

Tomasz Szul  
Katedra Energetyki Rolniczej  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

## OCENA EFEKTYWNOŚCI EKONOMICZNEJ WYKORZYSTANIA POMP CIEPŁA DO POKRYCIA POTRZEB CIEPLNYCH OBIEKTÓW W ŚREDNIEJ WIELKOŚCI OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW

### Streszczenie

Dokonano analizy celowości wykorzystania ciepła odpadowego ze ścieków oczyszczonych przy wykorzystaniu pomp ciepła do pokrycia potrzeb cieplnych oraz klimatyzacyjnych w obiektach w oczyszczalni ścieków. 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 ok. 85%. Roczne oszczędności oczyszczalni z tytułu zastosowania pomp ciepła do ogrzewania obiektów w zależności od zastosowanego wariantu mogą wynieść od 12% do ok. 60%. Aby móc wybrać najlepszą z proponowanych opcji, przeprowadzono analizę finansową przedsięwzięcia, w której porównano nakłady inwestycyjne z korzyściami, jakie mogą one przynieść po wdrożeniu danego wariantu do realizacji.

**Słowa kluczowe:** oczyszczalnia ścieków, ścieki, pompa ciepła, ogrzewanie, klimatyzacja

### Wstęp

Samorządy terytorialne na mocy ustawy *Prawo energetyczne* [Dz. U. nr 54, poz. 348] zobligowane są do opracowywania planów zaopatrzenia w ciepło. Takie opracowania powinny zawierać nie tylko przewidywane wartości zapotrzebowania na ciepło, ale określać możliwości jego zaspokojenia, między innymi przy wykorzystaniu ciepła odpadowego. Niezbędnym elementem przy opracowaniu założeń do planu zaopatrzenia jest określenie opłacalności ekonomicznej proponowanych przedsięwzięć, szczególnie, jeżeli dotyczy to obiektów zarządzanych i eksploatowanych przez gminę. Do takich obiektów zaliczyć można gminne oczyszczalnie ścieków.

Jednym z czynników, bez których współczesna oczyszczalnia ścieków nie jest w stanie funkcjonować, jest energetyczne zaopatrzenie obiektów oczyszczal-

ni. 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 [Skrzypczak 2005]. 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. Do odzysku ciepła ze ścieków z powodzeniem można wykorzystywać pompy ciepła, które ze względu na względnie wysokie parametry temperaturowe ścieku mogą produkować ciepło charakteryzując się przy tym dużą efektywnością COP [Mróz 2001; Miłka i in. 2001].

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 ciepłej wody użytkowej, wspomaganie podgrzewu osadów ściekowych oraz wspomaganie ogrzewania obiektów.

Odbiór niskotemperaturowego ciepła ze ścieków możliwy jest na każdym etapie ich oczyszczania [Joniec 2007; Miłka i in. 2001; Skrzypczak 2005]. Powyższe możliwości technologiczne odbioru ciepła ze ścieków charakteryzują się szczególnymi uwarunkowaniami technicznymi i ekonomicznymi, które każdorazowo należy szczegółowo rozpatrzyć.

### **Zakres pracy**

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

Zakres pracy obejmuje analizę bieżącego zużycia energii cieplnej oraz kosztów ponoszonych na ogrzewanie obiektów oczyszczalni.

Zastosowanie pompy ciepła umożliwi wykorzystanie jej, obok produkcji ciepła, dodatkowo jako źródło chłodu do celów klimatyzacyjnych. W związku z tym w pracy obliczono obciążenie chłodnicze pomieszczeń biurowych w budynku administracyjnym oczyszczalni w celu określenia optymalnej wielkości instalacji klimatyzacyjnej.

Rozpatrzono cztery warianty wykorzystania pomp ciepła w obiektach oczyszczalni charakteryzujące się różnym stopniem pokrycia ich potrzeb cieplnych. Aby móc wybrać najlepszą z proponowanych opcji przeprowadzono analizę finansową przedsięwzięcia, w której porównano nakłady inwestycyjne z korzyściami, jakie mogą one przynieść po wdrożeniu danego wariantu do realizacji.

