

## WYBRANE METODY SUSZENIA OSADÓW ŚCIEKOWYCH

W celu zagospodarowania osadów ściekowych często jest stosowana technologia suszenia bądź suszenia i spalania. W tym celu, osady ściekowe poddaje się koagulacji, prasowaniu zmniejszając ich wilgotność z 95% do 80% i suszeniu do zawartości 90% sm. Na dalszym etapie osad może być spalany np. w piecach cementowych lub spalarniach komunalnych.

Ponieważ suszenie jest procesem energochłonnym ważne jest aby zużycie ciepła na odparowanie 1 kg wody było jak najmniejsze.

Taki wskaźnik energochłonności stał się ważnym wyróżnikiem często decydującym o wyborze technologii suszenia.

W niniejszym opracowaniu wyliczenia przeprowadzono na podstawie wykresu entalpowego powietrza gdyż jest to najbardziej prosty sposób a nie ma urządzeń suszarniczych które pracowałyby niezgodnie z zależnościami podanymi na wykresie.

Urządzenia suszarnicze zużywają 2 rodzaje energii to jest energię cieplną na podgrzanie powietrza oraz energię mechaniczną na wszelkiego rodzaju napędy oraz do wentylatorów. Energia grzewcza stanowi na ogół około 97% całej zużytej energii którą wyraża się w kJ lecz do obliczeń końcowych przelicza się na kW. Energia mechaniczna w suszarni stanowi ca 3% całej zużytej energii i podaje się ją w kW. W końcowych obliczeniach podano w postaci kosztów suszenia 1 tony osadu mokrego. Uzyskany wynik łatwo można przeliczyć na roczne koszty eksploatacji danego urządzenia.

Do obliczeń przyjęto przykładowo suszarnię taśmową.

Należy wysuszyć 1000 kg osadu mokrego o wilgotności 65% , który należy wysuszyć do wilgotności 10%. Po suszeniu uzyskamy w przybliżeniu 350kg osadu suchego i odparować należy 650 kg wody. Zastosujemy więc suszarnię taśmową o powierzchni roboczej taśmy ca 40m<sup>2</sup>.

Napędy taśmy zużyją ca 8 kW, mieszanie i przenośniki ca 8 kW oraz napęd wentylatora 22kW  
Zużycie mocy mechanicznej ca 38 kW.

Do suszenia zastosujemy około 36 000kg/h. Na podgrzanie powietrza zużyjemy ca 4100 000kJ tj około 1100kW mocy grzewczej. Przyjęto w tych obliczeniach że za pomocą 1 kg powietrza usuwa się około 17 g wody co jest wartością wysoką dla tego typu suszarni gdyż dla mniejszej wartości wskaźnik zużycia mocy grzewczej byłby wyższy. Wyliczony wskaźnik zużycia mocy na 1kg odparowanej

wody wyniesie ca 1,75 kW/1kg odparowanej wody. Co zgodne jest z wartościami podawanymi w literaturze. Przyjęte w obliczeniach wartości mogą różnić się od rzeczywistych o 10 do 15%.

Jako że suszarnie stosują różne media o różnej cenie przyjęto że koszt 1 kW w postaci prądu kosztuje 0,4 zł a 1kW a w postaci energii grzewczej gazu kosztuje ca 0,18 zł/kW. W dalszej części artykułu zostaną wyliczone koszty energii niezbędne do uzyskania 1tony mokrego osadu.

Często podaje się w wymogach stawianym suszarniom do suszenia osadów współczynnik zużycia mocy grzewczej 0,85-1,0 kW/kg wody. Skąd tak niski współczynnik? Przy 100 % sprawności suszarni współczynnik ten wyniesie około 0,65 kW/kg wody. Współczynnik ten jest szczególnie rażący gdy dotyczy suszarek o największej energochłonności. Po analizie stwierdzono że uzyskanie takiego współczynnika jest niemożliwe gdy jako czynnik suszący stosowane jest powietrze. Uzyskanie takiego współczynnika możliwe jest jedynie gdy zastosuje się jako czynnik suszący parę suchą przegrzaną.

Takie suszarnie do chwili obecnej nie są stosowane w kraju.

W kraju do suszenia osadu ściekowego najczęściej stosuje się następujące rodzaje suszarni:

- suszarnie solarne,
- suszarnie bębnowe,
- suszarnie taśmowe,
- suszarnie fluidalne,

## **SUSZARNIE SOLARNE**

Suszarnie solarne budowane są w postaci szklarni, a na ich podłodze umieszcza się osad ściekowy . Osad mieszany jest postępującym mieszadłem. W warunkach polskiego klimatu suszarnie solarne mogą pracować około 7 miesięcy w roku.

