

**KATARZYNA TROJANOWSKA<sup>\*</sup>, ZOFIA SADECKA<sup>\*\*</sup>,  
SYLWIA MYSZOGRAJ<sup>\*\*</sup>, ALEKSANDRA SIECIECHOWICZ<sup>\*\*</sup>**

## **SUSZARNIE SOLARNE OSADÓW ŚCIEKOWYCH W POLSCE**

### *Streszczenie*

*W artykule przedstawiono ocenę zasadności budowy dodatkowo ogrzewanych słonecznych suszarni komunalnych osadów ściekowych w oparciu o zebrane doświadczenia eksploatacyjne z pracujących w Polsce obiektów. Wskazano na istotne dla użytkowników aspekty techniczne i technologiczne procesu suszenia osadów. W warunkach krajowych, jak pokazano na przykładzie suszarni osadów ściekowych w Żarach, zdecydowanie skuteczniejsze i co najważniejsze, tańsze jest zastosowanie wyłącznie solarnego suszenia osadów. Odpowiednia powierzchnia hal suszarniczych oraz wyposażenie technologiczne suszarni, umożliwi kompensowanie sezonowych zmian pogody poprzez zmianę grubości warstwy osadów w suszarniach słonecznych.*

Słowa kluczowe: osady ściekowe, suszenie solarne, eksploatacja, koszty

### **WPROWADZENIE**

Prognozy wykazują, że ilości wytworzonych osadów ściekowych w Polsce na przestrzeni od 2010 do 2018 r. wzrosną od 612,8 tys. ton s.m. do 706,6 tys. ton s.m. [KPOŚ 2006]. Jednocześnie z uwagi na implementację Dyrektywy 99/31/EC w sprawie składowania odpadów zakazującą od 1 stycznia 2013 r. przyjmowania na składowiska odpadów innych niż niebezpieczne, między innymi osadów ściekowych, wiele oczyszczalni będzie zmuszona do zmiany dotychczasowych sposobów ich zagospodarowania [Koć 2010]. Ilości osadów ściekowych powstających w polskich oczyszczalniach komunalnych oraz sposoby ich zagospodarowania w latach 2004-2010 (wg GUS) przedstawiono w tabeli 1.

W większości polskich oczyszczalni ścieków podstawowym ciągiem przeróbki osadów jest zagęszczanie, stabilizacja (beztlenowa, tlenowa lub chemicz-

---

\* Eurotech, Bielsko-Biała

\*\* Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Inżynierii Środowiska

na), a następnie odwadnianie i higienizacja [Bień i Wystalska 2011]. Należy zaznaczyć, że priorytetowym sposobem postępowania z osadami powinno być ich wykorzystanie w sposób niepowodujący negatywnego oddziaływania na środowisko. Zarządzanie gospodarką osadami ściekowymi ukierunkowane jest na zmniejszenie ilości składowanych osadów oraz na zwiększenie stopnia ich przetworzenia metodami termicznego przekształcania [Sadecka i in. 2011].

*Tab. 1 Ilość osadów ściekowych powstających w polskich oczyszczalniach komunalnych oraz sposoby ich zagospodarowania w latach 2004-2010 (wg GUS)*

*Tab. 1 Amount of sewage sludge produced in the Polish wastewater treatment plants and methods of their development in 2004-2010 (according to the Central Statistical Office)*

Lata	Osady wytworzone w ciągu roku, tys. Mg s.m.								
	Ogółem	w tym:							
		Wykorzystane:			Przekształcone termicznie	Składowane		Magazynowane czasowo	Inne
		do rekultywacji	w rolnictwie	do uprawy roślin		razem	na terenie zakładu		
2004	476,1	110,7	66,9	29,7	1,4	162,7	102,2	22	82,6
2005	486,2	120,6	66	27,4	6,2	150,7	96,2	27,3	88
2006	501,3	109,7	80,6	28,1	4,5	147,1	81,1	38,6	92,8
2007	533,4	118,5	98,2	25,5	1,7	124,5	79,4	49,4	115,5
2008	567,3	105,8	112	27,5	6	91,6	54,1	52,9	171,5
2009	563,1	77,8	123,1	23,5	8,9	81,6	45,4	72,9	175,3
2010	526,7	54,3	109,3	30,9	19,8	58,9	29,6	68,2	185,2

