

ŚCIEKI JAKO ŹRÓDŁO CIEPŁA ODPADOWEGO – STUDIUM PRZYPADKU

Alina Żogała¹, Helena Darul², Marcin Głodniok¹, Paweł Zawartka¹

¹ Główny Instytut Górnictwa, Plac Gwarków 1, 40-166 Katowice, e-mail: azogała@gig.eu

² Jastrzębski Zakład Wodociągów i Kanalizacji, Podhalańska 7, 44-268 Jastrzębie-Zdrój, e-mail: helena.darul@jzwik.com.pl

STRESZCZENIE

W artykule opisano możliwość wykorzystania ścieków oczyszczonych z miejskiej oczyszczalni ścieków jako dolnego źródła ciepła odpadowego. Przedstawiono i obliczono teoretyczne możliwości odbioru ciepła z uwzględnieniem metody pośredniej oraz bezpośredniej. Analizę przypadku w ujęciu wariantowym przeprowadzono na przykładzie miejskiej mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków *Ruptawa* należącej do Jastrzębskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji (woj. Śląskie, miasto Jastrzębie).

Słowa kluczowe: oczyszczanie ścieków, wykorzystanie ciepła odpadowego

MUNICIPAL WASTEWATER AS AN SOURCE OF WASTE HEAT – CASE STUDY

ABSTRACT

The paper describes the possibility of using treated wastewater from municipal waste water treatment plant as a waste heat source. Presented and calculated theoretical possibilities of receiving heat takes into account the indirect and direct method. A variant case study was carried out on the example of municipal mechanical and biological wastewater treatment plant *Ruptawa* belonging to Jastrzębskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji (voivodship Silesia, Jastrzębie City).

Keywords: waste water treatment, waste heat reuse

WPROWADZENIE

Nieustannie kurczące się zasoby paliw kopalnych oraz związane z ich przetwarzaniem zanieczyszczenie środowiska naturalnego to jedne z najpoważniejszych problemów współczesnej energetyki. W tej sytuacji konieczne jest poszukiwanie rozwiązań alternatywnych w stosunku do tradycyjnych technologii opartych o nośniki konwencjonalne (jak węgiel, ropa naftowa czy gaz ziemny), rozwój nowoczesnych „czystych technik” wytwarzania energii oraz racjonalizacja jej użytkowania np. poprzez ograniczenie tzw. strat oraz wykorzystanie ciepła odpadowego [Czarniecki 2014].

Powszechnie znana zasada zachowania energii stwierdza jednoznacznie, że energia nie może powstać „z niczego” ani też całkowicie zanikać. W każdym procesie generowana jest jednak pewna ilość ciepła pozornie bezużytecznego i odpro-

wadzanego do otoczenia np. w strumieniu gorących spalin lub poprzez wodę chłodzącą. Mówi się wówczas o stratach ciepła lub o energii odpadowej. Zagospodarowanie energii odpadowej umożliwia uzyskanie szeregu korzyści, związanych m.in. z:

- zmniejszeniem zużycia paliw kopalnych,
- obniżeniem nakładów na transport paliw i przesyłania nośników,
- obniżeniem nakładów na przetwarzanie i uszlachetnianie paliw,
- obniżeniem emisji gazowych produktów spalania,
- zmniejszeniem ilości stałych odpadów z procesu spalania,
- redukcją poziomu szkód górniczych [Kubski 2014].

Obecnie więc coraz częściej zwraca się uwagę na zwiększenie efektywności energetycznej

poprzez użytkowanie ciepła odpadowego. Próby wykorzystania niekonwencjonalnych źródeł energii podjęto również w komunalnych i przemysłowych oczyszczalniach ścieków. W obiektach tego typu ciepło odpadowe może posłużyć do ogrzewania budynków, przygotowania wody użytkowej, ogrzewania komór fermentacyjnych oraz szeregu procesów związanych z gospodarką osadami ściekowymi (np. suszenia).

Aby energia odpadowa mogła być wykorzystywana w sposób najbardziej optymalny należy zdefiniować jej źródła oraz ocenić dostępne „zasoby”. Problematykę tę, dla konkretnego obiektu technologicznego, poruszono w niniejszej publikacji.

