musi być spełniony warunek (4).

$$\frac{\partial TP_1}{\partial q_1} = 0; \quad \frac{\partial TP_2}{\partial q_2} = 0; \quad (4)$$

<sup>8</sup> P.D. Straffin, *Teoria gier*, Warszawa 2004, s. 154.

Rozwiązaniem powyższego warunku jest układ równań kwadratowych, dla których wyznacznik delta jest większy od zera, co oznacza, że równania te mają rozwiązanie w zbiorze liczb rzeczywistych.

### Maksymalizacja zysków

Zakładamy, że nie ma żadnych preferencji odnośnie wielkości produkcji, cena rozliczeniowa  $p_d$  jest wyznaczona na podstawie krzywej popytu. Obaj gracze ustalają wielkości produkcji przyjmując za cel maksymalizację zysków. Funkcja celu jest postaci:

$$TP_i = p_d * q_i - AC_i * q_i = (p_d - AC_i) * q_i, \quad i \in \{1,2\} \quad (5)$$

gdzie krzywa popytu jest bardzo stroma, i dana jest równaniem:

$$p_d = 398 - 0,108 * (q_1 + q_2) \quad (6)$$

Rozwiązaniem Gry 1 jest punkt równowagi Nasha, w którym  $q_1 = 1600$  *GWh*, a  $q_2 = 950$  *GWh*. Dla tak ustalonych wielkości produkcji Gracz A ponosi stratę wysokości 16 411 tys. zł, natomiast Gracz B osiąga zysk wysokości 18 798 tys. zł. Cena ciepła w punkcie równowagi wynosi 122,6 zł/MWh.

Jeśli przyjmiemy założenie, że produkcja ciepła z OZE ma preferencje w pokrywaniu zapotrzebowania na rynku, to w konsekwencji Gracz B jako pierwszy ustala wielkości produkcji. Natomiast Gracz A jako drugi podejmuje decyzję o wielkości produkcji. Rozwiązaniem Gry 2 jest punkt równowagi Nasha, w którym  $q_1 = 1500$  *GWh*, a  $q_2 = 1000$  *GWh*. W tym przypadku również Gracz A ponosi stratę wysokości 26 125 tys. zł a gracz B osiąga zyski wysokości 29 500 tys. zł. Cena ciepła w punkcie równowagi wynosi 128 zł/MWh. Jest ona o 5,4 zł większa niż we wcześniejszej grze, gdy nie ma preferencji odnośnie produkcji ciepła z OZE.

Analizując obie gry, otrzymujemy informację, że pomimo maksymalizacji zysków gracz A ponosi straty. Straty te są związane z zaproponowanym mechanizmem wyznaczania ceny rozliczeniowej. W rzeczywistości ceny na rynku ciepła podlegają taryfikacji, toteż gdybyśmy zastosowali mechanizm wyznaczania ceny rozliczeniowej oparty na cenach taryfowych, otrzymalibyśmy znacznie wyższe ceny ciepła i jednocześnie znacznie wyższe funkcje wypłat, głównie dla Gracza A.

### Minimalizacja kosztów

Rozważono grę gdy na rynku działa OSD, który wyznacza wielkości produkcji na podstawie informacji o kosztach jednostkowych, przyjmując jako funkcję celu minimalizację ceny końcowej dla konsumenta. Nie mogą obie

firmy produkować przy swojej optymalnej wielkości produkcji, gdyż na rynku nie ma takiego zapotrzebowania. Zachodzi konieczność ustalenia przez OSD takich wielkości produkcji, dla których koszty ponoszone przez konsumenta są najniższe. Funkcją celu to minimalizacja kosztów konsumenta, który płaci cenę rynkową za ilość równowagi.

Obecnie na rynku cena  $P_i$  jaką przedsiębiorstwo otrzymuje za sprzedaż ciepła jest ściśle związana z kosztami przeciętnymi  $AC_i$  ponoszonymi przez przedsiębiorstwo i podlega taryfikacji przez URE. Przez co jest ona stała i jest większa od kosztów przeciętnych, gdyż uwzględniona jest w niej marża przedsiębiorstwa ciepłowniczego. Przyjęto, na podstawie analizy przykładowego przedsiębiorstwa ciepłowniczego, że marża  $M$  wynosi 10%, a ceny taryfowe dane są wzorem:

$$p_{ti} = M * AC_i(q_i), \quad i \in \{1,2\} \quad (7)$$

W tym wypadku kluczowy jest kształt krzywej AC poszczególnych graczy, bo od niego zależą wartości cen taryfowych, liczone dla różnych wielkości produkcji, brane do wyliczenia ceny rynkowej. Krzywe kosztów przeciętnych nie były modyfikowane.