Możliwości przetwarzania osadów ściekowych zależą od wielu czynników. Są to właściwości fizyczne (wilgotność, podatność na odwadnianie, wartość opałowa, ciepło spalania), chemiczne (zawartość metali ciężkich, dioksyn i furanów) oraz sanitarne (obecność bakterii, wirusów, drożdży, grzybów, cyst pierwotniaków, jaj robaków). Równie istotne są względy ekonomiczne, przede wszystkim akceptowany poziom kosztów przeróbki oraz względy prawne. Racjonalny odzysk osadów to maksymalne wykorzystanie ich właściwości nawozowych czy opałowych. Suszenie jest procesem przekształcającym odpady w produkt o parametrach ułatwiających ich transport, magazynowanie i ostateczne zagospodarowanie. Technologia ta pozwala wykorzystywać osady przyrodniczo lub jako paliwo energetyczne. Proces suszenia nie zmienia składu chemicznego osadu, stąd też właściwości nawozowe pozostają bez zmian, a kaloryczność osadu wzrasta, w wyniku obniżenia zawartości wody. Suszenie osadów pozwala na największe zmniejszenie masy i objętości osadów. W wielu jednak przypadkach okazuje się, że najlepszą lub nawet jedyną drogą do ich ostatecznej utylizacji jest unieszkodliwianie termiczne w procesach współ- lub

monospalania. To z kolei wymusza odparowanie wilgoci przynajmniej do takiego poziomu, aby dały się spalać bez paliwa wspomagającego.

Suszenie jest najbardziej energochłonnym, a przez to i kosztochłonnym procesem spośród wszystkich etapów przeróbki osadów. Woda w osadach ściekowych występuje w formie związanej; przy jej odprowadzaniu część energii wykorzystana zostaje na przemiany fizyko-chemiczne związków, skutkiem czego do pełnego wysuszenia osadów potrzeba aż od 0,6 do 1,2 kWh energii w postaci ciepła na każdy kilogram odparowanej wody [Sadecka 2012].

Dlatego też dokonując wyboru technologii termicznego przetwarzania osadów należy kierować się zasadą BAT – najlepszej, dostępnej, sprawdzonej i energooszczędnej technologii, odpowiadającej najwyższemu ugruntowanemu poziomowi wiedzy i rozwiązań technicznych w inżynierii środowiska [Myszograj i in. 2011].

### TECHNOLOGIE BAT W SUSZENIU OSADÓW

Proces suszenia osadów może być ekonomicznie uzasadniony, o ile z uwagi na energochłonność nie będzie znacząco podnosił kosztów oczyszczania ścieków. Dlatego też powinien być realizowany:

- z wykorzystaniem energii słonecznej,
- z wykorzystaniem ciepła z nadwyżek biogazu w oczyszczalniach z fermentacją metanową,
- z wykorzystaniem niekonwencjonalnych źródeł energii, w tym pomp ciepła i energii oczyszczonych ścieków,
- z wykorzystaniem paliw tańszych niż olej opałowy i gaz ziemny.

W praktyce oznacza to, że w przypadku małych i średnich oczyszczalni ścieków najbardziej technicznie i ekonomicznie uzasadniona jest budowa suszarni, w których w procesie suszenia wykorzystuje się bezpłatną energię słoneczną. Uzasadnione jest także wykorzystanie w procesie suszenia biogazu, o ile w oczyszczalni stosowany jest proces fermentacji metanowej osadów ściekowych. Biogaz może być bezpośrednio spalany w promiennikach podczerwieni i zamieniany na fale elektromagnetyczne, które podobnie jak słońce nagrzewają górną warstwę osadów. Można też wykorzystywać do wspomagania procesu suszenia nadwyżki ciepła, pochodzące ze spalin lub ciepło odzyskiwane w procesie chłodzenia generatorów prądu [Suchowska-Kisielewicz i Myszograj, 2011]. We wszystkich wyżej wymienionych przypadkach ma się gwarancję najniższych kosztów eksploatacji, gdyż jedynym bezpośrednim kosztem suszenia będzie tylko i wyłącznie koszt energii elektrycznej zużywanej przez przewracarki i wentylatory zainstalowane w suszarni słonecznej.

W Polsce, jak do tej pory są eksploatowane dwie suszarnie osadów ściekowych oparte wyłącznie o energię słońca. Nie są wyposażone w żadne dodatkowe systemy ogrzewania, a mimo to mają możliwość przyjmowania osadów do suszenia przez cały rok. Są to pracująca już szósty rok suszarnia osadów ściekowych w Kozienicach, a także oddana do użytku w 2009r. suszarnia w Żarach. Kolejna w Lubawie rozpoczęła swój pierwszy rok eksploatacji, a następne trzy są aktualnie w fazie budowy lub rozruchu technologicznego. Zdecydowana większość spośród kilkuset suszarni słonecznych eksploatowanych za granicą, bazuje tylko i wyłącznie na energii słonecznej, bądź też dodatkowo wykorzystuje ciepło z biogazu. Odchodzi się natomiast od ogrzewania pompami ciepła.

