



opracował: prof. dr hab. inż. Józef Paska, mgr inż. Piotr Marchel

Ćwiczenie nr 2. Ocena kosztów produkcji w sektorze paliw i energii

1. Cel ćwiczenia

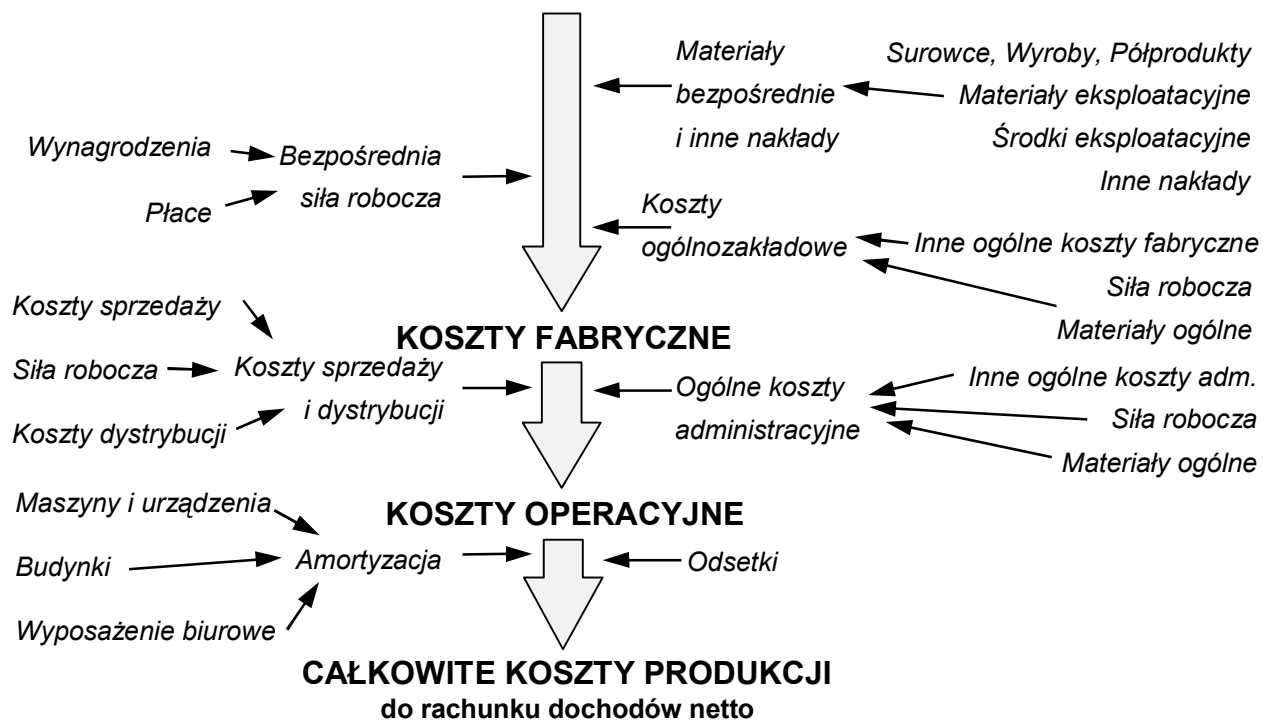
Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z podstawowymi zasadami oceny kosztów w sektorze paliw i energii oraz zdobycie umiejętności korzystania z funkcji arkusza kalkulacyjnego Excel do ich realizacji.

2. Wstęp

a) Koszty stałe, zmienne, jednostkowe i krańcowe

Całkowite koszty produkcji oblicza się zgodnie z przedstawionym na rys. 2 schematem, z którego wynika że:

- na koszty fabryczne składają się koszty bezpośrednie oraz koszty wydziałowe;
- koszty operacyjne są sumą kosztów fabrycznych, ogólnoadministracyjnych oraz kosztów sprzedaży i dystrybucji;
- na koszty całkowite składają się koszty operacyjne, koszty finansowe (odsetki od kredytów) oraz amortyzacja.



