



## **Ekonomiczne aspekty budowy i eksploatacji suszarni słonecznej**

*Czesław Przybyła, Janusz Filipiak, Jerzy Bykowski  
Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań*

### **1. Wstęp**

Wobec wymagań stawianych przez prawo wspólnotowe w zakresie ochrony środowiska, Polska stoi obecnie przed poważnymi wyzwaniami. Należą do nich z pozoru niemające związku: konieczność progresywnego wzrost produkcji energii pochodzącej z odnawialnych źródeł energii oraz konieczność odpowiedniego zagospodarowania komunalnych osadów ściekowych [1]. Łączne rozwiązanie tych wyzwań można upatrywać w zastosowaniu metod odzyskiwania lub unieszkodliwiania komunalnych osadów ściekowych przy wykorzystaniu energii słonecznej [3].

Przewiduje się, że w najbliższych latach w Polsce wytwarzane będzie około 1 milion ton suchej masy komunalnych osadów ściekowych, w tym na obszarach wiejskich na poziomie 12,8%, co daje 128 tysięcy ton. Na obszarach tych możemy mieć zatem do zagospodarowania około 600 tysięcy ton osadów, które na oczyszczalni zostały odwodnione w prasach czy innych urządzeniach odwadniających na poziomie 20% zawartości suchej masy. Osady o obniżonej wilgotności można uzyskać w odpowiednio zaprojektowanych suszarniach słonecznych o różnym stopniu zaawansowania rozwiązań technicznych, jednak podstawowe znaczenie mają w tych przypadkach wyniki analizy ekonomicznej [2].

### **2. Cel, zakres i metodyka badań**

Celem pracy była analiza ekonomicznych aspektów budowy i eksploatacji suszarni słonecznej osadów uzyskanych podczas procesu oczyszczania ścieków w gminnej oczyszczalni, na przykładzie trzech

wariantów inwestycyjnych, zróżnicowanych pod względem stosowanych urządzeń:

- **wariant 1** (podstawowy) – suszarnia o wymiarach 33,6 x 32 x 5,96 m i wydajności 400 Mg/rok. Obiekt istniejący, powstały w 2007 roku w ramach modernizacji oczyszczalni ścieków w Bytkowie, był pierwszym tego typu obiektem w Polsce, w którym zastosowano promieniowanie słoneczne (źródło energii odnawialnej) do procesu osuszania osadów.
- **wariant 2** – suszarnia o wymiarach 33,6 x 32 x 5,96 m i założonej wydajności 800 Mg/rok. W stosunku do rozwiązań wariantu 1 suszarnię planuje się wyposażać dodatkowo w urządzenia do mechanicznego przewracania osadów (przewracarka).
- **wariant 3** – suszarnia słoneczna o wymiarach 120 x 12 x 5,96 m i założonej wydajności 1200 Mg/rok. W stosunku do rozwiązań wariantu 1 suszarnię planuje się wyposażać w urządzenia do mechanicznego przewracania osadów (przewracarka) oraz do wentylacji.

W przypadku wariantów 2 i 3 planuje się także zmianę pokrycia konstrukcji tunelu z folii na pokrycie poliwęglanem.

Kalkulację kosztów budowy, eksploatacji oraz prognozowanych efektów wykonano na podstawie danych finansowych (bilansowych) uzyskanych z Przedsiębiorstwa Usług Komunalnych w Rokietnicy, opracowań własnych i danych na poziomie stawek i cen jednostkowych z 2011 roku, bez podatku od towarów i usług (VAT).

Do oceny efektywności techniczno-ekonomicznej analizowanych inwestycji zastosowano wskaźniki stosowane w analizie efektywności kosztowej: kapitałochłonności, jednostkowego kosztu eksploatacji, średniego rocznego kosztu jednostkowego oraz wskaźniki stosowane w analizie kosztów i korzyści: wartości zaktualizowanej netto i zdyskontowanego okresu zwrotu.

**Wskaźnik kapitałochłonności** [zł/Mg] obliczono według formuły:

$$W_k = \frac{I}{E}$$

gdzie:

$I$  – nakłady inwestycyjne [zł],

$E$  – wydajność suszarni [Mg].