W celu zwiększenia intensywności suszenia w tych suszarniach podłoga jest podgrzewana. W eksperymentalnej suszarni o powierzchni roboczej 1400m<sup>2</sup> zainstalowane mieszadło posiada napęd o mocy 5 kW, a do podgrzewania podłogi zużywa się około 300kW mocy grzewczej w postaci prądu elektrycznego, ponadto wentylatory osiowe o mocy ok. 16kW służą do wentylacji szklarni .

Wydajność w kg odparowanej wody w skali roku, tj. ok 2000 godz. pracy szacuje się na ok. 1 900 t. Wydajność dzienna wynosi ok. 950kg wody dziennie dla całej szklarni Mała wydajność powoduje że ich stosowanie ogranicza się do małych oczyszczalni ścieków. Zużycie energii dodatkowej w postaci prądu elektrycznego na ogrzewanie podłogowe wyniesie 1,57 kW/kg wody.

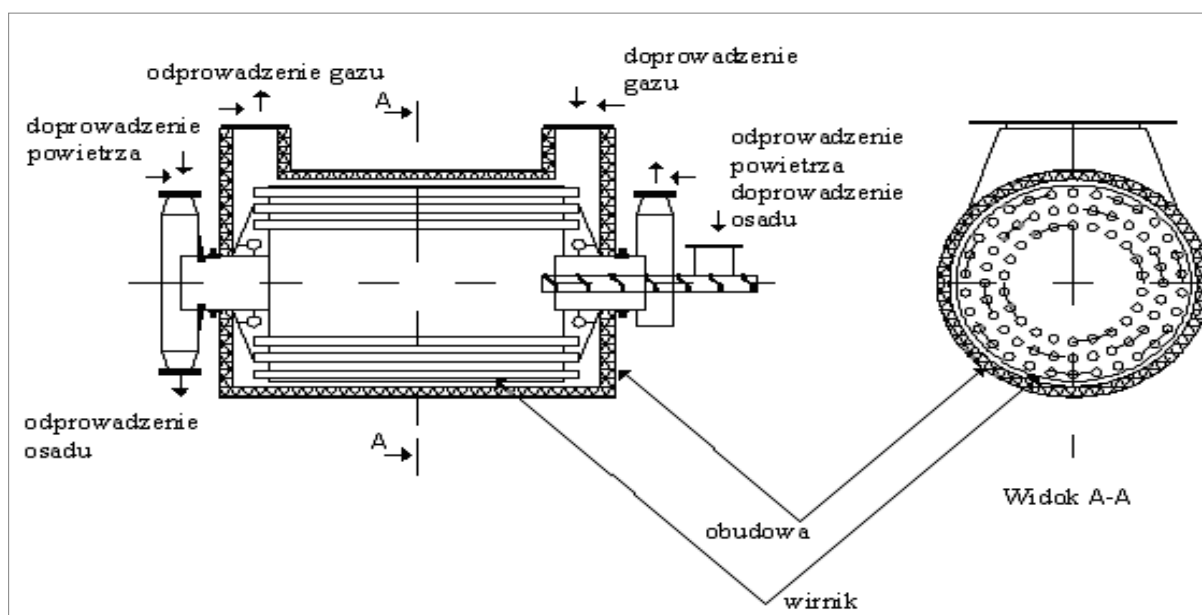
W suszarniach tych nie musi być stosowane ogrzewanie podłogowe lecz wówczas wydajność suszarni spadnie w przybliżeniu o połowę.

## SUSZARNIA BĘBNOWA

Suszarnie bębnowe zbudowane są w kształcie walca z wbudowanym osiowo mieszadłem ramowym lub innym obracającym się wewnątrz walca. Suszenie polega na mieszaniu osadu w strumieniu powietrza a wychodzący produkt jest w postaci proszku, który może być dodatkowo granulowany na granulacjach.

Ten typ suszarni jest eksploatowany w oczyszczalni ścieków we Wrocławiu .

Bęben suszarni w kształcie walca ma długość 9mb i średnicę 1,5m. Powietrze suszące jest podgrzewane bezpośrednio palnikiem na gaz ziemny/biogaz lub inne paliwo. Przy temperaturze powietrza wlotowego 130-140°C uzyskuje się wydajność odparowania 230-250 kg wody/h. Jednym z rozwiązań może być suszarnia firmy Bojner .



