

ANDRZEJ SITKA
WIESŁAW JODKOWSKI
KAZIMIERZ WÓJS*

Politechnika Wrocławska
Instytut Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów

Metody obniżania wilgotności wywaru gorzelnianego

W pracy przedstawiono wyniki badań skuteczności metod odwadniania wywaru gorzelnianego w zakładach przemysłowych. Na podstawie pobranych próbek, można stwierdzić iż najkorzystniejszą metodą odwodnienia wywaru jest wykorzystanie prasy ślimakowej. Otrzymywany placek ma niską wilgotność, która umożliwi jego dalsze wykorzystanie jako biopaliwa.

1 Wstęp

W procesie produkcji bioetanolu jako źródło energii cieplnej, potrzebnej do destylacji alkoholu, najczęściej wykorzystuje się paliwo kopalne, jakim jest gaz ziemny lub olej opałowy. Sam proces destylacji jest bardzo energochłonny. Bilans energetyczny produkcji bioetanolu jest dodatkowo obciążony potrzebą zagospodarowania produktu ubocznego, jakim jest wywar gorzelniany. Na każdy kilogram wyprodukowanego etanolu powstaje 8,7 kg wywaru gorzelnianego, zawierającego zaledwie 5–8% suchej masy. Wywar ten jest odwadniany mechanicznie do poziomu 30–35% suchej masy a następnie suszony termicznie. Energia cieplna zużyta na suszenie wywaru stanowi jedną trzecią całej energii zużywanej w produkcji bioetanolu [13].

Rolnicze wykorzystanie wywaru gorzelnianego jest obecnie w Polsce głównym sposobem jego zagospodarowania. Wywar gorzelniany wysuszony do poziomu ok. 90% suchej masy znajduje zastosowanie jako składnik paszy białkowej dla zwierząt hodowlanych.

*E-mail: kazimierz.wojs@pwr.wroc.pl

W polskich warunkach, w niewielkich gorzelniach rolniczych źródłem energii do procesu destylacji etanolu jest najczęściej węgiel. Średnie zużycie węgla wynosi 0,8 kg na 1 dm³ etanolu [14]. Energetyczne wykorzystanie wywaru gorzelnianego, jako źródło energii do produkcji bioetanolu pozwoli rozwiązać kilka problemów:

- zastąpić paliwa kopalne paliwem biomasowym,
- uniezależnić gorzelnie od kłopotów ze zbytem suszonego wywaru do celów wykorzystania rolniczego,
- uzyskać oszczędności na kosztach paliwa potrzebnego do procesu produkcji bioetanolu.

Wywar gorzelniany w postaci zawiesiny cząstek stałych w cieczy odwadnia się poprzez usunięcie zawartości wody do końcowej wartości od 50–88%. Proces odwadniania polega na rozdzieleniu zawiesiny na odciek i suchy placek. Istnieją metody naturalne i mechaniczne odwadniania wywaru. Odwadnianie mechaniczne w wirówkach lub prasach jest bardziej efektywne od metod naturalnych (poletkach, lagunach) [1–4]. Do czynników wpływających na efektywność procesu odwadniania należą:

- właściwości osadu (ściśliwość, opór filtracji, masa osadu),
- rodzaj i dawka środka kondycjonującego,
- typ urządzenia odwadniającego,
- stopień czystości osadu [5].

2 Metody odwadniania wywaru gorzelnianego

Do mechanicznego sposobu odwadniania stosuje się wirówki, prasy oraz jako dodatkowy stopień wyparki. Warunki procesu separacji zależą od: zagęszczenia cieczy, klaryfikacji, odwodnienia, odseparowania i ponownego stworzenia pulpy oraz od rodzaju przebiegającego procesu (ciecz–ciecz, ciecz–ciało stałe), wielkości siły odśrodkowej, stopnia odwodnienia zawiesin, zawartości cząstek stałych w cieczy wylotowej, temperatury produktu, lepkości, odczynu pH. Wymienione czynniki decydują o wyborze odpowiedniej wirówki do odwodnienia wywaru gorzelnianego.