### **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.

Projektowa przepustowość oczyszczalni biologicznej: 8500 m<sup>3</sup>/d.

Ilość ścieków:

- dopływ ścieków na oczyszczalnię – 10429 m<sup>3</sup>/dobę, 317228 m<sup>3</sup>/m-c,
- ilość ścieków dowożonych samochodami asenizacyjnymi 1 853 m<sup>3</sup>/m-c.

### **Stan istniejący zaopatrzenia w ciepło obiektów oczyszczalni**

Sumaryczne zapotrzebowanie na moc cieplną na terenie oczyszczalni ścieków wynosi 123,59 kW, w tym na potrzeby przygotowania ciepłej wody użytkowej 7 kW [Trojanowska, Szul 2006; Szul 2008].

Do pokrycia zapotrzebowania ciepła na cele c.o., wentylacji i c.w.u. zastosowano dwa wodne, stalowe, niskotemperaturowe kotły c.o. o mocy nominalnej 127 kW z dwustopniowymi palnikami gazowymi. Przygotowanie ciepłej wody następuje w pojemnościowym podgrzewaczu ciepłej wody użytkowej o pojemności 300 dm<sup>3</sup>.

Rocznie na cele grzewcze zużywa się 44,2 tys. m<sup>3</sup> gazu. Ogrzewanie i przygotowanie c.w.u. kosztują rocznie blisko 64 tys. zł. W obiekcie znajduje się jedno klimatyzowane pomieszczenie – laboratorium pomiarowe, w którym zainstalowano jednostki klimatyzacyjne o wydajności chłodzenia 5,8 kW i znamionowej mocy elektrycznej sprężarki 1,99 kW.

### **Parametry dolnego źródła ciepła**

Podstawą do rozważań nad koncepcją zakładającą odzysk ciepła odpadowego ze ścieków oczyszczonych w oczyszczalni za pomocą pompy ciepła była

ocena parametrów dolnego źródła ciepła. Wydajność masowa przepływu dolnego źródła ciepła, jakim są ścieki oczyszczone wynosi średnio  $122 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , a temperatura w czasie sezonu grzewczego wynosi średnio  $10,3^\circ\text{C}$ .

Moc cieplna 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,  $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  
 $C_w$  – ciepło właściwe wody,  $\text{J} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$ ,  
 $\Delta T$  – obniżenie temperatury ścieków po przejściu przez wymiennik – parowacz pompy ciepła [K], do obliczeń założono  $\Delta T = 3 \text{ K}$ .

Obliczona moc cieplna dolnego źródła wynosi 1530 kW.

### **Warianty techniczne modernizacji systemu ogrzewania z wykorzystaniem 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 poszczególnych wariantów przyjęto dane techniczne seryjnych pomp ciepła, które zamieszczono w tabeli 1.

*Tabela 1. Podstawowe dane i wskaźniki analizowanych urządzeń*  
*Table 1. Basic characteristics and parameters of analysed installations*

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 masową przepływu dolnego źródła ( $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	0,25	1,36	2,05	3,55

*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.

