



Temat specjalny

ZAGOSPODAROWANIE OSADÓW ŚCIEKOWYCH

tekst: **MARIA SZRUBA**, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne

Osady ściekowe są ubocznym produktem procesu oczyszczania ścieków, a ich ilość wytwarzana w Polsce systematycznie wzrasta. Prognozy *Krajowego planu gospodarki odpadami 2014 (KPGO 2014)* na 2015 r. szacują, że ilość suchej masy komunalnych osadów ściekowych osiągnie poziom 642,4 tys. t. Tak duża masa osadów powoduje ogromne problemy z ich zagospodarowaniem. Obecnie dominującym sposobem zagospodarowania osadów ściekowych jest ich składowanie oraz przyrodnicze wykorzystanie. Zgodnie z polskim ustawodawstwem, składowanie osadów ściekowych po 1 stycznia 2016 r. będzie niemożliwe, dlatego sposób ich zagospodarowania musi ulec zmianie.

foto: antiksu – Fotolia.com



Jakie metody zagospodarowania osadów ściekowych są najlepsze? Czy będą stosowane w Polsce?

Obowiązujące uwarunkowania prawne, wynikające z dyrektyw Unii Europejskiej, zmierzają do ograniczania stosowania metod przyrodniczych. W związku z tym rozwój technologii termicznego

przekształcania osadów ściekowych z większych aglomeracji jest, w mojej ocenie, rozwiązaniem optymalnym. Co więcej, KPGO 2014 określa perspektywę wzrostu masy osadów przekształcanych termicznie oraz wykorzystywanych w biogazowniach w celach energetycznych. W przypadku mniejszych ośrodków, w których termiczne przekształcanie nie miałoby uzasadnienia ekonomicznego, spodziewam się maksymalizacji wykorzystania substancji biogennej zawartych w osadach przy jednoczesnym spełnieniu wszystkich wymogów dotyczących bezpieczeństwa sanitarnego i chemicznego.

Wojciech Fronczak,
dyrektor Pionu Ścieków MPWiK w m. st. Warszawie SA

Aspekty prawne gospodarowania osadami ściekowymi

Ustawa o odpadach z 14 grudnia 2012 r. (Dz.U. 2013, poz. 21) zawiera szczególne zasady gospodarowania niektórymi rodzajami odpadów. Zgodnie z rozdz. 4, art. 96.1 ustawy, odzysk komunalnych osadów ściekowych polega na stosowaniu ich w pięciu obszarach:

- w rolnictwie, rozumianym jako uprawa wszystkich płodów rolnych wprowadzanych do obrotu handlowego, włączając w to uprawy przeznaczone do produkcji pasz,
- do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu,
- do uprawy roślin nieprzeznaczonych do spożycia i do produkcji pasz,
- do rekultywacji terenów, w tym gruntów na cele rolne,
- przy dostosowaniu gruntów do określonych potrzeb wynikających z planów gospodarki odpadami, planów zagospodarowania przestrzennego lub decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu.

Zgodnie z przepisami, zakazuje się stosowania komunalnych osadów ściekowych:

- na obszarach parków narodowych i rezerwatów przyrody,
- na terenach ochrony pośredniej stref ochronnych ujęć wody, w przypadku ich ustanowienia w akcie prawa miejscowego wydanym na podstawie art. 58 ustawy z 18 lipca 2001 r. – Prawo wodne (Dz.U. 2012, poz. 145, 951 i 1513),
- w pasie gruntu o szerokości 50 m bezpośrednio przylegającego do brzegów jezior i cieków,
- na terenach zalewowych, czasowo podtopionych i bagiennych,
- na terenach czasowo zamrożonych i pokrytych śniegiem,
- na gruntach o dużej przepuszczalności, stanowiących w szczególności piaski luźne i słabo gliniaste oraz piaski gliniaste lekkie, jeżeli poziom wód gruntowych znajduje się na głębokości mniejszej niż 1,5 m poniżej powierzchni gruntu,
- na gruntach rolnych o spadku przekraczającym 10%.



Czy branża wod-kan miała wystarczająco dużo czasu na przygotowanie się do wejścia w życie nowych przepisów dotyczących zagospodarowania osadów ściekowych?

