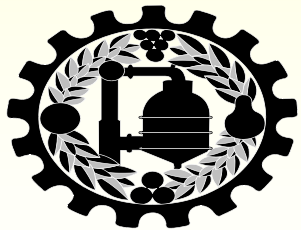


Dobór kryteriów oceny efektywności energetycznej w audycie prowadzonym w przemyśle spożywczym

Piotrowski D.¹, Sawczuk M.², Kurdej A.¹,
Grzegory P.¹, Wawrzyniak M.¹



*¹Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji,
Wydział Nauk o Żywności, WNoŻ, Szkoła Główna
Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie*

*²Firma audytorsko-doradcza Modus,
ul. Peszteńska 2 lok. 26; 03-925 Warszawa*

PLAN PREZENTACJI

1. **Cel pracy**
2. **Wprowadzenie**
3. **Wybrane wskaźniki w praktyce audytu**
 - A. prosty okres zwrotu nakładów SPBT (z ang. *Simple Pay Back Time*)
 - B. wartość bieżąca netto NPV (z ang. *Net Present Value*)
 - C. wewnętrzna stopa zwrotu IRR (z ang. *Internal Rate of Return*)
4. **Przemysłowy przykład wykorzystania wskaźnika energetycznego w praktyce audytu**
5. **Podsumowanie**
6. **Perspektywy rozwojowe**

Celem pracy

jest przedstawienie wybranych kryteriów oceniających efektywność energetyczną i uwarunkowań ich doboru dla potrzeb audytu energetycznego zakładów z branży przemysłu spożywczego.

Wprowadzenie

Audyt energetyczny przedsiębiorstwa, realizowany zgodnie z ogólnymi wymaganiami PN-EN 16247-1:2012 oraz PN-EN ISO 50001:2012, polega na analizie zużycia oraz wykorzystania energii przez wybrany obiekt, budynek lub instalację (Sawczuk, 2015). W audycie dąży się do wprowadzenia racjonalnie uzasadnionych usprawnień, dopuszczalnych pod względem technicznym w zakresie optymalizacji zapotrzebowania na energię w obszarach jej użytkowania. Audyt energetyczny jest niezwykle ważną procedurą dla przemysłu spożywczego. To narzędzie, które jest wykorzystywane do zrozumienia obecnego stanu energii i ciepłej wody użytkowej w zakładzie przemysłowym, do zidentyfikowania największych użytkowników, uwydatnienia obszarów nadmiernych odpadów oraz proponowania ekonomicznie opłacalnych rozwiązań w celu zmniejszenia strat wynikających ze zużycia energii i wody.

Definicje wybranych wskaźników

Wskaźniki jednostkowego zużycia energii - w zależności od potrzeb i specyfiki branży można posługiwać się czterema podstawowymi wskaźnikami: agregatowym W_A , technologicznym W_T , produkcyjnym W_P i zakładowym W_Z .

Wskaźnik agregatowy W_A jest to iloraz (stosunek) ilości energii A_A faktycznie zużytej (netto) przez urządzenie produkcyjne do wytworzonej ilości wyrobów Z :

$$W_A = \frac{A_A}{Z}$$

Wskaźnik technologiczny W_T - jest to iloraz (stosunek) ilości energii A_T zużytej w procesie technologicznym do wytworzonej ilości wyrobów Z :

$$W_T = \frac{A_T}{Z}$$

Wskaźniki jednostkowego zużycia energii (cd.)

Wskaźnik produkcyjny W_P obejmuje zużycie energii w procesie technologicznym oraz urządzeniach pomocniczych związanych bezpośrednio z procesem technologicznym i wyraża się jako iloraz (stosunkiem) ilości energii zużytej w procesie produkcyjnym A_P do wytwarzanej ilości wyrobów Z :

$$W_P = \frac{A_P}{Z}$$

Wskaźnik zakładowy W_Z , poza elementami występującymi we wskaźnikach technologicznym i produkcyjnym, zawiera także dodatkowe zużycie energii w urządzeniach pomocniczych nie związanych bezpośrednio z produkcją. Łączne zużycie energii określa się jako A_Z , a zakładowy wskaźnik przyjmuje postać ilorazu ilości energii zużytej w procesie produkcyjnym i procesach pomocniczych A_Z do wytwarzanej ilości wyrobów Z :

$$W_Z = \frac{A_Z}{Z}$$

Przedsięwzięcia mające na celu usprawnienie użytkowania energii w zakładach przemysłowych można zakwalifikować jako (Grzybek i Rogulska, 1998; Figórska, 2006):

- 1) przedsięwzięcia niskonakładowe - w którym oszczędności energii wynoszą do 15%.*
- 2) średnio-nakładowe - w którym oszczędności energii wynoszą od 15% do 25%.*
- 3) wysokonakładowe - w którym oszczędności energii wynoszą powyżej 25%.*