#### **NIEOGRZEWANA SUSZARNIA SŁONECZNA NA PRZYKŁADZIE SUSZARNI OSADÓW ŚCIEKOWYCH W ŻARACH**

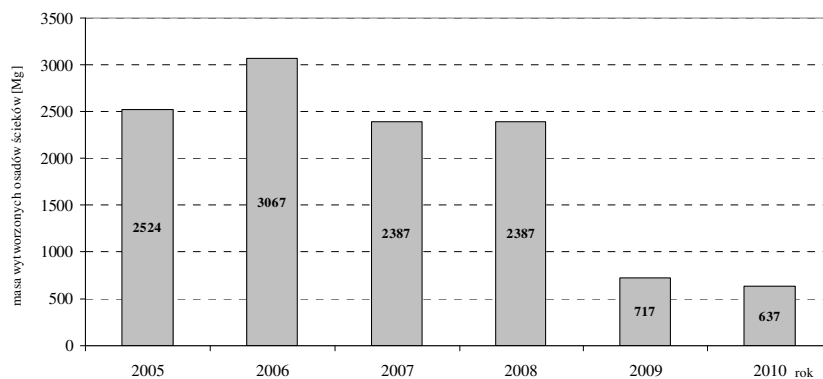
W różnych publikacjach zwolennicy dogrzewanych suszarni hybrydowych próbują sugerować, że w polskich warunkach klimatycznych z uwagi na długi okres zimy, suszarnie słoneczne nie mają racji bytu, gdyż po pierwsze: nie dają gwarancji uzyskania założonych efektów technologicznych, po drugie: nie jest możliwe suszenie w nich osadów do stałych wartości suchej masy, po trzecie: nieprzegarniane zimą zamrożone osady emitują odory i są przyczyną licznych problemów eksploatacyjnych [Sobczyk 2012]. Mitem, nie mającym żadnego potwierdzenia w praktyce, jest obawa przed zamrożeniem osadów w nieogrzewanych suszarniach słonecznych [Sobczyk 2012], co zresztą rzeczywiście następuje. W zamrożonych osadach niezależnie od grubości warstwy ustają wszelkie procesy biologiczne, w tym także beztlenowy rozpad materii organicznej. Nie ma więc znaczenia, że w tym stanie osady nie mogą być przetwarzane. Mróz powoduje naturalną dezintegrację komórek, w wyniku czego rozmrożone po okresie zimowym osady lepiej oddają wodę i łatwiej się suszą.

Suszarnia w Żarach w pełni spełnia oczekiwania swoich użytkowników od momentu oddania jej do eksploatacji. Pracuje bez jakichkolwiek zakłóceń technicznych, nie emituje odorów, dostarcza susz o zawartości suchej masy od 70 do 90 % s. m. i mimo okresowego zamarzania osadów zimą, może je przez cały rok przyjmować na bieżąco, tj. dokładnie w tych samych ilościach zarówno latem, jak i zimą. Jest to możliwe dzięki odpowiednio wyliczonej powierzchni hal suszarniczych, która uwzględnia cykliczne zmiany pór roku oraz dzięki przewracarkom umożliwiającym zwiększanie grubości warstwy osadów do 30-40 cm w tych okresach, gdy suszenie przebiega najwolniej. Osady są przy tym mieszane dogłębnie w całym przekroju warstwy, a to zapobiega rozwojowi procesów gnilnych i emisji odorów. Od wiosny do późnej jesieni osady suszy się w warstwie od 15 do 25 cm, czyli w optymalnych z technologicznego punktu widzenia warunkach.

Od 2009r. osady powstające w oczyszczalni w Żarach poddaje się zagęszczaniu, fermentacji metanowej i odwadnianiu, a następnie suszy w halach suszarniczych w technologii *ist Anlagenbau* z wykorzystaniem przewracarek WENDEWOLF®.

Masę wytworzonych osadów ściekowych w oczyszczalni w Żarach, kierowanych do zagospodarowania w latach 2005-2010 przedstawiono na rys. 1.

W latach 2005-2008, przed uruchomieniem instalacji do suszenia solarnego, ilość wytworzonych odwodnionych osadów ściekowych wynosiła od 2387 do 3067 Mg rocznie. Wprowadzenie suszenia spowodowało zmniejszenie ilości osadów do 717 Mg w roku 2009 i 637 Mg w roku 2010 (ilość osadów odwodnionych odpowiednio 3142 i 2654 Mg).



Rys. 1 Osady ściekowe do zagospodarowania w latach 2005-2010 (Żary)

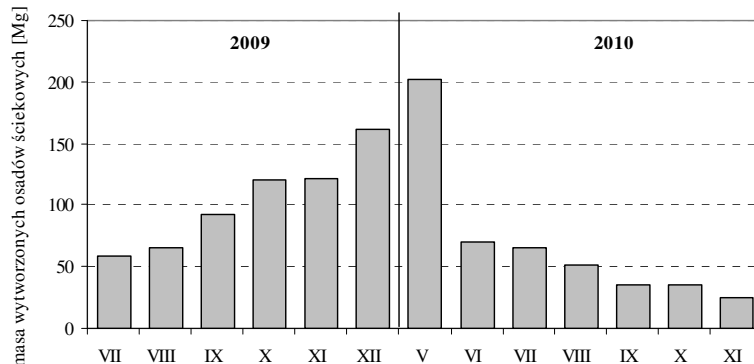
Fig. 1 Sewage sludge for management in 2005-2010 (Żary)

Jak pokazano na rys. 2 ilość osadów odprowadzanych z suszarni zależy od pory roku. W lipcu 2009 r. hale suszarnicze wypełniono 600 Mg odwodnionych osadów o średnim uwodnieniu 83%. Warstwa suszonego osadu wynosiła 10-15 cm. Na skutek suszenia uzyskano 5-krotne zmniejszenie masy osadu, a średnie uwodnienie wynosiło 12,3%. W okresie od maja do grudnia 2009 r. suszeniu poddano 1898 Mg osadów, uzyskując 717 ton osadu wysuszonego o średnim uwodnieniu 50,5%. Łączne zużycie energii elektrycznej przez suszarnię wyniosło 19100 kWh, co daje 26,64 kWh/Mg suszu i 16,2 kWh/ tonę odparowanej wody.

