

# WYKORZYSTANIE ENTALPII STRUGI ŚCIEKÓW DLA PRODUKCJI CIEPŁA NA PRZYKŁADZIE OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW W KĘTACH

Streszczenie

*W pracy dokonano analizy celowości wykorzystania ciepła odpadowego ze ścieków oczyszczonych przy wykorzystaniu pomp ciepła do pokrycia potrzeb cieplnych obiektów w średniej wielkości oczyszczalni ścieków. Obiekty znajdujące się na terenie oczyszczalni ścieków charakteryzują się zapotrzebowaniem na moc cieplną do ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej na poziomie 123 kW. Potrzeby te w chwili obecnej pokrywane są w całości poprzez spalanie gazu ziemnego, którego w sezonie grzewczym zużywa się ok. 44 tys. m<sup>3</sup>. Roczne koszty ponoszone na ten cel wynoszą ok. 64 tys. zł. W pracy rozpatrzono cztery warianty wykorzystania pomp ciepła w obiektach oczyszczalni charakteryzujące się różnym stopniem pokrycia ich potrzeb cieplnych. Zastosowanie pomp ciepła w systemie grzewczym pozwala na pokrycie potrzeb cieplnych w zależności od przyjętego wariantu od ok. 10 do blisko 85%. Roczne oszczędności oczyszczalni z tytułu zastosowania pomp ciepła do ogrzewania obiektów w zależności od zastosowanego wariantu mogą wynieść od 12 do ok. 60%.*

## 1. Wprowadzenie

Zadaniem oczyszczalni ścieków, zgodnie z jej nazwą, jest oczyszczanie dostarczonych ścieków komunalnych i przemysłowych w takim stopniu, by ich odprowadzenie do wód powierzchniowych odbywało się z możliwie minimalnym skutkiem dla środowiska naturalnego. Jednakże, aby oczyszczalnia mogła prawidłowo funkcjonować, wymagane jest dostarczenie szeregu dodatkowych usług. Jednym z takich czynników, bez których współczesna oczyszczalnia ścieków nie jest w stanie funkcjonować, jest energetyczne zaopatrzenie obiektów oczyszczalni. Dotyczy to energii elektrycznej niezbędnej do pracy urządzeń oraz ciepła potrzebnego zarówno do ogrzewania obiektów, jak i do procesów technologicznych związanych z gospodarką osadami ściekowymi [7]. Ciągły wzrost cen paliw powoduje, że coraz większą wagę przywiązuje się do kosztów zakupu tych nośników.

Ścieki znajdujące się na oczyszczalni mają temperaturę od kilku do dwudziestu kilku stopni Celsjusza, w zależności od pory roku oraz od tego, na jakim etapie procesu oczyszczania się znajdują w danej chwili. Wpływające do oczyszczalni ścieki surowe charakteryzują się stosunkowo niedużą zmiennością temperatury w ciągu roku, są one bowiem dostarczane podziemnymi rurociągami kanalizacji sanitarnej, a więc są chronione przed wpływem czynników zewnętrznych. Ich temperatura na dopływie do oczyszczalni w ciągu roku wynosi przeciętnie 12-15°C. W trakcie procesu oczyszczania na temperaturę ścieków, oprócz czynników atmosferycznych, wpływają chemiczno-biologiczne zjawiska egzotermiczne na poszczególnych ciągach technologicznych oczyszczalni. Temperatura ścieku oczyszczonego na wylocie z oczyszczalni jest uzależniona od pory roku i waha się od 10°C w zimie do 20°C w lecie. Potencjał energetyczny ścieków wynika z możliwego stopnia ich schłodzenia oraz wielkości przepływu. Przyjmując najmniej korzystne dla ścieku oczyszczonego warunki (temperatura 10°C), należy założyć dopuszczalne schłodzenie ścieku o 5°C [2]. Odbiór niskotemperaturowego ciepła ze ścieków możliwy jest na każdym etapie ich oczyszczania do tego celu najlepiej nadają się pompy ciepła [1, 4, 7]. Zwykle w przypadku ciepła wytworzonego przez pompę ciepła istnieje bardzo duża nadwyżka potencjału źródła nad potrzebami cieplnymi oczyszczalni, a temperatura wytworzonego ciepła umożliwia zastosowanie go do przygotowania cie-

plej wody użytkowej, wspomaganie podgrzewu osadów ściekowych oraz wspomaganie ogrzewania obiektów [7].

