

Katarzyna TROJANOWSKA¹

ENERGETYCZNE ASPEKTY SOLARNEGO SUSZENIA OSADÓW ŚCIEKOWYCH

1. Wprowadzenie

Idea wykorzystania energii słońca do suszenia osadów ściekowych powstała około 20 lat temu jako odpowiedź na coraz większą potrzebę zmniejszenia masy i objętości tych odpadów. Tradycyjne poletka osadowe oraz mechaniczne odwadnianie stały się dla większości oczyszczalni ścieków już niewystarczające. Osady odwodnione na wirówce, czy też prasie filtracyjnej nadal zawierają około 80 % wody, której nie da się inaczej usunąć jak tylko przez odparowanie. Suszenie osadów z wykorzystaniem kopalnych źródeł energii wiąże się z wysokimi kosztami eksploatacji, co bezpośrednio przekłada się na cenę oczyszczania ścieków. Wielkie aglomeracje miejskie nie mają wyboru i są zmuszone inwestować w wysokosprawne suszarnie termiczne. Pozostaje jednak problem utylizacji osadów ściekowych w średnich i mniejszych oczyszczalniach, gdzie budowa konwencjonalnej suszarni nie jest technicznie uzasadniona, a często z powodów ekonomicznych wręcz niemożliwa. To właśnie do tej grupy odbiorców technologie solarne pasują najlepiej z uwagi na niskie koszty eksploatacji, nieskomplikowaną obsługę i stosunkowo niskie nakłady inwestycyjne.

2. Suszenie solarne

Niezależnie od wybranej technologii każda suszarnia solarna jest niczym innym jak skutecznym połączeniem tradycyjnego poletka osadowego ze szklarnią ogrodniczą. Odcięte od bezpośredniego wpływu niekorzystnych czynników atmosferycznych osady schną w sposób naturalny, a produktem jest susz o wielkości ziaren od ok. 1 do 2 cm i co dla użytkownika najistotniejsze o około trzy, czterokrotnie mniejszej masie i objętości.

Suszarnie słoneczne różnią się między sobą przede wszystkim rodzajem zainstalowanej przewracarki, jej możliwościami technicznymi, sposobem wentylacji, a także co ma drugorzędne znaczenie indywidualnymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi hal szklarniowych i ich pokryciem.

¹ EUROTECH

Energia słoneczna jest przekazywana suszonym osadom wprost w postaci fal elektromagnetycznych, które są absorbowane przez górną warstwę suszącego się złoża. Absorpcja promieniowania, której dodatkowo sprzyja ciemna barwa osadów powoduje, że suszony materiał się nagrzewa i staje cieplejszy od powietrza wewnątrz hali. Ponieważ woda odparowuje głównie z górnej powierzchni osady muszą być intensywnie przewracane. W trakcie przewracania do złoża dostarczane jest powietrze, co z jednej strony zapobiega rozwojowi beztlenowych procesów gnilnych i emisji odorów, z drugiej zaś strony powoduje dalszą stabilizację osadów. Znaczenie reakcji tlenowego rozpadu materii organicznej jest z resztą dla suszenia solarnego bardzo istotne. Ich egzotermiczny charakter podnosi temperaturę wewnątrz suszącej się warstwy (efekt kopca), a rozpad materii organicznej powoduje dodatkowy ubytek masy.

Słońce wraz z osadami ogrzewa również powietrze i konstrukcję szklarni, a zatem nigdy cała energia słońca nie zamienia się w ciepło parowania wody. Woda przestanie też parować, gdy nasycone wilgocią powietrze już nie będzie w stanie jej odebrać i z tego też powodu każda suszarnia solarna musi być dobrze wentylowana. System wentylacji jest zatem z jednej strony konieczny do podtrzymania procesu suszenia, z drugiej zaś strony powoduje znaczne starty energetyczne. O ile nie ma to szczególnego znaczenia w przypadku darmowej energii słonecznej, to inaczej jest już przy dogrzewaniu hal energią, za którą oczyszczalnia musi płacić.

3. Dodatkowe ogrzewanie suszarni solarnych

Sposobem na częściowe uniezależnienie się od niekorzystnych dla suszenia solarnego warunków pogodowych jest wprowadzenie dodatkowych systemów grzewczych. W suszarniach słonecznych można wykorzystywać nadmuch ciepłego powietrza, ogrzewanie podłogowe lub promienniki podczerwieni. Osady mogą leżeć wprost na ogrzewanej posadzce lub na specjalnej perforowanej płycie, przez którą dmuchane jest ciepłe powietrze.