Rys.1 Suszarka obrotowa w technologii Bojner

Ograniczeniem wydajności tej suszarni jest ilość tłoczonego powietrza suszącego a tym samym jego prędkość. Przy prędkości powyżej 1,2m/s będzie występować porywanie suchego pyłu z powietrzem wylotowym . Do oczyszczenia oraz dezodoryzacji powietrza odlotowego jest zastosowany skrubler natryskowy.

Współczynnik zużycia energii grzewczej praktycznie wynosi ok. 1,4-1,6 kW/ 1kg odparowanej wody. Końcowa wilgotność materiału po suszeniu wyniesie ca 10%.

## SUSZARNIA TAŚMOWA

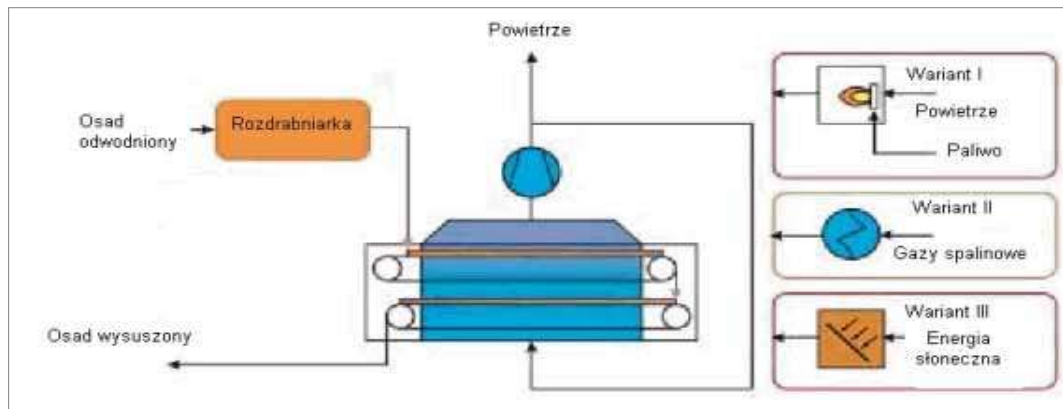
W suszarniach taśmowych zakłada się że na przesuwającą się taśmę podawany będzie osad o wilgotności ok. 60% a powietrze suszące jest nadmuchiwane z góry w kierunku taśmy.

W celu zmniejszenia zjawiska klejenia osadu do taśmy założono, że do 1 tony osadu wilgotnego dodaje się suchy produkt w ilości ok. 300 kg zapewniając w ten sposób obniżenie wilgotności osadu z 80% do około 63%.

Z uwagi na to, że suchy osad nie jest materiałem łatwo wchłaniającym wodę powyższy sposób nie gwarantuje w pełni zredukowania zjawiska klejenia.

Stosowana prędkość przepływu powietrza suszącego jest w tym przypadku mała i wynosi około 0,2 do 0,3m/s i dla uzyskania dużych wydajności odparowania wilgoci zachodzi konieczność stosowania dużych powierzchni taśmy suszącej. Wydajność odparowania z 1m<sup>2</sup> powierzchni sita wynosi od 0,15 do 15kg. Przy wysokiej wilgotności będzie ona wynosiła ca 15kg

Dla przykładu do wysuszenia 1 tona osadu potrzeba zastosować taśmę o powierzchni 40m<sup>2</sup>. Zużycie powietrza wyniesie ok 40 000 kg/h. Jednostkowe zużycie energii grzewczej wynosi ok. 1,75 kW/kg wody. Po wprowadzeniu rekuperacji ciepła odlotowego współczynnik ten może się zmniejszyć do ca 1,45 kW/kg wody.



**Rys. 3: Schemat procesu w instalacji do suszenia osadu**

Ze względów na zagrożenie pożarem lub wybuchem w suszarniach osadu nie zaleca się takiego zawrotu a w suszarniach taśmowych i bębnowych przed wentylatorem ssącym stosuje się skrubler co zapobiega takiemu zagrożeniu ale wyklucza z kolei zastosowanie odzysku ciepła . Zużycie mocy grzewczej mniejsze od 1kW/kg wody jest niemożliwe do uzyskania jeżeli medium suszącym jest powietrze a wilgotność końcowa ma wynieść ca 10 %.

