

# DOŚWIADCZENIA Z EKSPLOATACJI AGREGATU KOGENERACYJNEGO ZASILANEGO BIOGAZEM

mgr inż. Stanisław Skrzypczak

## 1. Lokalizacja

Agregat kogeneracyjny VITOBLOC FG 114 zamontowany jest na terenie Oczyszczalni Ścieków w Żywcu.

Miejska Oczyszczalnia Ścieków, była zbudowana w latach 1973-74 w północnej części miasta Żywca. Od strony północnej ograniczona jest wałami ochronnymi zbiornika wody w Tresnej, a od strony południowo-zachodniej graniczy z terenami przepompowni ścieków wód infiltracyjnych. Teren oczyszczalni jest własnością Miejskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji w Żywcu.

Podstawowym zadaniem Oczyszczalni Ścieków jest ochrona wód Jeziora Żywieckiego. Ten akwen stanowi największy zbiornik w kaskadzie rzeki Soły, której najniższy zbiornik – w Czańcu jest miejscem poboru wody dla aglomeracji śląskiej, dla Bielska-Białej i przyległych miejscowości. Oczyszczalnia jest odbiorcą ścieków z terenów objętych szczególną ochroną – Żywieckiego Parku Krajobrazowego. W latach 1992 –1996 oczyszczalnia została zmodernizowana i rozbudowana w celu dostosowania parametrów oczyszczonych ścieków do nowych wymogów. Jest oczyszczalnią mechaniczno-biologiczną. Dopływające do oczyszczalni ścieki są oczyszczane mechanicznie na kratkach schodkowych. Po usunięciu najgrubszych zanieczyszczeń płyną przez piaskownik do komory czerpalnej pompowni i do odtłuszczacza. Ostatnim ogniwem mechanicznego oczyszczania są osadniki wstępne. Ścieki pozbawione mechanicznych zanieczyszczeń poddawane są biologicznemu oczyszczaniu. Oczyszczanie biologiczne jest prowadzone metodą osadu czynnego. Po zakończeniu procesów biologicznego oczyszczania ścieki wraz z osadem doprowadzane są do dwóch radialnych osadników wtórnych. Zatrzymany osad czynny w większości zawracany jest do

układu technologicznego i poddawany przeróbce jako osad wtórny. Oczyszczone ścieki kierowane są do Jeziora Żywieckiego.

Nieodłącznym produktem procesu oczyszczania ścieków są osady ściekowe. Przeróbka osadów ściekowych następuje w dwustopniowej fermentacji w wydzielonych komorach fermentacyjnych. Produktem końcowym jest osad wykorzystywany w rolnictwie. Powstający podczas procesu fermentacji mezofilowej biogaz magazynowany jest w zbiorniku gazu. Stanowi on paliwo dla zainstalowanego agregatu kogeneracyjnego.

## 2. Zapotrzebowanie energii elektrycznej i ciepła, produkcja biogazu

Funkcjonowanie oczyszczalni ścieków wymaga dostarczenia energii elektrycznej i ciepła. Zużycie czynników energetycznych i produkcja biogazu zostały podane za okres jednego roku liczony od 15.01.2002 do 15.01.2003 r.

Energia elektryczna potrzebna jest do napędu urządzeń technologicznych, oświetlenia terenu, oświetlenia pomieszczeń produkcyjnych, pomocniczych i administracyjnych, do zasilania sprzętu biurowego oraz przygotowania ciepłej wody dla celów socjalnych. Roczne zużycie energii elektrycznej wynosi 2 807 MWh przy średniej mocy 320 kW.

Energia cieplna potrzebna jest do podgrzewania osadów w komorach fermentacyjnych, ogrzewania wody w zbiorniku biogazu oraz do ogrzewania obiektów oczyszczalni. Roczne zużycie ciepła wynosi: 1 253 MWh (4 512,6 GJ). W tym: ciepło dla potrzeb technologicznych - 861 MWh (3 099 GJ) oraz dla centralnego ogrzewania - 392,7 MWh (1 413,6 GJ)

Moc cieplna dla potrzeb technologicznych wynosi minimalnie ok. 60 kW i maksymalnie ponad 136 kW. Odpowiednio dla celów grzewczych 48 kW – 240 kW.