W okresie zimy, tj. od listopada 2009 r. do marca 2010r. osady były wyłącznie gromadzone w halach suszarniczych (bez składowania na placu zewnętrznym). Grubość warstwy osiągnęła w marcu-kwietniu ok. 35-40 cm.

W okresie od kwietnia do sierpnia 2010 r. procesowi suszenia poddano 2128 ton osadów o średnim uwodnieniu ok. 81% uzyskując 637 tony suszu o uwod-

nieniu 34,1%. Pierwsza partia osadu została wywieziona na przełomie miesiąca maja-czerwca.



Rys. 2 Ilość wysuszonych osadów ściekowych w latach 2009-2010 (Żary)

Fig. 2 Quantity of dried sewage sludge in 2009-2010 (Żary)

Zużycie energii elektrycznej od miesiąca stycznia do grudnia 2010r. przez wszystkie hale suszarnicze wynosiło 20.628 kWh, co w przeliczeniu daje 32,4 kWh/tonę suszu i 13,83 kWh/tonę odparowanej wody. Sumaryczne zużycie energii elektrycznej przez wszystkie 3 hale w 2010 r. wynosiło 1,03% całkowitego zużycia energii. Suszarnia w Żarach, została zaprojektowana do wysuszenia łącznie 3,574 ton osadów/rok, tj. do odparowania 2,604 ton wody/rok. Łączne zużycie energii elektrycznej przez suszarnię za cały 2010 r. wyniosło 19,260 kWh, co daje średnio ok. 1,600 kWh/m-c i bezpośredni koszt suszenia osadów rzędu 640 zł/m-c [Myszograj i in. 2011; Wołoszyn 2011; Trojanowska 2011]. Współczynnik zużycia energii elektrycznej w przeliczeniu na 1 tonę odparowywanej wody wynosił w 2010 i 2011 r. 13,83 kWh/tonę wody. Daje to bezpośredni koszt suszenia na poziomie 5,53 zł na tonę odparowanej wody i około 4,00 zł na tonę wysuszonych osadów. Roczne zużycie energii elektrycznej przez suszarnię wynosiło więc tyle, ile cała oczyszczalnia zużywa w ciągu trzech dni.

Podany przykład wykazuje, że bezpośrednie koszty eksploatacji suszarni słonecznych są dla ich eksploatorów niemalże niezauważalne.

#### HYBRYDOWE SUSZARNIE SŁONECZNE NA PRZYKŁADZIE OBIEKTÓW W KŁODZKU I MYSZKOWIE

Pomimo opisanych w literaturze polskiej i zagranicznej, sprawdzonych w praktyce, dobrych doświadczeń z eksploatacji suszarni słonecznych, w wielu

artykułach branżowych poświęconych problematyce suszenia osadów ściekowych wciąż przeważa pogląd, że w polskich warunkach klimatycznych zdecydowanie lepsze efekty suszenia uzyskuje się w suszarniach hybrydowych [Sobczyk 2009, Sobczyk 2010, Sobczyk i Sypuła 2010, Suszyński 2011]. Z uwagi na fakt, że zdecydowana większość małych i średnich oczyszczalni ścieków nie wytwarza własnej energii w postaci biogazu, do wspomagania procesu suszenia wykorzystuje się inne niekonwencjonalne źródła energii. Najczęściej są to odbierające energię z oczyszczonych ścieków pompy ciepła i ogrzewanie podłogowe w halach suszarniczych.

Hybrydowa suszarnia osadów ściekowych w Kłodzku jest obiektem trzykrotnie mniejszym niż Żary i została zaprojektowana do wysuszenia 1300 ton osadów w roku od 25 % do 60 % s.m., co wymaga odparowania 758 ton wody (w porównaniu dla Żar 2604 t/rok.). W suszarni zastosowano technologię suszenia firmy HUBER oraz urządzenia do przewracania osadów KULT SRT.