Rys. 1. Elementy kosztów produkcji

Kryterium reakcji kosztów na zmiany wielkości produkcji pozwala podzielić je na stałe i zmienne. Do stałych zalicza się koszty niezależne od bieżących zmian wielkości produkcji i są to głównie koszty ogólnozakładowe, amortyzacja (gdy jej kalkulacja jest oparta na bazie czasowej), długookresowe usługi umowne, czynsze, wynagrodzenia administracji. Koszty zmienne zależą od wielkości wykonanej produkcji - rosną wraz z jej wzrostem.

$$TC = FC + VC, \quad (1)$$

gdzie: TC - całkowity koszt wytworzenia, FC - koszty stałe, VC - koszty zmienne.

Z punktu widzenia reagowania kosztów na wielkość produkcji (koszty wytwarzania) lub dostaw energii odbiorcom dzieli się je na koszty (względnie) stałe i koszty zmienne.

Koszty zmienne wytwarzania energii - to koszty silnie zależne od wielkości produkcji, natomiast **koszty stałe** - to koszty zasadniczo niezależne - w krótkich przedziałach czasowych - od wielkości produkcji. Poszczególne elementy kosztów w istocie prawie nigdzie nie występują w formie czystej jako koszty absolutnie zmienne lub absolutnie stałe.

W elektroenergetyce koszty zmienne wytwarzania energii utożsamia się zwykle z kosztami paliwa produkcyjnego, z którymi wiążą się ściśle koszty zakupu (w tym głównie koszty transportu) oraz opłaty za korzystanie ze środowiska. Charakteru kosztów zmiennych nie mają jednak koszty związane z utrzymywaniem zmechanizowanych urządzeń transportu paliwa i nawęglania (ich poziom nie zależy bezpośrednio od ilości zużywanego paliwa). Element kosztów zmiennych wytwarzania energii cieplnej stanowią natomiast koszty energii elektrycznej zużytej do produkcji ciepła.

Do kosztów zmiennych energii elektrycznej dostarczonej odbiorcom zalicza się koszty zmienne wytwarzania oraz koszty energii zakupionej od dostawców spoza energetyki zawodowej, przeznaczonej do dalszej odsprzedaży.

Koszty zmienne wytwarzania energii są utożsamiane z **kosztami energii**, zaś koszty stałe z **kosztami mocy**.

Jednostką kalkulacyjną energii elektrycznej jest MW·h (lub kW·h) wytworzonej energii netto (koszty wytwarzania) lub dostarczonej odbiorcom (koszty przesyłania, rozdziału i obsługi odbiorców), zaś energii cieplnej - GJ ciepła przeznaczonego na cele technologiczne i grzewcze.

Koszty jednostkowe (przeciętne) są to koszty przypadające na jednostkę kalkulacyjną energii. W przypadku wytwarzania energii elektrycznej wyrażają one koszty 1 MW·h (lub kW·h) oddanej do wspólnej sieci energetyki zawodowej.

Koszty jednostkowe mogą być wykazywane jako koszt łączny (całkowity) lub w rozbiciu na koszt stały i zmienny. Ponadto koszt stały może być wyliczony na MW mocy osiągalnej (średnia z dni kalendarzowych) albo dyspozycyjnej brutto lub netto (średnia z dni roboczych). Koszt stały ciepła - na MW mocy osiągalnej cieplnej (średnia z dni kalendarzowych).

W krajach o gospodarce rynkowej wykorzystuje się koncepcję kosztów krańcowych; np. Bank Światowy zaleca ich stosowanie przy projektowaniu taryf energii. Koszty krańcowe odzwierciedlają zmianę kosztów całkowitych w wyniku wzrostu (lub spadku) produkcji o jednostkę. Wyróżnia się: koszty krańcowe (marginalne) krótkookresowe (*Short-Run Marginal Costs* - **SRMC**), oraz koszty krańcowe długookresowe (*Long-Run Marginal Costs* - **LRMC**).