Roczna produkcja biogazu to 406 071 m<sup>3</sup> przy średniej produkcji 46,4 m<sup>3</sup>/h.

Parametry biogazu (wlot na odsiarczalnik):

- średnia zawartość metanu w biogazie: 66,01 %
- CO<sub>2</sub>: 32,38 %, N<sub>2</sub>: 1,17 %, O<sub>2</sub>: 0,44%

- ciśnienie biogazu: 17 mbar
- wartość opałowa: 21,8 MJ/m<sup>3</sup> (6,05 kWh/m<sup>3</sup>)

Po odsiarczaniu gaz praktycznie nie zawiera siarkowodoru.

### 3. Dobór agregatu kogeneracyjnego

Dobierając typ i wielkość agregatu kogeneracyjnego przyjęto, że: paliwo (biogaz) spełnia wymagania stawiane przez producenta silnika, zużycie godzinowe biogazu przez silnik nieznacznie przekracza godzinową produkcję biogazu (wyeliminowanie możliwości powstania nadwyżki biogazu i konieczności spalania go na pochodni), moc elektryczna agregatu jest niższa od minimalnej mocy pobieranej przez urządzenia oczyszczalni (uniknięcie konieczności sprzedaży nadwyżek energii elektrycznej do sieci przedsiębiorstwa energetycznego), konstrukcja agregatu pozwala na jego zabudowę w istniejącej kotłowni, praca agregatu nie może powodować zwiększenia kosztów płac i co najbardziej istotne koszty eksploatacyjne zapewniają komercyjną opłacalność inwestycji.

Na podstawie tych kryteriów dobrano Moduł BHKW Vitobloc FG 114 produkcji firmy Viessmann [1], pokazany na rys. 1, o następujących danych technicznych:

- rodzaj paliwa - biogaz
- liczba metanowa > 80
- ciśnienie przepływowe gazu - 20 do 50 mbar
- temperatura gazu: + 20°C do + 50°C
- wartość opałowa: > 21,6 MJ/m<sup>3</sup> (6 kWh/m<sup>3</sup>)
- minimalna objętościowa zawartość metanu: 50%
- moc elektryczna: 114 kW
- moc cieplna: 186 kW

### 4. Włączenie agregatu kogeneracyjnego w układ technologiczny i grzewczy oczyszczalni

Agregat kogeneracyjny o mocy 186 kW, kocioł olejowo-gazowy (biogaz) BUDERUS o mocy 200 kW oraz kocioł olejowo-gazowy (biogaz) GOL-M1 o mocy 400 kW pracują na wspólny kolektor skąd pompy obiegowe podają czynnik grzewczy do kolektora rozdzielczego a dalej do poszczególnych odbiorników ciepła: wymiennika podgrzewającego osad, węzownicy podgrzewu wody w zbiorniku biogazu, grzejników zamontowanych w obiekcie kotłowni i pompowni osadu oraz wymiennika centralnego ogrzewania (podgrzewanie wody sieciowej). W sezonie grzewczym priorytetem w pracy agregatu jest zapewnienie podgrzania osadu do wymaganej temperatury (ok. 36°C) oraz wody w zbiorniku biogazu. W przypadku gdy temperatura osadu podnosi się powyżej zadanej wartości otwiera się zawór regulacyjny przy wymienniku c.o. i nadwyżka ciepła kierowana jest do sieci centralnego ogrzewania prowadzącej do stacji pomp ciepła. W stacji tej woda grzewcza wpływa do sprzęgła hydraulicznego i dalej jest kierowana do grzejników zamontowanych w poszczególnych obiektach. W sprzęgle następuje porównanie temperatury wody sieciowej z wymaganą temperaturą w instalacji centralnego ogrzewania odpowiednio do temperatury zewnętrznej. Gdy temperatura wody grzewczej jest niższa niż wymagana, wynikająca z krzywej grzania, włączają się kolejno pompy ciepła podłączone do sprzęgła hydraulicznego i następuje podniesienie temperatury wody grzewczej kierowanej do grzejników. W przypadku gdy sumaryczna moc cieplna agregatu kogeneracyjnego i pomp ciepła jest niewystarczająca włączany jest szczytowy kocioł olejowy. W okresie letnim występuje stała nadwyżka ciepła produkowanego przez agregat kogeneracyjny. Ciepło przekazane za pośrednictwem wody sieciowej do stacji pomp ciepła zrucane jest do ścieków za pośrednictwem wymiennika płaszczowo-rurowego, który w okresie grzewczym stanowi wymiennik pośredniczący w odbiorze ciepła przez pompy ciepła (dolne źródło ciepła).