Aby suszarnia mogła dzięki ogrzewaniu podłogowemu i pompom ciepła o mocy 210 kW, w które została wyposażona, pracować przez cały rok ze stałą wydajnością, powinna miesięcznie bez względu na porę roku wysuszyć 108 ton mechanicznie odwodnionych osadów, tj. odparować z nich ok. 63 tony wody. Tymczasem w czterech miesiącach pracy suszarni jesienią bez dogrzewania hali (IX-X) wprowadzono do suszarni 80-85 ton odwodnionych osadów, a w grudniu przy włączonym ogrzewaniu podłogowym już tylko 72 tony z konieczności utrzymywania cienkiej warstwy osadów na podłodze suszarni, gdyż w przeciwnym razie odbiór energii od ogrzewanej podłogi byłby jeszcze mniej efektywny [Sobczyk i Sypuła 2011, 2012]. Jak wykazują obliczenia uwzględniające czynną powierzchnię hali suszarniczej (885 m<sup>2</sup>) i masy osadów wprowadzanych do suszarni w poszczególnych miesiącach, grubość warstwy w kłodzkiej suszarni w żadnym z nich nie przekroczyła 10-12 cm, także i wtedy, gdy ogrzewanie nie było włączone [Sobczyk i Sypuła 2011]. Skutkiem tego w każdym miesiącu ok. 30 ton mechanicznie odwodnionych osadów, czyli prawie 30% założonej wydajności suszarni zamiast do hali trafiało na tymczasowe składowisko. Można założyć, że do kwietnia/maja nagromadzono ok. 270-300 ton osadów, których wysuszenie będzie możliwe dopiero latem.

A zatem czy pompy ciepła, ogrzewanie podłogowe i stałe utrzymywanie na podłodze suszarni cienkiej warstwy osadów mogą w rzeczywistości wyrównać zimowy deficyt energii słonecznej i spowodować, że suszarnia hybrydowa będzie pracować przez cały rok z wydajnością na zbliżonym, stałym poziomie? Na przykładzie doświadczeń eksploatacyjnych suszarni osadów ściekowych w Kłodzku można przypuszczać, że prawdopodobnie nie jest to możliwe.

Podobne efekty uzyskano w suszarni hybrydowej eksploatowanej od początku 2010 r. w oczyszczalni ścieków w Myszkowie. Zastosowano tutaj podobnie jak dla Kłodzka ogrzewanie podłogowe i pompy ciepła o łącznej mocy 210 kW. Suszarnia ta na powierzchni o ok. 30% większej niż Kłodzko, suszy w ciągu

roku 1400 ton osadów, zamiast założonych w projekcie 2300 ton/rok [Galas i Woszczyk 2012].

Przykład suszarni w Kłodzku wykazuje, że w przejściowych porach roku (jesień), gdy nie korzysta się z ogrzewania podłogowego, ciągłe suszenie w cienkiej warstwie bez zwiększania jej grubości powoduje, że suszarnia już nie przyjmuje takiej samej masy osadów, jak w miesiącach letnich. Podobnie dzieje się zimą (listopad, grudzień) i to mimo włączonego ogrzewania. Suszarnia w Kłodzku nie może zatem funkcjonować bez tymczasowego placu magazynowego na mokre osady, chyba że kosztem odpowiednio większej powierzchni hali.

Suszone w cienkiej warstwie, regularnie przewracane świeże osady w suszarniach hybrydowych nie będą emitować odorów, podobnie zresztą jak ich nie emituje suszarnia słoneczna w Żarach. Prawdziwym problemem w przypadku Kłodzka i innych podobnych suszarni, mogą być zgromadzone w przyzmacz odwodnione osady, które z uwagi na suszenie cienkowarstwowe muszą czekać na wprowadzenie do hali i odparowanie wody, leżąc na placu magazynowym prawie pół roku. To właśnie te osady, częściowo zagnite i wtórnie zawilgocone, a następnie rozciągnięte w suszarni na dużej powierzchni i intensywnie przewracane mogą okazać się dla oczyszczalni prawdziwą „bombą ekologiczną”.

#### **KOSZTY INWESTYCYJNE I EKSPLOATACYJNE SUSZARNI SŁONECZNYCH BEZ I Z OGRZEWANIEM PODŁOGOWYM**

Niezależnie od poruszonych powyżej aspektów technologicznych, najistotniejszym czynnikiem, jaki powinien być brany pod uwagę przy podejmowaniu decyzji o wyborze technologii suszenia są koszty inwestycyjne i eksploatacyjne. Do wyboru są dwa sprawdzone w praktyce eksploatacyjnej alternatywne rozwiązania technologiczne:

- nieogrzewane suszarnie słoneczne, w których w okresie późna jesień/ zima/ wczesna wiosna, przeważa funkcja magazynowania osadów, czego skutkiem są zmiany grubości warstwy osadów i jej okresowy przyrost do 30-40 cm (np. Żary),
- ogrzewane suszarnie hybrydowe o mniejszej powierzchni, niż suszarnie słoneczne, suszące osady bez względu na porę roku w cienkiej warstwie (10-12 cm), w których zimowy deficyt energii słońca jest częściowo kompensowany przez inne źródła energii, np. pompy ciepła (np. Kłodzko).

