

Roman Kowalczyk, Katarzyna Karp
Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
w Warszawie

ENERGOCHŁONNOŚĆ OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW W WYBRANYM ZAKŁADZIE PRZEMYSŁU MLECZARSKIEGO

Streszczenie

Energochłonność oczyszczania ścieków w zakładzie mleczarskim o przerobie ok. 150 tys. litrów mleka w ciągu doby wyrażono wskaźnikami w kWh/m³ oczyszczanych ścieków (kWh/m³) oraz w kWh na usunięty ładunek zanieczyszczeń w przeliczeniu na BZT₅ w kg (kWh/kgBZT_{5US}). Przy zmienności ładunku zanieczyszczeń w ściekach w przeliczeniu na BZT₅ od 20,9 do 95,2 kg O₂/h udział energii elektrycznej na oczyszczanie ścieków wynosił 13,6-17,3%, co w przeliczeniu na energię pierwotną stanowiło 8,0-9,6% ogólnego zużycia energii (cieplnej i elektrycznej) w zakładzie. Wzrost ładunku zanieczyszczeń w ściekach w przeliczeniu na BZT₅ z 20,9 do 95,2 kg O₂/h powodował, że wartość wskaźnika zużycia energii wyrażonego w kWh/kg BZT_{5US} obniżyła się z 3,22 do 0,89, a wskaźnika wyrażonego w kWh/m³ z 6,32 do 1,94. Dwukrotny wzrost ładunku zanieczyszczeń w ściekach powodował około 1,6-krotne obniżenie wskaźnika zużycia energii wyrażonego w kWh/kg BZT_{5US} i około 1,4-krotne obniżenie wskaźnika wyrażonego w kWh/m³. W badanej oczyszczalni ok. 80% energii elektrycznej zużywane było na utrzymanie jej w ruchu, niezależnie od strumienia ścieków. Ok. 85% całkowitej ilości energii zużywane było na napowietrzanie ścieków, na pompowanie ścieków 11% i mieszanie 4%.

Słowa kluczowe: ścieki, ładunek zanieczyszczeń, oczyszczanie ścieków, zużycie energii, wskaźniki zużycia energii

Wstęp

Przerób surowca w przemyśle mleczarskim prowadzi do powstawania znacznych ilości ścieków, które oddziałują przede wszystkim na jakość wód otwartych, w mniejszym stopniu na glebę i powietrze. Zakłady produkcyjne zmuszane są do oczyszczania ścieków i minimalizowania tego niekorzystnego wpływu na środowisko. Oczyszczanie ścieków z przemysłu spożywczego wiąże się z dużymi nakładami energetycznymi i w konsekwencji z kosz-

tami, jakie muszą być poniesione przez zakład [Neryng i in. 1990]. Badania mające na celu określenie rzeczywistego zużycia energii na poszczególnych etapach procesu oczyszczania ścieków z wykorzystaniem konkretnych rozwiązań technicznych są podstawą do udoskonalania i wprowadzania nowych energooszczędnych rozwiązań [Kuś 1996].

Celem pracy było określenie energochłonności oraz struktury zużycia energii w procesie oczyszczania ścieków w zakładzie mleczarskim o przerobie ok. 150 tys. litrów mleka w ciągu doby.

Materiał i metody

Badana oczyszczalnia składała się z trzech stawów ściekowych o powierzchni około 2,5 ha i głębokości 1,4 m oraz oczyszczalni właściwej (z osadem czynnym) (rys. 1), w skład której wchodziła: komora denitryfikacji o pojemności około 1200 m³, dwie komory nityfikacji o łącznej pojemności około 3800 m³ oraz osadnik o pojemności około 720 m³.