**Wskaźnik jednostkowego kosztu eksploatacji** [zł/Mg] obliczono według formuły:

$$W_{jk} = \frac{K}{E}$$

gdzie:

$K$  – średni roczny koszty eksploatacji suszarni [zł],

$E$  – wydajność suszarni [Mg].

**Wskaźnik średniego rocznego kosztu jednostkowego** [zł/Mg] obliczono według wzoru [4]:

$$W_s = \frac{I(r + s) + K}{E}$$

gdzie:

$I$  – nakłady inwestycyjne [zł],

$r$  – stopa oprocentowania,

$s$  – stopa amortyzacji,

$K$  – średni roczny koszty eksploatacji suszarni [zł].

Do oceny efektywności ekonomicznej inwestycji ochrony środowiska przyjmowana jest z reguły stopa oprocentowania ( $r$ ) w przedziale od 5 do 8% (4). W pracy do obliczeń przyjęto stopę oprocentowania w wysokości 8%. Dla wariantu 1 suszarni przyjęto do obliczeń stopę amortyzacji ( $s$ ) w wysokości 4,5%, jak dla obiektu budowlanego. Dla wariantów 2 i 3, jako obiektów budowlanych wyposażonych dodatkowo w zautomatyzowane urządzenia techniczne (stopa amortyzacji 7%), na podstawie obliczeń wartości średnio ważonej, przyjęto stopę amortyzacji w wysokości 5,5%.

**Wartość zaktualizowana netto NPV [zł]** obliczono na podstawie formuły [5]:

$$NPV = -N/(1+k)^0 + [(P - K)/(1+k)^1 + (P - K)/(1+k)^2 + \dots + (P - K)/(1+k)^n]$$

gdzie:

$I$  – nakłady inwestycyjne [zł],

$P$  – średni roczny przychód finansowy z funkcjonowania suszarni słonecznej [zł],

$K$  – średni roczny koszty eksploatacji suszarni [zł],

$k$  – stopa dyskontowa,

$n$  – przyjęty okres eksploatacji technicznej urządzeń [lata].

Stopę dyskontową ( $k$ ), czyli minimalną zakładaną przez inwestora stopę zwrotu z inwestycji, przyjęto na poziomie 8%.

W konsekwencji przyjętych stóp amortyzacji, obliczenia wartości zaktualizowanej netto wariantu 1 suszarni prowadzono dla okresu eksploatacji technicznej obiektu – 22 lata. Dla wariantów 2 i 3 przyjęto okres eksploatacji 18 lat, co wynika ze średniej ważonej stopy amortyzacji obliczonej na podstawie zróżnicowanych stóp amortyzacji obiektu budowlanego i urządzeń technicznych.

**Zdyskontowany okres zwrotu** to oczekiwana liczba lat potrzebna do całkowitej spłaty poniesionych nakładów inwestycyjnych, przy zdyskontowaniu prognozowanych przychodów i kosztów eksploatacji suszarni.

### 3. Wyniki

Wyszczególnienie robót budowlanych oraz urządzeń dla analizowanych wariantów technologicznych suszarni osadów wraz z ich kosztami zestawiono w tabeli 1. Planowane łączne koszty budowy obiektów były istotnie zróżnicowane i wynosiły od 0,623 mln. zł w przypadku podstawowego wariantu 1, do 1,585 mln. zł dla najbardziej zaawansowanego technologicznie wariantu 3, wyposażonego w urządzenia do mechanicznego przewracania osadów (przewracarka) oraz do wentylacji. Koszt wykonania wariantu 2 z urządzeniem do mechanicznego przewracania osadów oszacowano na 1,015 mln zł.

Uwzględniając powierzchnie analizowanych wariantów 1, 2 i 3 suszarni, koszt jednostkowy budowy oszacowano odpowiednio na 580, 944 i 1101 zł za m<sup>2</sup>.

W przypadku robót budowlanych, największy udział w kosztach realizacji obiektów mają koszty wykonania konstrukcji nośnej, oszacowane na kwoty 348, 348 i 402 tys. zł. Koszt wyposażenia wariantu 2 w urządzenia do przewracania osadów oszacowano na 321 tys. zł, a wariantu 3 – w urządzenia do przewracania i wentylacji na 722 tys. zł, co stanowiło odpowiednio 31 i 46% łącznych kosztów budowy.

