

ENERGOCHŁONNOŚĆ OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW W WYBRANYM ZAKŁADZIE PRZEMYSŁU SPOŻYWCZEGO

Roman Kowalczyk, Jarostaw Wiczkowski

Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji,
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Wstęp

Wytwarzanie wielu produktów spożywczych wiąże się z powstawaniem ścieków o dużym ładunku zanieczyszczeń. Do produktów takich należą między innymi drożdże spożywcze. Oczyszczanie ścieków z drożdżowni wiąże się ze znacznymi nakładami energetycznymi. Badania mające na celu określenie rzeczywistego zużycia energii w procesie oczyszczania ścieków są podstawą do udoskonalania i wprowadzania nowych energooszczędnych rozwiązań technicznych.

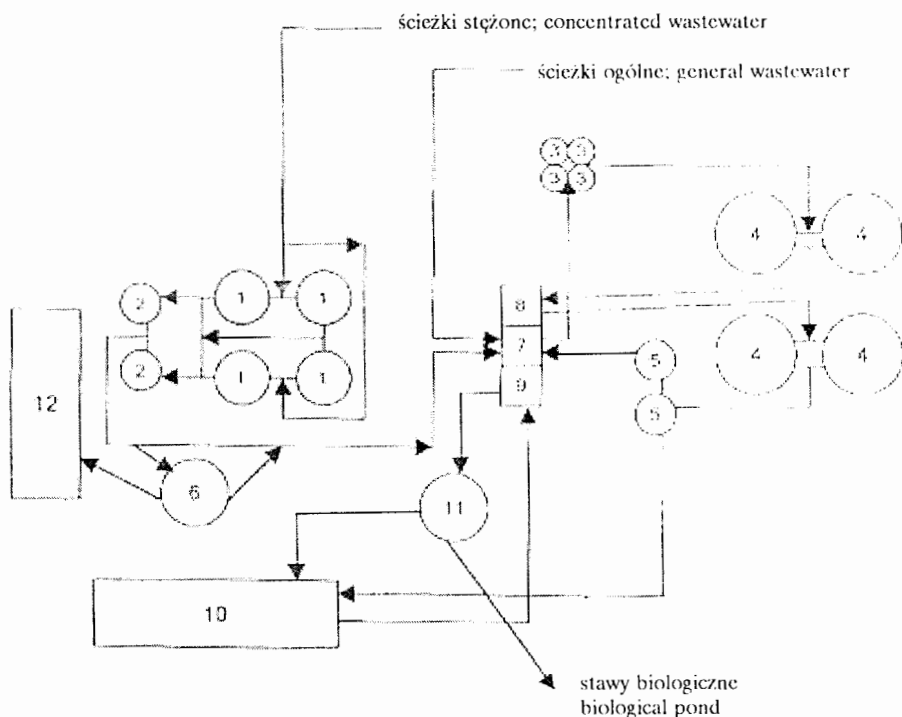
W pracy określono rzeczywiste zużycie czynników energetycznych w procesie oczyszczania ścieków z jednego z liczących się na rynku zakładu produkującego drożdże spożywcze, spirytus rektyfikowany i wódki.

Material i metody

Proces oczyszczania ścieków prowadzony był w przykładowej oczyszczalni (rys. 1), w której ścieki zawierające największy ładunek zanieczyszczeń (ścieki stężone), pochodzące z działu produkcji drożdży, oczyszczane były na początku metodą beztlenową. Następnie po zmieszaniu ze ściekami z innych działów zakładu (ścieki ogólnobytowe) oczyszczane były metodami tlenowymi z wykorzystaniem źródeł biologicznych i rowów cyrkulacyjnych z osadem czynnym. Praca swoim zakresem obejmowała zużycie energii elektrycznej i energii cieplnej w procesie oczyszczania ścieków. Zużycie energii określano w ciągu ośmiu typowych dni pracy oczyszczalni. Każdy dzień stanowił jedną serię pomiarową. W pracy określano:

- Strumień objętościowy ścieków – na podstawie zamontowanych w oczyszczalni liczników z dokładnością do 0,1 m³. Mierzono strumień ścieków stężonych z drożdżowni i ścieków po oczyszczeniu. Z różnicy określano strumień ścieków ogólnobytowych.