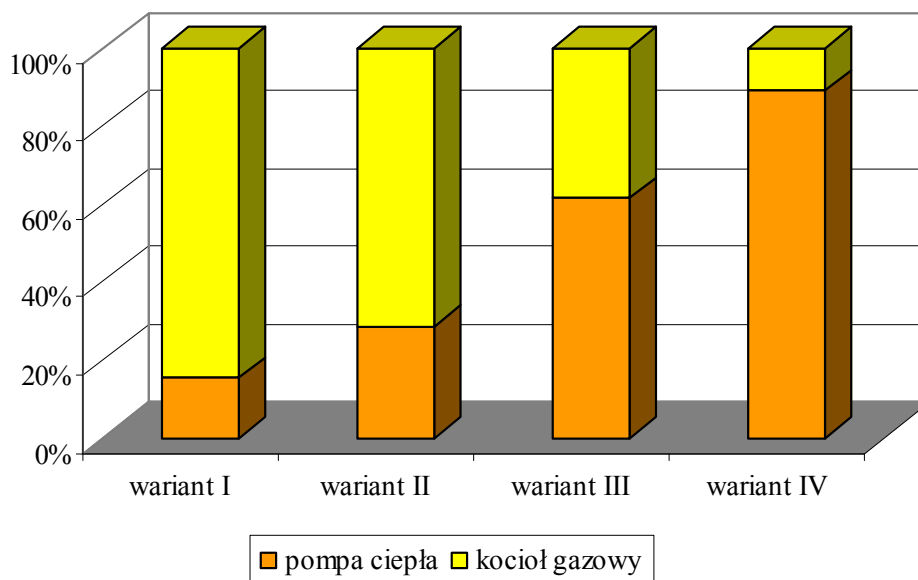
*Czwarty wariant* przewiduje pracę pompy ciepła przez 210 dni sezonu grzewczego pokrywając wszystkie potrzeby cieplne w obiektach oczyszczalni. Kocioł gazowy będzie pełnił rolę kotła szczytowego, a dodatkowo będzie wykorzystywany do okresowego przegrzewania ciepłej wody użytkowej. Roczne zużycie gazu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

Proponuje się również, aby dodatkowo wykorzystać pompy ciepła do produkcji chłodu w celach klimatyzacyjnych w budynku administracyjnym, gdzie znajdują się biura oraz laboratorium pomiarowe. Budynek ten charakteryzuje się dużym przeszkleniem, w związku z tym można w nim zastosować klimatyzatory wentylatorowe do ogrzewania w sezonie grzewczym i do chłodzenia latem. Udział pomp ciepła w zaspokojeniu potrzeb cieplnych obiektów oczyszczalni dla poszczególnych wariantów przedstawia rysunek 1.

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 przypadku IV propozycji.

Z uwagi na to, że w koncepcji proponuje się wykorzystanie pomp ciepła do klimatyzacji pomieszczeń biurowych, w budynku administracyjnym konieczne było określenie obciążenia chłodniczego tych pomieszczeń. Wyznaczono zyski ciepła jawnego i utajonego od ludzi, zyski ciepła przez przegrody przezroczyste i nieprzezroczyste, od urządzeń biurowych oraz zyski od powietrza wentylacyjnego. W laboratorium pomiarowym dodatkowo określono zyski ciepła utajonego od ciepłej wody użytkowej. Obliczenia przeprowadzono

według zależności zawartych w PN-/B-03420, PN-/B-03421 oraz w pracy Maczka i in. [2004].



Rys. 1. Pokrycie potrzeb cieplnych oczyszczalni dla poszczególnych wariantów zastosowania pomp ciepła do celów grzewczych

Fig. 1. Covering the heat requirements of sewage treatment plant for particular variants of heat pump application for heating purposes

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń określono moc chłodniczą potrzebną do klimatyzacji pomieszczeń biurowych oczyszczalni. Całkowite zapotrzebowanie na moc wynosi 20,3 kW. Najwyższe zapotrzebowanie na chłód występuje w laboratorium pomiarowym, gdzie wynosi ono 4,6 kW. W pozostałych pomieszczeniach budynku administracyjnego potrzeby te kształtują się na poziomie 1,3-1,7 kW.

### Ocena efektywności ekonomicznej projektu wykorzystania pomp ciepła do celów grzewczych w oczyszczalni

Analizę ekonomiczną odzysku ciepła ze ścieków oczyszczonych do celów grzewczych w obiektach oczyszczalni przeprowadzono pod kątem zainteresowań inwestora, którego celem jest osiągnięcie jak największych oszczędności w ogrzewaniu obiektów i przygotowaniu ciepłej wody użytkowej.