W artykule przedstawiono analizę celowości wykorzystania energii odpadowej na terenie oczyszczalni ścieków *Ruptawa* w Jastrzębiu-Zdroju. Ilości ciepła unoszonego w strumieniu gorących spalin oraz przenikającego przez ścianki rurociągu przesyłowego z gorącym powietrzem nie są duże. W związku z tym odzysk energii z tych źródeł nie ma większego uzasadnienia. Natomiast ścieki mogłyby dostarczyć oczyszczalni bardzo dużych ilości dodatkowego ciepła. W niniejszym artykule skoncentrowano się więc na dokładnej analizie tego źródła.

CHARAKTERYSTYKA OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW RUPTAWA

Mechaniczno-biologiczna oczyszczalnia ścieków ze zintegrowanym usuwaniem związków biogenych *Ruptawa* zlokalizowana jest w województwie śląskim, w południowej części miasta Jastrzębie Zdrój nad potokiem Ruptawka.

Oczyszczalnia ścieków *Ruptawa* przyjmuje 90% ścieków pochodzących z aglomeracji Jastrzębie Zdrój (wielkość aglomeracji 113 398 RLM). Aktualnie przepustowość oczyszczalni *Ruptawa* kształtuje się na poziomie 11 017 m³/d (średnia w 2015r.). Ostatnia modernizacja oczyszczalni zakończyła się podczas inwestycji dofinansowanej z Funduszu Spójności w latach 2004–2010.

Proces oczyszczania ścieków na oczyszczalni *Ruptawa* oparty jest na technologii osadu czynnego ze zintegrowanym usuwaniem związków biogenych. Ścieki surowe po oczyszczeniu mechanicznym kierowane są grawitacyjnie do pompowni ścieków pierwszego stopnia, a stamtąd do komór: predenitryfikacji, defosfatacji oraz komór denitryfikacji. Po części anoksycznej ścieki kie-

rowane są do części tlenowej zintegrowanego procesu oczyszczania. Założona technologia Johannesburg (JHB) została zmodyfikowana o podczyszczanie odcieków na reaktorze SBR. W celu zabezpieczenia wysokiego stopnia usuwania fosforu w ciągu technologicznym przewidziano dodatkowo strącanie symultaniczne fosforu na drodze chemicznej. Ścieki po części biologicznej kierowane są grawitacyjnie do osadników wtórnych, gdzie następuje sedymentacja osadu czynnego czyli oddzielenie osadu czynnego od ścieków oczyszczonych.

Część ścieków oczyszczonych z osadników wtórnych kierowana jest do zbiorników wody technologicznej, a pozostała ilość bezpośrednio na wylot z oczyszczalni, gdzie jest monitorowana. „Woda technologiczna” wykorzystywana jest na cele własne oczyszczalni, a pozostała część przez klientów zewnętrznych, jako „woda przemysłowa”. Woda przemysłowa poddawana jest dodatkowo dezynfekcji promieniami UV.

MOŻLIWOŚCI ODZYSKU CIEPŁA ZE ŚCIEKÓW

Ścieki, jak już to wcześniej zostało wspomniane mogą być źródłem znacznych ilości ciepła. Medium to charakteryzuje się dużą pojemnością cieplną, gęstością a także stosunkowo wysoką temperaturą – w miesiącach zimowych przekracza ona zwykle 10°C, w letnich 20°C. Ponadto, w przypadku obiektu takiego jak oczyszczalnia, ścieki są doprowadzane w sposób regularny oraz w znaczącej objętości. Obniżenie temperatury tego medium o kilka stopni pozwoliłoby więc na pozyskanie bardzo dużych ilości energii [Górski 2013].

Możliwość odzysku ciepła ze ścieków jest determinowana przez szereg czynników. Najważniejszym z nich jest wcześniej już wspomniana temperatura – im jest ona wyższa tym więcej energii można pozyskać. Temperatura ścieków jest nie tylko uzależniona od pory roku, ale również od pory dnia (nocą, gdy ilość odprowadzanych ścieków jest mniejsza, to ich temperatura jest zwykle o 2–3°C niższa w porównaniu z godzinami dziennymi), etapu procesu oczyszczania (ścieki surowe mają wyższą temperaturę niż oczyszczone), a w przypadku ścieków ogólnospławnych również od występowania opadów (podczas deszczu czy roztopów temperatura ścieków może spaść o kilka stopni).