Termin zakończenia zezwolenia na składowanie odpadów, w kategorii których mieszczą się osady ściekowe, był znany od dawna i był nawet przedłużany. Branża

wod-kan przygotowywała się więc do tego zakazu od wielu lat. Realizowane z funduszy unijnych inwestycje w największych oczyszczalniach ścieków doprowadziły do powstania szeregu instalacji suszenia (ok. 35–40 instalacji) i spalania (11 monospalarni) osadów ściekowych. Potencjalna możliwość suszenia i spalania osadów ściekowych, czyli metod termicznych gospodarowania osadami ściekowymi pochodzącymi z gospodarki komunalnej w Polsce, to 1/3 ilości osadów produkowanych wykazywanych w statystykach przez Główny Urząd Statystyczny (ok. 540 tys. t s.m.). Duża ilość osadów ściekowych trafiająca dotychczas na składowiska odpadów będzie musiała zostać zastosowana w środowisku. Metody i cele są różne – od kompostowania (trudna technologia ze względu na właściwości osadów) przez chemiczną stabilizację np. wapnem i stosowanie jako materiał strukturotwórczy i nawozowy w środowisku, a skończywszy na stosowaniu osadów wprost na terenach rolniczych, nie są przychylnie traktowane przez społeczeństwo, ponadto napotykają na coraz bardziej restrykcyjne zasady stosowania osadów nakładane przez polskie prawodawstwo. Wydaje się, że tylko powierzenie czynności gospodarowania osadami ściekowymi większym oczyszczalniom gwarantuje właściwe postępowanie z tymi odpadami. A zatem czeka na regionalizacja gospodarki osadami ściekowymi.

Dr inż. Tadeusz Rzepecki,
przewodniczący Rady Izby Gospodarczej „Wodociągi Polskie”



Kopuła pieca wraz z kanałem odlotowym spalin, Stacja Termicznej Utylizacji Osadów, Oczyszczalnia Ścieków Płaszów, fot. MPWiK SA w Krakowie

Tab. 1. Przykładowy skład oraz podstawowe właściwości osadów ściekowych [7]

Właściwości osadu	Jednostka	Rodzaj osadu					
		Osad wstępny z mechanicznego oczyszczenia ścieków	Osad wtórny (po złożach biologicznych lub komorach osadu czynny.)	Osad źle przefermentowany	Osad słabo przefermentowany	Osad dobrze przefermentowany	Osad bardzo dobrze przefermentowany
pH		5,0–7,0	6,0–7,0	6,5–7,0	6,8–7,3	7,2–7,5	7,4–7,8
Sucha masa osadu	%	4–8 (złoża) 0,5–3,0 (os. cz.)	4–12	4–12	4–12	4–12	4–12
Strata przy prażeniu	% _{s.m.o.} *	60–75	55–80	55–80	55–80	45–55	30–45
Zasadowość	mg CaCO ₃ /dm ³ lub mmol/dm ³	500–1000 20–40	55–000 (czasem < 500) 20–40	100–2500 40–100	2000–3500 80–140	3000–4500 120–180	4000–5500 160–20
Zawartość kwasów lotnych	mg CH ₃ COOH/l lub mmol/dm ³	1800–3600 30–60	1800–3600 30–60	2500–4000 i więcej 40–70	1000–2500 15–40	100–1000 2–15	< 100 < 2
Azot ogólny	% N w _{s.m.o.} *	2–7	1,5–50 (złoża) 3–10 (os. cz.)	1–5	1–3,5	0,5–3,0	0,5–2,5
Fosfor ogólny	% P w _{s.m.o.} *	0,4–3	0,9–1,5	0,8–2,6	0,8–2,6	0,8–2,6	0,8–2,6
Potas	% K w _{s.m.o.} *	0,1–0,7	0,1–0,3	0,1–0,3	0,1–0,3	0,1–0,3	0,1–0,3
Opór właściwy filtracji	m/kg	10 ¹¹ –10 ¹³	10 ¹² –10 ¹³	5·10 ¹¹ –5·10 ¹³	10 ¹¹ –10 ¹²	5·10 ¹⁰ –5·10 ¹¹	10 ¹⁰ –10 ¹¹
Wartość opałowa	kJ/g _{s.m.o.} *	16–20	15–21	15–18	12,5–16	10,5–15	8–10