Ścieki surowe z zakładu odprowadzane były do dwóch stawów ściekowych, w których następowało wyrównywanie stężenia i wstępne oczyszczanie ścieków w sposób naturalny, głównie przez rozkład beztlenowy zanieczyszczeń. Ze stawów, ścieki kierowane były do przepompowni głównej, a następnie do właściwego oczyszczania, na początku do komory denitryfikacji, wyposażonej w mieszadła pionowe i pracowała w warunkach niedotlenienia (bez napowietrzania). Do komory denitryfikacji wprowadzany był również osad powrotny z osadnika oraz ścieki znitryfikowane z komory nityfikacji. Z komory denitryfikacji ścieki przepływały do komór nityfikacji, które były intensywnie napowietrzane metodą drobnopęcherzykową. Stężenie tlenu kontrolowano za pomocą sondy tlenowej. Ostatnim etapem oczyszczania było oddzielenie osadu od ścieków. Część osadu recyrkulowano do komory denitryfikacji, osad nadmierny kierowano do trzeciego stawu ściekowego a ścieki oczyszczone do rzeki.

W procesie oczyszczania wykorzystywane były następujące odbiorniki energii elektrycznej: pompa stawowa, pompy pompowni głównej, pompa recyrkulacyjna, dmuchawy oraz mieszadła pionowe.

Zakres pracy obejmował określenie:

- strumienia objętościowego ścieków pompowanych ze stawów ściekowych do właściwej oczyszczalni – na podstawie licznika zakładowego z dokładnością do 0,1 m³,
- wartości BZT₅: ścieków surowych i oczyszczonych – na podstawie analizy próbek ścieków, pobieranych dwa razy w ciągu zmiany,
- zużycia energii elektrycznej w zakładzie mleczarskim i oczyszczalni – na podstawie trójfazowych, półpośrednich liczników zakładowych z dokład-

nością do 0,1 kWh; ponadto dla poszczególnych odbiorników za pomocą miernika cęgowego natężenia prądu i znajomości napięcia prądu i współczynnika mocy,

- zużycia energii cieplnej w zakładzie - na podstawie zużycia oleju opałowego w kotłowni z dokładnością do 10 l, jego wartości opałowej i sprawności kotłów na podstawie dokumentacji zakładowej,
- ładunku zanieczyszczeń jako iloczyn strumienia objętościowego ścieków i ich wartości BZT₅.

Wykonano 10 serii pomiarów, każda w ciągu 8-godzinnej pracy zakładu i oczyszczalni w 10 losowo wybranych dniach w okresie od października do stycznia. Energochłonność oczyszczania ścieków wyrażono wskaźnikami w kWh/m³ oczyszczanych ścieków (kWh/m³) oraz w kWh na usunięty ładunek zanieczyszczeń w przeliczeniu na BZT₅ w kg (kWh/kgBZT_{5US}).

Porównując zużycie energii w procesie oczyszczania ścieków w stosunku do zużycia energii w całym zakładzie (łącznie z oczyszczalnią), energię elektryczną i energię cieplną przeliczono na energię pierwotną. Przeliczając zużycie energii cieplnej i energii elektrycznej na energię pierwotną uwzględniono sprawność przemian podaną przez Wojdalskiego i in. [1998] i zalecaną przez GIGE [1983], która dla energii elektrycznej wynosi 0,3, dla energii cieplnej jako sprawność zakładowa – 0,9.