**Tabela 1.** Zestawienie kosztów budowy analizowanych wariantów suszarni słonecznych na poziomie cen z 2011 roku

**Table 1.** Specification of the construction costs of the analysed variants of a solar drying plant, on the level of prices from the year 2011

Element kosztów	Suszarnia		
	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3
Roboty ziemne	27 041	27 041	19 313
Ławy fundamentowe, ściany	51 876	51 876	68 622
Konstrukcja nośna pokrycia	348 458	348 458	402 813
Pokrycie z poliwęglanu	–	112 102	139 639
Pokrycie z folii	40 926	–	–
Brama	5 087	5 087	13 564
Rynny i rury	5 781	5 781	8 965
Posadzka	144 345	144 345	146 955
Murek prowadzący przewracarkę	–	–	62 929
Przewracarka	–	320 667	601 335
Wentylacja	–	–	120 960
<b>Razem</b>	<b>623 514</b>	<b>1 015 357</b>	<b>1 585 095</b>
<b>Koszt jednostkowy budowy [zł/m<sup>2</sup>]</b>	<b>580</b>	<b>944</b>	<b>1 101</b>

Do bieżących kosztów eksploatacji poszczególnych wariantów suszarni słonecznych zaliczono wynagrodzenia oraz koszty ubezpieczenia społecznego i innych świadczeń pracowników, a w przypadku wariantów 2 i 3 oczyszczalni również koszty zużycia materiałów, energii oraz usług obcych, niezbędnych do właściwego funkcjonowania zainstalowanych dodatkowo urządzeń technicznych. Stwierdzono, że prognozowane koszty eksploatacji są istotnie zróżnicowane i wynoszą 11 470 zł dla podstawowego wariantu 1 oczyszczalni, 39836 zł w wariantcie 2 wyposażonym w przewracarkę osadów i 193 850 zł rocznie, dla najbardziej zaawansowanego technologicznie wariantu 3, wyposażonego w urządzenia do przetwarzania osadów i wentylacji (tab. 1).

Jednostkowe roczne koszty eksploatacji wariantów 1, 2 i 3 oszacowano odpowiednio na kwoty 11, 37 i 135 zł/m<sup>2</sup>.

Na podstawie przeprowadzonych analiz, do wymiernych ekonomicznie przychodów z funkcjonowania suszarni zaliczono odbiór osadu ściekowego (20% s.m.), a w przypadku wariantów 2 i 3 inwestycji, dodatkową możliwość produkcji i sprzedaży nawozu organiczno-wapiennego.

**Tabela 2.** Zestawienie kosztów eksploatacji analizowanych wariantów suszarni słonecznych na poziomie cen z 2011 roku

**Table 2.** Specification of the construction costs of the analysed variants of a solar drying plant, on the level of prices from the year 2011

Element kosztów	Suszarnia		
	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3
Materiały i energia	0	28 366	80 000
Usługi obce	0	0	23 950
Wynagrodzenia	9 720	9 720	76 200
Ubezpieczenia i in. świadczenia	1 750	1 750	13 700
<b>Razem</b>	<b>11 470</b>	<b>39 836</b>	<b>193 850</b>
<b>Koszt jednostkowy eksploatacji [zł/m<sup>2</sup>]</b>	<b>11</b>	<b>37</b>	<b>135</b>

Przy przyjętych założeniach wydajności urządzeń oraz cen z roku 2011, roczny przychód dla podstawowego wariantu 1 może wynosić 80 tys. zł, dla wariantu 2 wyposażonego w przewracarkę – 364 tys. zł, dla wariantu 3 wyposażonego w przewracarkę i urządzenia do wentylacji osadów – 546 tys. zł (tabela 3).

**Tabela 3.** Zestawienie prognozowanych przychodów finansowych wynikających z eksploatacji analizowanych wariantów suszarni na poziomie cen z 2011 roku

**Table 3.** Specification of the predicted financial incomes resulting from the operation of a drying plant, on the level of prices from the year 2011

	Suszarnia		
	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3
Odbiór osadu ściekowego 20% s.m.	80 000	160 000	240 000
Nawóz organiczno wapienny	0	204 000	306 000
<b>Razem</b>	<b>80 000</b>	<b>364 000</b>	<b>546 000</b>

Zastosowanie dodatkowych urządzeń zwiększa zatem potencjalnie produktywność ekonomiczną wariantu 2 około 4,5-krotnie, a wariantu 3 – 6,8-krotnie, w stosunku do podstawowego wariantu 1.