W przypadku wprowadzenia ogrzewania hali suszarniczej energia do osadów jest przekazywana podobnie jak w przypadku typowych suszarni termicznych poprzez konwekcję (nadmuch ciepłego powietrza) lub kontakt z ciepłą powierzchnią (ogrzewanie podłogowe). Zjawisko konwekcji towarzyszy z resztą także i zwykłemu suszeniu solarnemu (omywanie osadu nagrzanym od słońca powietrzem). W trakcie suszenia zmienia się struktura i zawartość wody w osadach, a tym samym także i ich właściwości termiczne. Inaczej przewodzą ciepło mokre osady w pierwszej fazie suszenia, a inaczej już zgranulowany susz po przekroczeniu 45 – 50 % suchej masy. Luźna struktura osadów z dużą ilością powietrza między ziarnami przypomina swoimi właściwościami termicznymi styropian.

Na suszenie solarne, ale i co najistotniejsze także na efektywność przyjmowania energii od dodatkowych źródeł ciepła zdecydowany wpływ ma zmieniająca się wraz z porami roku i nigdy do końca nieprzewidywalna pogoda. Dotyczy to zwłaszcza temperatury powietrza wewnątrz hali, która to dzięki pożądanemu i pozytywnemu efektowi cieplarnianemu jest w słoneczne dni o kilkanaście stopni wyższa niż na zewnątrz. Wszystko to razem powoduje, że wykonanie prawidłowego bilansu energetycznego suszarni słonecznej nie jest proste, a wiele teoretycznych założeń może się okazać całkowicie niepoprawnych. Z wyżej wymienionych powodów wynika idea przeprowadzenia dokładnego opomiarowania pracującego obiektu i zweryfikowania w praktyce pierwotnych założeń teoretycznych. Pomiary zostały zaplanowane i wykonane przez firmę *ist Anlagenbau* na wybudowanej w jej technologii suszarni solarnej w miejscowości Murnau. Uzyskane wyniki badań nie mają jednak ścisłego

powiązania tylko i wyłącznie z jedną technologią, lecz pokazują zjawiska fizyczne i przemiany energetyczne właściwe dla wszystkich suszarni solarnych niezależnie od producenta przewracarki, czy też dostawcy systemów grzewczych.

4. Pomiary efektywności ogrzewania podłogowego w oczyszczalni ścieków w Murnau

Murnau jest miejscowością położoną w Bawarii w Niemczech w odległości ok. 70 km na południe od Monachium. Wybudowana tam okręgowa oczyszczalnia ścieków przyjmuje ładunek zanieczyszczeń odpowiadający od 38 do 45 tysięcy RLM (równoważnej liczby mieszkańców), z czego ok. 2 000 RLM pochodzi z przemysłu (ścieki spożywcze z browaru i ubojni). Dzienna produkcja osadu wynosi ok. 1 200 kg suchej masy na dobę. Na linię technologiczną oczyszczania ścieków składają się osadniki wstępne, reaktor biologiczny oraz osadniki wtórne. Mieszane osady wstępne i nadmierne (50/50) są fermentowane w zamkniętych komorach fermentacyjnych, a następnie po zagęszczeniu grawitacyjnym odwadniane na ustawionej w przedślonku suszarni słonecznej wirówce dekantacyjnej. Zawartość suchej masy w mechanicznie odwodnionych osadach waha się w granicach od 24 do 28 % S.M.

Hala suszarnicza jest wyposażona w przewracarkę osadów WENDEWOLF® oraz ogrzewanie podłogowe zasilane przez dwa niezależne zespoły pomp ciepła, z których każdy składa się z dwóch pomp o elektrycznej mocy przyłączeniowej 22,3 kW. Energia termiczna jest pobierana z osadników wtórnych. Projekt instalacji grzewczej wykonany przez dostawcę pomp ciepła (Firma PLANGGER) przewidywał możliwość regulacji temperatury czynnika grzewczego na wejściu do suszarni między 35 i 50 °C. Ogrzewanie podłogowe zostało podzielone na 18 segmentów, dając użytkownikowi możliwość elastycznej regulacji intensywności grzania poszczególnych sekcji suszarni, co zostało wykorzystane podczas prowadzenia pomiarów.