Wyniki i dyskusja

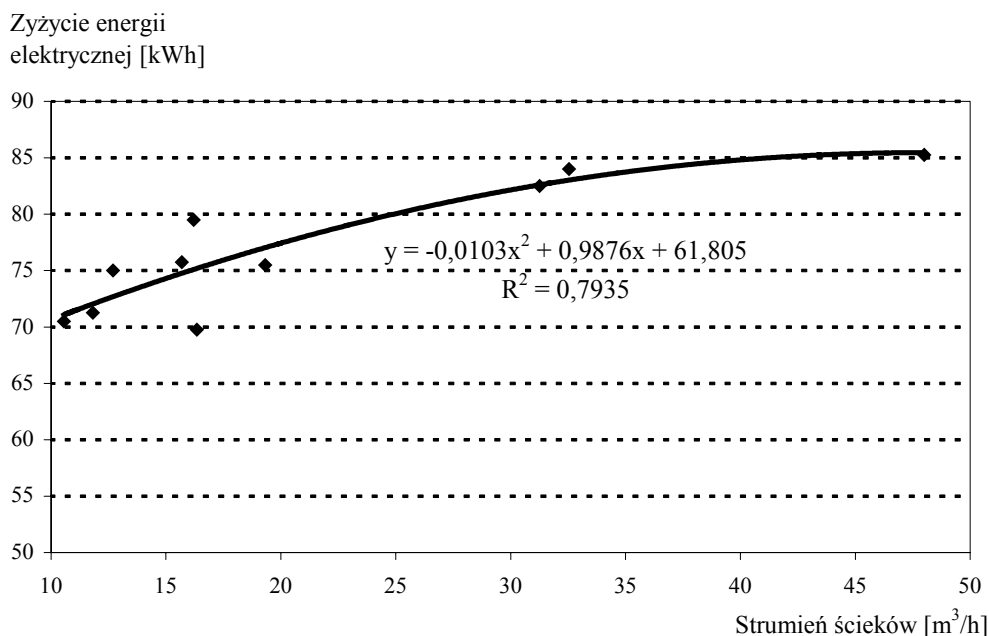
Średnie godzinowe zużycie energii elektrycznej w badanej oczyszczalni w poszczególnych seriach pomiarowych wynosiło 70,5-85,2 kWh/h.

Odpowiednio strumień oczyszczanych ścieków wahał się od 12,7 do 48 m³/h. Zależność zużycia energii elektrycznej od strumienia ścieków przedstawiono na rysunku 2. Uzyskany współczynnik korelacji r wynosi 0,891 ($R^2 = 0,7935$), co świadczy o istotnej statystycznie zależności (na poziomie istotności $\alpha = 0,05$) między ilością zużywanej energii a strumieniem objętości oczyszczanych ścieków.

W badanej oczyszczalni czterokrotny wzrost strumienia objętościowego ścieków z 12 m³/h do 48 m³/h spowodował wzrost zużycia energii na ich oczyszczanie tylko o około 18%. Oznacza to, że duża część energii zużywana była w oczyszczalni na utrzymanie jej w ruchu, niezależnie od objętości ścieków. Z wyznaczonej zależności zużycia energii elektrycznej od strumienia oczyszczanych ścieków - przy założeniu, że ta zależność występuje również przy niższych strumieniach ścieków niż wystąpiły w czasie badań - wynika, że w badanej oczyszczalni na utrzymanie jej w ruchu zużywano około 62 kWh/h, czyli około 80% średniego zużycia energii elektrycznej.

Rys. 1. Schemat badanej oczyszczalni ścieków: 1 – komora denitryfikacji, 2, 3 – komory nityfikacji, 4 – osadnik, 5 – betonowe leje, 6 – wodno-powietrzne podnośniki osadu, 7 – ruszt napowietrzający

Fig. 1. Scheme of tested sewage purification system: 1- disinfection chamber, 2,3 - nitrification chamber, 4- sedimentation tank, 5- concrete hoppers, 6- hydro-pneumatic sediment elevator, 7- aerating grate



Rys. 2. Wpływ strumienia ścieków na zużycie energii elektrycznej w procesie ich oczyszczania

Fig. 2. Effect of sewage stream on electric energy consumption in purification process