- Zużycie energii elektrycznej – na podstawie zakładowych liczników energii elektrycznej z dokładnością wskazania do 0,1 kWh.
- Strumień masowy wody gorącej ogrzewającej komory fermentacji beztlenowej – mierząc czas napełniania zbiornika o znanej objętości (0,2 m³). Czas napełniania mierzono stoperem z dokładnością do 0,1 s.
- Temperaturę wody gorącej – za pomocą termometru z odczytem elektronicznym z dokładnością do 0,1°C.
- Sumaryczne zużycie energii elektrycznej i ciepłej wyrażone w paliwie pierwotnym – przeliczając energię cieplną i elektryczną na energię pierwotną przy uwzględnieniu sprawności przemian: dla energii cieplnej – 0,7; dla energii elektrycznej – 0,3.
- Wartości BZT₅ (pięciodobowe biochemiczne zapotrzebowanie tlenu) ścieków na poszczególnych etapach oczyszczania – na podstawie analiz laboratorium zakładowego.



1 – komory fermentacyjne pierwszego stopnia; first stage fermentation chambers, 2 – komory fermentacyjne drugiego stopnia; second stage fermentation chambers, 3 – osadniki wstępne; primary sedimentation filters, 4 – złoża biologiczne; biological layers, 5 – osadniki wtórne; secondary sedimentation filters, 6 – komora fermentacyjna osadu; sediment fermentation chambers, 7, 8, 9 – przepompowania; pump station, 10 – rowy cyrkulacyjne; circulation trenches, 11 – osadnik wtórny po rowach; secondary sedimentation filters, 12 – poletka; fields of sediment

Rys. 1. Schemat oczyszczalni ścieków
Fig. 1. Scheme of wastewater treatment plant

Wyniki

Średnie wyniki badań zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1; Table 1

Energochłonność oczyszczania ścieków
Energy consumption in utilization process of wastewater

Parametr; Parameter	Wymiar; Dimension	Średnia; Mean
Wskaźniki energochłonności; Indices of energy consumption		
$I_{\text{en. elektr.}}$	$\text{kWh}\cdot\text{m}^{-3}$	0,760
$W_{\text{I: el.}}$	$\text{kWh}\cdot\text{kg}^{-1} \text{BZT}_{5\text{us}}; \text{kWh}\cdot\text{kg}^{-1} \text{BOD}_5$	0,569
$W_{\text{I: ciep.}}$	$\text{kWh}\cdot\text{kg}^{-1} \text{BZT}_{5\text{us}}; \text{kWh}\cdot\text{kg}^{-1} \text{BOD}_5$	2,182
$W_{\text{I: el. + ciep.}}$	$\text{kWh}\cdot\text{kg}^{-1} \text{BZT}_{5\text{us}}; \text{kWh}\cdot\text{kg}^{-1} \text{BOD}_5$	2,751
$W_{\text{I: beztl.}}$	$\text{kWh}\cdot\text{kg}^{-1} \text{BZT}_{5\text{us}}; \text{kWh}\cdot\text{kg}^{-1} \text{BOD}_5$	3,228
$W_{\text{I: tlen.}}$	$\text{kWh}\cdot\text{kg}^{-1} \text{BZT}_{5\text{us}}; \text{kWh}\cdot\text{kg}^{-1} \text{BOD}_5$	1,760
Wskaźniki energochłonności wyrażone w energii pierwotnej Indices of energy consumption expressed in primary energy		
$I_{\text{Pen. elektr.}}$	$\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$	9,117
$W_{\text{PI: el.}}$	$\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1} \text{BZT}_{5\text{us}}; \text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1} \text{BOD}_5$	6,833
$W_{\text{PI: ciep.}}$	$\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1} \text{BZT}_{5\text{us}}; \text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1} \text{BOD}_5$	11,222
$W_{\text{PI: el. + ciep.}}$	$\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1} \text{BZT}_{5\text{us}}; \text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1} \text{BOD}_5$	18,054
$W_{\text{PI: beztl.}}$	$\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1} \text{BZT}_{5\text{us}}; \text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1} \text{BOD}_5$	16,601
$W_{\text{PI: tlen.}}$	$\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1} \text{BZT}_{5\text{us}}; \text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1} \text{BOD}_5$	21,120

Wskaźniki energochłonności; Coefficients of energy consumption:

- $I_{\text{en. elektr.}}$ – zużycie energii elektrycznej w stosunku do objętości oczyszczanych ścieków; electric energy consumption in relation to volume of processed wastewater
- $I_{\text{Pen. elektr.}}$ – wyrażone w energii pierwotnej; related to the primary energy
- W_{I} – zużycie energii w stosunku do usuniętego ładunku BZT_5 ; energy consumption in relation to load of BOD_5 (5-day biochemical oxygen demand) removed from the wastewater:
- el – energii elektrycznej; electric energy
 - ciepl. – energii cieplnej; heat energy
 - el. + ciepł. – energii elektrycznej i cieplnej; electric and heat energy
 - beztł. – w procesie beztlenowym; at anaerobic process
 - tlen. – w procesie tlenowym; at oxygen process
- W_{PI} – wyrażone w energii pierwotnej; related to the primary energy

Energochłonność oczyszczania ścieków określano wskaźnikami zużycia energii w stosunku do objętości oczyszczonych ścieków i usuniętego ze ścieków ładunku zanieczyszczeń wyrażonego w kg BZT_5 ($\text{BZT}_{5\text{us}}$).