Ważne są również takie czynniki jak parametry kanału (nie wszystkie wymiary oraz stan techniczny pozwalają na umieszczenie instalacji do odzysku ciepła), ilości dostępnych ścieków oraz ich jakości. Cząstki stałe i zanieczyszczenia biologiczne mogą się bowiem osadzać na wymiennikach, przyczyniając się do zmniejszenia (czasem nawet o 50%) efektywności transportu ciepła ze ścieków do podgrzewanego czynnika. Z drugiej jednak strony powstawanie warstwy biofilmu może znacząco zwiększyć powierzchnię kontaktu między medium a ścianami wymiennika, co jest z kolei efektem korzystnym [Słyś 2013].

Energię cieplną można pozyskać ze ścieków w sposób pośredni lub bezpośredni. W przypadku metody bezpośredniej medium to stanowi dolne źródło ciepła dla pompy ciepłej (czyli urządzenia umożliwiającego transport ciepła ze źródeł o temperaturze niższej do źródeł o temperaturze wyższej, proces wymaga więc dostarczenia energii z zewnątrz). Natomiast sposób pośredni opiera się na zastosowaniu przed pompą dodatkowego wymiennika. Pierwsza z tych dwóch metod pozwala na osiągnięcie lepszych współczynników efektywności (poprzez wyeliminowanie z instalacji dodatkowych elementów jak wymienniki lub pompy obiegowe) oraz obniżenie kosztów inwestycyjnych w porównaniu do metody pośredniej. Jednakże zanieczyszczenia obecne w ściekach (zwłaszcza surowych) mogą powodować korozję elementów pompy oraz przyczynić się do zatrzymania przepływu przez urządzenie. Stąd też w wielu przypadkach istnieje konieczność stosowania pośrednich wymienników [Słyś 2013].

Bilans cieplny wymiennika opisywany jest poniższą zależnością [Pudlik 2012]:

$$\dot{m}_1 \cdot c_{p,1} \cdot (T_1' - T_1'') = \dot{m}_2 \cdot c_{p,2} \cdot (T_2'' - T_2') \quad (1)$$

gdzie: \dot{m}_1 – strumień czynnika chłodzonego, [kg/s],

\dot{m}_2 – strumień czynnika ogrzewanego, [kg/s],

$c_{p,1}$ – pojemność cieplna właściwa czynnika chłodzonego, [kJ/kgK],

$c_{p,2}$ – pojemność cieplna właściwa czynnika ogrzewanego, [kJ/kgK],

T_1' , T_1'' – temperatura czynnika chłodzonego odpowiednio na wlocie i wylocie z wymiennika ciepła, [K],

T_2' , T_2'' – temperatura czynnika ogrzewanego odpowiednio na wlocie i wylocie z wymiennika ciepła, [K].

Natomiast bilans energetyczny pompy ciepłej dany następującym równaniem [Rosiński 2008]:

$$\dot{Q}_g = \dot{Q}_d + \dot{L} \quad (2)$$

gdzie: \dot{Q}_g – moc cieplna źródła górnego, [kW],

\dot{Q}_d – moc cieplna źródła dolnego, [kW],

\dot{L} – moc dostarczona do układu, [kW].

Definiuje się również tzw. współczynnik efektywności oznaczony skrótem COP (z ang. *coefficient of performance*) [Rosiński 2008]:

$$\text{COP} = \frac{\dot{Q}_g}{\dot{L}} = \frac{\dot{Q}_d + \dot{L}}{\dot{L}} \quad (3)$$

Im wyższą wartość osiąga COP, tym wyższa jest sprawność pompy ciepłej. Moc cieplną źródła dolnego (ścieków) obliczyć można korzystając z zależności [Cipolla 2014]:

$$\dot{Q}_d = c_w \cdot \rho_w \cdot \dot{V}_w \cdot \Delta T \quad (4)$$

gdzie: c_w – pojemność cieplna właściwa medium, [kJ/kgK]

ρ_w – gęstość medium, [kg/m³]

\dot{V}_w – natężenie przepływu medium, [m³/s]

ΔT – różnica temperatury medium przed i po schłodzeniu, [K].

