

RODZAJE ZBIORNIKÓW FERMENTACYJNYCH STOSOWANYCH W BIOGAZOWNIACH

Streszczenie

Jednym z istotnych sektorów energetyki odnawialnej w Polsce jest produkcja biogazu rolniczego, który powstaje w wyniku prowadzonego w kontrolowanych warunkach - procesu fermentacji metanowej. Wraz z obserwowanym w ostatnich latach wzrostem mocy zainstalowanej przewiduje się budowę kolejnych instalacji biogazowych. Należy jednak pamiętać, że oprócz określenia i utrzymania prawidłowych parametrów procesowych fermentacji konieczne jest również zapewnienie odpowiednich warunków technicznych do produkcji biogazu. Wybór odpowiedniego rodzaju zbiornika fermentacyjnego jest jednym z kluczowych zadań podczas planowania inwestycji biogazowej. Błędy popełnione przy doborze materiałów i urządzeń w instalacji mogą doprowadzić do szybkiego bankructwa inwestycji po jej uruchomieniu. W pracy przedstawiono dotychczasowy stan wiedzy na temat rodzajów zbiorników wykorzystywanych w instalacjach biogazowych. Materiał ten pozwoli na usystematyzowanie dostępnych w literaturze przedmiotu informacji dotyczących technicznych rozwiązań stosowanych w skali przemysłowej.

Słowa kluczowe: zbiorniki fermentacyjne, biogazownia, fermentacja metanowa, biogaz

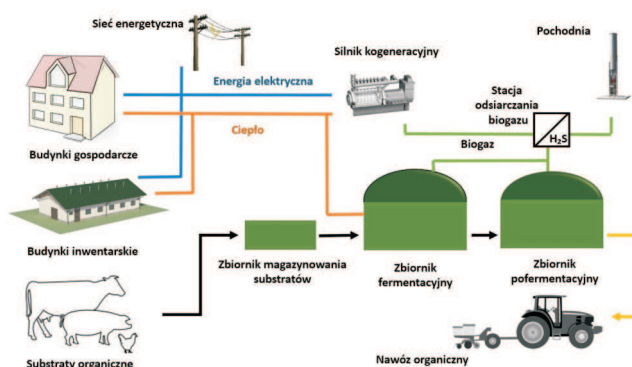
Wstęp

Zwiększenie świadomości społeczeństwa w zakresie ochrony środowiska oraz wsparcie rządowe przyczynia się do wzrostu zainteresowania wielu inwestorów odnawialnymi źródłami energii w Polsce, w szczególności biogazowniami rolniczymi i utylizacyjnymi [6]. Zgodnie z danymi Agencji Rynku Rolnego, w Polsce funkcjonuje obecnie 95 instalacji rolniczych, których łączna moc wynosi 100,964 MW [2], a w najbliższym czasie przewiduje się budowę oraz rozruch kolejnych tego typu bioelektrowni. Wynika to przede wszystkim z wysokiego potencjału produkcji biogazu polskiego sektora rolno-spożywczego, na który składa się duża powierzchnia upraw rolniczych (ok. 14,5 mln ha) [15] oraz dobrze rozwinięta hodowla bydła, trzody chlewnej i drobiu.

W instalacjach biogazowych w wyniku prowadzenia procesu fermentacji metanowej (w warunkach kontrolowanych) powstaje biogaz, który jest mieszaniną metanu (45-74%), dwutlenku węgla (25-54%) oraz śladowych ilości innych gazów (m.in. siarkowodoru, amoniaku, azotu, tlenu i wodoru) [4, 8, 9, 17].

Proces fermentacji jest złożonym procesem biochemicznym, składającym się z czterech głównych faz: hydrolizy, kwasogenezы, octanogenezы i metanogenezы [26]. Wszystkie te etapy zachodzą prawidłowo wtedy, gdy zapewnione zostaną odpowiednie warunki środowiskowe oraz procesowe [10]. Wśród najważniejszych parametrów środowiskowych wyróżnia się m.in. temperaturę, pH, zawartość składników pokarmowych i stosunek C/N w podawanym podłożu, natomiast wśród czynników procesowych obciążenie ładunkiem organicznym, hydrauliczny czas retencji oraz odpowiednie przemieszanie zawartości zbiornika [5, 19, 20, 21, 28].

Biogazownia rolnicza składa się z systemu dozowania substratów do zbiorników fermentacyjnych, układów mieszania i przepompowywania pulpy fermentacyjnej i pofermentacyjnej między poszczególnymi reaktorami, systemu magazynowania, oczyszczania i przepływu biogazu oraz silnika kogeneracyjnego. Na rys. 1 przedstawiono schemat typowej instalacji biogazowej znajdującej się przy gospodarstwie rolnym.