Obliczenia wskaźnika kapitałochłonności wykazały, że choć w wartościach bezwzględnych wariant 1 budowy suszarni jest najtańszy, to po uwzględnieniu wydajności, najniższą kosztochłonnością charakteryzuje

się rozwiązanie proponowane w wariantcie 2. Wartość tego wskaźnika wynosi dla wariantu 1, 2 i 3 odpowiednio 1559, 1269 i 1321 zł/Mg (tabela 4).

**Tabela 4.** Zestawienie wybranych wskaźników oceny efektywności ekonomicznej analizowanych wariantów suszarni

**Table 4.** Specification of selected indices of the economic effectiveness estimation referring to the analysed drying plant variants

Wskaźniki	Suszarnia		
	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3
Wskaźnik kapitałochłonności [zł/Mg]	1 559	1 269	1 321
Wskaźnik jednostkowego kosztu eksploatacji [zł/Mg]	29	50	161
Średni roczny koszt jednostkowy [zł/Mg]	223	221	333
Wartość zaktualizowana netto [zł]	+ 72 736	<b>+ 2 022 665</b>	+ 1 715 214
Zdyskontowany okres zwrotu [lata]	17 lat i 1 miesiąc	<b>3 lata i 9 miesięcy</b>	5 lat i 10 miesięcy

Co nie jest zaskoczeniem, najwyższym wskaźnikiem jednostkowego kosztu eksploatacji (161 zł/Mg) charakteryzuje się z kolei rozwiązanie zaproponowane w wariantcie 3, z zastosowaniem dodatkowych urządzeń do przewracania i wentylacji osadów.

Wskaźnik średniego rocznego kosztu jednostkowego, ujmującego razem nakłady inwestycyjne i koszty eksploatacji w przeliczeniu na jednostkę produkcji, wykazał, że najdroższym rozwiązaniem jest wariant 3 suszarni. Wartość tego wskaźnika wynosiła 333 zł/Mg rocznie, przy porównywalnych wartościach dla wariantu 1 i 2 w wysokości około 220 zł (tabela 4).

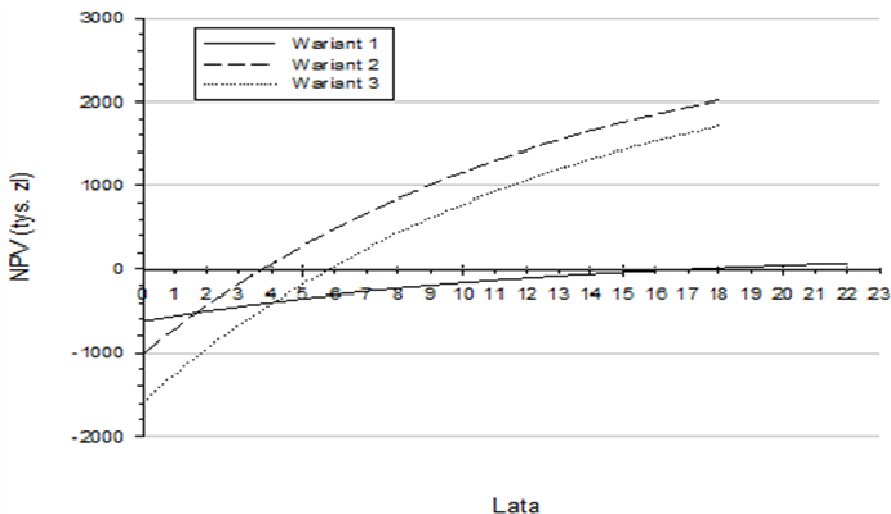
Omówione powyżej wskaźniki charakteryzują jednak wyłącznie kosztową stronę inwestycji, bez uwzględnienia spodziewanych efektów produkcyjnych.

Obliczenia wartości zaktualizowanej netto, polegające na zsumowaniu zdyskontowanych w okresie technicznej eksploatacji obiektów rocznych strumieni pieniężnych (wydatków i przychodów) wykazały, że wszystkie z analizowanych wariantów budowy suszarni słonecznej są

opłacalne (tabela 4). Z ekonomicznego punktu widzenia, najbardziej uzasadnionym jest realizacja wariantu 2, wyposażonego w urządzenia do mechanicznego przewracania osadów. Po 18 latach założonej technicznej eksploatacji urządzeń, realizacja tego wariantu może przynieść „czysty zysk netto” w wysokości około 2 mln. zł.