Ciepło można pozyskiwać zarówno ze ścieków surowych jak i oczyszczonych, a także podczas procesu ich oczyszczania. Chociaż odzysk ciepła ze ścieków surowych jest efektywny energetycznie (ze względu na wyższą temperaturę medium), budzi szereg wątpliwości. Obniżenie temperatury ścieków (w celu pozyskania energii) wpłynie bowiem negatywnie na skuteczność usuwania substancji o charakterze biogennym na etapie późniejszego oczyszczania strumienia. W przypadku wykorzystania ścieków surowych pojawiają się też inne problemy jak znaczne wahania temperatury w cyklu dobowym i rocznym oraz większe stężenie zanieczyszczeń, które mogą osadzać się na powierzchni wymienników ciepła w postaci biofilmu oraz prowadzić do korozji urządzeń [Słyś 2013]. Stąd też w niniejszym artykule skoncentrowano się na możliwości odzysku ciepła ze ścieków oczyszczonych.

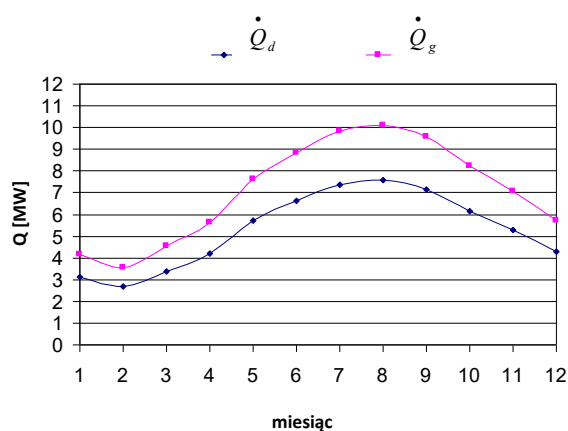
WARIANTY ODZYSKU CIEPŁA ZE ŚCIEKÓW

Na potrzeby analizy założono, że ścieki posiadają następujące właściwości (przyjęto parametry wody): $c_w=4,186$ kJ/kgK oraz $\rho_w=1000$ kg/m³. Natomiast dane (w rozkładzie na poszczególne miesiące 2015 roku) dotyczące wielkości strumieni tych ścieków oraz ich temperatur zebrano w tabeli 1.

Rozważono dwa sposoby odzysku ciepła – pośredni i bezpośredni. W pierwszym przypadku założono, że wykorzystana zostanie pompa ciepła o współczynniku efektywności COP=4, a ścieki zostaną schłodzone do temperatury 8°C. Na rysunku 1 przedstawiono obliczone wartości mocy ciepła dolnego \dot{Q}_d oraz całkowitego strumienia ciepła \dot{Q}_g możliwego do uzyskania ze ścieków w tym układzie.

Natomiast w przypadku metody pośredniej przyjęto że ścieki zostaną w wymienniku ciepła schłodzone do temperatury 9°C aby pogrzać wodę o temperaturze 5°C i natężeniu przepływu 0,15 m³/s. Tak pogrzana woda będzie następnie stanowiła dolne źródło ciepła dla pompy o współczynniku efektywności COP=4 i zostanie schłodzona do temperatury 8°C. Wyniki obliczeń zestawiono na rysunku 2.

Analiza powyższych zestawień pozwala stwierdzić, że w przypadku zastosowania bezpośrednio pompy ciepłej miesięcznie można odzyskać ze ścieków 3–10 MW mocy cieplnej, natomiast rocznie prawie 85 MW. Dla układu wykorzystującego dodatkowy wymiennik odzysk



Rys. 1. Ilość ciepła możliwa do odzyskania ze ścieków z Oczyszczalni Ruptawa w rozkładzie na poszczególne miesiące 2015 roku – metodą bezpośrednią (pompa ciepła)

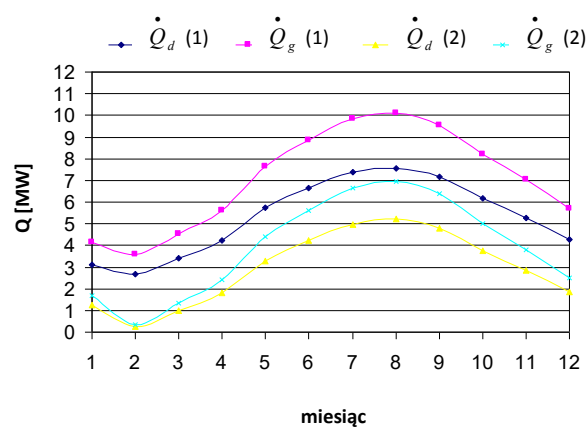
Tabela 1. Parametry ścieków z Oczyszczalni Ruptawa, dane z roku 2015 (dane PWiK Jastrzębie)