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 1. Schemat instalacji biogazowej umiejscowionej przy gospodarstwie rolnym

Fig. 1. Scheme of biogas installation located on the farm

Materiały organiczne w postaci płynnej (np. gnojowica lub gnojówka), dostarczane do biogazowni, magazynowane są w specjalnie przygotowanych zbiornikach, które ograniczają rozprzestrzenianie się uciążliwych zapachów. Natomiast substraty stałe poddawane zakiszaniu (np. kukurydza, trawy) formowane są w pryzmy zabezpieczone plastikową folią chroniącą materiał przed niekorzystnym działaniem warunków atmosferycznych oraz dopływem powietrza do ich wnętrza [14]. Następnie surowce, w zależności od zastosowanego systemu podającego, wprowadzane są do zbiornika fermentacyjnego, gdzie zachodzi proces fermentacji i produkcji biogazu. Pofermentowana masa kierowana jest do zbiornika pofermentacyjnego, z którego może być w dalszej kolejności wykorzystana jako nawóz organiczny na polach uprawnych [7]. Biogaz wytworzony w zbiornikach fermentacyjnych jest zbierany i magazynowany [13], a następnie układem dmuchaw doprowadzany do układu kogeneracyjnego. Wyróżnia się wiele rodzajów zbiorników, które można podzielić zarówno ze względu na materiał, z którego zostały wytworzone, jak również na kształt [13]. Najczęściej jednak są stosowane dachowe zbiorniki membranowe. Przed skierowaniem biogazu do silnika kogeneracyjnego, konieczne jest jego oczyszczenie z siarkowodoru i amoniaku [1, 3]. W wyniku spalania, w silniku kogeneracyjnym, gaz przekształcany jest do energii elektrycznej.

ktrycznej i ciepła, które mogą zostać wykorzystane do zasilania budynków inwentarskich i gospodarczych, natomiast nadwyżki sprzedane do sieci energetycznej lub ciepłowniczej [18].

Jednym z najważniejszych wyborów, których należy dokonać w trakcie planowania budowy biogazowni jest wybór odpowiedniego rodzaju zbiorników fermentacyjnych oraz wydajnego systemu ich mieszania. Działania te mogą znacząco wpłynąć na ostateczny bilans ekonomiczny całej inwestycji. Literatura przedmiotu podaje przykłady poszczególnych rozwiązań technicznych w skali przemysłowej. Jednak konieczne jest usystematyzowanie dostępnych informacji. Celem niniejszej pracy była analiza aktualnego stanu wiedzy na temat rodzajów zbiorników wykorzystywanych w instalacjach biogazowych, a także systemów mieszania ich zawartości.

Rodzaje zbiorników fermentacyjnych

Wszystkie budowane zbiorniki fermentacyjne, dofermentacyjne oraz magazyny pofermentu muszą spełniać wymogi, które zostały zawarte w Ustawie o Prawie Budowlanym z dnia 7 lipca 1994 r. (Dz. U. z 2006 r., Nr 156, poz. 1118, z późn. zm.) [27] i w rozporządzeniach Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 r. (Dz.U. Nr 75, poz. 690 z późn. zm.) [22] oraz dotyczącego szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego z dnia 3 lipca 2003 r. (Dz.U. Nr 120, poz. 1133, z późn. zm.) [25]. Dodatkowo dokładne warunki lokalizacji budynków należących do biogazowni (również zbiorników fermentacyjnych i biogazu) względem innych obiektów i działek oraz wielkości stref bezpieczeństwa określone zostały przez rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle rolnicze i ich usytuowanie z dnia 7 października 1997 r. (Dz. U. Nr 132, poz. 877, z późn. zm.) [23] oraz rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz.U. Nr 109, poz. 719) [24]. Spełnienie wszystkich zaleceń jest bardzo istotne, ponieważ biogazownie są instalacjami energetycznymi, a ich nieprawidłowe wykonanie może powodować niebezpieczeństwo dla ludzi i zwierząt.

W praktyce biogazowej wyróżnia się dwa główne typy zbiorników fermentacyjnych: stojące i leżące. W skali przemysłowej, najczęściej zastosowanie znajdują duże zbiorniki stojące o przekroju kołowym. Natomiast zbiorniki leżące wykorzystywane są w fermentacji suchej, mikroinstalacjach oraz podczas badań w skali laboratoryjnej. Ponadto w zależności od materiałów używanych do budowy, zbiorniki fermentacyjne dzieli się na trzy rodzaje: fermentory z tworzyw sztucznych (w Europie najmniej popularne), żelbetonowe oraz stalowe.