* s.m.o. – sucha masa osadu

- na obszarach ochronnych zbiorników wód śródlądowych, w przypadku ich ustanowienia w akcie prawa miejscowego wydanym na podstawie art. 60 ustawy z 18 lipca 2001 r. – Prawo wodne,
- na terenach objętych pozostałymi formami ochrony przyrody niewymienionymi w pkt. 1, jeżeli osady ściekowe zostały wytworzone poza tymi terenami,
- na terenach położonych w odległości mniejszej niż 100 m od ujęcia wody, domu mieszkalnego lub zakładu produkcji żywności,
- na gruntach, na których rosną rośliny sadownicze i warzywa, z wyjątkiem drzew owocowych,
- na gruntach przeznaczonych pod uprawę roślin jagodowych i warzyw, których części jadalne bezpośrednio stykają się z ziemią i są spożywane w stanie surowym w ciągu 18 miesięcy poprzedzających zbiory i w czasie zbiorów,
- na gruntach wykorzystywanych na pastwiska i łąki,
- na gruntach wykorzystywanych do upraw pod osłonami.

Zgodnie z ustawą o odpadach, stosowanie komunalnych osadów ściekowych jest możliwe, jeżeli są one ustabilizowane oraz przygotowane odpowiednio do celu i sposobu ich stosowania, w szczególności przez poddanie ich obróbce biologicznej, chemicznej, termicznej lub innemu procesowi, który obniża podatność komunalnych osadów ściekowych na zagniewanie i eliminuje zagrożenie dla środowiska lub zdrowia ludzi (rozdz. 4, art. 96.4).

Zgodnie z par. 4.1 Rozporządzenia Ministra Środowiska z 6 lutego 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych, można je stosować w postaci płynnej, mazistej lub ziemistej. Rozporządzenie warunkuje ich stosowanie w postaci płynnej przez wprowadzenie do gruntu metodą iniekcji (wstrzykiwania) lub metodą natryskiwania, w tym hydroobsiewu, a w postaci mazistej i ziemistej – przez równomierne rozproszczenie na powierzchni gruntu i niezwłoczne z nim zmieszanie. Za prawidłowe zastosowanie osadów ściekowych do wymienionych celów odpowiada wytwórca tych osadów, który jest także zobligowany do poddania ich badaniom przed stosowaniem. Badaniem powinny zostać objęte także grunty, na których mają być stosowane osady. Ustawa o odpadach dopuszcza w szczególnych przypadkach ich magazynowanie. Składowanie i magazynowanie odpadów reguluje rozdz. 7, art. 25 ustawy.

Metody przekształcania i zagospodarowania osadów w Polsce

Do utylizacji osadów stosuje się głównie trzy podstawowe metody: rolniczo-przyrodnicze wykorzystanie, składowanie i spalanie. Choć najtańszym i najkorzystniejszym rozwiązaniem wydaje się rolniczo-przyrodnicze wykorzystanie osadów, w Polsce działa jedynie 30 kompostowni przerabiających odpady z oczyszczalni w skali technicznej, przy czym zaledwie 17 z nich dysponuje zezwoleniem na dystrybucję kompostu jako nawozu



fol. Gdańska Infrastruktura Wodociągowo-Kanalizacyjna Sp. z o.o.

organicznego. W Niemczech tymczasem istnieje ok. tysiąc takich instalacji [1].

O wyborze metody unieszkodliwiania osadów decyduje ich jakość, a zwłaszcza obecność substancji niebezpiecznych dla środowiska. Przykładowy skład oraz podstawowe właściwości osadów ściekowych przedstawiono w tabeli 1. Za jedną z najlepszych metod recyklingu komunalnych osadów ściekowych uważa się wykorzystanie osadów w rolnictwie. Liczne składniki nawozowe obecne w osadach ściekowych powinny się przywracać do środowiska, zwłaszcza że coraz częściej obserwuje się deficyt substancji organicznej w glebie [2]. Choć składowanie osadów ściekowych na składowiskach oraz aplikację do gruntów uważa się za najbardziej ekonomiczne sposoby zagospodarowania tego odpadu, to w praktyce droga do rolniczego wykorzystania osadów dla dużych oczyszczalni ścieków jest w zasadzie zamknięta. Przyczyną takiego stanu rzeczy jest zazwyczaj nadmierna zawartość metali ciężkich oraz zanieczyszczenia sanitarne [3].