Wyniki i dyskusja

Wskaźnik zużycia energii elektrycznej ($I_{\text{en. elektr.}}$) w stosunku do oczyszczonych ścieków wynosił od 0,653 do 0,839 $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-3}$. Średnia z ośmiu serii pomiarowych wyniosła 0,760 $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-3}$. Różnica między skrajnymi wartościami wskaźnika zużycia energii elektrycznej wynosiła 0,186 $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-3}$, co stanowiło 22,1% wartości

maksymalnej. Wartość wskaźnika zużycia energii elektrycznej w badanej oczyszczalni nie odbiega od wskaźników uzyskiwanych w innych oczyszczalniach zarówno komunalnych [BERNACKA i in. 1991; ŁAPIAŚ i in. 1991; KASTERKA i in. 1995], jak i pracujących przy zakładach innych branż przemysłu spożywczego [KUCHARSKI, BĄBLARZ 1997].

Wskaźniki zużycia energii na 1 m³ oczyszczonych ścieków nie jest wskaźnikiem precyzyjnym. Bardziej precyzyjnym jest wskaźnik podający zużycie energii w stosunku do usuniętego ładunku zanieczyszczeń.

Wskaźnik zużycia energii elektrycznej ($W_{I, el.}$) w stosunku do usuniętego ze ścieków ładunku BZT_5 wyrażonego w kilogramach w badanej oczyszczalni przyjmował wartości od 0,521 do 0,631 kWh·kg⁻¹ BZT_{5us} . Średnia z ośmiu serii pomiarowych wyniosła 0,569 kWh·kg⁻¹ BZT_{5us} . Różnica między skrajnymi wartościami wskaźnika zużycia energii elektrycznej wynosiła 0,110 kWh·kg⁻¹ BZT_{5us} , co stanowiło 17,4% wartości maksymalnej. W literaturze [BERNACKA i in. 1991] powyższy wskaźnik przyjmował następujące wartości: dla oczyszczalni w Pruszkowie 1,49; dla oczyszczalni w Mińsku Mazowieckim 3,40 kWh·kg⁻¹ BZT_{5us} . Z przytoczonych danych wynika, że wartość tego wskaźnika w badanej oczyszczalni jest znacznie niższa od wartości podawanych w literaturze. Opisywane oczyszczalnie przerabiają tylko ścieki ogólnobytowe, które mają znacznie niższy ładunek BZT_5 niż ścieki stężone przerabiane w badanej oczyszczalni. Ścieki te różnią się również składem chemicznym. Ścieki z drożdżowni charakteryzują się silnym drożdżowym zapachem, przechodzącym w gnilny i dużą mętnością, są słabo kwaśne. Występują w nich znaczne ilości koloidalnych związków białkowych. Zanieczyszczenia występują głównie w postaci rozpuszczalnych związków organicznych. Ich BZT_5 jest bardzo wysokie i może przekroczyć 16 tys. g O₂·m⁻³ [NERYNG i in. 1990]. Jedenastoprocentowy udział ścieków stężonych w ściekach oczyszczonych powoduje znaczne obniżenie wskaźnika, ponieważ ścieki te oczyszczane są na początku metodą beztlenową, gdzie zużywana jest głównie energia cieplna.

Wskaźnik zużycia energii cieplnej ($W_{I, ciep.}$) w stosunku do usuniętego ze ścieków ładunku BZT_5 wyrażonego w kilogramach, w oczyszczonych ściekach w poszczególnych seriach pomiarowych mieścił się w granicach od 2,067 do 2,324 kWh·kg⁻¹ BZT_{5us} . Średnia z ośmiu serii pomiarowych wyniosła 2,182 kWh·kg⁻¹ BZT_{5us} . Różnica między skrajnymi wartościami wskaźnika zużycia energii cieplnej wynosiła 0,257 kWh·kg⁻¹ BZT_{5us} , co stanowiło 11,0% wartości maksymalnej. W literaturze [BERNACKA i in. 1991] powyższy wskaźnik przyjmował wartość 3,55 kWh·kg⁻¹ BZT_{5us} dla oczyszczalni w Mińsku Mazowieckim. Był więc o ok. 62% wyższy od wskaźnika uzyskanego w badanej oczyszczalni.