Przy stosunkowo niskich bezwzględnych nakładach inwestycyjnych i kosztach eksploatacji, efektywny jest też ekonomicznie wariant 1. Jednak przy założonym 22 letnim okresie eksploatacji obiektu, prognozowany zysk całkowity oszacowano zaledwie na około 70 tys. zł.

W pracy obliczono również zdyskontowany okres zwrotu, określający po jakim czasie zdyskontowane zyski z inwestycji zrównają się z poniesionymi nakładami. Jak wynika z rys. 1 najwcześniej nakłady inwestycyjne zwrócą się w przypadku realizacji wariantu 2 suszarni (3 lata i 9 miesięcy). W przypadku realizacji najbardziej zaawansowanej technologicznie suszarni (wariant 3) – po 5 latach i 10 miesiącach, a w podstawowym wariantcie 1 dopiero po 17 latach i 1 miesiącu.



**Rys. 1.** Wartość zaktualizowana netto analizowanych wariantów suszarni słonecznej w kolejnych latach eksploatacji  
**Fig. 1.** Actualized net value of the analysed variants of a solar drying plant operation in the successive years of its utilization



#### 4. Wnioski

Na podstawie analizy 3 wariantów suszarni osadów zlokalizowanych przy gminnej oczyszczalni ścieków, zróżnicowanych pod względem zastosowanych urządzeń oraz wydajności, przeprowadzonej na poziomie stawek i cen jednostkowych z 2011 roku sformułowano następujące wnioski:

1. Łączne koszty budowy obiektów mogą być istotnie zróżnicowane i wynosiły od 0,623 mln. zł w przypadku wariantu podstawowego do 1,585 mln. zł dla najbardziej zaawansowanego technologicznie wariantu, wyposażonego w urządzenia do mechanicznego przewracania osadów (przewracarka) oraz do wentylacji. Uwzględniając powierzchnie analizowanych wariantów suszarni, koszt jednostkowy budowy oszacowano odpowiednio na 580, 944 i 1101 zł za m<sup>2</sup>.
2. Do bieżących kosztów eksploatacji poszczególnych wariantów suszarni słonecznych zaliczono wynagrodzenia oraz koszty ubezpieczenia społecznego i innych świadczeń pracowników, a w przypadku wariantów 2 i 3 oczyszczalni również koszty zużycia materiałów, energii oraz usług obcych, niezbędnych do właściwego funkcjonowania zainstalowanych dodatkowo urządzeń technicznych. Jednostkowe roczne koszty eksploatacji wariantów 1, 2 i 3 oszacowano odpowiednio na kwoty 11, 37 i 135 zł/m<sup>2</sup> powierzchni suszarni.
3. Przy przyjętych założeniach wydajności urządzeń roczny przychód dla podstawowego wariantu suszarni może wynosić 80 tys. zł, dla wariantu wyposażonego w przewracarkę – 364 tys. zł, a dla wariantu wyposażonego w przewracarkę i urządzenia do wentylacji osadów – 546 tys. zł. Zastosowanie dodatkowych urządzeń zwiększa potencjalnie produktywność ekonomiczną wariantu 2 o około 4,5 –krotnie, a wariantu 3 – 6,8 –krotnie, w stosunku do podstawowego wariantu 1.
4. Przy założonych parametrach rachunku, wszystkie z trzech analizowanych wariantów suszarni osadów można uznać za opłacalne. Z ekonomicznego punktu widzenia, najbardziej uzasadnionym jest realizacja wariantu obiektu wyposażonego w urządzenia do mechanicznego przewracania osadów. Zwrot nakładów inwestycyjnych w przypadku tego rozwiązania może nastąpić po 3 lata i 9 miesiącach od oddania obiektu do eksploatacji, a łączna wartość zaktualizowana netto (NPV) po 18 latach założonego funkcjonowania obiektu może wynieść około 2 mln. zł.