Badania zaplanowano na luty - maj 2006, zaś poszczególne pomiary wykonano w kilku seriach odpowiadających zimnej i pochmurnej pogodzie oraz dniom słonecznym. Chcąc uzyskać obiektywne i porównywalne wyniki powierzchnia suszarni została podzielona wzdłuż na dwie równe części, z czego na prawej stronie wyłączono ogrzewanie podłogowe, zaś lewa strona była przez cały czas ogrzewana. Przyjęcie takiego podziału pozwoliło obserwować wpływ ogrzewania podłogowego na proces suszenia osadów w każdej fazie: od mokrej i mazistej postaci do zgranulowanego suszu. Pomiary wykonano dla dwóch różnych warstw osadów: dla złoża o grubości 40 cm (pochmurna pogoda) i 15 cm (słoneczna pogoda).

Seria pomiarów wykonana podczas zimowej pogody z przewagą dni pochmurnych wykazała, że średnia zawartość suchej masy w osadach po stronie grzanej była po 23 dniach badań o 4 % wyższa niż po stronie przeciwnej, a wyliczony współczynnik sprawności energetycznej systemu wyniósł 75 %. Jest to wynik zadowalający i mogący uzasadnić celowość zainstalowania ogrzewania podłogowego. Pomiary prowadzono dla 40-to centymetrowej warstwy osadów. Szczegółowa analiza właściwości osadów wykazała, że na większe zmniejszenie masy nałożyły się dwa efekty: dodatkowo odparowana woda oraz dużo bardziej intensywny rozkład materii organicznej po stronie ogrzewanej posadzki. Zawartość części organicznych w suchej masie osadów po stronie z wyłączonym ogrzewaniem zmniejszyła się z 58% na 53%, a po stronie grzanej z 58 % na 48 %. Należy tu zaznaczyć, że osady z różnych oczyszczalni ścieków będą się z pewnością charakteryzować

odmienną podatnością na rozkład materii organicznej w zależności od technologii ich wcześniejszej przeróbki. Stąd uzyskiwany w praktyce dodatkowy ubytek masy towarzyszący suszeniu osadów będzie się z pewnością różnić w poszczególnych obiektach.

Powtórzone dwa miesiące później już w cieńszej warstwie osadu (15 cm) pomiary pokazały, że w czasie w którym dominowały pogodne, wiosenne dni efektywność ogrzewania podłogowego znacząco spadła. Ogrzane słońcem powietrze w hali spowodowało, że różnica temperatur między posadzką, a górną warstwą złoża była dużo mniejsza, a to z kolei znacznie pogorszyło przekazywanie energii od podłogi do osadów. Zawartość suchej masy po stronie z wyłączonym ogrzewaniem już po 14 dniach pomiarów osiągnęła ten sam poziom co dogrzewane osady w czasie poprzedniej kampanii pomiarowej i była zaledwie o niecałe 2 % wyższa niż po stronie przeciwnej. Wyliczona sprawność energetyczna ogrzewania podłogowego spadła z 75 do 33 % (!).

Okazuje się zatem, że skuteczność ogrzewania podłogowego w dużej mierze zależy od pogody i można z niego racjonalnie korzystać wyłącznie w miesiącach zimowych i to pod warunkiem, że przy dużym spadku temperatur zgromadzone w suszarni osady nie będą zamrożone.

Przeprowadzone w Murnau badania pozwoliły wysunąć jeszcze jeden interesujący wniosek: mimo zainstalowania pomp ciepła o łącznej mocy elektrycznej 4 x 22,3 kW na jednej hali suszarniczej o wymiarach zewnętrznych 58 m x 12 m i ogrzewanej powierzchni 500 m² najwyższa zmierzona temperatura posadzki wyniosła 35 °C. Efektywna moc grzewcza ogrzewania podłogowego zasilanego pompami ciepła jest zatem technicznie limitowana, a podstawowym ograniczeniem możliwości dogrzewania hal suszarniczych jest brak na oczyszczalniach ścieków wysokotemperaturowego źródła taniej lub darmowej energii termicznej. Nawet jeśli oczyszczalnia produkuje biogaz, to z reguły jest on zamieniany w kogeneracji na „zieloną” energię elektryczną i ciepło, które z kolei zimą jest niemalże w całości zużywane do ogrzewania komór fermentacyjnych i pozostałych obiektów oczyszczalni. Zastosowanie pomp ciepła podnosi natomiast znacząco zużycie energii elektrycznej i jest inwestycyjnie drogie.