Rys. 1 Moduł ciepno-prądowy BHKW Vitobloc FG 114

#### 5. Ocena opłacalności zastosowania modułu ciepno-prądowego BHKW Vitobloc FG 114

Analizę oceny opłacalności zastosowania modułu ciepno-prądowego BHKW Vitobloc FG 114 do skojarzonego wytwarzania ciepła i energii elektrycznej w Oczyszczalni Ścieków w Żywcu oparto na porównaniu kosztów zaopatrzenia oczyszczalni w energię elektryczną i energię cieplną przed i po zamontowaniu agregatu kogeneracyjnego, koszty środowiskowe czyli opłaty za gospodarcze wykorzystanie środowiska, koszty eksploatacyjne, oraz najważniejszą wielkość – nakłady inwestycyjne.

##### a) Koszty zaopatrzenia oczyszczalni w energię elektryczną i energię cieplną

Podstawą analizy kosztów było porównanie kosztów zaopatrzenia w energię elektryczną i cieplną oczyszczalni przed i po zainstalowaniu agregatu kogeneracyjnego dla analogicznych warunków zewnętrznych i dla identycznej ilości oczyszczonych ścieków.

W analizowanym okresie od 15.01.2002 do 15.01.2003 roczne zużycie energii elektrycznej wyniosło 2 807 MWh a zużycie ciepła 4 512 GJ. Porównanie kosztów jest następujące:

Koszt zaopatrzenia w energię elektryczną i ciepło bez agregatu kogeneracyjnego:

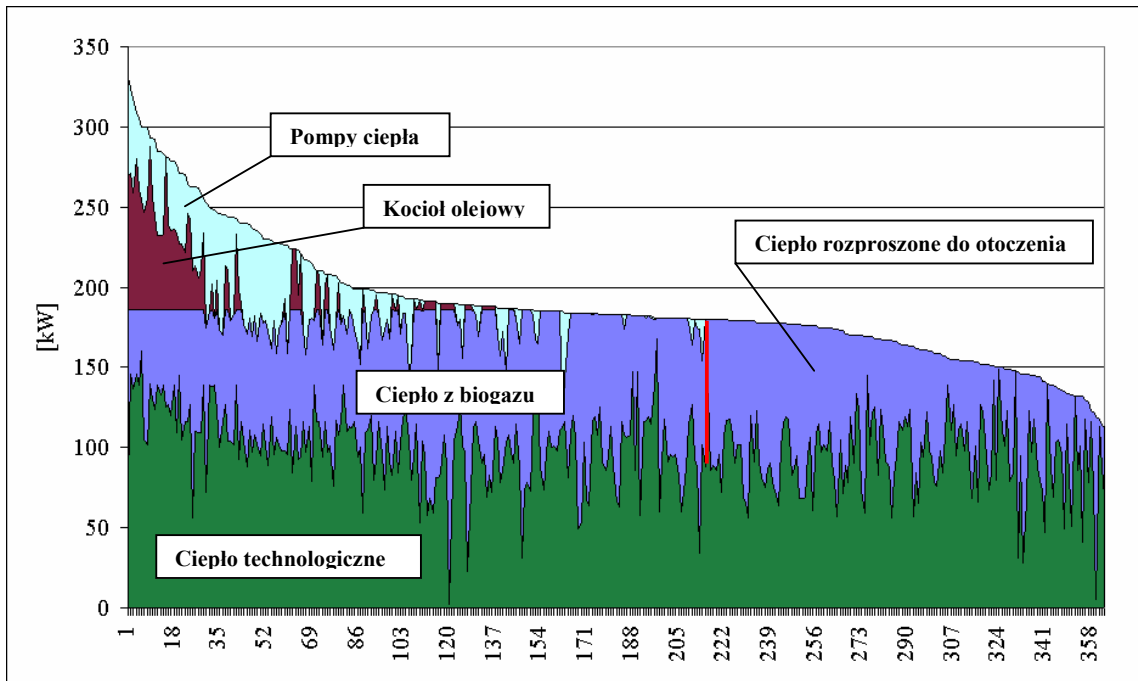
Przy cenie 0,195 zł/kWh (netto) koszt zakupu energii elektrycznej wyniósł by 547 373 zł. Ciepło uzyskiwane było dotychczas w wyniku spalania biogazu w kotle gazowym. W ciągu roku wytwarza się w Oczyszczalni Ścieków w Żywcu 406 071 m<sup>3</sup> biogazu co przy wartości opałowej wynoszącej 21,8 MJ/m<sup>3</sup> teoretycznie pozwala uzyskać 8 852 GJ ciepła a więc pokryć roczne zapotrzebowanie na ciepło. Jednak wymagana moc cieplna jest zróżnicowana i w okresie letnim wynosi minimalnie 60 kW a w okresie grzewczym maksymalnie 330 kW. Przy godzinowej produkcji biogazu w ilości 46,4 m<sup>3</sup>/h można uzyskać, w kotle pracującym ze sprawnością 95%, moc cieplną 266 kW. Różnica musiała by być pokryta z innego źródła ciepła w tym przypadku z kotła olejowego. Ilość ciepła zużywana w szczycie wynosiła by ok. 84 GJ co przy cenie 44 zł/GJ z oleju opałowego daje kwotę 3 696 zł. Łączny koszt wyniósł by 551 069 zł.