Racjonalnym rozwiązaniem redukcji ilości osadów oraz utylizacji, zwłaszcza osadów niebezpiecznych i uciążliwych, wydaje się spalanie [4]. Jak wynika z KPGO 2014 [5] priorytetem dla Polski jest zapobieganie powstawaniu odpadów. Pozostałymi celami są ograniczanie składowania osadów ściekowych, zwiększenie ilości komunalnych osadów ściekowych przekształcanych metodami termicznymi, a także maksymalizacja stopnia wykorzystania substancji biogennych zawartych w osadach przy jednoczesnym spełnieniu wszystkich wymogów dotyczących bezpieczeństwa sanitarnego, chemicznego oraz środowiskowego.

Wiele uwagi poświęca się obecnie sytuacji w gospodarowaniu osadami z punktu widzenia przedsiębiorstw wodociągowo-kanalizacyjnych oraz dostępnym technologiom przeróbki osadów ściekowych umożliwiających zrównoważony rozwój. Ważną rolę odgrywają także aspekty ekologiczny i ekonomiczny całego procesu [6].

Przyszłość zagospodarowania osadów ściekowych

Od kilku lat w Polsce rośnie zainteresowanie strategią zagospodarowania osadów ściekowych za pomocą metod termicz-



Czy Krajowy plan gospodarki odpadami 2014 wyznaczył firmom wod-kan cele możliwe do osiągnięcia w założonych terminach?

Intencją Krajowego planu gospodarki odpadami 2014 było uregulowanie kwestii postępowania z osadami ściekowymi.

Ustawodawca założył ograniczenie

wykorzystania osadów w rolnictwie z jednoczesnym nastawieniem na metody termicznego przetwarzania oraz docelowy zakaz składowania. Jednakże bez efektywnych energetycznie regionalnych instalacji przyjmujących jednocześnie osady z małych oczyszczalni wypełnienie założeń KPGO 2014 może okazać się niewykonalne. Logicznym kierunkiem staje się więc szersze otwarcie na współspalanie w instalacjach z obszaru energetyki. Niestety konieczna jest zmiana kwalifikacji prawnej, aby używać KOŚ jako paliwa alternatywnego. Takie podejście niewątpliwie ożywiłoby środowisko eksploatatorów suszarni termicznych, którzy rozwiążą problem zagospodarowania granulatu KOŚ, wykorzystując go w OZE.

Leonard Szczepański,

kierownik Działu Energetyki, Gdańska Infrastruktura Wodociągowo-Kanalizacyjna Sp. z o.o.

nych, wśród których wyróżnia się trzy główne sposoby. Są to spalanie, współspalanie, a także procesy alternatywne, takie jak piroliza, zgazowanie i procesy hybrydowe.

Ponieważ osady ściekowe charakteryzują się dużą zawartością azotu i siarki, biorąc pod uwagę możliwość ich spalania lub współspalania, trzeba przeanalizować ewentualną emisję tlenków siarki i azotu oraz metali ciężkich, dioksyn i furanów. Jako przykład współspalania osadów ściekowych w piecach obrotowych bez uszczerbku dla procesu klinkierowania może posłużyć cementownia Rudniki [3].

Zdaniem dr. hab. inż. Tadeusza Pająka z AGH w Krakowie, dalszego rozwoju metod termicznych należy poszukiwać głównie w poprawie efektywności już zbudowanych instalacji, a w dal-



Instalacja dozowania suszonych osadów ściekowych w Górażdże Cement SA, fot. Górażdże Cement SA

szej kolejności w rozbudowie suszarni i monospalarni osadów ściekowych. Jedną z ostatnio wybudowanych suszarni w Polsce znajduje się na terenie spółki Wodociągi i Kanalizacja w Opolu. Składa się na nią węzeł odwadniania (trzy wirówki), węzeł suszenia z dwiema liniami suszenia oraz węzeł ciepła (trzy kogeneratory dostarczają ciepło pozyskiwane z biogazu). Osady są suszone za pomocą gorącego powietrza, którego temperatura

wynosi 92 °C. Instalację zaprojektowano na 16 tys. t mechanicznie odwodnionych osadów na rok. Dzięki suszeniu ilość wytworzonych osadów zostanie zredukowana do 4 tys. t/rok, a zawartość wody w osadzie zmniejszona z 74 do 10%. Ostatecznie wysuszone osady zostaną wykorzystane przez współspalanie w piecach cementowych w okolicach Opolu. Opolska suszarnia osadów powstała dzięki unijnej dotacji projektu *Trias Opolski – ochrona zbiornika wód podziemnych – II etap* [6].