Bezpośredni koszt suszenia bez czynnego ogrzewania podłogowego ograniczony wyłącznie do zużycia energii elektrycznej przez przewracarki i system wentylacji dla suszarni w Żarach wynosi 5,53 zł. na tonę odparowanej wody, natomiast dla suszarni w Kłodzku wynosi 7,96 zł. [Trojanowska 2011]. Po włączeniu ogrzewania podłogowego zużycie energii elektrycznej tylko i wyłącznie



przez pompy ciepła wyniosło w oczyszczalni w Kłodzku 308,6 kWh na tonę osadów i 328,6 kWh/t dla całej suszarni [Sobczyk i Sypuła 2011]. Biorąc pod uwagę masę osadów wprowadzonych do suszenia, miesięczne zużycie energii elektrycznej było na poziomie 23616 kWh. Słoneczna suszarnia w Żarach przez cały rok zużywa średnio na miesiąc 1600 kWh energii, a zatem 16 razy mniej niż suszarnie hybrydowe przy czynnym ogrzewaniu podłogowym.

Zużycie energii elektrycznej w suszarni hybrydowej w Myszkowie w styczniu 2011 r. wynosiło 25800 kWh [Galas i Woszczyk 2012]. Po pierwszych dwóch latach eksploatacji ustalono, że celowym jest tylko i wyłącznie używanie ogrzewania podłogowego do wspomagania procesu suszenia w okresach przejściowych i z uwagi na zbyt wysokie koszty wyłączanie go zimą [Galas i Woszczyk 2012]. Koszt budowy hal suszarniczych w przypadku Żar wyniósł łącznie 5.690.000zł. W przypadku Kłodzka możemy go jedynie oszacować, gdyż cała inwestycja warta ok. 6.000.000 zł obejmowała także wykonanie kontenerowej stacji odwadniania osadów [Trojanowska 2011]. Zakładając zatem, że koszt budowy samej hali wyniósł ok. 5.000.000, zł otrzymujemy odpowiednio przy założeniu pracy obu suszarni z projektową wydajnością, tzn. przy pełnym wykorzystaniu ich możliwości i dla okresu amortyzacji na poziomie 20 lat, wielkość rocznych odpisów amortyzacyjnych w odniesieniu do 1 t odparowywanej wody odpowiednio: 109 zł/t<sub>H<sub>2</sub>O</sub>/rok (Żary) i 330 zł/t<sub>H<sub>2</sub>O</sub>/rok (Kłodzko).

Obliczone wartości zostały odniesione podobnie jak podane wyżej zużycie energii elektrycznej do tony odparowanej wody, a nie tony wysuszonego osadu, z uwagi na różnice w stopniu odwodnienia osadów w omawianych obiektach. Porównanie kosztów suszenia 1 tony osadów dla obu suszarni nie jest w pełni obiektywne z uwagi na różny stopień odwodnienia osadów wprowadzanych do suszenia (18-19% s.m. dla osadów w Żarach i 24-25% s.m. dla osadów w Kłodzku). Należy zaznaczyć, że dużo wyższe koszty budowy suszarni w Kłodzku wynikają także z wykonania całej przewracarki do osadów ze stali nierdzewnej. O ile w wielu bogatych krajach europejskich (Niemcy, Austria, Szwajcaria) od dawna nie oszczędza się na wykonaniu materiałowym wielu urządzeń lub elementów konstrukcyjnych stosowanych na oczyszczalniach ścieków, o tyle w przypadku suszarni słonecznych, które funkcjonują tam już znacznie dłużej niż w Polsce, stal nierdzewna jest niezmiernie rzadko stosowana. Przewracarki wykonuje się standardowo z malowanej odpowiednimi farbami stali czarnej, a najstarsze urządzenia w dobrym stanie technicznym, bez powtórnego malowania, czy też specjalnych zabiegów konserwacyjnych pracują w tych oczyszczalniach już kilkanaście lat. Hale suszarnicze są obiektami dobrze wentylowanymi, a powierzchnie metalowe nagrzane dzięki efektowi cieplarnianemu nie są narażone, ani na wykraplanie się pary wodnej, ani też na jakiegokolwiek inne wzmożone agresywne oddziaływanie środowiska.

Uzyskiwane efekty technologiczne oraz nakłady inwestycyjne na budowę i koszty eksploatacji suszarni hybrydowych oraz suszarni solarnych przedstawiono w tabeli 2 [Trojanowska 2011].

Tab 2. Efekty technologiczne oraz nakłady inwestycyjne na budowę i koszty eksploatacji suszarni hybrydowych i suszarni solarnych [Trojanowska 2011]

Tab 2. The effects of technology and investment in the construction and operation costs of hybrid drying and solar drying [Trojanowska 2011]