Ten typ suszarni doskonale nadaje się do suszenia produktów o długim czasie suszenia np. kostka warzywna makaron i inne. Osad ściekowy rozdrobniony nie jest surowcem o bardzo małej porowatości a więc i czas suszenia jest stosunkowo krótki.

## SUSZARNIA FLUIDALNA

Proces fluidyzacji polega na zawieszeniu materiału stałego w gorącym powietrzu. Uzyskana faza fluidalna zachowuje się jak ciecz i charakteryzuje się wysokimi współczynnikami przejmowania ciepła i masy.



Suszarnia fluidalna zbudowana jest w postaci leżącego prostopadłościanu przedzielonego poziomym sitem. Właściwie dobrane sito warunkuje prawidłową pracę. Powinno ono zapewniać równomierny przepływ powietrza na całej powierzchni przy możliwie niskich oporach.

Stosowane w kraju sito wirowe wg polskiego patentu spełniają te wymagania.

Specjalna perforacja pozwala uzyskać wirowy przepływ powietrza a opory przepływu dla tego typu sita wynoszą ok. 150 - 200 Pa.

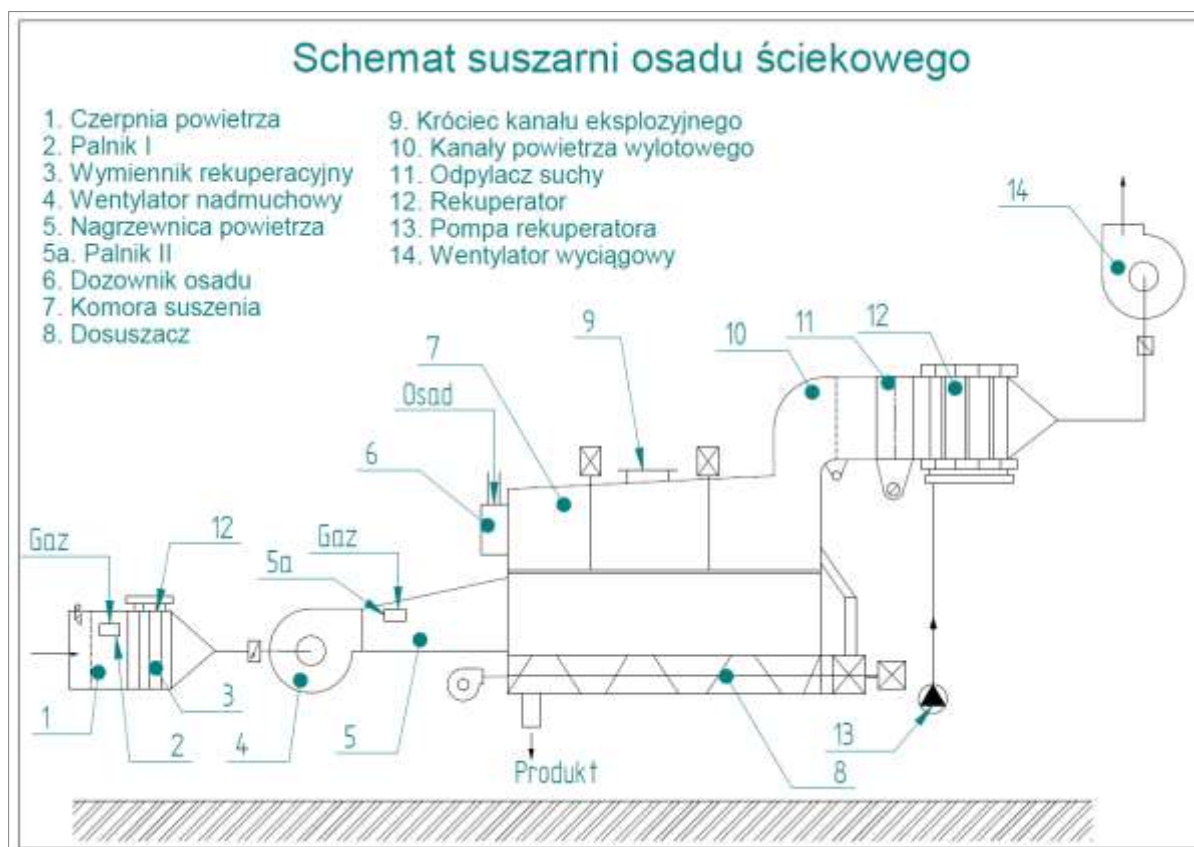
W oparciu o sito wirowe zbudowano w kraju ok. 200 suszarni fluidalnych do różnych materiałów. W suszarniach fluidalnych materiał mokry nie zalega na sicie a jest w ciągłym ruchu co zapobiega przyklejaniu osadu do dna sitowego oraz sprzyja wyjątkowo sprawniej wymianie ciepła i masy.