Koszty krańcowe krótkookresowe są określane jako koszt poniesiony dla zwiększenia (lub zmniejszenia) podaży energii o relatywnie małą wielkość w sytuacji istniejących (ustalonych) zdolności wytwórczych, przesyłowych i rozdzielczych systemu. Koszty te równają się zatem kosztom zmiennym (koszty paliw, koszty wody w zbiornikach elektrowni wodnych) pokrycia niewielkiego zwiększenia zapotrzebowania (popytu) energii, gdy zapotrzebowanie to pozostaje w granicach istniejących zdolności oraz kosztom związanym z ograniczaniem zapotrzebowania gdy jest ono wyższe.

Koszty krańcowe długookresowe są określane jako przyrost kosztów całkowitych ponoszony dla zwiększenia podaży energii w dłuższym okresie w wyniku znacznego wzrostu popytu, tj. w sytuacji gdy zdolności wytwórcze, przesyłowe i rozdzielcze systemu mogą być zmieniane. Zawierają one zatem oprócz kosztów zmiennych także przyrost kosztów stałych (koszty nowych elektrowni, linii przesyłowych i rozdzielczych, urządzeń przesyłowych i rozdzielczych).

Zależności wiążące poszczególne kategorie kosztów są następujące:

$$TC = TFC + TVC, ATC = AFC + AVC \quad (2)$$

$$ATC = \frac{TC}{q}, AFC = \frac{TFC}{q}, AVC = \frac{TVC}{q}, MC = \frac{\Delta TC}{\Delta q} \quad (3)$$

gdzie:

TC - koszty całkowite (*total costs*);

TFC - koszty stałe (*total fixed costs*);

TVC - koszty zmienne (*total variable costs*);

ATC - koszty jednostkowe - przeciętne (*average total costs*);

AFC - jednostkowy (przeciętny) koszt stały;

AVC - jednostkowy (przeciętny) koszt zmienny;

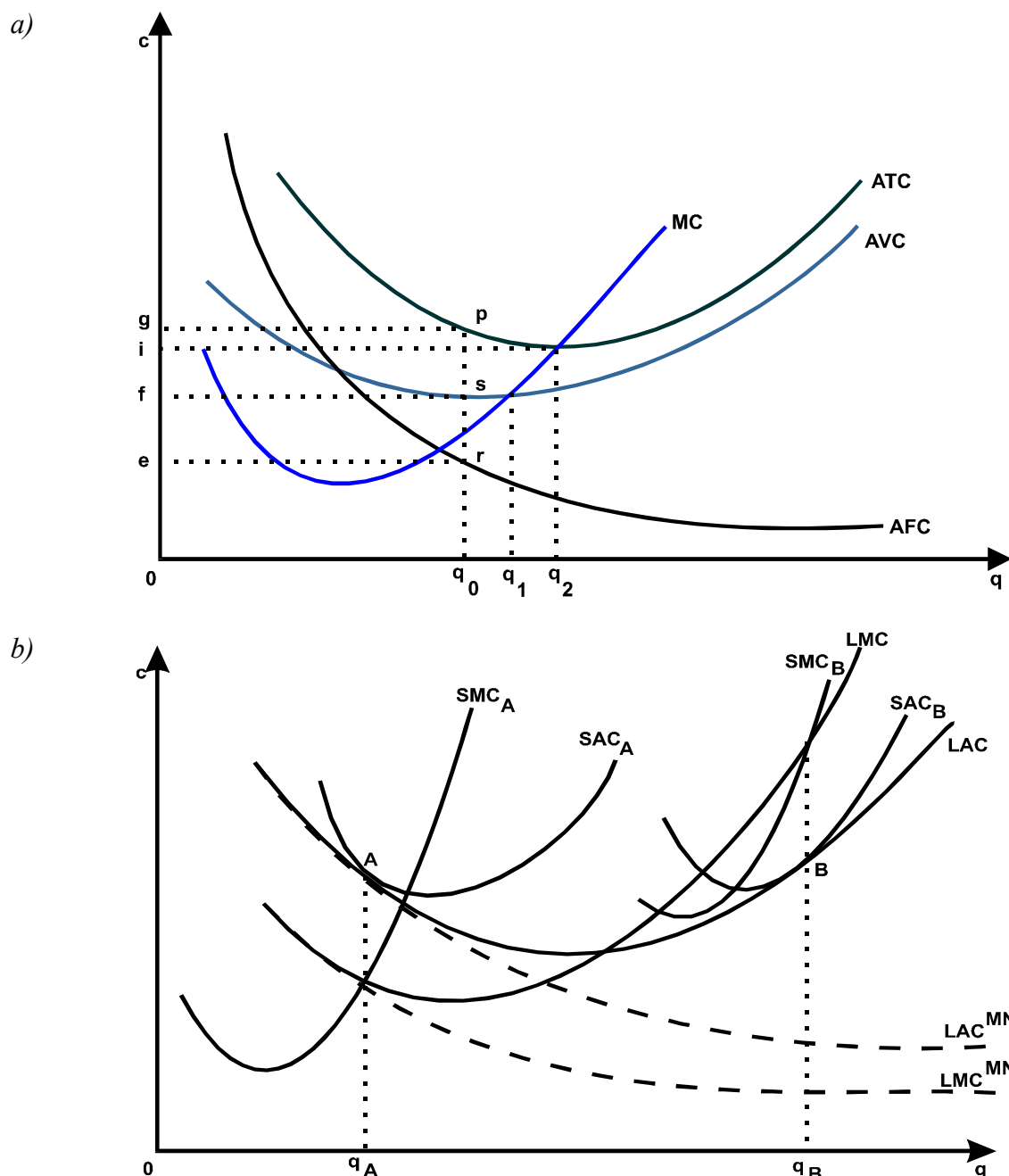
MC - koszty krańcowe (*marginal costs*);