## 2. Cel i zakres pracy

W pracy dokonano analizy celowości wykorzystania ciepła odpadowego ze ścieków oczyszczonych do produkcji ciepła na terenie oczyszczalni.

Zakres pracy obejmuje analizę bieżącego zużycia energii cieplnej oraz kosztów ponoszonych na ogrzewanie obiektów oczyszczalni. Rozpatrzono cztery warianty wykorzystania pomp ciepła w obiektach oczyszczalni charakteryzujące się różnym stopniem pokrycia ich potrzeb cieplnych oraz określono zmianę rocznych kosztów ogrzewania w zależności od zaproponowanego wariantu.

## 3. Charakterystyka oczyszczalni ścieków w Kętach

Oczyszczalnia ścieków w Kętach jest oczyszczalnią typu mechaniczno-biologicznego.

Przyjmuje ona ścieki komunalne, czyli mieszaninę ścieków bytowych, przemysłowych i opadowych lub roztopowych.

Są to ścieki z gminy Kęty i gminy Porąbka.

1. Projektowa przepustowość oczyszczalni biologicznej: 8.500 m<sup>3</sup>/dobę
2. Ilość ścieków:  
Dopływ ścieków na oczyszczalnię - 10 429 m<sup>3</sup>/dobę,  
- 317 228 m<sup>3</sup>/miesiąc  
Ilość ścieków dowożonych samochodami asenizacyjnymi - 1 853 m<sup>3</sup>/miesiąc

## 4. Stan istniejący zaopatrzenia w ciepło i podstawowe założenia techniczne

### 4.1. Opis techniczny stanu istniejącego zaopatrzenia w ciepło obiektów oczyszczalni

Do pokrycia zapotrzebowania ciepła na cele centralnego ogrzewania (c.o.), wentylacji i ciepłej wody użytkowej (c.w.u.) zastosowano dwa wodne, stalowe, niskotemperaturowe kotły c.o. o mocy nominalnej 127 kW z dwustopniowymi palnikami gazowymi. Kotły pracują na zmianę (jeden z nich stanowi rezerwę). Wykorzystują one gaz ziemny GZ-50 dostarczany z wewnętrznej instalacji gazu. Obiegi kotłowe oddzielone są od obiegu grzewczych sprzęgiem hydraulicznym. Instalacja

centralnego ogrzewania, wyposażona jest w grzejniki płytowo-konwektorowe z zaworami termostatycznymi. Przygotowanie ciepłej wody następuje w pojemnościowym podgrzewaczu ciepłej wody użytkowej o pojemności 300 dm<sup>3</sup>. W okresie letnim zasobnik c.w.u. w miarę potrzeb ładowany jest z kotła pracującego na I stopniu palnika. Ciepło do poszczególnych obiektów jest w chwili obecnej dostarczane za pośrednictwem sieci ciepłej wykonanej z rur stalowych izolowanych cieplnie i prowadzonych w murowanych kanałach ciepłowniczych.

#### 4.2. Parametry techniczno-ekonomiczne

Podstawą do rozważań nad koncepcją zakładającą odzysk ciepła odpadowego ze ścieków oczyszczonych w oczyszczalni za pomocą pompy ciepła była ocena parametrów dolnego źródła ciepła, którym są ścieki oczyszczone a także wielkością ciepła wyprodukowanego, a więc zapotrzebowaniem na ciepło w obiektach oczyszczalni.

Zestawienie średniomiesięcznych wielkości natężenia przepływu i temperatury ścieków zestawiono w tab. 1.

Tab. 1. Podstawowe parametry wody stanowiącej dolne źródło ciepła

Table 1. Basic parameters of water constituting ground water source

Wyszczególnienie	Średniodobowe natężenie przepływu [tys. m <sup>3</sup> · d <sup>-1</sup> ]	Wydajność dolnego źródła [dm <sup>3</sup> · s <sup>-1</sup> ]	Temperatura ścieków [°C]
Styczeń	9,81	113	8,6
Luty	13,8	160	8,0
Marzec	12,3	142	8,2
Kwiecień	10,2	117	9,1
Maj	8,93	103	10,9
Czerwiec	10,1	117	12,2
Lipiec	9,0	104	14,7
Sierpień	7,66	88	18
Wrzesień	14,1	165	14,7
Październik	9,55	110	14,3
Listopad	10,6	122	12,4
Grudzień	11,1	128	11,1
<b>Średniorocznie</b>	<b>10,6</b>	<b>122</b>	<b>11,9</b>