5. Rzeczywiste koszty ogrzewania podłogowego

Największą zaletą suszarni solarnych jest niskie zużycie energii. Niewielkie moce przyłączeniowe przewracarki i wentylatorów nie przekraczające 22 kW dla największych hal suszarniczych oraz fakt, że urządzenia te pracują tylko okresowo powoduje, że zużycie energii elektrycznej na odparowanie 1 tony wody nie przekracza z reguły średnio 35 kWh (*). Nie zmienia to jednak faktu, że zasadniczym źródłem energii termicznej jest w tym przypadku słońce.

Chcąc zwiększyć całkowitą wydajność suszarni słonecznej wprowadza się do niej dodatkowy system grzewczy. Całkowita energia pokrywająca ciepło parowania wody, straty towarzyszące każdej przemianie energii, a także ubytki ciepła związane z tym, że suszarnie słoneczne są obiektami wielkogabarytowymi i nie są izolowane termicznie, musi zostać dostarczona ze źródła zewnętrznego.

W czasie wykonywania pomiarów w Murnau zużycie energii elektrycznej przez pompy ciepła na każdą odparowaną tonę wody wynosiło odpowiednio 167 kWh podczas pierwszej serii pomiarowej (warunki zimowe) i 390 kWh podczas kolejnych pomiarów (słoneczna pogoda). Do tego należy dodać dużo wyższe zużycie energii przez samą przewracarkę i wentylatory (100 kWh/t H₂O), wynikające z potrzeby o wiele częstszych przewracania

osadów. Wszystko to razem daje w porównaniu z suszeniem solarnym wzrost zużycia energii elektrycznej i tym samym bezpośrednich kosztów suszenia od 7 do 15 razy.

Biorąc za przykład wartości z Murnau i przeliczając je na złotówki z uwzględnieniem aktualnej średniej ceny energii elektrycznej netto na poziomie 0,44 zł/ kWh otrzymujemy bezpośredni koszt suszenia osadów z 20 do 70 % suchej masy w przypadku suszenia słońcem 17,50 zł, zaś dla osadów suszonych energią dostarczaną przez pompy ciepła: odpowiednio 58,74 zł i 107,80 zł dla zimowej i wiosennej pogody. Do tego dochodzą koszty dodatkowych przeglądów technicznych, a także koszty amortyzacji pomp ciepła i systemu ogrzewania podłogowego.

Tabela 1. Zestawienie wyników dwóch serii pomiarowych wykonanych w Murnau w 2006 roku

	I seria pomiarowa /zima/		II seria pomiarowa /wiosna/	
	strona bez ogrzewania	strona grzana	strona bez ogrzewania	strona grzana
Zawartość suchej masy i części organicznych w osadach wprowadzanych do suszarni	24,1 % / 58,6 %	24,1 % / 58,6 %	25,3 % / 58,9 %	25,3 % / 58,9 %
Czas trwania pomiarów	23 dni	23 dni	14 dni	14 dni
Średnia zawartość suchej masy w osadach na zakończenie pomiarów	30,3 %	34,2 %	32,8 %	34,4%
Zawartość części organicznych w suchej masie osadów na zakończenie pomiarów	53,9 %	48,1 %	50,8 %	51,3 %
Zużycie energii termicznej na każdą tonę dodatkowego ubytku masy	-	750 kWh/t H ₂ O	-	1 750 kWh/t H ₂ O
Całkowite zużycie energii elektrycznej na tonę odparowanej wody	38 kWh/t H ₂ O	267 kWh/t H ₂ O	32 kWh/t H ₂ O	490 kWh/t H ₂ O
Wzrost zużycia energii elektrycznej w porównaniu z suszeniem solarnym na każdą tonę dodatkowego ubytku masy	-	7 razy	-	15 razy
Współczynnik sprawności zamiany dostarczonej energii na efektywny ubytek masy wyliczony w oparciu o ciepło parowania wody	-	75 %	-	33 %

(*) Dane dla technologii ist Anlagenbau

6. Nakłady inwestycyjne

Ogrzewana hala suszarnicza to zawsze dużo wyższe nakłady inwestycyjne i co zatem idzie większe koszty amortyzacji obiektu. Na przykładzie pierwszych suszarni w Polsce można zauważyć, że koszt wykonania dodatkowej infrastruktury związanej z zakupem pomp ciepła, wykonaniem wymienników układanych w osadnikach wtórnych i samej ogrzewanej posadzki jest niemalże porównywalny z samą suszarnią słoneczną. Biorąc za przykład suszarnię słoneczną w Żarach koszt wykonania jednej hali suszarniczej bez żadnych dodatkowych instalacji grzewczych wyniósł około 1.896.000 złotych, podczas gdy budowana w tym samym czasie identyczna hala w Myszkowie kosztowała prawie 3.767.000 zł.