Wirówki dekantacyjne posiadają wiele zalet, do których zalicza się małą powierzchnię montażu, wysoką zarówno efektywność jak i przepustowość. Używane są głównie do odwadniania włóknistej pulpy i klarowania wywaru. Parametry pracy wirówki dekantacyjnej powinny być oparte na rzeczywistych danych, stąd

konieczność indywidualnego projektu do każdego systemu. Błędne założenie wartości pewnych parametrów negatywnie wpływa na proces odwadniania. W konsekwencji może zwiększyć się procentowy udział cząstek stałych w zawieszynie oraz przepływ objętościowy zawiesziny [6].

Istnieją dwa typy wirówek do odwadniania: z pionową i poziomą osią obrotu. Wirówki z pionową osią obrotu zapewniają ciągłość klarowania cieczy z zawieszin, w których ilość cząstek stałych nie przekracza 2%. Ze względu na przeciążenie rzędu 3000–20000 g wirówki te stosuje się do separacji dwóch cieczy lub zawieszin. Cząstki stałe usuwa się manualnie lub automatycznie przez otwór znajdujący się pośrodku wirówki. Wirówka dekantacyjna z poziomą osią obrotu jest przeznaczona do separacji zawieszin, w których wielkość cząstek stałych waha się w przedziale 1–50 μm [7].

W wirówkach dekantacyjnych zapewniona jest kontrola nad:

- strumieniem dopływającego wywaru, który dostosowany jest do optymalnego czasu przebywania wywaru w wirówce;
- wysokością przelewu, którą kontroluje objętość płynu i głębokość w zbiorniku;
- momentem obrotowym, który reguluje różnicę prędkości pomiędzy cylindrem, a przenośnikiem ślimakowym.

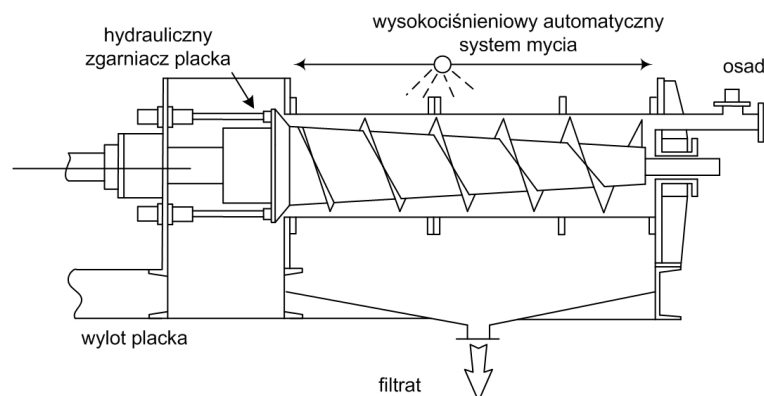
Zwiększenie momentu obrotowego poprzez zmniejszenie różnicy prędkości pomiędzy cylindrem wirówki a przenośnikiem ślimakowym wydłuża czas przebywania cząstek stałych w zbiorniku odwadniającym oraz podwyższa zawartość cząstek stałych w pulpie. Im większa zawartość cząstek stałych w pulpie, tym mniejszy procent efektywności ich wyłapywania.

Wirówki dekantacyjne są wykorzystywane do mechanicznego odwadniania zawieszin, gdy:

- wykorzystywane są duże przeciążenia rzędu 4000–20000 g,
- dostarczany płyn ma dużą zawartość cząstek stałych,
- istotna jest ciągła praca,
- ważny jest ciągły odbiór cząstek stałych.

Punkt pracy wirówki może się zmienić przez odkładanie nieprzeniesionych cząstek w części cylindrycznej. Większa zawartość cząstek mających charakter ścierny może spowodować niszczenie ruchomych elementów, np. śruby ślimakowej. W celu poprawy klarowności roztworu wyjściowego dodawane są koagulanty lub flokulanty. Ich zadaniem jest połączenie mniejszych cząstek w skupiska.