Tab. 2. Zbiorcze zestawienie średniorocznej wielkości zużycia gazu ziemnego i ponoszonych kosztów na ogrzewanie

Table 2. Comprehensive specification of annual average consumption of natural gas and costs incurred by heating

Wyszczególnienie	Zużycie dobowe [m <sup>3</sup> ]	Zużycie miesięczne [tys. m <sup>3</sup> ]	Miesięczny koszt ogrzewania [tys. zł]
Styczeń	268,6	8,33	12,1
Luty	200,5	5,61	8,1
Marzec	196,4	6,10	8,7
Kwiecień	69,6	2,10	3,1
Maj	59,8	1,85	2,7
Czerwiec	25,3	0,75	1,9
Lipiec	20,5	0,63	0,9
Sierpień	22,5	0,64	1,0
Wrzesień	32,8	0,98	1,4
Październik	124,5	3,86	5,5
Listopad	203,4	6,11	8,8
Grudzień	234,4	7,26	10,5
<b>Razem rocznie</b>		<b>44,22</b>	<b>63,85</b>

Moc dolnego źródła obliczono korzystając z zależności:

$$\dot{Q}_d = \dot{m} \cdot C_w \cdot \Delta T \quad [\text{kW}] \quad (1)$$

gdzie:

$\dot{m}$  - masowe natężenie przepływu wody [kg · s<sup>-1</sup>],

$C_w$  - ciepło właściwe wody [J · (kg · K)<sup>-1</sup>],

$\Delta T$  - obniżenie temperatury ścieków po przejściu przez wymiennik - parowacz pompy ciepła [K], do obliczeń założono  $\Delta T = 3$  K.

Moc cieplna dolnego źródła zawiera się w przedziale 1100-2070 kW, średnio w roku wynosi ona 1530 [kW].

Aby móc określić potrzeby cieplne poszczególnych obiektów oczyszczalni w pracy przeanalizowano zużycie energii cieplnej, wykorzystując dane dotyczące zużycia gazu ziemnego, który jest wykorzystywany jako nośnik energetyczny do ogrzewania budynków i przygotowania c.w.u. (tab. 2).

Z uwagi na brak szczegółowych danych wykonano również obliczenia zapotrzebowania na moc cieplną w poszczególnych budynkach w oparciu o uproszczone zależności [3]. Wynik obliczeń przedstawiono w tab. 3.

Założenia takie pozwoliły na przeprowadzenie rozważań nad doбором urządzeń do konfiguracji systemu w oparciu o krzywą zmienności zapotrzebowania na ciepło w czasie (rys. 1) na podstawie przebiegu krzywej zmienności temperatury zewnętrznej w sezonie grzewczym oraz przyjmując stałe zużycie ciepła dla przygotowania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.) poza sezonem grzewczym. Całkowite zapotrzebowanie na ciepło  $Q$  jest sumą zapotrzebowania na ciepło grzejne  $Q_g$  oraz ciepło potrzebne do przygotowania ciepłej wody użytkowej  $Q_{CWU}$ . Zużycie ciepłej wody użytkowej w obiektach oczyszczalni wynosi średnio 3 m<sup>3</sup> na dobę, natomiast maksymalne godzinowe zapotrzebowanie wynosi 250 dm<sup>3</sup>. Ciepła woda użytkowa używana jest do potrzeby bytowe pracowników, a także wykorzystywana jest w laboratorium pomiarowym. Wydajność cieplną kotła do przygotowania c.w.u. obliczono w oparciu o zależność [8]:

$$\dot{Q}_{CWU} = \frac{\dot{Q} \cdot z_b}{z_a + z_b} \quad (2)$$

gdzie:

$Q$  - zapotrzebowanie na ciepło do podgrzania wody [kW],

$z_a$  - czas nagrzewania w godzinach  $h$  (przyjęto  $z_a = 1$ ),

$z_b$  - czas pracy (wykorzystanie ciepła) w  $h$  (przyjęto  $z_b = 2$ ).

Obliczona wydajność kotła do przygotowania c.w.u. wynosi  $\dot{Q}_{CWU} = 7$  kW dla obliczonej wydajności kotła i rozbioru c.w.u. dobrano zasobnik o objętości 300 dm<sup>3</sup> (a więc może być wykorzystany istniejący już układzie zasobnik c.w.u.).