q - wielkość produkcji.

Zmienność kosztów w zależności od rozmiarów produkcji zilustrowano na rys. 2.

Relacje pomiędzy kosztami na rys. 2a wskazują, że ze wzrostem skali produkcji rosną wszystkie koszty poza przeciętnymi kosztami stałymi. Przeciętny koszt zmienny osiąga minimum przy poziomie produkcji niższym od tego, przy którym swoje minimum ma przeciętny koszt całkowity. Przy najniższym jednostkowym koszcie produkcji następuje zrównanie kosztów krańcowych z przeciętnymi kosztami całkowitymi.

Analiza kosztów w długim okresie (rys. 2b) odnosi się do sytuacji, w których firma zmienia wielkość i strukturę swego wyposażenia kapitałowego. Zatem, wszystkie koszty długookresowe są zmienne. Przeciętny koszt produkcji dla różnych jej poziomów jest wyznaczony przez krzywą **przeciętnego kosztu długookresowego** (LAC). Punkt A wyznacza optymalną strukturę kapitałową dla poziomu produkcji q_A i najniższą odpowiadającą jej wartość LAC, lecz nie jest punktem minimalnym na krzywej SAC. Spadek LAC jest wynikiem korzyści skali produkcji, polegających na obniżce kosztów w efekcie rozszerzonego zużycia zasobów.



Rys. 2. Rys. 2. Koszty działalności przedsiębiorstwa w krótkim (a) i długim (b) okresie:
 q_1 - wielkość produkcji, której odpowiadają najmniejsze jednostkowe koszty zmienne;
 q_2 - wielkość produkcji, której odpowiadają najmniejsze jednostkowe (przeciętne) koszty całkowite; SAC - krótkookresowe przeciętne koszty całkowite; LAC - długookresowe przeciętne koszty całkowite; LTC - długookresowy koszt całkowity, $LTC = LAC \cdot q$; LMC - długookresowy koszt krańcowy (wzrost kosztów całkowitych LTC w długim okresie, spowodowany wzrostem produkcji o jednostkę); LAC^{MN}, LMC^{MN} - koszty długookresowe (przeciętne i krańcowe) w sytuacji monopolu naturalnego