Prasa ślimakowa (rys. 1) przeznaczona jest do separacji i odwadniania cząstek stałych z zawiesiny. Głównym elementem prasy jest ślimakowy zespół separująco-odwadniająco-prasujący oraz transportowy napędzany wspólnym motoredukctorem. Odwadnianie i prasowanie cząstek stałych odbywa się na stożkowym wkładzie z sita szczelinowego, znajdującym się wewnątrz korpusu [9].



Rysunek 1. Prasa ślimakowa

Proces odwadniania i czyszczenia prasy odbywa się przy wykorzystaniu tego samego napędu: podczas fazy odwadniania napędzany jest ślimak transportujący i odwadniający osad, a podczas fazy płukania silnik zmienia kierunek obrotu – napędzany jest bęben, który ulega przepłukaniu przez nieruchome dysze. Ponadto następuje wsteczny ruch przenośnika ślimakowego, a szczotki oczyszczają rewersyjnie wewnętrzną powierzchnię bębna. Podczas procesu płukania automatycznie zatrzymana jest praca pompy osadu. Po zakończeniu cyklu płukania kierunek obrotów silnika ponownie zmienia się i uruchamiany jest transporter ślimakowy urządzenia. Maszyna nachylona jest pod kątem 15° , co ułatwia odpływ filtratu i popłuczyn, a także minimalizuje efekt zasysania zwrotnego wody przez odwodniony osad. Zużycie medium płuczącego zależy od rodzaju medium i liczby cykli płuczących [8].

Prasy przeponowe dzielone są na prasy nisko- (350–850 kPa) i wysokociśnieniowe (700–1400 kPa). Prasa składa się z szeregu przylegających do siebie płyt z wgłębieniami. Tego typu prasy znajdują zastosowanie tam, gdzie występuje potrzeba usunięcia nadmiaru płynu z różnego rodzaju osadów i zawiesin, które mogą być transportowane systemami pompowymi. Prasa wywiera stopniowy, stały i długotrwały nacisk na mokrą zawiesinę, co powoduje zmniejszenie ilości płynu oraz zapobiega przetłaczaniu cząstek stałych przez sito, którym odpływa płyn. Zaletą pras przeponowych jest prostota konstrukcji, łatwość obsługi i sto-

sunkowo mała ilość mechanizmów wymagających obsługi technicznej [10].

Prostota działania prasy oraz łatwość sterowania procesem odwadniania umożliwia bardzo proste włączenie jej w każdy system automatycznego sterowania w dowolnych procesach technologicznych. Podstawowymi zaletami stosowania pras przeponowych są:

- małe gabaryty urządzeń,
- możliwość łączenia pras w baterie, co powoduje uzyskanie większych wydajności,
- automatyczny cykl pracy,
- możliwość zastosowania zdalnego systemu sterowania pracą prasy,
- brak mechanizmów szybko zużywających się,
- niskie zużycie energii na jednostkę suchej masy osadu,
- niskie zużycie flokulantu,
- wysoka efektywność odwodnienia,
- niskie zużycie wody (ścieki oczyszczone) do płukania prasy w odniesieniu do pras taśmowych i wirówek, gdzie zużycie wody jest wielokrotnie większe.

3 Badanie obniżenia wilgotności wywaru gorzelnianego

W celu porównania skuteczności różnych mechanicznych metod obniżania wilgotności wywaru gorzelnianego, przeprowadzono badania z użyciem 3 urządzeń odwadniających: wirówki dekantacyjnej, prasy ślimakowej i prasy przeponowej. Z każdego z tych urządzeń pobrano próbki wywaru surowego, placka filtracyjnego oraz odcieku. Dla pobranych prób oznaczono zawartość suchej masy metodą suszenia termicznego. Następnie przeprowadzono analizę własności energetycznych próby placka filtracyjnego w postaci roboczej. Oznaczono zawartość popiołu, zawartość części lotnych, ciepło spalania i analizę elementarną CHNS. Na podstawie oznaczeń obliczono wartość opalową próby w postaci roboczej. Dla każdej z metod odwadniania oznaczono jednostkowe zużycie energii elektrycznej, w kWh/1000 kg surowego wywaru gorzelnianego.