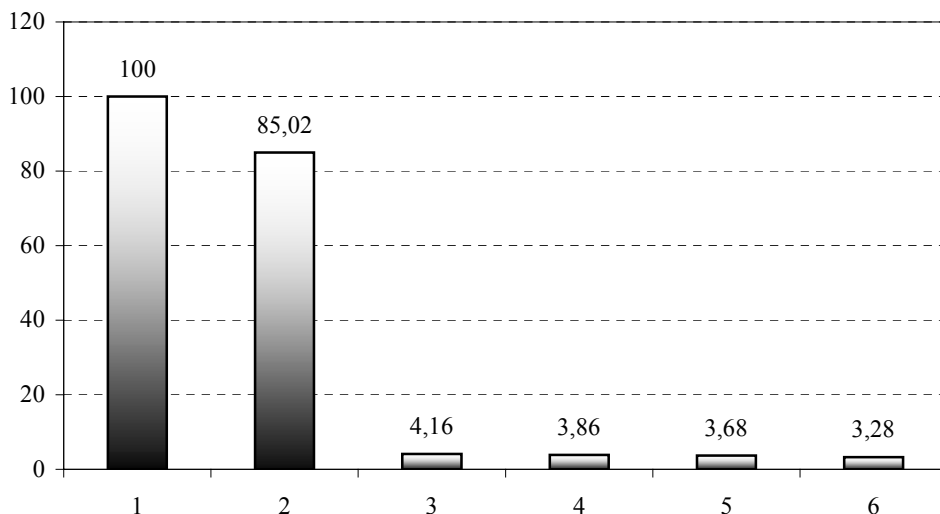
Określając strukturę zużycia energii elektrycznej w oczyszczalni przebadano następujące odbiorniki energii (rys. 3): dmuchawy zużywające ok. 85% całkowitego zużycia energii elektrycznej w oczyszczalni; mieszadła, które zużywały około 4,1%; pompę cyrkulacyjną zużywającą około 3,9%; pompownię główną – 3,7% oraz pompę stawową, która zużywała około 3,3% energii elektrycznej dostarczanej do oczyszczalni. Łącznie na pompowanie ścieków w badanej oczyszczalni zużywano około 11% energii elektrycznej.

Otrzymane wartości zużycia energii na pompowanie i napowietrzanie ścieków są porównywalne do wartości uzyskiwanych w innych oczyszczalniach pracujących w przemyśle spożywczym. Badając strukturę zużycia energii elektrycznej w oczyszczalni ścieków z zakładu owocowo-warzywnego Kowalczyk i Równicki [2003] stwierdzili, że w części biologicznej oczyszczalni na pompowanie ścieków zużywano około 4,3%, a na procesy napowietrzania 95,7% całkowitego zużycia energii.

Szczegółowe porównanie zużycia energii nie jest możliwe, ponieważ praktycznie w każdej oczyszczalni występują inne rozwiązania techniczne i inaczej przebiega proces oczyszczania ścieków. Występują również różnice w stężeniu zanieczyszczeń w ściekach. W badanej oczyszczalni, średnia wartość BZT₅ ścieków surowych wprowadzanych do oczyszczania wynosiła

około 1980 g/m³, a ścieków oczyszczonych około 27,5 g/m³. W cytowanej oczyszczalni w przemyśle owocowo-warzywnym BZT₅ ścieków surowych wynosiło 665 g/m³, a oczyszczonych 18,4 g/m³ [Kowalczyk, Równicki 2003].

Zużycie energii elektrycznej [%]