Przyjmuje się, że wskaźników efektywności energetycznej jest ponad sześćset; można je podzielić na cztery grupy (Bąk, 2015 za Bosseboeuf, 1997)):

- 1) wskaźniki termodynamiczne – odnoszą się i wykorzystują w całości zasady termodynamiki*
- 2) wskaźniki fizyczno - termodynamiczne – zakładają wykorzystanie energii dostarczanej wyrażonej w jednostkach termodynamicznych w odniesieniu do produktu przedstawionego w jednostkach fizycznych*
- 3) wskaźniki ekonomiczno-termodynamiczne – zakładają wykorzystanie energii dostarczanej wyrażonej w jednostkach termodynamicznych w odniesieniu do produktu przedstawionego w jednostkach kosztu*
- 4) wskaźniki ekonomiczne – odnoszą się i wykorzystują w całości rachunek kosztu; tj. energia i produkt wyrażony jest w jednostkach kosztu*

Wskaźniki w praktyce audytu

W praktyce audytu energetycznego zakładów z branży przemysłu spożywczego wybór kolejności realizowanych przedsięwzięć może zależeć od wyników analizy ekonomicznej. W typowym audycie energetycznym prowadzonym w przemyśle spożywczym najczęściej brane są pod uwagę następujące wskaźniki ekonomiczne (Grzybek i Rogulska, 1998; Figórska, 2006; Sawczuk, 2015):

- 1. Wskaźnik SPBT (z ang. Simple Pay Back Time), tj. prosty okres zwrotu nakładów*
- 2. Wskaźnik NPV (z ang. Net Present Value), tj. wartość bieżąca netto*
- 3. Wskaźnik IRR (z ang. Internal Rate of Return), tj. wewnętrzna stopa zwrotu.*

1. Wskaźnik prosty okres zwrotu nakładów SPBT (z ang. *Simple Pay Back Time*)

Wskaźnik prosty okres zwrotu nakładów SPBT (z ang. *Simple Pay Back Time*) wyliczany jest z następującej zależności:

$$SPBT = \frac{I}{Z}$$

gdzie: I- nakłady inwestycyjne [zł] dla danego okresu rozliczeniowego np. [rok]

Z- efekty ekonomiczne [zł] dla danego okresu rozliczeniowego np. [rok]

1. Wskaźnik prosty okres zwrotu nakładów SPBT (z ang. Simple Pay Back Time)

Wskaźnik SPBT (z ang. Simple Pay Back Time) jest to prosty okres zwrotu nakładów, najprościej oceniający, czy dane przedsięwzięcie jest opłacalne. Mówi o niezbędnym okresie czasu do odzyskania nakładów, które zostały poniesione na początku w celach realizacji przedsięwzięć inwestycyjnych. W przypadku, kiedy prosty okres zwrotu wynosi nie więcej niż 2 lata, przedsięwzięcie inwestycyjne określane jest jako bardzo opłacalne. Jeśli okres zwrotu mieści się w przedziale 3-4 lat, opłacalność jest umiarkowana. Natomiast, gdy okres zwrotu przekracza 6 lat, inwestycja nie jest opłacalna.

Wskaźnik wartość bieżąca netto NPV (z ang. *Net Present Value*) wyliczany jest z następującej zależności:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{NCF_t}{(1+r)^t}$$

gdzie: NPV – wartość bieżąca netto,

NCF_t – przepływy gotówkowe (netto) w okresie t

r – stopa dyskonta

t – kolejne okresy (najczęściej lata) eksploatacji inwestycji

Inny zapis wzoru:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0$$

I_0 – nakłady początkowe

2. Wskaźnik wartość bieżąca netto NPV (z ang. *Net Present Value*)

Wskaźnik NPV (z ang. *Net Present Value*), tj. wartość bieżąca netto, której celem jest ocena przedsięwzięć. NPV jest sumą (dodatnią lub ujemną) uaktualnionych nadwyżek pieniężnych. W wypadku, gdy wartość bieżąca netto jest większa niż 0, przedsięwzięcie inwestycyjne może być przeprowadzone, gdyż oznacza to, że będzie przynosiło przedsiębiorstwu korzyści finansowe. Gdy $NPV=0$, inwestycja jest neutralna i możliwa do akceptacji. Jeśli zaś $NPV < 0$, to przedsięwzięcie inwestycyjne jest nieopłacalne.