Ocenę efektywności ekonomicznej inwestycji przeprowadzono wykorzystując następujące wskaźniki [Laudyn 1995; Skorek i in. 2001]:

- Wartość bieżącą netto (NPV), która dla czasu użytkowania układu N lat od chwili oddania inwestycji do eksploatacji, wynika z dodania do siebie

przepływów pieniężnych przewidywanych w kolejnych latach (włącznie z rokiem zerowym).

$$NPV = \sum_{t=0}^N \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (2)$$

gdzie:

$t$  – bieżący rok eksploatacji,

$N$  – całkowita liczba lat eksploatacji,

$CF_t$  – przepływ pieniędzy w danym roku  $t$ ,

$r$  – stopa dyskonta.

Do rozwiązania technicznego układu, które dąży do optimum ekonomicznego, wartość NPV przyjmuje wartość maksymalną. Daje to w rezultacie funkcję celu w postaci:

$$NPV \rightarrow \max$$

- Wskaźnik wartości bieżącej netto (*NPVR*), który ujmuje stosunek wartości netto projektu do wysokości nakładów inwestycyjnych  $J_0$  niezbędnych do jej uzyskania *NPV*:

$$NPVR = \frac{NPV}{J_0} \quad (3)$$

*NPVR* jest wskaźnikiem pomocniczym pozwalającym dokonać wyboru inwestycji przy porównywaniu projektów podobnych do siebie pod względem konstrukcyjnym, nakładów inwestycyjnych, okresu eksploatacji itp. Przeważnie wymagane jest spełnienie warunku:

$$NPVR \rightarrow \max$$

- Wewnętrzna stopa zwrotu (*IRR*), która określa stopę dyskonta, przy której wartość bieżąca netto obliczona według całego okresu działalności jest równa zero. Inwestycja jest opłacalna tylko wtedy, gdy wewnętrzna stopa zwrotu *IRR* jest większa od stopy dyskonta  $r$ .
- Czas zwrotu poniesionych nakładów inwestycyjnych

$$C_z = \frac{J_0}{Z} \quad (4)$$

gdzie:

$$Z = E_1 - E_0$$

$Z$  – zysk (oszczędność),

$E_1$  – propozycja modernizacyjna (koszty eksploatacji po modernizacji),

$E_0$  – utrzymanie status quo (dotychczasowe koszty eksploatacji).

Podstawowe założenia do obliczeń ekonomicznych oraz nakłady inwestycyjne dla poszczególnych wariantów (tab. 1) na podstawie cenników ofertowych dystrybutorów i instalatorów pomp ciepła zestawiono w tabelach 2 i 3.

Tabela 2. Podstawowe założenia do obliczeń ekonomicznych

Table 2. Basic assumptions to economic calculations

Finansowanie	Wartość
Kapitał własny	100%
N – całkowita liczba lat eksploatacji	15 lat
Koszty obsługi i napraw	1% kosztów inwestycyjnych (rocznie)
Cena jednostkowa energii	gaz GZ 50 1,45 zł/m <sup>3</sup> energia elektryczna 0,27 zł/kWh
Roczna zmiana cen nośników energii oraz kosztów obsługi i napraw	5%
Stopa dyskonta	5%