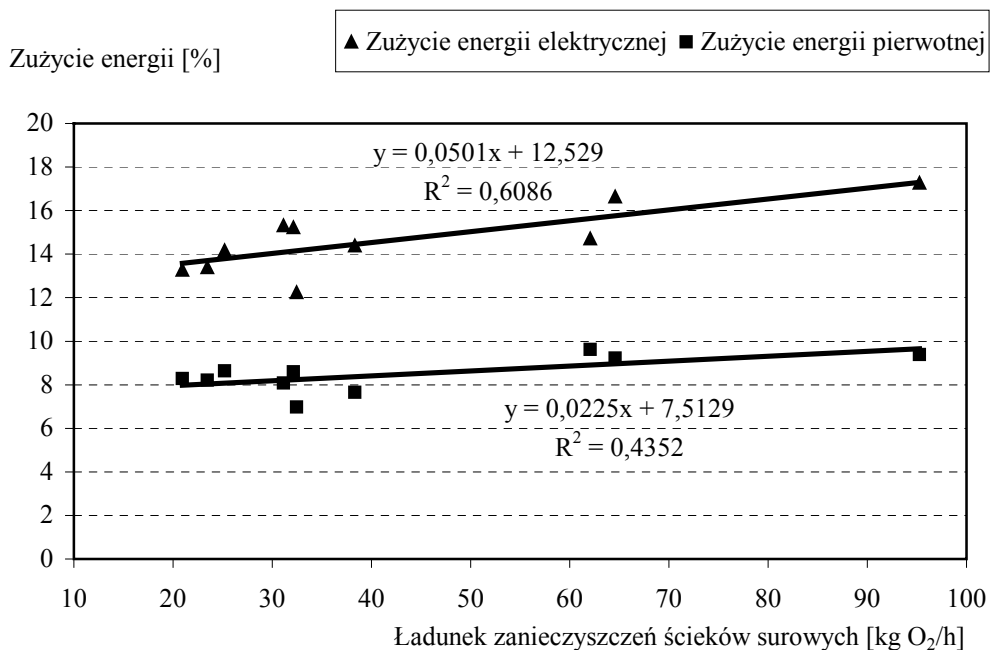


Rys. 3. Struktura zużycia energii elektrycznej w procesie oczyszczania ścieków: 1- zużycie całkowite, 2- dmuchawy, 3- mieszadła pionowe, 4- pompa cyrkulacyjna, 5- pompownia główna, 6- pompownia stawowa

Fig. 3. The structure of electric energy consumption in sewage purification process. Consumption of electric energy (%): 1- total consumption, 2- blowers, 3- vertical mixers, 4- circulating pump, 5- main pumping station, 6- pond pumping station

Analizując zużycie energii elektrycznej w procesie oczyszczania ścieków w stosunku do zużycia energii elektrycznej w całym zakładzie mleczarskim, łącznie z oczyszczalnią (rys. 4) widać, że zależy ono od ładunku zanieczyszczeń w ściekach. W badanej oczyszczalni przy zmienności ładunku zanieczyszczeń w przeliczeniu na BZT₅ 20,9-95,2 kg O₂/h udział energii elektrycznej na oczyszczanie ścieków w stosunku do energii elektrycznej zużywanej w całym zakładzie mieści się w granicach 13,6-17,3%.

W procesie produkcyjnym w czasie przerobu mleka oprócz energii elektrycznej zużywana jest energia cieplna. Po przeliczeniu energii cieplnej i energii elektrycznej na energię pierwotną określono udział energii na oczyszczanie ścieków w stosunku do ogólnego zużycia energii (energii cieplnej i elektrycznej) w zakładzie (rys. 4). W badanej oczyszczalni energia zużywana na oczyszczanie ścieków, w zależności od ładunku zanieczyszczeń w ściekach, stanowiła 8-9,6% ogólnego zużycia energii pierwotnej w zakładzie.



Rys. 4. Zużycie energii w procesie oczyszczania ścieków w stosunku do całkowitego zużycia energii w zakładzie

Fig. 4. Energy consumption in sewage treatment process as related to total energy consumption by dairy plant

Jak wynika z rysunków 2 i 4, w badanej oczyszczalni w poszczególnych seriach pomiarowych zmieniały się w mniejszym lub większym stopniu takie parametry jak strumień ścieków, ładunek zanieczyszczeń oraz zużycie energii elektrycznej. Oznacza to, że zmieniają się również wskaźniki zużycia energii elektrycznej w procesie oczyszczania ścieków.