Miesiąc	T, [°C]	\dot{V} , [m ³ /s]
styczeń	14	0,1238
luty	13	0,1279
marzec	14,5	0,1249
kwiecień	16	0,1260
maj	18,6	0,1290
czerwiec	20,7	0,1247
lipiec	22,3	0,1233
sierpień	23,7	0,1152
wrzesień	22,4	0,1189
październik	20,15	0,1211
listopad	17,7	0,1300
grudzień	16,2	0,1245

ciepła wynosi miesięcznie 0,3–7 MW, rocznie ok. 47MW. Stanowi to 55,5% ilości ciepła odzyskiwanego metodą bezpośrednią.

WNIOSKI

1. Nieodłączną cechą wszystkich procesów technologicznych jest odprowadzenie do otoczenia pewnej ilości energii. Nie zawsze jednak należy mówić o stratach ciepła. W wielu przypadkach istnieje bowiem możliwość odzysku tej energii oraz jej ponownego wykorzystania, co w ogólnym rozrachunku wiąże się ze znacznymi korzyściami ekonomicznymi i środowiskowymi.



Rys. 2. Ilość ciepła możliwa do odzyskania ze ścieków z Oczyszczalni Ruptawa w rozkładzie na poszczególne miesiące 2015 roku – metodą pośrednią (1) oraz pośrednią (2)

2. Warunkiem wykorzystania ciepła odpadowego jest określenie jego źródeł i dostępnych zasobów. Każdy zakład technologiczny wykazuje inne możliwości użytkowania energii alternatywnej.
3. Ścieki oprowadzane z oczyszczalni mogą być źródłem bardzo dużej ilości energii cieplnej – rzędu kilkudziesięciu megawatów rocznie. Podczas projektowania instalacji odzysku ciepła z tego medium należy brać pod uwagę ich temperaturę, ilość oraz zdecydować czy proces będzie prowadzony przed czy po oczyszczeniu z substancji o charakterze biogennym.
4. Ciepło może być odzyskiwane ze ścieków w sposób bezpośredni (z wykorzystaniem pomp ciepła) oraz pośredni (z wykorzystaniem dodatkowego wymiennika przed pompą ciepła). Pierwsza z tych metod jest bardziej efektywna, dąga zaś wiąże się z mniejszym ryzykiem niszczenia i zatykania instalacji. Proces pośredni jest więc bardziej uniwersalny – pozwala bowiem na odzysk ciepła nie tylko ze ścieków oczyszczonych, ale i surowych, niosących znaczny ładunek zanieczyszczeń.

LITERATURA

1. Cipolla S., Maglionico M. 2014. Heat recovery from urban wastewater: analysis of the variability of flow rate and temperature in sewer of Bologna, Italy, *Energy Procedia* 45, 288–297.
2. Czarniecki D., Pisarev V., Dziopak J., Słyś D. 2014. Analiza techniczna i finansowa instalacji do odzysku ciepła ze ścieków w budynkach wielorodzinnych. [W:] Traczewska T., Kaźmierczak B. (red.) *Interdyscyplinarne zagadnienia w inżynierii i ochronie środowiska 4*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
3. Górski J., Matuszewska D. 2013. Możliwość pozyskiwania ciepła opadowego ze ścieków i systemów kanalizacji, *Piece Przemysłowe & Kotły*, VII-VIII, 21–28.
4. Kubski P. 2014. Poprawa efektywności energetycznej (2). *Energia odpadowa. Magazyn Instalatora*, 1(185), 42–44. <http://www.instalator.pl/2014/01/poprawa-efektywnosci-energetycznej-2-energia-odpadowa/>.
5. Pudlik W. 2012. *Wymiana i wymienniki ciepła*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk.
6. Rosiński M. 2008. *Odzyskiwanie ciepła w wybranych technologiach inżynierii środowiska*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
7. Słyś D., Kordana S. 2013. *Odzysk ciepła odpadowego w instalacjach i systemach kanalizacyjnych*, Wydawnictwo i Handel Książkami „KaBe”, Krosno.