Korzyści skali są charakterystyczne dla większości sytuacji produkcyjnych. W większości przypadków również, od pewnego poziomu produkcji pojawia się dysekonomia skali - wyższe koszty zarządzania, spadek efektywności, itd. - krzywa LAC odchyła się ku górze. Wyjątek stanowią **monopole naturalne** - gałęzie wytwórczości, w których długookresowe koszty przeciętne i krańcowe stale obniżają się wraz ze wzrostem produkcji. W takiej gałęzi jedna

firma może zwiększać skalę swego działania, obniżać koszty i eliminować cenowo inne firmy o mniejszej skali i wyższych kosztach produkcji. Podsektory elektroenergetyki: przesył i dystrybucja mają wiele cech monopolu naturalnego.

b) Ocena ekonomiczna w warunkach niepewności i próg rentowności

Ocena efektywności i wybór projektu są utrudnione ze względu na niepewność związaną z przewidywaniem dotyczącym kształtowania się wpływów ze sprzedaży, kosztów oraz nakładów inwestycyjnych.

Przyczynami niepewności są m.in. inflacja, zmiany technologii, błędna ocena zdolności produkcyjnych oraz czasu budowy i rozruchu obiektu.

W celu uzyskania dodatkowych informacji pozwalających na podjęcie decyzji dokonuje się oceny progu rentowności oraz analizy wrażliwości.

W analizach tych wykorzystuje się miernik BEP (*break-even point*), który określa wielkość produkcji, przy której dochody ze sprzedaży są równe kosztom produkcji. Jest to minimalna wielkość produkcji, jaką musi osiągnąć przedsiębiorstwo, aby nie ponosić strat. Proóg rentowności można wyznaczyć w sposób graficzny (rys. 1), jak również analitycznie za pomocą formuły:

$$BEP_1 = \frac{FC}{c - AVC}, \quad (4)$$

gdzie:

BEP_1 - progowa wielkość produkcji (w wyrażeniu ilościowym);

c - jednostkowa cena sprzedaży;

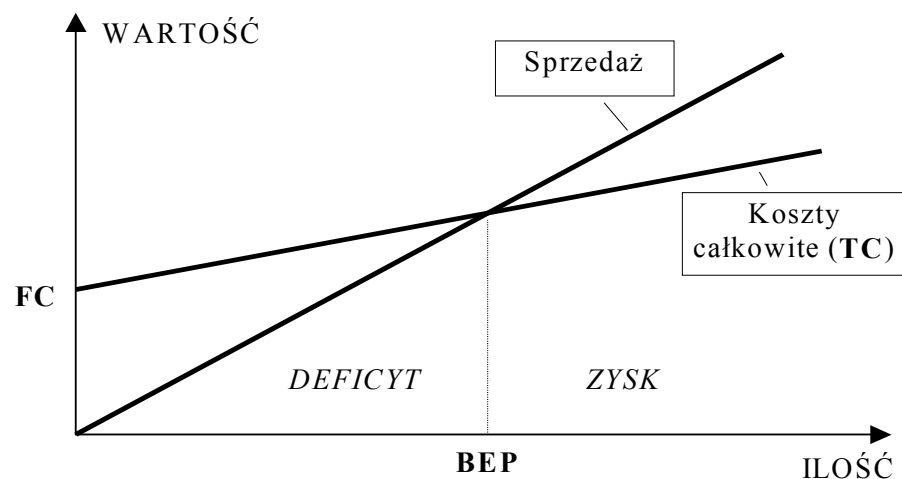
AVC - jednostkowe koszty zmienne;

FC - koszty stałe.

Powyższa formuła wynika z warunku granicznego, którym jest równość wpływów ze sprzedaży i całkowitych kosztów produkcji:

$$q c = q AVC + FC, \quad (5)$$

gdzie q jest wielkością produkcji.