3. Wskaźnik wewnętrzna stopa zwrotu IRR (z ang. *Internal Rate of Return*)

Wskaźnik wewnętrzna stopa zwrotu IRR (z ang. *Internal Rate of Return*), wyliczany jest z następującej zależności (metodą interpolacji liniowej):

$$IRR = i_1 + \frac{PV * (i_2 - i_1)}{PV + |NV|}$$

Metodą interpolacji liniowej zakłada znalezienie metodą kolejnych przybliżeń dwóch poziomów stopy dyskontowej: i_1 oraz i_2 , dla których:

i_1 - NPV jest bliskie "0" ale dodatnie - oznaczamy jako PV (też PNPV)

i_2 - NPV bliskie "0" ale ujemne oznaczamy jako NV (też NNPV)

IRR = f (wskaźnika wartości bieżącej netto NPV (z ang. *Net Present Value*))

Wewnętrzna stopa zwrotu (ang. - *Internal Rate of Return - IRR*) – alternatywne podejście obliczeniowe:

to obliczona stopa dyskonta r , dla której wartość bieżąca inwestycji NPV (ang. *Net Present Value*), równa się zero (NPV=0). Zatem, IRR to stopa procentowa, przy której zostaje osiągnięty ekonomiczny próg rentowności, czyli bieżąca wartość wydatków będzie równać się bieżącym wpływom.

$$\sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0 = 0$$

Oznaczenia: CF_t - przepływy pieniężne netto

r - stopa dyskonta

I_0 - nakłady początkowe

t - kolejne okresy inwestycji

3. Wskaźnik wewnętrzna stopa zwrotu IRR (z ang. *Internal Rate of Return*)

Wskaźnik jest IRR (z ang. *Internal Rate of Return*), tj. wewnętrzna stopa zwrotu, a wskazana wartość służy do określenia stopy procentowej, w przypadku której inwestycje wciąż przynoszą zyski. Jeśli wartość IRR jest większa od zera i pokrywa premię za ryzyko inwestycji w daną działalność, wtedy modernizacja jest opłacalna. Jeśli zaś wskaźnik wewnętrznej stopy zwrotu dla planowanego przedsięwzięcia modernizacyjnego jest niższy niż oprocentowanie np. lokat bankowych, to rozsądniejszym rozwiązaniem od inwestycji jest złożenie posiadanej kwoty w banku.

Zebrane analizy dane z obiektów przemysłowych powinny być podstawą do zadań modernizacyjnych mających na celu obniżenie zużycia energii cieplnej i elektrycznej. Dane i odpowiednie wskaźniki można zestawić w odpowiednio sformatowanych tabelach 1a i 1b.

Tabela 1a. Zestawienie proponowanych modernizacji według SPBT dla wybranego zakładu przemysłu spożywczego

Rodzaj usprawnienia energetycznego [GJ energii cieplej lub elektrycznej]	Efekt energetyczny [GJ energii cieplej lub elektrycznej]	Efekt ekologiczny [kg CO ₂ /rok]	Koszty inwestycyjne [PLN]	Roczne oszczędności [PLN / rok]	SPBT [lata]	
regulacja palników kotłów wodnych w kotłowni; odzysk ciepła w istniejących wymiennikach spaliny woda	linia Sxxx	410	22 886	6 000	21 480	0,28
	piece obrotowe 4 szt.	700	39 074	8 000	36 630	0,22
regulacja palników na linii	linia Sxxx	1 310	73 124	15 000	62 403	0,24
	linia Nxxx	1 048	58 499	15 000	49 922	0,30
	linia Pxxx	1 209	67 486	15 000	57 603	0,26
	linia Axxx	504	28 133	15 000	24 001	0,62
odzysk ciepła z wentylacji na wymiennikach	instalacja wymiennika AA	1 158	64 640	100 000	60 597	1,65
	instalacja wymiennika BB	1 089	60 788	60 000	56 979	1,05
	pozostałe instalacje wentylacyjne razem	700	39 074	45 000	35 486	1,27
odzysk ciepła ze spalin na wymiennikach YYY	schłodzenie spalin do xx°C	6 264	349 656	1 250 000	327 858	3,81
	schłodzenie spalin do yy°C	7 344	409 942	1 125 000	384 385	2,93
	montaż ekonomizera na kotle AA	633	35 334	210 000	30 150	6,97
	montaż ekonomizera na kotle BB	619	34 553	180 000	29 480	6,11
	wytwarzanie chłodu w CCC	67	3 740	600 000	85 583	7,01

Rodzaj usprawnienia energetycznego [GJ energii cieplej lub elektrycznej]		Efekt energetyczny [GJ energii cieplej lub elektrycznej]	Efekt ekologiczny [kg CO ₂ /rok]	Koszty inwestycyjne [PLN]	Roczne oszczędności [PLN / rok]	SPBT [lata]
regulacja palników kotłów wodnych w kotłowni; odzysk ciepła w istniejących wymiennikach spaliny woda	linia Sxxx	410	22 886	6 000	21 480	0,28
	piece obrotowe 4 szt.	700	39 074	8 000	36 630	0,22
regulacja palników na linii	linia Sxxx	1 310	73 124	15 000	62 403	0,24
	linia Nxxx	1 048	58 499	15 000	49 922	0,30
	linia Pxxx	1 209	67 486	15 000	57 603	0,26
	linia Axxx	504	28 133	15 000	24 001	0,62
odzysk ciepła z wentylacji na wymiennikach	instalacja wymiennika AA	1 158	64 640	100 000	60 597	1,65
	instalacja wymiennika BB	1 089	60 788	60 000	56 979	1,05
	pozostałe instalacje wentylacyjne razem	700	39 074	45 000	35 486	1,27