Dotychczas w kraju wykonano i oddano do użytku 5 suszarek fluidalnych do osadu ściekowego, w roku 2002 – szt. 2 i w 2006 – szt.3. W suszarniach tych zastosowano w przybliżeniu pełny zawrót powietrza co spowodowało że suszarnie te pracują przy wydajności ½ swych wydajności nominalnych przy jednostkowym zużyciu mocy grzewczej 1,6 kW/kg wody. Taki zawrót powietrza nie jest stosowany w praktyce i nie zalecany w podręcznikach.



Na załączonym zdjęciu pokazano pracę suszarni fluidalnej.

Podczas prób suszenia osadu ściekowego na modelu badawczym o powierzchni 2,7m<sup>2</sup> uzyskano wydajność ok. 180 kg wody/1m<sup>2</sup> powierzchni suszenia przy temperaturze powietrza wlotowego 130° C a wylotowego na poziomie 70-75° . Jednostkowe zużycie mocy grzewczej wynosiło około 1,4 -1,5 kW/1kg odparowanej wody bez odzysku ciepła. Wyżej podane dane zgodne są z literaturą.



Schemat takiej suszarni przedstawia Rys 2

Czerpnia 1 wyposażona w wymiennik ciepła 3 podgrzewa powietrze wlotowe do wentylatora 4. Wentylator podaje powietrze wstępnie podgrzane do nagrzewnicy powietrza 5 gdzie podgrzewa się ono do  $t = 130-140^{\circ}\text{C}$ .

Powietrze wylotowe z suszarni jest o temperaturze  $70-75^{\circ}\text{C}$  i schładza się na wymienniku wodnym 12 do temperatury osiągając punkt rosy. Woda natomiast podgrzewa się do temperatury ca  $50^{\circ}\text{C}$ . Uzyskana woda ciepła służy do podgrzania powietrza wlotowego na wymienniku 3 umieszczonym za czerpnięą powietrza. Dzięki temu zabiegowi można obniżyć zużycie mocy grzewczej na suszarni osadu do wartości  $1,2 \text{ kW/kg}$  odparowanej wody. Powietrze wylotowe z suszarni oczyszczane jest jednocześnie ze szkodliwych zapachów. Uzyskujemy ten sam efekt co na skruberze przy jednoczesnym odzysku ciepła z powietrza.

Zabieg ten czyni suszarnie fluidalne jedne z bardziej ekonomicznych urządzeń i najbardziej wydajnymi suszarniami stosowanymi do suszenia osadów

**Parametry zaprojektowanych i wykonanych urządzeń przedstawia poniższa tabelka.**

Typ,	Pow. Sita	Il. Odp. wody	Wydajność Kg/h osad mokry	Zapotrzebowanie Powietrza	Zapotrzebowanie energii elektr.	Moc grzewcza	Wymiary dł. /szer. /xwys.
	$\text{m}^2$	$\text{kg/h}$	$\text{kg/h}$	$\text{m}^3/\text{s}$	$\text{kW}$	$\text{kW}$	$\text{m}$
SFO 0,75x2,9	2,17	500	500	5,3	44	550	3,9x1,6x2,8
SFO 0,93/3,7	3,44	700	800	8,5	60	800	4,7x1,8x3,2
SFO 1,4x4,2	5,88	1300	1400	14,7	85	1500	5,2x2,45x3,8

Zebrane w dłuższym okresie czasu wyniki eksploatacyjne z zamontowanych urządzeń pozwalają na rzetelną ocenę i rozpoznanie wielu zalet jak i ujawnionych wad suszarni fluidalnych.

**W oparciu o współczynnik całkowity mocy niezbędny do wysuszenia 1kg wody wyliczono koszty suszenia 1 tony osadu o wilgotności od 80% do 10%, który wynosi:**

**dla suszarni bębnowej                      225 zł/1 tonę**

**dla suszarni taśmowej                      259 zł/1 tonę**

**dla suszarni fluidalnej                      180 zł/1 tonę**

Nie policzono suszarni solarnej gdyż jej wydajność jak i zasady pracy są nieporównywalne z suszarniami konwekcyjnymi.