Obecnie w Polsce działa 11 zakładów zajmujących się termicznym przekształcaniem osadów ściekowych, z czego siedem wykorzystuje technologię fluidalną (w Japonii, w Niemczech utylizowana jest w ten sposób ponad połowa masy osadów ściekowych – ok. 55%, w Danii 40%, we Francji i USA po ok. 30%), a w czterech przypadkach osady ściekowe spalane są na ruszcie. Pierwszą polską instalacją do spalania osadów z oczyszczalni ścieków komunalnych uruchomiono w 1997 r. w Gdyni-Dębogórze. Najnowsza instalacja to stacja termicznej utylizacji osadów ściekowych w Warszawie w oczyszczalni „Czajka” [8].



Czy wszystkie firmy wodociągowe poradzą sobie z osadami ściekowymi w nowych warunkach prawnych?

Po 1 stycznia 2016 r. duże wodociągi będą korzystały z własnych spalarni. Dotychczasowe doświadczenia pokazują, że jest to optymalny sposób zagospodarowania osadów. Mniejsze, ale nie najmniejsze pójdą w kierunku suszarni i dostarczania wysuszonego osadu do cementowni i elektrociepłowni. Pozostanie problem najmniejszych oczyszczalni, tych o wydajności od 2 do 15 tys. RLM-ów. Będą ogłaszały przetargi na odbiór osadów, a oferenci będą niestety konkurowali ceną. Skutek będzie taki, że część osadów trafi do opuszczonych kopalni i w inne miejsca, nie do końca legalnie. Pojawi się oczywiście możliwość przewożenia osadów z tych małych oczyszczalni do spalarni, ale spalarnie nie zaspokoją wszystkich potrzeb. W Wodociągach Kieleckich rozważamy oferowanie takiej usługi po upływie okresu trwałości projektu unijnego, z którego zbudowaliśmy spalarnię. Podsumowując, należy zastanowić się, czy tego okresu nie należałoby jeszcze przedłużyć. Lepiej mieć osady pod kontrolą, na legalnych składowiskach, niż nie wiadomo gdzie.

Danuta Brymerska,
dyrektor ds. techniczno-eksploatacyjnych,
Wodociągi Kieleckie Sp. z o.o.



Stacja Termicznej Utylizacji Osadów Ściekowych należąca do Oczyszczalni Ścieków w Sitkówce k. Kielc, fot. Wodociągi Kieleckie Sp. z o.o.

Ciekawym przykładem jest niemiecka elektrociepłownia (EC) Heilbronn, w której współspala się z węglem odwodnione osady. Ich zawartość suchej masy wynosi ok. 25% w ilości stanowiącej 4-procentowy udział w mieszance paliwowej w przeliczeniu na strumień energii chemicznej wprowadzanej do kotła. Jak pokazuje doświadczenie, współspalanie osadów odwodnionych mechanicznie zmniejsza występowanie problemów operacyjnych i środowiskowych. Nie zanotowano wystąpienia negatywnych skutków środowiskowych, co ma miejsce, gdy spalany jest wyłącznie węgiel kamienny. Obecnie oprócz EC Heilbronn osady są współspalane w co najmniej 15 innych niemieckich instalacjach energetycznych (m.in. Berrenrath, Boxberg, Braunsbedra, Buschhaus, Duisburg Hochfeld, Farge Bremen, Franken II Frauenausrach, Karlsruhe i Voerde) [9]. Wśród pozostałych europejskich przykładów współspalania osadów można wymienić elektrownie w Holandii (Hamweg, Boresele-12), Austrii (Frantschach, Lenzing) i Wielkiej Brytanii (Longannet) [10].

Przeprowadzone w kraju badania doświadczalne w układach pracujących rekomendują, aby udział osadów w strumieniu paliwa nie był większy niż 5%. Z kolei jak wynika ze światowych doświadczeń, dodatek osadów do paliwa może wynosić 20%, a nawet 30%. W Japonii szczególnie popularny jest proces termicznego przekształcania osadów przez współspalanie z odpadami komunalnymi. Wykorzystuje się tam do tego celu głównie kotły rusztowe i fluidalne, stosując to rozwiązanie w celu przede wszystkim ograniczenia kosztów utylizacji odpadów i osadów [11].