Sumaryczny wskaźnik zużycia energii elektrycznej i cieplnej ($W_{I, el. + ciep.}$) w stosunku do usuniętego ze ścieków ładunku BZT_5 wyrażonego w kilogramach przyjmował w poszczególnych seriach pomiarowych wartości od 2,599 do 2,948 kWh·kg⁻¹ BZT_{5us} . Średnia z ośmiu serii pomiarowych wyniosła 2,751 kWh·kg⁻¹ BZT_{5us} . Różnica między skrajnymi wartościami sumarycznego wskaźnika zużycia energii elektrycznej i cieplnej wynosiła 0,349 kWh·kg⁻¹ BZT_{5us} , co stanowi 11,8% wartości maksymalnej. W literaturze [BERNACKA i in. 1991] powyższy wskaźnik przyjmuje następujące wartości: dla oczyszczalni w Pruszkowie 2,26; dla oczyszczalni w Mińsku Mazowieckim 6,95 kWh·kg⁻¹ BZT_{5us} . Wskaźnik z oczyszczalni w Pruszkowie jest zbliżony do średniego wskaźnika badanej oczyszczalni, zaś z oczyszczalni w Mińsku Mazowieckim jest 2,5 razy większy od wskaźnika w badanej oczyszczalni.

Porównując zużycie energii w procesie beztlenowym i tlenowym stwierdzono większe o ok. 80% zużycie w procesie beztlenowym. Należy jednak pamiętać, że w procesie beztlenowym używana jest głównie energia cieplna, a w procesie tlenowym tylko energia elektryczna.

W przypadkach używania w danym procesie energii cieplnej i elektrycznej, przy obliczaniu sumarycznego wskaźnika energochłonności, proste dodawanie obu energii może zamazywać obraz rzeczywistego zużycia ze względu na różną sprawność otrzymywania energii cieplnej i elektrycznej. Aby tego uniknąć energochłonność oczyszczania ścieków w badanej oczyszczalni przeliczono również na energię pierwotną z uwzględnieniem sprawności przemian energetycznych.

Sumaryczny wskaźnik zużycia energii elektrycznej i cieplnej ($W_{PI: el. + ciepl.}$) w badanej oczyszczalni wyrażony w energii pierwotnej w stosunku do usuniętego ze ścieków ładunku BZT_5 wyrażonego w kilogramach przyjmował wartości w poszczególnych seriach pomiarowych od 16,939 do 19,440 $MJ \cdot kg^{-1} BZT_{5us}$. Średnia z ośmiu serii pomiarowych wyniosła 18,054 $MJ \cdot kg^{-1} BZT_{5us}$. Różnica między skrajnymi wartościami sumarycznego wskaźnika zużycia energii elektrycznej i cieplnej wyrażona w energii pierwotnej wynosiła: 2,501 $MJ \cdot kg^{-1} BZT_{5us}$, co stanowiło 12,8% wartości maksymalnej.

Porównując średnie wskaźniki energochłonności procesu tlenowego (21,12 $MJ \cdot kg^{-1} BZT_{5us}$) i beztlenowego (16,601 $MJ \cdot kg^{-1} BZT_{5us}$) wyrażone w energii pierwotnej, stwierdzono większe o 27,2% zużycie energii w procesie tlenowym.

Otrzymanych wartości wskaźników w energii pierwotnej nie można porównać z innymi badaniami, ponieważ w dostępnej literaturze podawane wskaźniki energochłonności nie są przeliczane na energię pierwotną.

Wiele zagadnień dotyczących energetycznych aspektów oczyszczania ścieków poruszają cykliczne konferencje organizowane w Ustroniu [Kuiś 1996].

Wnioski

Po przeprowadzeniu analizy uzyskanych wyników wyciągnięto następujące stwierdzenia i wnioski:

1. Średni wskaźnik zużycia energii elektrycznej w stosunku do ilości oczyszczonych ścieków wynosił 0,760 $kWh \cdot m^{-3}$ i mieścił się w granicach podawanych w literaturze (od 0,21 do 1,20 $kWh \cdot m^{-3}$), zaś w stosunku do usuniętego ładunku zanieczyszczeń wynosił 0,569 $kWh \cdot kg^{-1} BZT_{5us}$ i był kilkakrotnie niższy niż dane literaturowe (od 1,49 do 3,40 $kWh \cdot kg^{-1} BZT_{5us}$). Różnice wynikają głównie z ładunku zanieczyszczeń w oczyszczanych ściekach.
2. Średni wskaźnik zużycia energii cieplnej w stosunku do usuniętego ładunku zanieczyszczeń wynosił 2,182 $kWh \cdot kg^{-1} BZT_{5us}$ i był mniejszy o ok. 40% od wskaźnika uzyskanego w innych oczyszczalniach.
3. Średni sumaryczny wskaźnik zużycia energii elektrycznej i cieplnej w stosunku do usuniętego ładunku zanieczyszczeń wynosił 2,751 $kWh \cdot kg^{-1} BZT_{5us}$ i był 2,5 razy mniejszy w porównaniu z danymi w literaturze. Może to świadczyć o mniej energochłonnym procesie oczyszczania ścieków w badanej oczyszczalni przy porównywalnej wydajności.

4. Porównując średnie wskaźniki energochłonności procesu oczyszczania tlenowego i beztlenowego, wyrażone w energii pierwotnej, stwierdzono większe o około 27% zużycie energii w procesie tlenowym.

Literatura

BERNACKA J., KALISZ L., JETHON L. 1991. *Ocena wybranych oczyszczalni ścieków*. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa: 14–15, 30–31.

KASTERKA B., KASTERKA B.I., BONIASZCZUK P. 1995. *Analiza efektywności pracy oczyszczalni typu „Biooxyblok” z uwzględnieniem redukcji azotu i fosforu*. Referat z konferencji naukowo-technicznej „Energetyczne aspekty oczyszczania ścieków”. Ustroń, 14–15 IX 1995: 221–224.

KUCHARSKI B., BABIARZ B. 1997. *Energooszczędność w procesach oczyszczania ścieków*. Mat. z II Konferencji Naukowo-Technicznej „Energetyczne aspekty oczyszczania ścieków”. Ustroń, 30 IX–1 X 1997: 11–19.

KUŚ K. 1996. *Energetyczne aspekty oczyszczania ścieków*. Gaz, Woda i Technika Sanitarna 2: 73.

ŁAPTAŚ E., KURBIEL J. 1991. *Efektywność procesu osadu czynnego na przykładzie oczyszczalni w Olkuszu*. Mat. III Kongresu Kanalizatorów Polskich, Łódź, T. II: 109–123.

NERYNG A., WOJDALSKI J., BUDNY J., KRASOWSKI E. 1990. *Energia i woda w przemyśle rolno-spożywczym*. WNT, Warszawa: 384 ss.

Słowa kluczowe: oczyszczanie ścieków, zużycie energii

Streszczenie

W pracy określono rzeczywiste zużycie czynników energetycznych w procesie oczyszczania ścieków z zakładu przemysłu spożywczego produkującego drożdże spożywcze i wódki.

Energochłonność oczyszczania ścieków określono wskaźnikami zużycia energii w stosunku do objętości oczyszczonych ścieków i usuniętego ze ścieków ładunku BZT₅ wyrażonego w kg (BZT_{5us}). Wskaźniki przyjmowały następujące wartości: średni wskaźnik zużycia energii elektrycznej – 0,569 kWh·kg⁻¹ BZT_{5us}; energii cieplnej – 2,182 kWh·kg⁻¹ BZT_{5us}; średni sumaryczny wskaźnik zużycia energii cieplnej i elektrycznej w paliwie pierwotnym – 18,054 MJ·kg⁻¹ BZT_{5us}.

ENERGY CONSUMPTION OF WASTEWATER PROCESSING IN PLANT OF FOOD INDUSTRY

Roman Kowalczyk, Jarosław Wiczkowski
Department of Food Engineering and Process Management,
Warsaw Agricultural University, Warszawa

Key words: wastewater processing, energy consumption

Summary

The real energy consumption in processing of wastewater discharged by a food industry plant producing yeast and alcoholic beverages (vodkas) was determined in this study. The energy consumption for wastewater processing was determined by the used energy coefficients in relation to volume of processed wastewater and load of BOD_5 (5-day biochemical oxygen demand) removed from the wastewater expressed in kg. The following values of the used energy coefficients were found: mean used electric power coefficient – $0.569 \text{ kWh}\cdot\text{kg}^{-1} BOD_5$; heat input coefficient – $2.182 \text{ kWh}\cdot\text{kg}^{-1} BOD_5$; mean total used energy (electric power plus heat input) of primary fuel – $18.054 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1} BOD_5$.

Dr inż. Roman **Kowalczyk**
Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
ul. Nowoursynowska 159c
02-787 WARSZAWA