Parametr	Suszarnia solarna Żary	Suszarnia hybrydowa Kłodzko
Projektowa wydajność suszarni w odniesieniu do odwodnionych osadów	3574 ton/rok	1300 ton/rok
Początkowa zawartość s.m. w osadach	19%	25%
Założony w projekcie minimalny stopień wysuszenia osadów	min. 70%	min. 60%
Uzyskiwany w praktyce stopień wysuszenia osadów	65-90%	64-88,5%
Masa odparowywanej wody	2604 ton/rok	758 ton/rok
Całkowita czynna powierzchnia suszenia	3797 m <sup>2</sup>	885 m <sup>2</sup>
Źródło energii i moc termiczna ogrzewania podłogowego	Brak, suszenie osadów wyłącznie energią słoneczną	pompy ciepła 3 x 210 kW
Średnie zużycie energii elektrycznej i koszt suszenia na tonę odparowywanej wody (suszenie solarne)	13,83 kWh/ tonę <sub>H2O</sub> 5,53 zł	27,54 kWh/tonę <sub>H2O</sub> 7,96 zł
Średnie zużycie energii elektrycznej i koszt suszenia na tonę odparowywanej wody (z włączonym ogrzewaniem podłogowym)	-----	363,90 kWh/tonę <sub>H2O</sub> 105,17 zł
Całkowity koszt inwestycji:	ok. 5.700.000 zł.	ok. 5.000.000 zł.
Roczny koszt amortyzacji w przeliczeniu na 1 t odparowywanej wody:	109 zł/tonę <sub>H2O</sub>	330 zł/tonę <sub>H2O</sub>
Inne uwagi eksploatacyjne	Możliwość wprowadzania do suszarni stałej masy mokrych osadów przez cały rok z uwagi na zmienną grubość warstwy osadów od 15 do 40 cm	Przy zaprojektowanej powierzchni brak możliwości wprowadzania do suszarni stałej masy mokrych osadów z uwagi na konieczność suszenia osadów w cienkiej 10-12 cm warstwie.

## PODSUMOWANIE

Suszarnie hybrydowe są drogie w budowie i w eksploatacji, a zwiększone nakłady inwestycyjne nie są rekompensowane przez proporcjonalnie mniejszą powierzchnię suszenia, czy też większą elastyczność pracy. Dobrze zwymiarowane suszarnie słoneczne, dzięki możliwości 3-4 krotnego zwiększenia grubości warstwy osadów w okresie zimowym dają użytkownikom zdecydowanie większą elastyczność i możliwość reagowania na zmienne warunki pogodowe, niż suszarnie hybrydowe. Suszenie w cienkiej warstwie wymaga odpowiednio większych powierzchni hal suszarniczych lub świadomej zgody eksplloatatorów na okresowe magazynowanie osadów na placach poza suszarniami z wszystkimi tego konsekwencjami, w tym także z niebezpieczeństwem emisji odorów.

W polskich warunkach klimatycznych w okresach przejściowych natężenie promieniowania słonecznego jest średnio o 30-50% mniejsze niż latem, a w grudniu i styczniu to zaledwie 10-15% letnich, szczytowych wartości.

Wybierając zatem technologię związaną z ciągłym utrzymywaniem warstwy osadów w suszarni na poziomie 10-12 cm, należy się liczyć z koniecznością kompensowania deficytu energii słonecznej dodatkowym źródłem energii za cenę kilkanaście razy wyższego zużycia energii elektrycznej, o ile w oczyszczalni nie ma innych tańszych źródeł energii, niż pompy ciepła. W żadnym jednak przypadku planując budowę suszarni słonecznej nie należy oszczędzać na powierzchni hal suszarniczych. W przypadku suszarni szklarniowych, zimą w polskich warunkach klimatycznych prymat nad funkcją suszenia przejmuje funkcja gromadzenia.

Różnica między poszczególnymi technologiami polega wyłącznie na tym, że w Żarach osady są równomiernie rozkładane w halach suszarniczych w warstwę, której grubość przyrasta od 15-20 cm w grudniu, do ok. 30-40 cm w marcu-kwietniu. Osady albo leżą zamrożone, albo są w halach suszarniczych regularnie przewracane i napowietrzane, oddając przy tym tyle wody, na ile pozwalają warunki atmosferyczne.

W suszarni w Kłodzku po jej wypełnieniu warstwą 10-12 cm, osady zamiast do hali muszą być gromadzone w przyzmacach, gdzie leżą i czekają przez kilka do kilkunastu tygodni na suszenie. Suszarnia w Kłodzku, mimo zastosowanego ogrzewania podłogowego powinna mieć przynajmniej o 30% większą powierzchnię, aby pracować ze stałą wydajnością odnoszoną do masy mokrych osadów przyjmowanych do suszenia.

A zatem założenie, by suszenie osadów prowadzić w cienkiej warstwie, będzie wymagało odpowiednio większych powierzchni suszarni, albo dodatkowego placu na magazynowanie mokrych osadów, co z punktu widzenia samej technologii i niekorzystnych zmian w ich strukturze podczas składowania jest zdecydowanie niekorzystne.

Opisane w literaturze pozytywne doświadczenia z eksploatacji hybrydowych suszarni osadów i zalet suszenia w cienkiej warstwie [Sobczyk i Sypuła 2012], wydają się bardziej odnosić do realiów klimatu południowej Francji lub Niemiec, gdzie różnice w natężeniu promieniowania słonecznego i między średnimi temperaturami w poszczególnych miesiącach nie są tak znaczące jak w Polsce.