Podsumowanie

Coraz szersze ograniczenia dotyczące wykorzystania osadów ściekowych na cele rolnicze i przyrodnicze przyczyniły się do zwiększenia zainteresowania metodami termicznymi. Według szacunków KPGO 2014, w roku 2020 będą stanowiły 30% wszystkich stosowanych metod. Dzięki metodom termicznym można odzyskać część energii zawartej w osadach ściekowych. Z kolei zawarta w nich biomasa sprawia, że energia wytworzona z osadów ściekowych jest neutralna pod względem emisji CO₂, a więc przyjazna dla środowiska.

Literatura

- [1] Jakuta D.: *Osady ściekowe – gorący problem*. „Wodociągi – Kanalizacja” 2013, nr 11 [online]. Dostępny w Internecie: <http://www.e-czytelnia.abrys.pl>.
- [2] Czyżyk F., Kozdraś M.: *Właściwości chemiczne i kompostowanie osadów z wiejskich oczyszczalni ścieków*. „Woda, Środowisko, Obszary Wiejskie” 2004, t. 4, z. 2a, s. 559–569.
- [3] Bień J., Neczaj E., Worwąg M., Grosser A., Nowak D., Milczarek M., Janik M.: *Kierunki zagospodarowania osadów w Polsce po roku 2013*. „Inżynieria i Ochrona Środowiska” 2011, t. 14, nr 4, s. 375–384.
- [4] Butarewicz A.: *Organizmy patogenne w osadach ściekowych – ich wykrywanie i unieszkodliwianie*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej. Białystok 2013.
- [5] *Krajowy plan gospodarki odpadami 2014* [online]. Dostępny w Internecie: www.rcl.gov.pl.
- [6] *Abrys* [online]. Dostępny w Internecie: www.abrys.pl.
- [7] Środa K., Kijo-Kleczkowska A., Otwinowski H.: *Termiczne unieszkodliwianie osadów ściekowych*. „Inżynieria Ekologiczna” 2012, nr 28, s. 67–81.



W jakim kierunku będzie rozwijać się gospodarka osadami po 1 stycznia 2016 r.?

Nie można mówić o jednym kierunku zagospodarowania osadów ściekowych. W zależności bowiem od właściwości fizykochemicznych wytwarzanych osadów, a przede wszystkim warunków lokalnych należy uwzględnić szereg potencjalnych

metod ich zagospodarowania. Zakładam, że w tym zakresie po 1 stycznia 2016 r. niewiele się zmieni. W dalszym ciągu polegać ono będzie m.in. na wykorzystaniu osadów do rekultywacji, produkcji kompostu, wykorzystaniu rolniczym, przyrodniczym, termicznym przekształcaniu w monospalarniach czy współspalarniach. Oczywiście, udział poszczególnych metod w różnych miejscach będzie inny, gdyż zależy będzie od ilości wytwarzanych osadów, ich właściwości oraz, jak wspomniałem na wstępie, możliwości zagospodarowania na danym obszarze. Natomiast wyeliminowane zostanie składowanie nieprzetworzonych osadów, które w wyniku zmiany rozporządzenia Ministra Gospodarki zostało już i tak wydłużone o kolejne trzy lata.

Dr inż. Jurand Bień,
Politechnika Częstochowska

- [8] Bień J.D.: *Zagospodarowanie komunalnych osadów ściekowych metodami termicznymi*. „Inżynieria i Ochrona Środowiska” 2012, t. 15, nr 4, s. 439–449.
- [9] Maier H.: *Współspalanie osadów ściekowych w konwencjonalnych kotłach energetycznych na przykładzie elektrociepłowni w Heilbronn w Niemczech*. „Przegląd Komunalny” 2003, nr 1 [online]. Dostępny w Internecie <http://www.e-czytelnia.abrys.pl>.
- [10] Raport opublikowany przez Międzynarodową Agencję Energii (IEA Bioenergy) [online]. Dostępny w Internecie: <http://www.ieabcc.nl/database/cofiring.php>.
- [11] Werle S.: *Doświadczenia i potencjał termicznego zagospodarowania osadów ściekowych*. „Energetyka Ciepła i Zawodowa” 2010, nr 9 [online]. Dostępny w Internecie: <http://www.kierunekenergetyka.pl/>.



Wnętrze hali suszarniczej w technologii IST-Anlagenbau z automatycznym systemem podawania odwodnionych osadów do suszarni, fot. IST-Anlagenbau GmbH, EUROTECH Katarzyna Trojanowska