Tabela 1b. Zestawienie wskazanych do szybkiego przeprowadzenia sposobów regulacji i modernizacji

Wybór przedsięwzięć może zależeć od wyników analizy ekonomicznej. W takim przypadku brane są pod uwagę wartości ekstremalne poszczególne wskaźniki:

- najmniejsza wartość (\downarrow) wskaźnika SPBT tj. prosty okres zwrotu nakładów
- maksymalna wartość wskaźnika NPV tj. wartość bieżąca netto (\uparrow)
- największa wartość (\uparrow) wskaźnika IRR tj. wewnętrzna stopa zwrotu

Z drugiej strony, po przeprowadzeniu obliczeń wybranego zestawu wskaźników, można sprawdzić zbieżność osiągniętych tendencji przez porównywane współczynniki (bez przeprowadzania obliczeń optymalizacyjnych).

Podsumowanie

Wyliczone wskaźniki: SPBT, NPV, IRR mogą być stosowane na różnych etapach procesu mającego na celu przygotowanie oraz wybór działań inwestycyjnych.

Do najbardziej istotnych zastosowań wskaźników należą: porównanie wariantów rozwiązań dla danego problemu, ograniczenie zakresu oraz wybór działań inwestycyjnych.

W wyniku porównania między sobą uzyskanych wskaźników możliwe jest określenie przedsięwzięcia najbardziej opłacalnego oraz wymagającego jak najmniejszych nakładów finansowych.

Dla dużych zakładów przemysłowych, proponuje się poszerzenie dotychczasowych kryteriów oceny, zdominowanych obecnie przez stosunkowo proste wskaźniki ekonomiczne o nowe metodyczne rozwiązania w ramach stosowanych działań poprawy efektywności energetycznej (EEIM, ang. *energy efficiency improvement measures*) (Skoczkowski i Bielecki, 2016).

Cenne z punktu kompleksowości doboru są podejścia łączące poprawę efektywności energetycznej i ograniczanie emisji dwutlenku węgla (Meyers i in., 2016). Wykorzystują one również wybrane podejścia optymalizacyjne odnoszące się do odzysku ciepła, dostarczania energii w postaci ciepła i zimna, skojarzonego wytwarzania ciepła i innych form energii lub czerpaniu energii z pomp ciepła. Audytorzy realizujący prace w 204 przedsiębiorstwach branż przemysłu spożywczego posługiwali się wybranymi kryteriami uwzględniającymi zużycie zasobów energii włożonej i wytworzonego dwutlenku węgla oraz kryterium czasu zwrotu (Meyers i in., 2016).

BIBLIOGRAFIA

- Bąk M. 2015. Analiza wskaźników efektywności energetycznej. Praca inżynierska, promotor T. Skoczkowski, WMEiL, Politechnika Warszawska, Warszawa, 1-74
- Bosseboeuf D.C.B. 1997. Cross-country comparison on energy efficiency indicators: the ongoing European effort towards a common methodology. Energy Policy, 25(7-9), 673-682
- Figórska E. (red.) 2006. Branża spożywcza: materiał instruktażowo - szkoleniowy. Fundacja Partnerstwo dla Środowiska, Kraków, 1-237
- Grzybek A., Rogulska M. 1998. Audyt energetyczny jako metoda zmniejszenia zużycia energii w produkcji pasz. Pasze Przemysłowe 7(10): 9-12
- Meyers S., Schmitt B., Chester-Jones M., Sturm B. 2016. Energy efficiency, carbon emissions, and measures towards their improvement in the food and beverage sector for six European countries. Energy 104: 266-283
- PN-EN 16247-1:2012 Audity energetyczne - Część 1: Wymagania ogólne.
- PN-EN ISO 50001:2012 - Systemy zarządzania energią. Wymagania i zalecenia użytkowania.
- Sawczuk M. 2015. Audyt energetyczny przedsiębiorstwa. Główny Mechanik 1(1): 69-71
- Skoczkowski T., Bielecki S. 2016. Środki poprawy efektywności energetycznej w przemyśle i ich ocena. Energetyka 68(1): 9-14
- Wojdalski J., Domagała A., Kaleta A., Janus P. 1998. Energia i jej użytkowanie w przemyśle rolno-spożywczym. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 10-11, 226-261

Dziękuję za uwagę