Tabela 3. Nakłady inwestycyjne

Table 3. Investment outlays

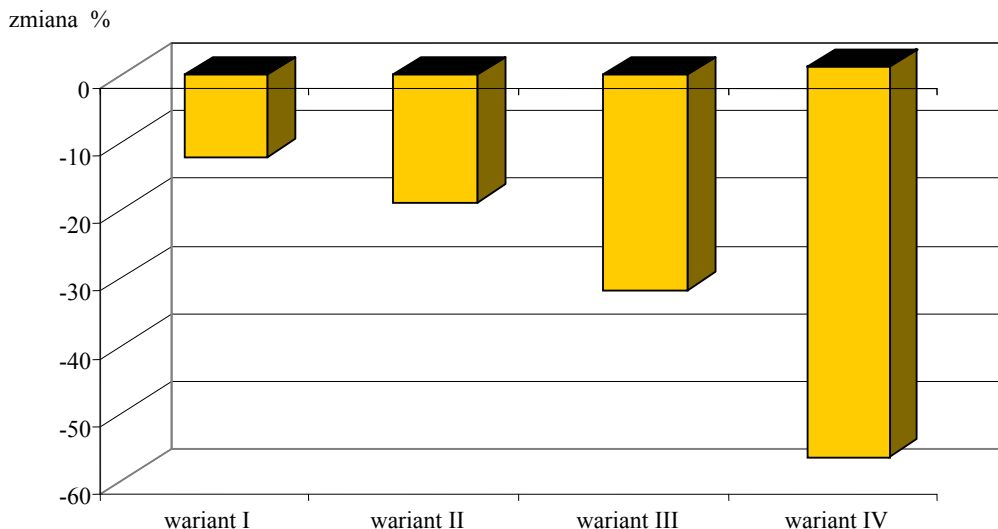
Wyszczególnienie	Wariant			
	I tys. zł	II tys. zł	III tys. zł	IV tys. zł
Pompa ciepła	20,2	68,0	88,0	130,0
Zbiorniki buforowe	-	17,0	17,0	17,0
Klimakonwektory i nagrzewnice	-	15,5	15,5	15,5
Materiały	2,0	11,0	11,0	11,0
Wykonanie i rozruch	5,0	10,0	10,0	10,0
<b>Razem</b>	<b>27,2</b>	<b>121,5</b>	<b>141,5</b>	<b>183,5</b>

W obliczeniach uwzględniono również nakłady ponoszone na klimatyzację obiektu. Założono, że klimatyzacja w budynku pracuje 500 godzin, sezonowe nakłady na energię elektryczną w dotychczasowym sposobie klimatyzacji wynoszą 270 zł, a przy nowym rozwiązaniu wyniosą ok. 710 zł.

Na rysunku 2 przedstawiono zestawienie rocznych oszczędności, jakie mogą być uzyskane 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 i klimatyzacji obiektów mogą wynieść od 12% w przypadku zastosowania wariantu I do ok. 60%, gdyby został wdrożony wariant IV.



Rys. 2. Zmiana rocznych kosztów ogrzewania obiektów oczyszczalni  
Fig. 2. Changes in the annual heating costs of sewage treatment plant objects

Przeprowadzona analiza finansowa proponowanych działań polegających na zastosowaniu pomp ciepła odzyskujących ciepło odpadowe ze ścieków oczyszczonych oczyszczalni pozwoliła wybrać najbardziej korzystną opcję. Wyniki analizy zestawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Wskaźniki efektywności ekonomicznej dla rozpatrywanych wariantów  
Table 4. Indices of economic efficiency for the variants analysed

Wyszczególnienie	Wariant			
	I	II	III	IV
<b>NPV</b>	70,6 tys. zł	-26,1 tys. zł	61,3 tys. zł	270,4 tys. zł
<b>NPVR</b>	2,60 zł	-0,22 zł	0,43 zł	1,66 zł
<b>IRR</b>	35,8%	2,6%	10,3%	24,4%
<b>Cz</b>	3,6	11,1	7,4	4,6

Jak wynika z tabeli, najbardziej opłacalny jest wariant IV z pompą ciepła o mocy 100 kW, pracującą przez 210 dni sezonu grzewczego, produkującą

ciepło dla obiektów oczyszczalni, a w okresie letnim – chłód dla celów klimatyzacyjnych. Wskaźnik *NPV* jest w tym przypadku najkorzystniejszy. Najmniej opłacalną inwestycją jest zastosowanie pompy ciepła o mocy 40 kW. Czas, po jakim poniesione nakłady inwestycyjne zostaną pokryte przez oszczędności w ogrzewaniu, w przypadku najlepszego wariantu nie powinien wynieść więcej niż cztery – maksymalnie do pięciu lat.