Koszt zaopatrzenia w energię elektryczną i ciepło po zamontowaniu agregatu:

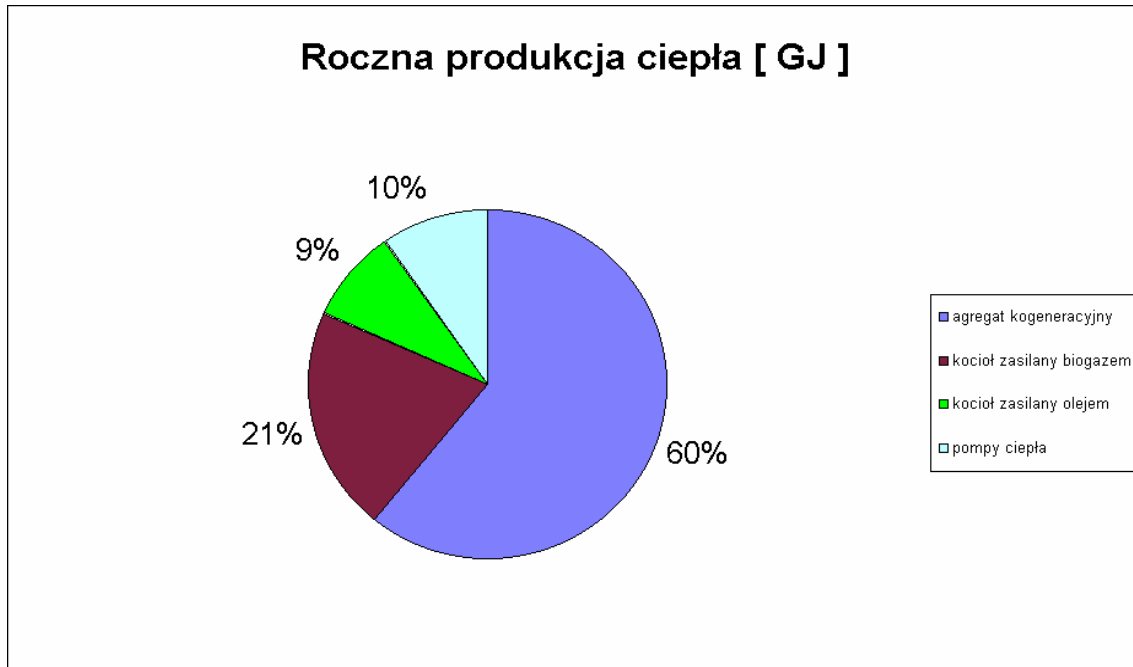
Agregat kogeneracyjny wyprodukował 734 MWh, zakup energii elektrycznej z zakładu energetycznego wyniósł 2 073 MWh a koszt zakupu 404 656 zł. Agregat wyprodukował w ciągu roku 6 024 GJ ciepła. W tym ciepło wykorzystane użytecznie wyniosło 2 741 GJ a ciepło rozproszone do otoczenia 3 283 GJ. Dodatkowa ilość ciepła wyprodukowana przez inne źródła ciepła wyniosła 1 772 GJ. Kocioł zasilany biogazem wyprodukował 949 GJ, kocioł zasilany olejem opałowym 388 GJ a pompy ciepła 435 GJ (współczynnik efektywności energetycznej 2,3). Koszty wyprodukowania ciepła przez dodatkowe źródła ciepła wyniosły : przez kocioł olejowy 17 072 zł, przez pompy ciepła 10 232 zł. Łączny koszt wyniósł: 431 960 zł.