Chcąc znaleźć jak najlepsze odniesienie do wzrostu kosztów inwestycyjnych związanych z wykonaniem instalacji pomp ciepła i ogrzewania podłogowego w tabeli 2 pokazano obiekty wykonane w tej samej technologii, wyposażone w te same urządzenia (przewracarki i wentylatory), a także zaprojektowane przez tego samego projektanta (EKOTOP Piła), a zatem posiadające niemalże identyczne rozwiązania konstrukcyjne.

Tabela 2. Porównanie kosztów budowy suszarni z i bez ogrzewania podłogowego zasilanego pompami ciepła

Obiekt/rok budowy	Liczba i powierzchnia hal suszarniczych	Zastosowana technologia	Całkowity koszt inwestycji, PLN (*)
Słoneczna suszarnia osadów ściekowych w Hławie, 2007	1 hala suszarnicza o wymiarach 12 x 128 m	Suszenie energią słońca, ist Anlagenbau + ogrzewana posadzka	3.500.000,00
Słoneczna suszarnia osadów ściekowych w Żarach, 2009	3 hale suszarnicze o wymiarach 12 x 116 m	Suszenie wyłącznie energią słoneczną, ist Anlagenbau	5.688.090,87
Słoneczna suszarnia osadów ściekowych w Myszkowie, 2009	1 hala suszarnicza o wymiarach 12 x 116 m	Suszenie energią słońca, ist Anlagenbau + ogrzewana posadzka	3.766.941,00

(*) Dane: www.ilawskiewodociagi.pl; BZP

7. Wnioski

1. Decydując się na dodatkowe ogrzewanie suszarni słonecznych należy się liczyć z faktem, że zapotrzebowanie na energię termiczną na każdą tonę dodatkowego ubytku masy jest w zależności od warunków pogodowych porównywalne lub nawet znacząco wyższe od konwencjonalnych suszarni termicznych.
2. Możliwości dogrzewania hal suszarni solarnych przy pomocy pomp ciepła są technicznie ograniczone. Dotyczy to zarówno możliwej do uzyskania maksymalnej temperatury podłogi, jak i ilości energii wprowadzanej do osadów na jednostkę powierzchni. Nie zabezpiecza to osadów przed całkowitym zamrożeniem w okresie silnych mrozów.