Zależność wskaźników zużycia energii wyrażonych w kWh na m³ oczyszczanych ścieków (kWh/m³) i kWh na usunięty ładunek zanieczyszczeń w przeliczeniu na kg BZT₅ (kWh/kg BZT_{5US}) od ładunku zanieczyszczeń w kg O₂/h pokazano na rysunku 5. Uzyskany współczynnik korelacji $r = 0,9853$ ($R^2 = 0,9708$) jest dużo wyższy od wartości krytycznej, co świadczy, że znalezione zależności są statystycznie istotne.

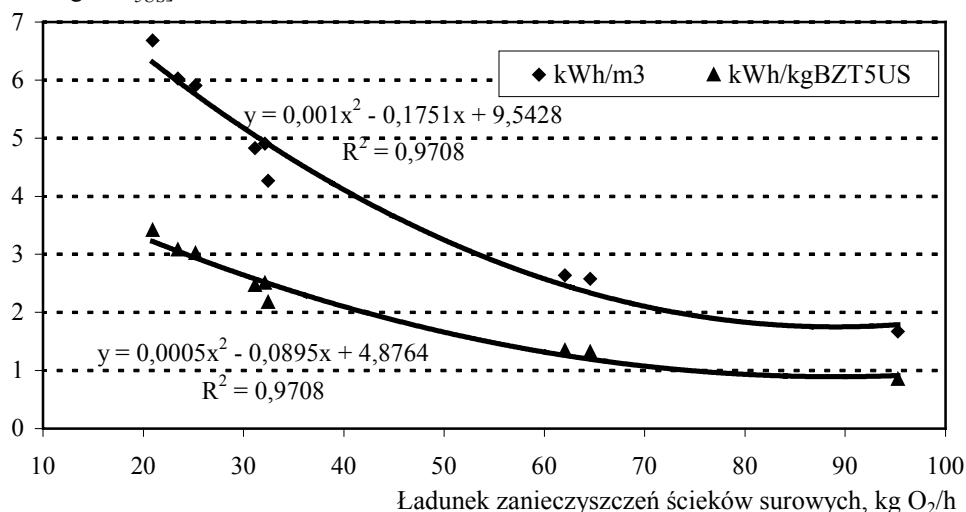
W badanym zakresie zmienności, w miarę wzrostu ładunku zanieczyszczeń wskaźniki zużycia energii obniżają swoją wartość. Oznacza to, że proces oczyszczania ścieków jest bardziej ekonomiczny przy większym ładunku zanieczyszczeń w ściekach. Niższe wartości wskaźników występują przy wskaźnikach wyrażonych w kWh/kg BZT_{5US} (rys. 5).

Rozpatrując wartości skrajne, wzrost ładunku zanieczyszczeń w ściekach w przeliczeniu na BZT₅ z 20,9 do 95,2 kg O₂/h powodował, że wartość wskaźnika zużycia energii wyrażonego w kWh/kg BZT_{5US} obniżyła się z 3,22 do 0,89, a wskaźnika wyrażonego w kWh/m³ z 6,32 do 1,94 (rys. 5). Oznacza to, że dwukrotny wzrost ładunku zanieczyszczeń w ściekach powodował około 1,6-krotne obniżenie wskaźnika zużycia energii wyrażonego w kWh/kg BZT_{5US} i około 1,4-krotne obniżenie wskaźnika wyrażonego w kWh/m³.

Wskaźniki zużycia energii

[kWh/m³]

[kWh/kgBZT_{5US}]



Rys. 5. Wskaźniki zużycia energii w procesie oczyszczania ścieków
 Fig. 5. Indices of energy consumption in sewage purification process