Dodatkowy dochód (oszczędność na zakupie energii elektrycznej) z tytułu pracy agregatu kogeneracyjnego wyniosła w ciągu roku 119 109 zł.

Uporządkowany wykres wyprodukowanego ciepła przez źródła zamontowane w oczyszczalni przedstawiono na rys. 2 a strukturę wykorzystanego użytecznie ciepła przedstawia wykres rys. 3.



Rys. 2 Uporządkowany wykres mocy cieplnej według źródeł ciepła zainstalowanych w Oczyszczalni Ścieków w Żywcu



Rys. 3 Udział poszczególnych źródeł ciepła w produkcji ciepła użytecznego

b) Efekty środowiskowe

Zarówno przed jak i po montażu agregatu kogeneracyjnego wielkość lokalnej emisji zanieczyszczeń nie ulega zmianie, biogaz nie spalony w agregacie został by spalony w kotle gazowym lub na pochodni. Należy jednak zwrócić uwagę, że praca agregatu kogeneracyjnego produkującego energię elektryczną, wykorzystującego paliwo odnawialne, powoduje ograniczenie zakupu energii elektrycznej produkowanej w klasycznych elektrociepłowniach zużywających węgiel. Przy produkcji 734 MWh roczne ograniczenie emisji wynosi:

Tabela 1 Ograniczenie emisji zanieczyszczeń

RODZAJ ZANIECZYSZCZENIA (EMISJI)	JEDNOSTKOWE OGRANICZENIE EMISJI [ kg/MWh rok ]	ROCZNE OGRANICZENIE EMISJI [ kg/ rok ]
dwutlenek siarki SO <sub>2</sub>	7,8	5 726,14
tlenki azotu NO <sub>2</sub>	3,2	2 349,22
tlenek węgla CO	0,2	146,83
dwutlenek węgla CO <sub>2</sub>	937	678 879,81
pył	1,1	807,54



Osiągnięty efekt ekologiczny miał duży wpływ na wygranie przez MPWiK w Żywcu konkursu „Nasza gmina chroni klimat”, zorganizowanego przez Fundację na rzecz Ochrony Środowiska, w kategorii najbardziej oryginalnych rozwiązań i uzyskania nagrody w postaci dotacji Fundacji EkoFundusz w wysokości 360 tys. zł oraz udzielenia wsparcia finansowego przez Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Katowicach.

c) Koszty eksploatacyjne

Roczne koszty eksploatacyjne, na które składają się koszty materiałów, części zamiennych i prace serwisowe są zróżnicowane w poszczególnych latach użytkowania agregatu i zależą do ilości przepracowanych godzin i wynoszą ( według planu serwisowego producenta) :

Tabela 2 Koszty eksploatacyjne

po 100 godzinach	1 680 zł
po 3 000 godzin	5 088 zł
po 10 000 godzin	75 320 zł
po 40 000 godzin	136 040 zł

W pierwszym roku eksploatacji zakładano koszty 21 936 zł (przy przyjętym kursie 2 zł/DEM), a rzeczywiste poniesione przez MPWiK wyniosły 18 195 zł. W przyjętym okresie 15 lat eksploatacji sumaryczny, prognozowany koszt wyniesie około 950 000 zł. Są to koszty decydujące głównie o opłacalności stosowania agregatu kogeneracyjnego.