3. Okres racjonalnego stosowania ogrzewania podłogowego ogranicza się do miesięcy zimowych, o ile osady nie są zmrożone. W takich warunkach przy niskich temperaturach powietrza wewnątrz hali sprawność energetyczna systemu jest zadowalająca i wynosi 75 %. Około 25 % włożonej energii jest tracone. W pozostałych okresach roku straty energetyczne przekraczają 70 %. Z wyżej wymienionych powodów w ogrzewanych halach suszarniczych praktycznie nie udaje się w skali roku wysuszyć efektywnie więcej niż 20 % osadów w porównaniu z suszeniem wyłącznie energią słoneczną (Dane z oczyszczalni ścieków w Murnau).
4. Zastosowanie pomp ciepła jako źródła energii dla ogrzewania podłogowego podnosi średnio dziesięciokrotnie koszt zużycia energii elektrycznej potrzebnej na odparowanie 1 tony wody i tym samym bezpośrednio koszty suszenia osadów. Nie można już zatem mówić o tanim i energooszczędnym suszeniu.
5. Wykonanie ogrzewania podłogowego hal suszarniczych wraz z niezbędną infrastrukturą (pompy ciepła i wymienniki ciepła układane w osadnikach wtórnych) niemalże podwaja koszty inwestycyjne, w konsekwencji czego rosną także koszty amortyzacji obiektu.
6. Próby zwiększenia efektywności ogrzewania podłogowego poprzez częstsze przewracanie lub zmniejszenie grubości warstwy suszonych osadów do kilku, czy też kilkunastu centymetrów są technicznie niemożliwe i ze względu praktycznych nieracjonalne. Każda przewracarka nawowa ma swoją prędkość roboczą i związany z tym czas niezbędny do przerobienia całego złoża. Przerwy między kolejnymi przejazdami i wydobywaniem na powierzchnię ogrzanych, mokrych osadów są tym dłuższe im dłuższa jest hala. Długość obszaru suszenia w przypadku opisanych badań wynosiła 48 m. Dla dłuższych obiektów (100 m i więcej) rzeczywiste efekty działania ogrzewania podłogowego mogą być jeszcze mniejsze. Oczyszczalnie ścieków wytwarzają z reguły bez względu na porę roku stałą ilość osadów. Dlatego też zimą w okresie deficytu energii słonecznej grubość warstwy osadów zalegających w suszarniach jest największa. Często też spada ich stopień odwodnienia. Prowadzenie suszenia w cienkiej warstwie wymagałoby składowania części osadów w przyzmacz poza suszarniami przez okres kilku do nawet kilkunastu tygodni. Przetrzymane i częściowo zgniłe osady z reguły zaczynają płynąć, a ich mazista struktura utrudnia przewracanie i odparowywanie wody. Są też źródłem uciążliwych odorów.
7. Wymiarując podczas projektowania hale suszarnicze z reguły przyjmuje się pewną powierzchnię buforową pozwalającą oczyszczalni zgromadzić w suszarni całość osadów wytwarzanych zimą i przetrzymać je do wiosny, kiedy to suszenie zaczyna przebiegać z dużo większą intensywnością. W konsekwencji każda suszarnia solarna ma latem niewykorzystaną rezerwę powierzchni i nie musi być dogrzewana nawet nocą, czy też w okresach gorszej pogody. Działanie takie mija się z celem zwłaszcza, że suszenie termiczne nawet przy użyciu pomp ciepła dużo więcej kosztuje.
8. Ogrzewanie podłogowe powoduje dużo szybszy rozpad materii organicznej, co w przypadku energetycznego wykorzystania suszu osadowego może być zjawiskiem negatywnym.

Podsumowując należy stwierdzić, że warto więc wszędzie tam, gdzie na to pozwalają warunki lokalizacyjne pozostać wyłącznie przy suszeniu słonecznym. W końcu teren, którego oczyszczalnie ścieków z reguły mają najczęściej pod dostatkiem kosztuje najmniej, a darmowej energii słońca jeszcze długo nie zabraknie.

Streszczenie:

Wykorzystanie odnawialnej energii słonecznej do suszenia osadów jest najprostszym i najtańszym sposobem na zmniejszenie ich masy i przygotowanie do dalszej utylizacji. Zawierający 60 – 80 % suchej masy, zgranulowany susz ma wartość opałową na poziomie węgla brunatnego i nadaje się do spalania zarówno w wyspecjalizowanych do tego celu instalacjach, jak i w energetyce zawodowej. Łatwiej go też zagospodarowywać przyrodniczo, a przede wszystkim gromadzić i przechowywać na oczyszczalni do czasu, gdy aplikacja do gruntów jest możliwa. Z punktu widzenia kosztów eksploatacji, jak i nakładów inwestycyjnych suszarnie słoneczne są ostatnim elementem, na którym w przypadku mniejszych i średnich oczyszczalni ścieków powinna się kończyć przeróbka osadów.

Mitem jest, że w warunkach klimatycznych środkowej Europy suszarnie solarne muszą być bezwzględnie dogrzewane w okresie zimowym, a wyposażenie obiektu w ogrzewanie podłogowe może wydatnie zwiększyć jego przepustowość. Przeprowadzona w Murnau na pracującej suszarni kampania pomiarowa wykazała, że przy wykorzystaniu pomp ciepła i energii oczyszczonych ścieków zużycie energii elektrycznej potrzebnej do odparowania 1 tony wody z osadów wynosi od 267 do 490 kWh i jest od 7 do 15 razy wyższe niż przy suszeniu wyłącznie słońcem. Okazało się także, że czas efektywnego wykorzystania ogrzewania podłogowego jest stosunkowo krótki, a nakłady inwestycyjne porównywalne z budową samej suszarni solarnej.

Słowa kluczowe: suszenie osadów, suszarnie solarne, przewracarka Wendewolf, solare Klärschlamm-trocknung Murnau