Cena rynkowa jest średnią cen taryfowych ważoną wolumenem produkcji, zgodnie ze wzorem:

$$p_r = p_{t1} * w_1 + p_{t2} * w_2, \quad \text{gdzie } w_1 + w_2 = 1 \quad (8)$$

Funkcją celu jaką jest minimalizacja kosztów konsumentów została zdefiniowana jako minimalizacja ceny rozliczeniowej:

$$\min_q(p_r) = \min_q(p_{t1} * w_1 + p_{t2} * w_2), \quad \text{gdzie } w_1 = \frac{q_1}{Q}, w_2 = \frac{q_2}{Q} \quad (9)$$

Rozwiązaniem Gry 3, przy założeniu że nie ma preferencji odnośnie produkcji ciepła z OZE, jest punkt  $q_1 = 1750 \text{ GWh}$ , i  $q_2 = 850 \text{ GWh}$ . Cena ciepła w punkcie równowagi wynosi 129,14 zł/MWh. W tym przypadku Gracz A osiąga zyski wysokości 20 617 tys. zł a gracz B zyski wysokości 9 908 tys. zł.

Natomiast rozwiązaniem Gry 4, w której nowy ekologiczny producent ma pierwszeństwo w ustalaniu wielkości produkcji, jest punkt  $q_1 = 2000 \text{ GWh}$ , a  $q_2 = 750 \text{ GWh}$ . Obaj gracze również w tym przypadku osiągają zyski, Gracz A – 20 571 tys. zł, a Gracz B – 10 286 tys. zł. Natomiast cena rozliczeniowa wynosi 136,5 zł/MWh i jest o 7,36 zł większa niż we wcześniejszej grze, gdy nie ma preferencji odnośnie produkcji ciepła z odnawialnych źródeł energii.



## Wyniki gier

Wyniki opisanych powyżej gier zestawiono w tabeli 1. W ostatniej kolumnie obliczono różnicę w cenie 1 *MWh*, gdy będziemy preferowali produkcję ciepła z OZE. W obu przypadkach cena jest wyższa, przy czym różnica między grą 1 i 2 jest mniejsza, co jest związane z bardziej rynkową formą wyznaczania ceny rozliczeniowej. Większa różnica pomiędzy grą 3 i 4 jest związana z założoną wysokością marży zysku obu producentów i mechanizmem wyznaczania ceny rozliczeniowej. Mechanizm ten jest bardziej zbliżony do obecnie obowiązującego niż w przypadku gry 1 i 2. Wyższa cena wiąże się z wyższymi kosztami produkcji bardziej ekologicznego ciepła, co jest odzwierciedlone w krzywej kosztów przeciętnych.

Tabela 1. Punkty równowagi, cena rozliczeniowa i zyski graczy

Gra	Q1 [GWh]	Q2 [GWh]	TP1 [tys. zł]	TP2 [tys. zł]	Cena [zł/MWh]	Różnica
Max zysk	1600	950	-16 411	18 798	122,6	5,4 zł
Max zysk – OZE	1500	100	-26 125	29 500	128,0	
Min kosztów	1750	850	20 617	9 908	129,14	7,36 zł
Min kosztów – OZE	2000	750	20 571	10 286	136,5	

Aby oszacować korzyści dla mieszkańców związane z likwidacją emisji gazów cieplarnianych i pyłów przyjęto, że maksymalna roczna wielkość zapotrzebowania na rynku ciepła wynosi  $Q_{max} = 2750$  GWh. Zatem, ile jest warte czyste powietrze dla mieszkańców miasta? Jeśli przyjmiemy, że funkcją celu jest maksymalizacja zysków, to roczne korzyści wynoszą: 14 850 tys. zł. Jeśli przyjmiemy, że funkcją celu jest minimalizacja kosztów konsumentów, to roczne korzyści wynoszą: 20 240 tys. zł. Przedstawione dane zostały zmodyfikowane, gdyż przedsiębiorstwa ciepłownicze nie wyraziły zgody na ich ujawnianie. Proporcje jednak zostały zachowane.

## Podsumowanie

Zaproponowany mechanizm może stosować operator systemu dystrybucyjnego lub władza lokalna, która ma obowiązek zapewnienia dostaw ciepła mieszkańcom, na rynku ciepła. Jeśli władza lokalna rozważy wybudowanie nowego bloku ciepłowniczego, to przedstawione narzędzie pomoże w ocenie przyszytych kosztów dla konsumentów i dla środowiska. Ocena inwestycji

infrastrukturalnej wiąże się analizą kosztów i korzyści dla danego społeczeństwa. Największy problem w tej metodzie to wycena dóbr niebędących przedmiotem obrotu rynkowego. W artykule zaproponowano nowe podejście do ich wyceny, a mianowicie korzyści dla środowiska z tytułu zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych i pyłów, oceniamy mierząc ile konsumenci są w stanie zapłacić za droższe i bardziej ekologiczne ciepło, otrzymując w konsekwencji czystsze powietrze.

## Literatura

- Ropuszyńska-Surma E., Węglarz M., *Strategia zachowań przedsiębiorstw na rynku ciepła*, „*Ekonometria*” 2012 nr 4(38)
- Samuelson W., Marks S., *Ekonomia menedżerska*, Warszawa 2009
- Solińska M., Soliński I., *Efektywność ekonomiczna proekologicznych inwestycji rozwojowych w energetyce odnawialnej*, Kraków 2003
- Straffin P.D., *Teoria gier*, Warszawa 2004