Podczas wyliczenia współczynników zużycia mocy na odparowanie kierowano się danymi z literatury oraz doświadczeniem własnym podczas opracowywania suszarni w skali technicznej a nie z prospektów gdyż dane z prospektów są często zaniżone i niezgodne z rzeczywistością. Zasady pracy urządzeń obecnie pracujących nie odbiegają zasadniczo od tych podawanych w literaturze w sposób istotny dlatego też przyjęto dane literaturowe oraz wnioski z badań własnych suszenia osadu w skali laboratoryjnej i technicznej. Wyżej podane koszty nie mają wartości absolutnej lecz pozwalają na oszacowanie kosztów eksploatacyjnych w/w typów suszarek.

## PODSUMOWANIE

Tabela 2. Zestawienie parametrów energochłonności przedstawionych rozwiązań

Rodzaj suszarni	Suszarnia solarna	Suszarnia Bębnowa	Suszarnia taśmowa	Suszarnia fluidalna
Energochłonność	1,6 kW/kg wody	1,4-16kW/kg wody	1,75kW/kg wody	1,2kW/kg wody

## WNIOSKI

1. Przedstawione sposoby i urządzenia do suszenia osadów ściekowych naszym nadają się również do zastosowania do suszenia osadu po fermentacji metanowej tj podczas produkcji biogazu. W tym celu należy wykonać niewielkie prace adaptacyjne. Wyjątek stanowią suszarnie solarne ze względu na zbyt duże stężenie metanu w szklarni.
2. Dla suszarni bębnowej parametry przepływu powietrza będą musiały być niższe niż dla osadu ściekowego co będzie skutkowało mniejszą wydajnością suszarni z jednostki objętości bębna.
3. Suszarnia taśmowa będzie miała wyższe zużycie energii grzewczej na kg odparowanej wody.
4. Suszarnia fluidalna będzie miała też mniejszą wydajność ze względu na mniejsze prędkości powietrza ale jednostkowe zużycie ciepła na 1 kg odparowanej wody będzie mniejsze ze względu na lepsze wykorzystanie powietrza.
5. Dalszą poprawę wyników osiągniętych przez suszarnię fluidyzacyjną można uzyskać np. na drodze zastosowania pary suchej przegrzanej np. do zagęszczania osadu przed dozowaniem a następnie wykorzystanie oparów do podgrzania powietrza wlotowego. Do tego celu wymagane będą prace prowadzone przez odpowiednie centrum badawcze.



**LITERATURA;**

Strumiłło Czesław, *Suszenie przemysłowe i suszarnictwo*

Kneule, *Suszenie i suszarnictwo*

Hobler Tadeusz, *Wymiana ciepła i masy*

Razumow, *Fluidyzacja i transport pneumatyczny*

dr inż Olgierd Lossman

tel 601 999 631 str Internet: <http://www.suszarki.info.pl/>

**Słowa kluczowe**

W artykule omówione zostały najczęściej stosowane przemysłowe sposoby suszenia osadów ściekowych oraz ich ogólna charakterystyka techniczna.

**English version**

In this article general characteristics of industrial waste water sludge dryers has been described.

**Streszczenie:**

W artykule omówione zostały najczęściej stosowane suszarnie przemysłowe do suszenia osadów ściekowych.

Opisana została budowa oraz charakterystyki suszarni solarnej, bębnowej, taśmowej oraz fluidalnej.

Stwierdzono że suszarnia solarna ze względu na jej małą wydajność nadaje się głównie do małych oczyszczalni. Najmniejsze jednostkowe zużycie energii całkowitej uzyskuje się w suszarniach fluidalnych i bębnowych z mieszadłem wewnętrznym. Największe jednostkowe zużycie energii całkowitej uzyskuje się przy zastosowaniu suszarek taśmowych. W oparciu o te współczynniki wyliczono koszty wysuszenia 1 tony osadu mokrego. Wyżej omówione suszarnie mogą być również stosowane do suszenia osadów po produkcji alkoholu czy po produkcji biogazu z wyjątkiem suszarni solarnej.

**English version**

In this article most commonly used industrial dryers for waste water sludge has been described.

Construction and general technical characteristics of solar dryer, drum dryers with inside agitator, belt dryer and fluid bed dryer has been described.

Solar dryer has very small capacity and they are used only at the small waste water treatment station.

The fluid bed dryer and drum dryer have the smallest energy consumption coefficient. The belt dryer has the biggest energy consumption coefficient. According to this coefficient drying cost of 1 ton wet sludge has been calculated. These dryers can also be used for sludge from alcohol production and bio gas production.