W warunkach krajowych, jak pokazano na przykładzie suszarni osadów ściekowych w Żarach, zdecydowanie skuteczniejsze i co najważniejsze, tańsze jest zastosowanie wyłącznie solarne suszenia osadów. Odpowiednia powierzchnia hal suszarniczych oraz wyposażenie technologiczne suszarni, umożliwia kompensowanie sezonowych zmian pogody poprzez zmianę grubości warstwy osadów w suszarniach słonecznych.

#### LITERATURA

1. BIENIŃ J.B., WYSTALSKA K.: *Osady ściekowe – teoria i praktyka*, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2011
2. EKOTOP *Kompleksowe opracowania gospodarki odpadami. Dokumentacja projektowa*. Technologia słonecznego suszenia komunalnych osadów ściekowych Piła, październik 2007
3. GALAS B., WOSZCZYK R.: *Słoneczna suszarnia osadów ściekowych w oczyszczalni ścieków w Myszkowie – Wprowadzenie do wyjazdu technicznego*, Materiały konferencyjne III Ogólnopolskiej Konferencji Szkoleniowej. Metody zagospodarowania osadów ściekowych, Chorzów 13-14 lutego 2012, Abrys 2012
4. *Krajowy Program Oczyszczania Ścieków Komunalnych*, Ministerstwo Środowiska, Warszawa 2006
5. KOĆ J.: *Komunalne osady ściekowe w Polsce po 1 stycznia 2013 roku*, Forum Eksploatatora, 3 (48), Wyd. Seidel-Przywecki, Piaseczno 2010
6. Materiały eksploatatora oczyszczalni „Złota Struga” w Żarach
7. MYSZOGRAJ S., PANEK E., WOŁOSZYN J.: *Efektywność solarnej suszarni osadów ściekowych w Żarach*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Zielonogórskiego nr 142, Seria Inżynieria Środowiska Nr 22, Zielona Góra 2011
8. SADECKA Z.: *Suszenie osadów – hybrydowe?*, Materiały konferencyjne III Ogólnopolskiej Konferencji Szkoleniowej. Metody zagospodarowania osadów ściekowych, Chorzów 13-14 lutego 2012, Abrys 2012
9. SADECKA Z., MYSZOGRAJ S., SUCHOWSKA-KISIELEWICZ M., *Aspekty prawne przyrodniczego wykorzystania osadów ściekowych*, [W:]

- Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Zielonogórskiego nr 144 (24), Seria Inżynieria Środowiska, 2011
10. SOBCZYK R.: *Sprawniejsze i mniej awaryjne rozwiązania dla słonecznych suszarni osadów*, Forum Eksploatatora 3 (42), 2009
  11. SOBCZYK R.: *Suszarnia osadów ściekowych w Kłodzku oddana do eksploatacji*, Forum Eksploatatora 4 (49), 2010
  12. SOBCZYK R., SYPUŁA M.: *Suszarnie osadów zasilane energią niekonwencjonalną*, Forum Eksploatatora 3 (48), 2010
  13. SOBCZYK R., SYPUŁA M.: *Zastosowanie układów hybrydowych wykorzystujących odnawialne źródła energii do suszenia osadów*, Forum Eksploatatora 1, 2010
  14. SOBCZYK R., SYPUŁA M.: *Doświadczenia z eksploatacji suszarni osadów na oczyszczalni ścieków w Kłodzku*, Forum Eksploatatora 2 (53), 2011
  15. SOBCZYK R., SYPUŁA M.: *Słoneczne i hybrydowe suszarnie osadów – doświadczenia*, Forum Eksploatatora 2 (59), 2012
  16. SUCHOWSKA-KISIELEWICZ M., MYSZOGRAJ S., *Produkcja biowodoru w procesach biologicznych*, w: Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Zielonogórskiego nr 144 (24), Seria Inżynieria Środowiska, 2011
  17. SUSZYŃSKI A.: *Zagospodarowanie komunalnych osadów ściekowych w Polsce*, Forum Eksploatatora 2 (53), 2011
  18. WOŁOSZYN J.: *Doświadczenia z eksploatacji słonecznej suszarni osadów ściekowych w Żarach*, Materiały konferencyjne II Ogólnopolskiej Konferencji Szkoleniowej Metody zagospodarowania osadów ściekowych, Zielona Góra 3-4 lutego 2011, Abrys 2011
  19. TROJANOWSKA K.: *Stońce górą*, Wodociągi i Kanalizacja 6 (88), 2011

## SOLAR DRYERS OF SEWAGE SLUDGE IN POLAND

### Summary

*This paper presents the evaluation of whether the construction of additional solar-heated drying of municipal sewage sludge on the basis of operational experience gained from working objects in Poland. It was indicated importance technical and technological aspects of drying sludge. In the national context, as shown in the example of sludge dryers in Żary, much more efficient and most importantly, cheaper is to use only solar sludge drying. Adequate space and technology equipment of halls drying can compensate for seasonal changes in the weather by changing the thickness of the sediment layer of solar drying.*

Key words: sewage sludge, solar drying, operation, costs