d) Wielkość nakładów inwestycyjnych

W wyniku rozstrzygnięcia przetargu publicznego inwestycja związana z zainstalowaniem agregatu kogeneracyjnego kosztowała 621 712 zł, w tym udział agregatu kogeneracyjnego 483 120 zł czyli 77,7 % kosztów całej inwestycji:

Tabela 3 Zestawienie kosztów inwestycyjnych

Poz.	Wyszczególnienie	Kwota [ zł ]
1	Agregat kogeneracyjny	483 120
2	Podłączenie agregatu do stacji niskiego napięcia	68 000
3	Wymiennik ciepła - ciepło technologiczne/sieć centralnego ogrzewania	11 770

4	Układ automatycznej regulacji temperatury wody wylotowej sieci c.o.	3 462
5	Zbiornik buforowy	3 449
6	Naczynie zbiorcze przeponowe	8 877
7	Stacja uzdatniania wody	10 027
8	Armatura	1 141
9	Licznik wyprodukowanego ciepła przez pompy ciepła	2 866
10	Instalacja rurowa łącząca źródła ciepła w kotłowni z instalacją odbiorczą wraz z izolacją termiczną	5 000
11	Instalacja elektryczna do podłączenia urządzeń w kotłowni	4 000
12	Roboty konstrukcyjno – budowlane związane z montażem agregatu kogeneracyjnego	8 000
13	Odprowadzenie spalin, wentylacja pomieszczenia zgodnie z wymogami agregatu kogeneracyjnego i pomieszczenia kotłowni	7 000
14	Uzupełniające roboty budowlane – kosmetyka pomieszczeń	5 000
	Razem	621 712

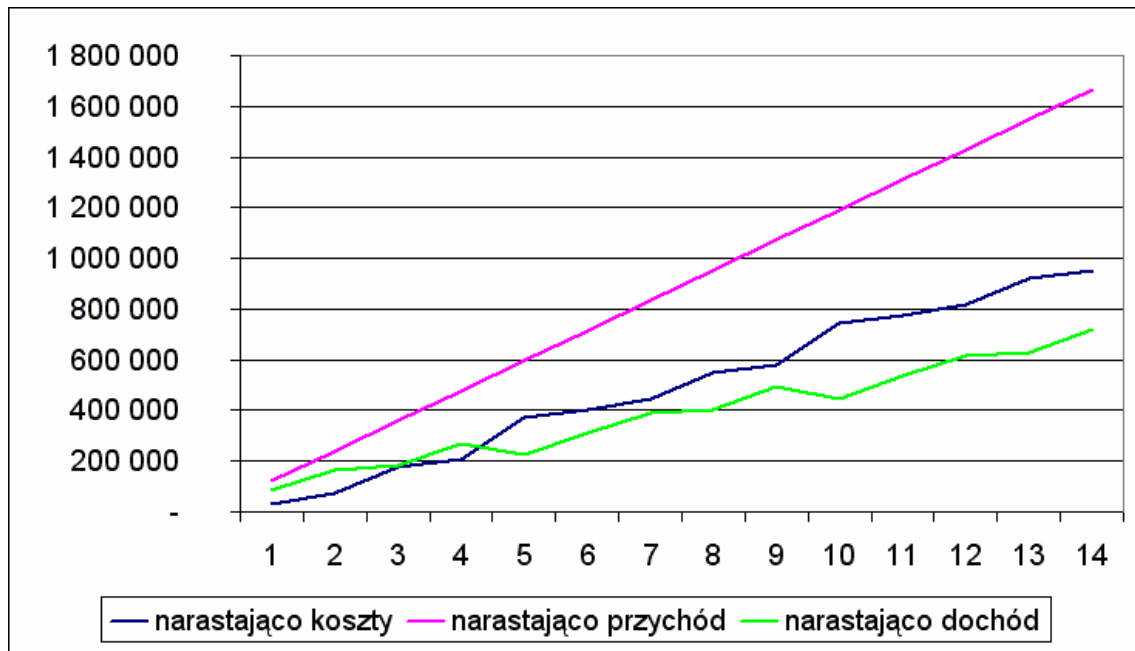
Na etapie projektowania wybrano takie rozwiązania co do lokalizacji i konstrukcji, by obniżyć nakłady inwestycyjne. Agregat zamontowano w zaadaptowanym w tym celu pomieszczeniu istniejącej kotłowni, do której były doprowadzone instalacja biogazu i sieć ciepłownicza. Odległość od rozdzielni elektrycznej niskiego napięcia wynosiła ok. 200m. Wykorzystano również wymiennik glikol/ścieki, zamontowany w stacji pomp ciepła, jako chłodnicę awaryjną oraz wprowadzono szereg innych drobniejszych usprawnień.