W celu doboru urządzeń energetycznych określono średnie i maksymalne zapotrzebowanie na moc cieplną w sezonie grzewczym. Zależność pomiędzy średnim zapotrzebowaniem na moc cieplną  $\dot{Q}_{sr}$ , maksymalnym zapotrzebowaniem na moc cieplną  $\dot{Q}_{g,max}$ , a temperaturami zewnętrznymi obliczono z zależności [5, 6]:

$$\frac{\dot{Q}_{sr}}{\dot{Q}_{g,max}} = \frac{t_w - t_{sr}}{t_w - t_{z,min}} \quad (3)$$

gdzie:

$\dot{Q}_{sr}$  - średnie zapotrzebowanie na moc cieplną [kW],

$\dot{Q}_{g,max}$  - maksymalne zapotrzebowanie na moc cieplną [kW],

- $t_w$  - temperatura wewnętrzna (średnia ważona dla poszczególnych obiektów oczyszczalni 18,5°C),  
 $t_{sr}$  - średnia temperatura zewnętrzna w sezonie grzewczym (2,83°C),  
 $t_{z_{min}}$  - obliczeniowa najniższa temperatura zewnętrzna (-20°C).

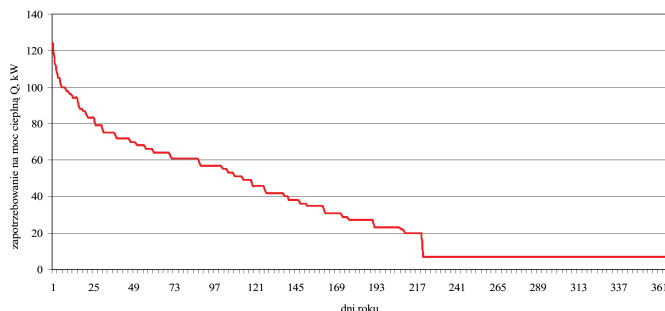
Sezon grzewczy rozpoczyna się, gdy temperatura zewnętrzna spadnie do 12°C.

Długość sezonu grzewczego dla III strefy klimatycznej 222 dni (5328 h).

Średnie zapotrzebowanie na moc grzewczą dla obiektów oczyszczalni obliczone z zależności (3) wynosi 47,5 kW.

Całkowite zapotrzebowanie na moc cieplną wynosi:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_g + \dot{Q}_{CWU} = 123,59 \text{ [kW]}$$



Rys. 1. Uporządkowany wykres rocznego zapotrzebowania na moc cieplną w obiektach oczyszczalni

Fig. 1. Ordered graph of annual requirement for thermal power in the treatment plant buildings

### 4.3. Warianty techniczne modernizacji systemu ogrzewania w oparciu o wykorzystanie pompy ciepła

Rozpatrzono cztery warianty techniczne wykorzystania pomp ciepła do zaspokojenia potrzeb cieplnych w obiektach oczyszczalni. Warianty różnią się między sobą stopniem dopasowania mocy cieplnej do wykresu uporządkowanego zapotrzebowania na tę moc. We wszystkich wariantach przewidziane zostały istniejące kotły gazowe jako rezerwowo-

szczytowe. Moc tych kotłów jest wystarczająca, aby pokryć maksymalne zapotrzebowanie na moc cieplną, mimo, że mają one pokrywać ewentualne niedobory ciepła w szczycie zapotrzebowania na moc cieplną.

Do analizy przyjęto dane techniczne seryjnych pomp ciepła, które zamieszczono w tab. 4.

**Pierwszy wariant** zakłada zastosowanie pompy ciepła pracującej na potrzeby przygotowania c.w.u. w oczyszczalni przez cały rok. Istniejący kocioł gazowy wraz z rozpoczęciem sezonu grzewczego będzie pokrywał w całości potrzeby grzewcze w budynkach oczyszczalni. Roczne zużycie gazu wyniesie 36,9 tys. m<sup>3</sup> oraz 11,8 MWh energii elektrycznej.

**W drugim wariantcie** zakłada się przypadek, w którym pompa ciepła będzie zaspokajać w całości roczne potrzeby c.w.u. oraz w okresie po rozpoczęciu sezonu grzewczego będzie pracowała przez 90 dni pokrywając potrzeby cieplne obiektów oczyszczalni. Po tym czasie zostanie uruchomiony kocioł gazowy, który będzie pracował przez pozostałe dni sezonu. Roczne zużycie gazu wyniesie 29,6 tys. m<sup>3</sup> oraz 32,1 MWh energii elektrycznej.