### **Podsumowanie**

Na podstawie analizy techniczno-ekonomicznej wykorzystania entalpii strugi ścieków do celów grzewczych stwierdzono, że w przypadku oczyszczalni ścieków w Kętach najlepszym rozwiązaniem będzie wdrożenie wariantu IV, a mianowicie zastosowanie pompy ciepła o mocy grzewczej 100 kW. Pompa ta jest w stanie w 85% pokryć potrzeby ciepłe w obiektach oczyszczalni. Dodatkowo, w celu zwiększenia jej rocznego wykorzystania zostanie ona zastosowana do produkcji chłodu do klimatyzacji w budynku administracyjnym.

Przeprowadzona analiza ekonomiczna przedsięwzięcia wskazuje, że w tym przypadku wskaźnik *NPV* jest najwyższy, również pozostałe narzędzia wykorzystane w analizie ekonomicznej typują ten wariant jako jedno z najlepszych rozwiązań. Inwestycja ta, mimo, iż jest najdroższym rozwiązaniem z punktu widzenia nakładów inwestycyjnych, z uwagi na znaczne oszczędności - sięgające 60% rocznie w stosunku do aktualnie ponoszonych kosztów na ogrzewanie obiektów zwróci się po około czterech latach eksploatacji.

W związku z tym, że w okresie letnim klimatyzacja obiektu administracyjnego oczyszczalni potrzebować będzie ok. 20 kW mocy chłodniczej, pompa ciepła, która w tym czasie wykorzystując jako dolne źródło zbiornik wody zimnej, będący elementem systemu chłodzenia obiektu po odebraniu ciepła, będzie musiała przekazać je do innych odbiorników.

W tym czasie zapotrzebowanie na moc cieplną w obiekcie w okresie szczytowym wynosić będzie maksymalnie 8 kW [Szul 2008]. Niezbędne stało się zaprojektowanie dodatkowego odbiornika ciepła, który w sposób ciągły na bieżąco będzie mógł odbierać ciepło z górnego źródła pompy ciepła. Proponuje się, aby tym odbiornikiem był zbiornik Wydzielonej Komory Fermentacji o objętości 21 tys. m<sup>3</sup>, w którym zostanie ułożony wymiennik ciepła z rur polietylenowych o mocy ok. 25 kW.

### **Bibliografia**

- Joniec W. 2007. Odzysk ciepła z kanalizacji. Energia – Rynek instalacyjny, 12
- Laudyn D. 1999. Rachunek ekonomiczny w elektroenergetyce. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa

Maczek K., Schnotale J., Skrzyniowska D., Sikorska-Bączek R. 2004: Uzdatnianie powietrza w inżynierii środowiska dla celów wentylacji i klimatyzacji. Skrypt. Politechnika Krakowska, Kraków

Milka Ł., Górski B. 2001. Wykorzystanie ciepła odpadowego ze ścieków. Chłodnictwo, 8

Mróz T. 2001. Dywersyfikacja dostawa ciepła a rozwój zrównoważony. Biuletyn Urzędu Regulacji Energetyki, 4: 33-37

PN- /B-03420. Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego. PKN, Warszawa

PN- /B-03421. Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniu przeznaczonym do stałego przebywania ludzi. PKN, Warszawa

Skorek J., Kalina J. Bartnik R., Wronkowski H. 2001. Techniczno-ekonomiczna analiza optymalizacyjna elektrociepłowni z gazowym silnikiem spalinywym. Elektroenergetyka, 2: 65-72

Skrzypczak M. 2005. Zastosowanie pomp ciepła w oczyszczalni ścieków. Wodociągi-Kanalizacja, 6(15): 14-15

Szul T. 2008. Wykorzystanie entalpii strugi ścieków dla produkcji ciepła na potrzeby oczyszczalni ścieków w Kętach. Praca dyplomowa. Studium Klimatyzacja i Ogrzewnictwo. Politechnika Krakowska, Kraków

Trojanowska M., Szul T. 2006. Zapotrzebowanie na energię do ogrzewania obiektów użyteczności publicznej na terenach wiejskich. Technika Rolnicza, Ogrodnicza i Lesna, 5: 19-20

Ustawa *Prawo energetyczne* z 10 kwietnia 1997 r. Dz. U. nr 54, poz. 348, z późniejszymi zmianami