Dla przedsiębiorstwa kosztem jest roczna amortyzacja przyjęta w wysokości 7%, co daje rocznie 43 529 zł.

e) Ocena opłacalności zastosowania modułu ciepłno-prądowego BHKW Vitobloc

W celu dokonania oceny opłacalności inwestycji porównano roczny dochód uzyskiwany w poszczególnych latach eksploatacji z rocznymi kosztami. Przyjęto horyzont czasowy 15 lat.

Wyniki takiego porównania przedstawiono na wykresie rys.4.



Jak wynika z przedstawionego wykresu w każdym roku występuje nadwyżka przychodu nad kosztami a skumulowany efekt ekonomiczny na koniec okresu rozliczeniowego wynosi 718 000 zł dochodu. Inwestycję należy uznać za bardzo opłacalną.

## 6. Podsumowanie

Agregat kogeneracyjny VITOBLOC FG 114 jest jednostką małą (moc elektryczna 114 kW, moc cieplna 186 kW), mimo to jego eksploatacja jest bardzo korzystna a to oznacza, że granica opłacalności stosowania gazowych silników do skojarzonej produkcji energii elektrycznej i ciepła przesuwają się w dół. Warunkiem decydującym o powodzeniu inwestycji jest optymalizacja doboru wielkości jednostki i optymalizacja pracy agregatu. W przypadku oczyszczalni ścieków z wyprodukowanej ilości biogazu można uzyskać moc elektryczną niższą niż minimalny pobór mocy przez urządzenia technologiczne zatem zysk inwestora wynika wyłącznie z ograniczenia zakupu energii elektrycznej z zakładu energetycznego. To powoduje, że agregat powinien być tak dobrany by zapewniać pełne wykorzystanie wyprodukowanego biogazu oraz powinien mieć jak najdłuższy czas pracy. W przypadku niedoboru biogazu należy wyłączać agregat w okresie poza szczytem elektrycznym a eksploatować w okresach kiedy energia elektryczna jest najdroższa. Przy wyborze

konkretnego typu urządzenia i producenta sprawą najważniejszą jest nie tyle koszt samego agregatu ile koszty remontów, szczególnie po przepracowaniu 10 tysięcy i 40 tysięcy godzin. Udana wdrożenia skłonią zapewne potencjalnych inwestorów do stosowania „małej kogeneracji” co w konsekwencji spowoduje zwiększenie produkcji agregatów, obniżenie ich ceny a w konsekwencji wzrost opłacalności stosowania agregatów kogeneracyjnych.

#### Streszczenie

Artykuł prezentuje osiągnięte efekty ekonomiczne i ekologiczne po zainstalowaniu agregatu kogeneracyjnego o mocy cieplnej 186 kW i mocy elektrycznej 114 kW. Agregat zasilany jest biogazem z oczyszczalni ścieków w Żywcu gdzie wyprodukowana energia elektryczna i ciepło są wykorzystywane do celów technologicznych i grzewczych. Dokonano porównania kosztów przedsiębiorstwa przed i po zainstalowaniu agregatu. Przeprowadzono analizę opłacalności inwestycji.

#### Summary

The paper presents economical and environmental benefits achieved after installation of small cogeneration unit; thermal power 186 kW and electrical power 114 kW. Motor uses biogases from Żywiec waste-water treatment plant. In the technological process of waste-water treatment the plant utilises electricity and heat produced by the motor. The operation costs of the plant are compared before and after installation of the motor. Financial aspects of investments are analysed.