**W trzecim wariantcie** proponuje się opcję, w której pompa ciepła będzie zaspokajać w całości roczne potrzeby c.w.u. oraz w okresie po rozpoczęciu sezonu grzewczego będzie pracowała przez 150 dni pokrywając potrzeby cieplne obiektów oczyszczalni. Po tym czasie zostanie uruchomiony kocioł gazowy, który będzie pracował przez pozostałe dni sezonu grzewczego. Roczne zużycie gazu wyniesie 19,2 tys. m<sup>3</sup> oraz 56,9 MWh energii elektrycznej.

**Czwarty wariant** przewiduje pracę pompy ciepła przez 210 dni sezonu grzewczego pokrywając wszystkie potrzeby cieplne w obiektach oczyszczalni. Kocioł gazowy będzie pełnił rolę kotła szczytowego, dodatkowo będzie on wykorzystywany do okresowego przegrzewania ciepłej wody użytkowej. Roczne zużycie gazu wyniesie 4,42 tys. m<sup>3</sup> oraz 76,7 MWh energii elektrycznej.

Udział pomp ciepła w zaspokojeniu potrzeb cieplnych obiektów oczyszczalni dla poszczególnych wariantów przedstawia rys. 2.

Tab. 3. Ogólna charakterystyka obiektów oczyszczalni ścieków w Kętach

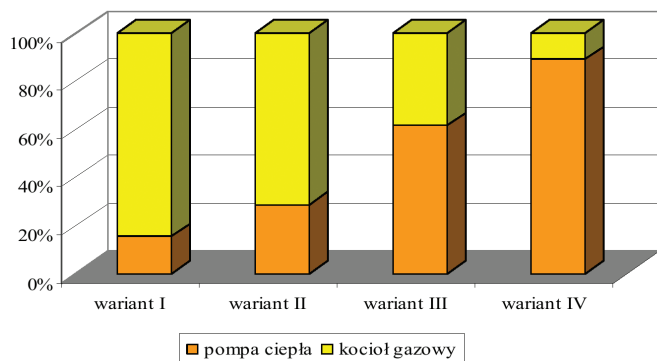
Table 3. General characteristics of the facilities of sewage treatment plant in Kęty

Lp.	Wyszczególnienie	Powierzchnia [m <sup>2</sup> ]	Kubatura [m <sup>3</sup> ]	Zapotrzebowanie na moc do ogrzewania, [kW]
1.	Budynek administracyjny	501	1352,7	40,58
2.	Warsztat	83,22	282,94	8,14
3.	Garaż WUKO	82,49	313,46	9,03
4.	Garaż ciągnika	67,8	216,96	5,21
5.	Warsztat automatyka	24	69,62	2,00
6.	Budynek siłowni	53,63	244,23	5,85
7.	Hala krat	156,11	624,44	12,48
8.	Budynek wielofunkcyjny	231,12	1261,6	33,3
<b>Razem</b>		<b>1199,37</b>	<b>4365,78</b>	<b>116,59</b>

Tab. 4. Podstawowe dane i wskaźniki analizowanych urządzeń

Table 4. Basic data and indices of the analyzed appliances

Wyszczególnienie	Wariant			
	I	II	III	IV
Wydajność cieplna pompy ciepła, [kW]	7,10	42,12	62,2	101
Napędowa moc elektryczna, [kW]	1,97	13,58	18,84	25,92
Współczynnik efektywności COP	3,6	3,1	3,3	3,8
Wydajność dolnego źródła, [dm <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	0,25	1,36	2,05	3,55



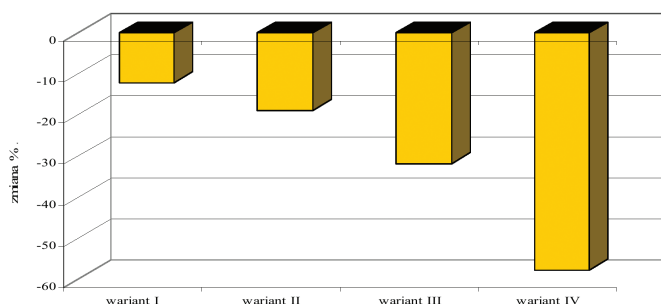
Rys. 2. Pokrycie potrzeb cieplnych oczyszczalni dla poszczególnych wariantów zastosowania pomp ciepła do celów grzewczych

Fig. 2. Satisfying heating needs of the treatment plant by individual variants of heat pumps application for heating purposes

Zastosowanie pomp ciepła w systemie grzewczym pozwala na pokrycie potrzeb cieplnych w zależności od przyjętego wariantu od ok. 10% w wariantcie I do blisko 85% w wariantcie IV.