Wyznaczono niepewność względną δ_B pomiarów skuteczności odwadniania, w oparciu o bilans masowy, obliczony na podstawie pomiarów strumieni masy i oznaczeń zawartości suchej masy

$$\delta_B = [B_{ws} - (B_p + B_o)/B_{ws}] \cdot 100\% , \quad (1)$$

gdzie: B_{ws} – zawartość suchej masy w strumieniu wywaru surowego, B_p – zawartość suchej masy w strumieniu placka filtracyjnego, B_o – zawartość suchej masy w strumieniu odcieku.

Próbki wywaru, placka filtracyjnego i odcieku z wirówki dekantacyjnej pobrano w Zakładzie Produkcji Bioetanolu w Goświnowicach, zainstalowanej w hali wirówek, pracującej w ruchu ciągłym. Dane pomiarowe odnośnie zużycia energii elektrycznej pochodzą z systemu sterowania zainstalowanego w Zakładzie. Wyniki pomiarów zamieszczono w tab. 1 i tab. 2.

Tabela 1. Wyniki pomiarów odwadniania na wirówce dekantacyjnej (strumienie masy przeliczone na 1000 kg wywaru surowego)

Wywar surowy	masa [kg]	1000
	zawartość suchej masy [%]	12,4
	B_{ws} [kg]	124
Placek	masa [kg]	189
	zawartość suchej masy [%]	32,98
	B_p [kg]	62,5
Odciek	masa [kg]	573
	zawartość suchej masy [%]	8,64
	B_o [kg]	49,5
Niepewność względna pomiaru [%]		9,7
Zużycie energii elektrycznej [kWh/1000 kg]		2,35

Tabela 2. Własności energetyczne próbki placka filtracyjnego z wirówki dekantacyjnej

Zawartość wilgoci Wr [%]	Zawartość popiołu 650 °C [%]	Zawartość popiołu 815 °C [%]	Zawartość części lotnych Vm [%]	C [%]	H [%]	N [%]	S [%]
67,02	2,2	2,0	82,16	48,7	5,74	6,12	0,47

Ciepło spalania badane wg [12] wynosi 7,63 MJ/kg, a wartość opałowa 5,41 MJ/kg. Zużycie energii elektrycznej wyniosło 2,35 kWh na 1000 kg wywaru surowego.

Próby odwadniania na prasie ślimakowej przeprowadzono na instalacji doświadczalnej, zbudowanej na terenie gorzelnii rolniczej w Opolu Lubelskim, gdzie pobrano próby wywaru, placka filtracyjnego i odcieku. Pomiaru zużytej energii elektrycznej dokonano licznikiem energii elektrycznej zasilającej prasę. Wyniki pomiarów zamieszczono w tab. 3 i tab. 4.

Tabela 3. Wyniki pomiarów odwadniania na prasie ślimakowej (strumienie masy przeliczone na 1000 kg wywaru surowego)

Wywar surowy	masa [kg]	900	100
	zawartość suchej masy [%]	13,8	13,8
	B_{ws} [kg]	124,2	13,8
Placek	masa [kg]	240	20
	zawartość suchej masy [%]	40,6	40,8
	B_p [kg]	97,40	8,16
odciek	masa [kg]	660,0	88,7
	zawartość suchej masy [%]	6,22	6,00
	B_o , [kg]	41,00	5,32
Niepewność względna pomiaru [%]		11,0	2,3
Zużycie energii elektrycznej [kWh/1000 kg]		1,0	–

Tabela 4. Własności energetyczne próby placka filtracyjnego z wirówki dekantacyjnej

Zawartość wilgoci W_r [%]	Zawartość popiołu 650 °C [%]	Zawartość popiołu 815 °C [%]	Zawartość części lotnych V_m [%]	C [%]	H [%]	N [%]	S [%]
59,4	1,3	1,2	85,43	49,3	6,21	6,23	0,47

Ciepło spalania badane wg [12] wynosi 7,63 MJ/kg, a wartość opałowa 8,59 MJ/kg. Zużycie energii elektrycznej wyniosło 1,0 kWh na 1000 kg wywaru surowego.