Rys. 3. Graficzne wyznaczanie progu rentowności (BEP)

Próg rentowności może być także wyrażony w kategoriach wartości sprzedaży (BEP₂) lub stopnia wykorzystania zdolności wytwórczych (BEP₃)

$$\begin{aligned} \text{BEP}_2 &= c \frac{FC}{c - AVC} = c \text{BEP}_1, \\ \text{BEP}_3 &= \frac{\text{BEP}_1}{L} = \frac{FC}{R - VC}, \end{aligned} \quad (6)$$

gdzie:

R - wartość sprzedaży przy pełnym wykorzystaniu zdolności wytwórczych,

L - możliwe do wykorzystania zdolności wytwórcze (efektywny popyt),

VC - koszty zmienne.

Wykorzystując miernik BEP można przeprowadzić analizę wrażliwości. Analiza ta pokazuje jak zmienia się próg rentowności projektu, gdy ulegają zmianom: jednostkowa cena sprzedaży, koszty jednostkowe lub wielkość sprzedaży; pozwala również ocenić poziom ryzyka związanego z realizacją przedsięwzięcia. Ze wzoru wynika, że wzrostowi wartości FC i AVC towarzyszy wzrost progowej wielkości produkcji. Wzrostowi wartości c towarzyszy spadek progowej wielkości produkcji.

Analiza wrażliwości służy także do określenia granicznego poziomu czynników, tj. takiego, który przy założonej wielkości sprzedaży (np. maksymalna moc produkcyjna, prognoza sprzedaży) i określonym poziomie innych czynników zagwarantuje jedynie osiągnięcie progu rentowności. W szczególności badanie to powinno dotyczyć czynników najbardziej podatnych na zmiany:

- graniczny (minimalny) poziom jednostkowej ceny sprzedaży

$$c_g = \frac{AVC \cdot L + FC}{L}, \quad (7)$$

gdzie: L - zakładana wielkość produkcji (sprzedaży);

- graniczny (maksymalny) poziom jednostkowych kosztów zmiennych

$$AVC_g = \frac{c \cdot L - FC}{L}. \quad (8)$$

Można również określić tzw. **marginę bezpieczeństwa** przedsięwzięcia z uwagi na zmiany poszczególnych czynników:

- ze względu na jednostkową cenę sprzedaży

$$Mb_c = \frac{c - c_g}{c} \cdot 100, \quad (9)$$

gdzie: L - zakładana wielkość produkcji (sprzedaży);

- ze względu na jednostkowe koszty zmienne

$$Mb_{AVC} = \frac{AVC_g - AVC}{AVC} \cdot 100. \quad (10)$$

3. Zadania do wykonania

Do wykonania poniższych zadań należy użyć arkusza kalkulacyjnego Excel z pakietu MS Office.

- 1) Koszty roczne wytwarzania energii elektrycznej w elektrowni są opisane funkcją

$$K = (500 + 50q - 10q^2 + q^3) \cdot 10^6 \text{ zł}$$

gdzie: q – roczna produkcja energii elektrycznej (w $10^6 \text{ MW}\cdot\text{h}$).

Należy sporządzić wykres jednostkowego kosztu wytwarzania energii elektrycznej (ATC, zł/MWh), jednostkowego kosztu stałego (AFC, zł/MWh), jednostkowego kosztu zmiennego (AVC, zł/MWh) i kosztu krańcowego (MC, zł/MWh) w funkcji ilości wytworzonej energii, jeśli zmienia się ona od $1,5 \cdot 10^6 \text{ MW}\cdot\text{h}$ do $15 \cdot 10^6 \text{ MW}\cdot\text{h}$. Należy także wyznaczyć wielkość produkcji przy jej minimalnym koszcie oraz jakiej wartości rocznego czasu wykorzystania mocy zainstalowanej ona odpowiada jeśli moc zainstalowana elektrowni wynosi 2000 MW, a także minimalny jednostkowy koszt zmienny wytwarzania energii elektrycznej i odpowiadającą mu wielkość produkcji.