## Literatura

1. **Bień J.B., Wystalska K.:** *Przekształcanie osadów ściekowych w procesach termicznych*. Wyd. Seidel-Przywecki, Warszawa, 100 (2009).
2. **Filipiak J., Przybyła Cz.:** *Wykorzystanie energii słonecznej do suszenia wstępnie odwodnionych osadów ściekowych*. Zesz. Nauk. Wydz. Budown. i Inż. Środ. Politechniki Koszalińskiej. Inżynieria Środowiska. 23, 387–397 (2007).
3. **Fytyli D., Zabaniotou A.:** *Utilization of sewage sludge I UE application of old and new methods – a review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 21, 116 (2001).
4. **Cyglar M., Miłaszewski R. (red.):** *Materiały do studiowania ekonomiki zaopatrzenia w wodę i ochrony środowiska*. Wyd. Ekonomia i Środowiska. Białystok, 206 (2008).
5. **Rogowski W.:** *Rachunek efektywności przedsięwzięć inwestycyjnych*. Wolters Kluwer, Kraków, 377 (2008).

## Economical Aspects of Construction and Operation of a Solar Drying Plant of Sewage Sludge

### Abstract

The paper presents an analysis of economic aspects of the construction and operation of a solar drying plant of sludge accumulating during the process of sludge removal in a communal sewage treatment plant, on the basis of three investment variants differentiated regarding the applied installations:

Variant 1 (the basic one) of the drying plant represents a building covering an area of 33.6 x 32 m x 5.96 m and an expected output of 400 Mg per year. The existing object was developed in the year 2007 within the modernization of the sewage treatment plant in Bytków. It was the first object of this type in Poland, where solar radiation (the source of renewable energy) was applied to the drying process of sludge.

Variant 2 – a drying plant with an area of 33.6 x 32 x 5.96 m and an assumed output of 800 Mg per year.. In comparison with Variant 1, the drying plant should have an additional installation for mechanical turning-over of the sludge (a turning-over device).

Variant 3 – a solar drying plant measuring 120 x 12 x 5.96 m and with an assumed output of 1200 Mg per year. In relation to variant 1, it is planned to equip the drying plant with an installation for mechanical turning-over of the sludge (a turning-over device) and an installation for ventilation.

The calculation of the construction and operation, as well as the expected effects was carried out on the basis of financial data (balance-sheet) obtained from the plant operation in an Enterprise of Communal Services in Rokietnica, from our own calculations and from data referring to the rates and unit prices in the year 2011 without the VAT tax.

For the estimation of the technical and economic effectiveness of the absorptive power of the analysed investment, the following indices of capital consumption have been applied: capital absorptive power of the unit cost of plant operation, the mean annual unit cost of the actualized net value and the discounted return period.

The total costs of the object construction can be essentially differentiated and they can amount from 0.623 mln PLN, in case of the basic variant, to 1.585 mln. PLN for the most technologically advanced variant equipped with installations for mechanical turning-over of sludge ( a turning-over device) and for ventilation. Taking into consideration the surface area of the analysed drying plant, the unit cost has been estimated for 580.944 PLN and 1101 PLN, respectively, for 1 m<sup>2</sup>.

The running operation costs of the particular solar drying plant variants, the pay costs, insurance costs and other services for the workers have been added. In case of variants 2 and 3 of the sewage treatment plant, also the costs of material consumption, energy and foreign services needed for the proper functioning of the additionally installed technical installations have been added. The annual operation costs of variants 1, 2 and 3 have been estimated for 11, 32 and 135 PLN per one square meter of the drying plant area, respectively.

In conditions of the accepted assumptions referring to the efficiency of the installations, the annual revenue for the basic variant of the drying plant can amount to 80 thous. PLN, while for the variant equipped with the turning-over device – to 364 thous. PLN, while for the variant equipped with a turning-over device and the ventilation installation, the costs can reach 546 thous. PLN. The introduction of additional installations would potentially increase the economic productivity of variant 2 by about 4.5-times, and the variant 3 – by 6.8 times, in relation to the basic variant 1.

Taking into consideration the assumed parameters of the calculation, all three analysed variants of sludge drying plant can be regarded as profitable ones. From the economic point of view, the most justified is the realization of the object equipped with a device for the turning-over of the sludge. The return of the investment outlays, in case of the last variant may be expected after 3 years and 9 months from the date of the started plant operation, while the total value with a net profit value (NPV) can be expected after 18 years of the object operation and it can amount to about 2 millions PLN.