Na rys 3. przedstawiono zestawienie rocznych oszczędności, jakie wynikną w wyniku konwersji dotychczasowego sposobu ogrzewania na układ wykorzystujący pompy ciepła w zależności od proponowanego wariantu.

Roczne oszczędności oczyszczalni z tytułu zastosowania pomp ciepła do ogrzewania obiektów mogą wynieść od 12% w przypadku zastosowania wariantu I do ok. 60% po zastosowaniu wariantu IV.



Rys. 3. Zmiana rocznych kosztów ogrzewania obiektów oczyszczalni

Fig. 3. Change of annual costs of heating of treatment plant facilities

## 5. Wnioski

Na podstawie analizy możliwości technicznych wykorzystania entalpii strugi ścieków do celów grzewczych oczyszczalni ścieków można wysunąć następujące wnioski:

- Sumaryczne zapotrzebowanie na moc cieplną w obiektach oczyszczalni ścieków wynosi 123,6 kW, w tym moc na przygotowanie ciepłej wody użytkowej (c.w.u.) 7 kW,
- Moc cieplna dolnego źródła ciepła zawiera się w przedziale 1100-2070 kW, średnio w roku wynosi ona 1530 kW,
- Potrzeby cieplne oczyszczalni w chwili obecnej pokrywane są w całości ze spalania gazu ziemnego, którego w sezonie grzewczym zużywa się ok. 44 tys. m<sup>3</sup>. Roczne koszty ponoszone na ten cel wynoszą ok. 64 tys. zł,
- Zastosowanie pomp ciepła w systemie grzewczym pozwala na pokrycie potrzeb cieplnych w zależności od przyjętego wariantu od ok. 10 do blisko 85%,
- Roczne oszczędności oczyszczalni z tytułu zastosowania pomp ciepła do ogrzewania obiektów w zależności od zastosowanego wariantu mogą wynieść od 12 do ok. 60%.

## 6. Literatura

- [1] Miłka Ł., Górski B.: Wykorzystanie ciepła odpadowego ze ścieków. Chłodnictwo, 2001/8.
- [2] Mróz T.: Dywersyfikacja dostawa ciepła a rozwój zrównoważony. Biuletyn Urzędu Regulacji Energetyki. 2001, Nr 4. s.33-37, .
- [3] Trojanowska M., Szul T.: Zapotrzebowanie na energię do ogrzewania obiektów użyteczności publicznej na terenach wiejskich. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna 05/2006. S.19-20.
- [4] Joniec W.: Odzysk ciepła z kanalizacji. Energia - Rynek instalacyjny nr 12/2007.
- [5] Szargut J, Ziębik A.: Podstawy energetyki cieplnej WNT, Warszawa 1998.
- [6] Skorek J., Kalina J. Bartnik R., Wronkowski H.: Techniczno-ekonomiczna analiza optymalizacyjna elektrociepłowni z gazowym silnikiem spalinowym. Elektroenergetyka, 02/2001. Warszawa. s. 65-72.
- [7] Skrzypczak M.: Zastosowanie pomp ciepła w oczyszczalni ścieków. Wodociągi-Kanalizacja 2005, 6(15) s.14-15.
- [8] Recknagel red.: Ogrzewanie i klimatyzacja. Poradnik. EWFE, Wydanie I, Gdańsk 1994.

## THE USE OF THE ENTHALPY OF SEWAGE STREAM FOR HEAT PRODUCTION ON AN EXAMPLE OF SEWAGE TREATMENT PLANT IN KĘTY

### Summary

The paper analyzes the purposefulness of waste heat from treated sewage utilization by means of heat pumps to satisfy the heating needs of medium sized sewage treatment plant facilities. The buildings, situated in the area of the sewage treatment plant, are characterized by thermal power requirements for heating and preparation of warm usable water (cwu) on the level of 123 kW. At present these requirements are fulfilled totally by burning natural gas of which about 44 thous. m<sup>3</sup> is used up during the heating season. Annual expenditure for this purpose reaches almost 64 thous. zloties. The paper discussed four variants of heat pump use in the treatment plant facilities, which are capable of fulfilling heat needs to a different degree. Application of heat pumps in the heating system allows to satisfy the heat needs to between ca. 10% and almost 85%, depending on the adopted variant. Annual savings of the treatment plant due to application of heat pumps for heating its buildings may range from 12% to c.a. 60% depending on the applied variant.