Przedstawić obliczenia:

$$TC = K = ? \cdot 10^6 \text{ [zł]}, \quad ATC = \frac{TC}{q} = ? \text{ [zł/(MW}\cdot\text{h)]}, \quad AFC = \frac{FC}{q} = ? \text{ [zł/(MW}\cdot\text{h)]},$$

$$AVC = \frac{VC}{q} = ? \text{ [zł/(MW}\cdot\text{h)]}, \quad MC = \frac{dTC}{dq} = ? \text{ [zł/(MW}\cdot\text{h)]}$$

Wyniki obliczeń zestawiono w tablicy 1.

Tablica 1. Wyniki obliczeń kosztu całkowitego i kosztów jednostkowych

$q, 10^6 \text{ MW}\cdot\text{h}$	$K, \text{ zł}$	$ATC, \text{ zł/(MW}\cdot\text{h)}$	$AFC, \text{ zł/(MW}\cdot\text{h)}$	$AVC, \text{ zł/(MW}\cdot\text{h)}$	$MC, \text{ zł/(MW}\cdot\text{h)}$
1,5					
2					
...					
14,5					
15					

Minimalny jednostkowy koszt wytwarzania występuje dla wielkości produkcji, przy której $ATC = MC$

$$q_{opt} = q : ATC = MC \text{ czyli: ?}$$

Wielkość produkcji przy minimalnym koszcie wyznaczamy z powyższej zależności metodą kolejnych podstawień, zaś minimalny koszt jednostkowy podstawiając wyznaczoną wartość do równania na ATC

$$q_{opt} \approx ? \text{ MW} \cdot \text{h}, \quad ATC_{min} = ? \text{ zł/(MW}\cdot\text{h)}$$

Roczny czas wykorzystania mocy zainstalowanej:

$$T_i = \frac{q_{opt}}{P_i} = ? \text{ h/a}$$

Minimalny jednostkowy koszt zmienny występuje dla wielkości produkcji, przy której $AVC = MC$

$$q_{\min}^{AVC} = q : AVC = MC, \text{ czyli: ?}$$

Wielkość produkcji przy minimalnym koszcie zmiennym wyznaczamy z powyższej zależności, zaś minimalny jednostkowy koszt zmienny podstawiając wyznaczoną wartość do równania na AVC

$$q_{\min}^{AVC} = ? \text{ MW} \cdot \text{h}, AVC_{\min} = ? \text{ zł}/(\text{MW} \cdot \text{h})$$

- 2) Realizacja przedsięwzięcia rozwojowego umożliwi przedsiębiorstwu elektroenergetycznemu wprowadzenie na rynek nowego produktu. Na podstawie przeprowadzonych badań rynku ocenia się, że przy cenie 10 tys. zł/szt. popyt na ten wyrób (L) wyniesie 20000 szt. rocznie. Z założeń techniczno-ekonomicznych wynika, że jednostkowe koszty zmienne (AVC) wyniosą 6 tys. zł/szt., koszty stałe (FC) 28,800 mln zł rocznie. Obliczyć próg rentowności i zbadać wrażliwość przedsięwzięcia na zmiany warunków rynkowych.

Obliczenie progu rentowności na podstawie równań (4) i (6)

4. Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać:

- 1) Tabelę tytułową (nazwa i numer ćwiczenia, nazwiska i imiona wykonujących ćwiczenie, data wykonania ćwiczenia oraz data oddania sprawozdania);
- 2) Rozwiązania zadań wraz z opisem i koniecznymi wykresami i schematami;
- 3) Wnioski i obserwacje z wykonanego ćwiczenia.

5. Literatura

- [1] Paska J.: *Ekonomika w elektroenergetyce*. Oficyna Wydawnicza PW. Warszawa 2007.
- [2] Laudyn D.: *Rachunek ekonomiczny w elektroenergetyce*. Oficyna Wydawnicza PW. Warszawa 1999.