Próby odwadniania wywaru gorzelnianego na prasie przeponowej przeprowadzono na ćwierćtechnicznej przeponowej prasie odwadniającej. Użyte do badań sito posiadało 27 otworów szczelinowych o szerokości 1 mm usytuowanych w 5 rzędach. Pomiaru zużytej energii elektrycznej dokonano licznikiem energii elektrycznej zasilającej urządzenie. Wyniki pomiarów zamieszczono w tab. 5 i tab. 6. Ciepło spalania badane wg [12] wynosi 8,32 MJ/kg, a wartość opałowa 6,15 MJ/kg. Zużycie energii elektrycznej wyniosło 2,14 kWh na 1000 kg wywaru surowego.

4 Podsumowanie

Porównano skuteczność odwadniania wywaru gorzelnianego przy pomocy wirówki dekantacyjnej, separacyjnej prasy ślimakowej oraz prasy przeponowej pneumatycznej. Zbadano zawartość suchej masy w placku filtracyjnym, zawartość

Tabela 5. Wyniki pomiarów odwadniania na prasie przeponowej (strumienie masy przeliczone na 1000 kg wywaru surowego)

Wywar surowy	masa [kg]	21,00
	zawartość suchej masy [%]	11,80
	B_{ws} [kg]	2,48
Placek	masa [kg]	4,40
	zawartość suchej masy [%]	43,00
	B_p [kg]	1,89
Odciek	masa [kg]	15,40
	zawartość suchej masy [%]	3,80
	B_o [kg]	0,58
Niepewność względna pomiaru [%]		0,40
Zużycie energii elektrycznej [kWh/1000 kg]		2,14

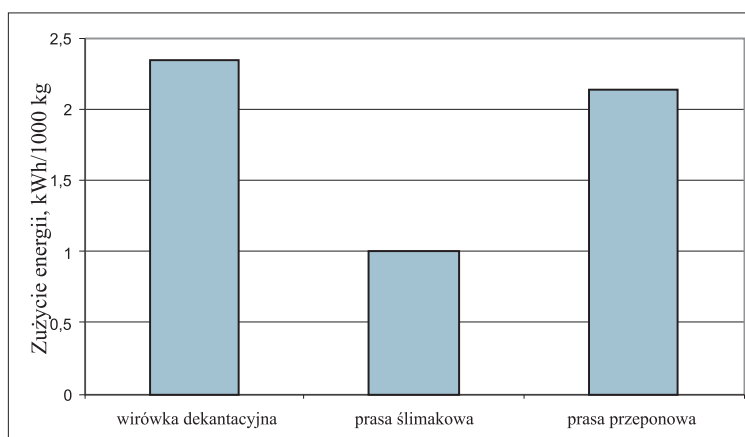
Tabela 6. Własności energetyczne próby placka filtracyjnego z prasy przeponowej

Zawartość wilgoci Wr [%]	Zawartość popiołu 650°C [%]	Zawartość popiołu 815°C [%]	Zawartość części lotnych Vm [%]	C %	H %	N %	S %
63,23	1,6	1,4	83,72	49,1	6,11	6,20	0,47

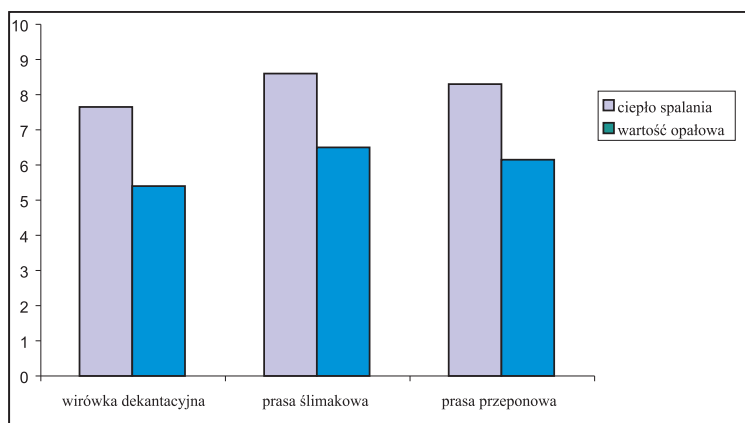
pozostałości części stałych w odcieku pofiltracyjnym, określano jednostkowe zużycie energii elektrycznej na odwodnienie stałej objętości wywaru (rys. 2). Na rys. 3 porównano otrzymane wartości ciepła spalania i wartości opalowej placka filtracyjnego. Najlepsze wyniki uzyskano dla prasy ślimakowej.

Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że najbardziej efektywnym urządzeniem okazała się prasa ślimakowa, daje największą zawartość suchej masy w placku filtracyjnym oraz zapewnia najmniejsze jednostkowe zużycie energii elektrycznej na odwodnienie 1 m³ wywaru. Najmniej efektywna okazała się metoda odwadniania za pomocą wirówki dekantacyjnej. Przeprowadzone próby wykazały, że zastosowanie optymalnej metody odwadniania wywaru pozwala uzyskać w warunkach przemysłowych paliwo o wilgotności poniżej 60%, co podwyższa jego wartość opalową do ok. 6,5 MJ/kg.

Omówione badania współfinansowało Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach umowy SP/E/4/65786/10. Strategiczny Program Badawczy – „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii”, zadanie badawcze nr 4 pt. „Opracowanie



Rysunek 2. Zużycie energii elektrycznej w procesie odwadniania



Rysunek 3. Porównanie ciepła spalania i wartości opałowej otrzymanych z poszczególnych instalacji

zintegrowanych technologii wytwarzania paliw i energii z biomasy, odpadów rolniczych i innych”.

Praca wpłynęła do redakcji w październiku 2013 r.

Literatura

- [1] Komorowska M.: *Prasy filtracyjne do odwadniania osadów ściekowych*. Wodociągi-Kanalizacja **19**(2005), 11.

- [2] Spinosa L.: *Design and operation of dewatering equipment*. Proc. of the Course Notes at 4th World Filtration Congress, Ostend 1986.
- [3] Beveridge T., Harrison J.E., Gayton R.R.: *Decanter centrifugation of apple mash: effect of centrifuge parameters, apple variety and apple storage*. Food Res. Int. **25**(1992), 2, 125–130.
- [4] Leung W., Shapiro A.: *Dewatering of fine-particle slurries using a compound beach decanter with cake flow control*. Miner. Metall. Process. **19**(2002), 10.
- [5] Heidrich Z., Witkowski A.: *Urządzenia do oczyszczania ścieków, projektowanie, przykłady obliczeń*. Seidel-Przywecki Sp. z o.o., Warszawa 2005.
- [6] Altieri G.: *Comparative trials and an empirical model to assess throughput indices in olive oil extraction by decanter centrifuge*. J. Food Eng. **97**(2010), 1, 46–56.
- [7] Schlip R., Leung W., Hegarty S., Ismar M., Kluge R.: *Continuous slurry dewatering and drying — all in one machine*. Fluid-Part. Sep. J. **13**(2000), 85–96.
- [8] Wills B.A., Napier-Munn T.: *Mineral Processing Technology*, 7th edn., Elsevier, 2005, 378–399.
- [9] Turci P.: *Dewatering high moisture organics*. BioCycle **41**(2000), 5, 41.
- [10] Mestil Z.M.: *Automatyczna przeponowa prasa odwadniająca komunalne osady ściekowe*. Gorzów Wielkopolski 2011.
- [11] www.prasa-odwadniajaca.pl/dzialanie.htm
- [12] PN-81/G-04513. *Paliwa stałe. Oznaczanie ciepła spalania*.
- [13] Cassman K., et al.: *Convergence of Agriculture and Energy: Implications for Research and Policy*. College of Agricultural Science and Technology, 2006.
- [14] Łączyński B.: *Skrócony kurs gorzelnictwa rolniczego*. Wydawnictwo Sigma-NOT, Warszawa 1993.

Methods of dehumidification in distillers

S u m m a r y

Article presents the methods for stillage dewatering in existing industrial plants. Research was accomplished on the samples. It can be concluded that the most preferred method of the compound dewatering is by application of the screw press. The resulting cake is featuring a low moisture and allow its use as a biofuel.