Otrzymane zależności są bardzo podobne do wyników uzyskanych w innej oczyszczalniach pracującej w przemyśle spożywczym [Kowalczyk 2004], gdzie dwukrotny wzrost ładunku zanieczyszczeń w ściekach powodował obniżenie wskaźnika wyrażonego w kWh/kg BZT_{5US} o ok. 1,4 raza, a wskaźnika wyrażonego w kWh/m³ o 1,3 raza. Dąbrowski i in. [1997] podają, że wskaźniki zużycia energii w przemyśle mleczarskim są bardzo zróżnicowane i mieszczą się w granicach 2,6-26,4 kWh/kg BZT_{5US} oraz 1,7-14,8 kWh/m³. Porównując uzyskane w niniejszej pracy wartości wskaźników zużycia energii z wartościami cytowanymi można stwierdzić, że mieszczą się one w granicach uzyskanych w innych oczyszczalniach pracujących w przemyśle mleczarskim i pozostają na stosunkowo niskim poziomie.

Wnioski

1. W badanej oczyszczalni stosunkowo duża część energii elektrycznej (ok. 80%) zużywana była na utrzymanie jej w ruchu, niezależnie od strumienia ścieków. Około 85% całkowitej ilości energii zużywane było na napowietrzanie ścieków, a na pompowanie ścieków 11% i mieszanie 4%.
2. Dwukrotne zwiększenie ładunku zanieczyszczeń w ściekach powodowało około 1,6-krotne obniżenie wskaźnika zużycia energii wyrażonego w kWh/kg BZT_{5US} i ok. 1,4-krotne obniżenie wskaźnika wyrażonego w kWh/m³. Oznacza to, że badana oczyszczalnia pracuje bardziej ekonomicznie przy większych strumieniach ścieków i związanych z tym większych ładunkach zanieczyszczeń. Wskaźniki zużycia energii w badanej oczyszczalni mieściły się w granicach 3,22-0,89 kWh/kg BZT_{5US}, a wskaźniki wyrażone w kWh/m³ w granicach 6,32-1,94.
3. W badanej oczyszczalni udział energii elektrycznej na oczyszczanie ścieków w stosunku do energii elektrycznej zużywanej w całym zakładzie (zakład mleczarski i oczyszczalnia) w zależności od ładunku zanieczyszczeń w ściekach, mieściła się w granicach 13,6-17,3%. Energia zużywana na oczyszczanie ścieków w przeliczeniu na energię pierwotną stanowiła 8-9,6% ogólnego zużycia energii pierwotnej (energii cieplnej i elektrycznej) w zakładzie.

Bibliografia

- Dąbrowski W., Margel L., Boruszko D. 1997. Energochłonność systemów oczyszczania ścieków mleczarskich w regionie Północno-Wschodniej Polski. Mat. z II Konferencji Naukowo-Technicznej nt. Energetyczne Aspekty Oczyszczania Ścieków. Ustroń, ss.165–171
- GIGE 1983. Wytyczne ustalenia i stosowania państwowych normatywów zużycia paliw i energii oraz wskaźników jednostkowej energochłonności. Główny Inspektorat Gospodarki Energetycznej, Warszawa
- Kowalczyk R. 2004. Wpływ strumienia ścieków i ładunku zanieczyszczeń w zakładzie przemysłu owocowo-warzywnego na energochłonność ich oczyszczania. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 78(6): 219-222
- Kowalczyk R., Równicki M. 2003. Badanie struktury zużycia energii elektrycznej w oczyszczalni ścieków z zakładu przemysłu owocowo-warzywnego. Przem. Ferm. i Owoc.-Warz., 47(10): 28-30
- Kuś K. 1996. Energetyczne aspekty oczyszczania ścieków. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 70(2): 73

Neryng A., Wojalski J., Budny J., Krasowski E. 1990. Energia i woda w przemyśle rolno-spożywczym. WNT, Warszawa

Parlińska M., Wasilewska E. 1998. Statystyka matematyczna dla ekonomistów. Wydawnictwo SGGW, Warszawa

Wojdalski J., Domagała A., Kaleta A., Janus P. 1998. Energia i jej użytkowanie w przemyśle rolno-spożywczym. Wydawnictwo SGGW, Warszawa