Zbiorniki z tworzyw sztucznych

Największa liczba biogazowni wykorzystuje do procesu fermentacji zbiorniki wykonane z tworzyw sztucznych [16]. Należy jednak zaznaczyć, że są to instalacje o małej mocy elektrycznej i małej objętości roboczej, najczęściej wykonane własnoręcznie przez właścicieli oraz znajdujące zastosowanie przy małych gospodarstwach domowych w Chinach (największym rynku biogazowym na świecie, gdzie funkcjonuje ponad 35 mln biogazowni). Zastosowanie tego rodzaju zbiorników wiąże się jednak z brakiem odpowiedniego systemu ogrzewania, w związku z czym większość tych instalacji jest wyłączana na okres zimowy [12]. Fermentory wykonane

z tworzyw sztucznych charakteryzują się wysoką odpornością na zmienne warunki atmosferyczne, korozję oraz agresywne działanie cieczy fermentacyjnej i biogazu, co jest bardzo istotne w przypadku długoterminowego funkcjonowania biogazowni. Główną zaletą jest ich lekka konstrukcja umożliwiająca łatwy montaż bez wykorzystania ciężkich maszyn. Jednak ze względu na małą objętość komory oraz brak systemu ogrzewania zbiorniki wykonane z tworzyw sztucznych nie są popularne w Europie.

Zbiorniki żelbetowe

Najbardziej popularnym rodzajem zbiorników fermentacyjnych w Europie są zbiorniki żelbetowe. Znajdują one powszechne zastosowanie w biogazowniach w Niemczech, Czechach, Włoszech oraz w Polsce (rys. 2). Najczęściej budowane są z gotowych prefabrykatów, ściągniętych ze sobą stalowymi linami. Ze względu na konstrukcje tego rodzaju zbiorników możliwe jest ich przykrycie zarówno dachowym zbiornikiem membranowym, jak również stropem żelbetowym. W praktyce fermentory żelbetonowe budowane są do wysokości 6-8 m, natomiast ich średnica może osiągać niekiedy ok. 36 m. Niestety takie konstrukcje powodują duże straty ciepła w górnej części zbiornika zimą oraz szybko nagrzewają się w okresie letnim. Wynika to przede wszystkim z niekorzystnego stosunku wysokości do średnicy obiektu oraz dużej powierzchni górnej, najczęściej z ograniczoną ilością izolacji termicznej. Ponadto w przypadku zbiorników żelbetowych możliwa jest ich budowa częściowo lub całkowicie w ziemi.



Rys. 2. Betonowe zbiorniki fermentacyjne [30]
Fig. 2. Concrete fermentation tanks [30]

Należy również pamiętać, że we wnętrzu zbiorników fermentacyjnych panują warunki silnie agresywne (wysoka zawartość pary wodnej oraz siarkowodoru). W związku z tym bardzo istotna jest również odpowiednia jakość stosowanego betonu (duża zawartość cementu wysokotemperaturowego oraz mała wapna), mająca na celu zabezpieczenie przed chemiczną korozją. Ponadto ściany wewnętrzne zabezpieczane są dodatkową warstwą izolacji [29].

Zbiorniki stalowe

W ostatnich latach zauważalny jest wzrost wykorzystania zbiorników stalowych, wykonanych ze stali kwasoodpornej, ocynkowanej lub emaliowanej (rys. 3). Zbiorniki te budowane są na wcześniej przygotowanym podłożu betonowym [29]. Charakteryzują się one szybszym czasem budowy w porównaniu do zbiorników żelbetowych, co wynika bezpośrednio z ich prostszej konstrukcji. Podobna zależność dotyczy czasu

przeprowadzenia rozruchu technologicznego instalacji, ponieważ temperatura cieczy fermentacyjnej nie musi być w nich powoli zwiększana, jak to ma miejsce w przypadku zbiorników betonowych.



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 3. Stalowe zbiorniki fermentacyjne
Fig. 3. Steel fermentation tanks

Wszystkie elementy stalowe przywożone są na miejsce budowy w postaci płyt lub pasm blachy, a następnie są nitowane lub skręcane ze sobą [29]. Należy podkreślić, iż zastosowanie takiej konstrukcji w polskich realiach pozwala inwestorom na szybsze i łatwiejsze uzyskanie kredytu. W przypadku niepowodzenia cała instalacja może zostać w szybki sposób rozebrana i sprzedana. Do budowy tego rodzaju zbiorników, szczególnie w miejscach najbardziej narażonych na działanie cieczy i gazów agresywnych zalecane jest stosowanie najwyższej jakości stali kwasoodpornej [11]. Stal powlekana lub galwanizowana jest natomiast stosowana, gdy nie występuje ryzyko korozji.

Dodatkową zaletą fermentatorów stalowych jest możliwość ich budowy na wysokość ponad 6 m, co umożliwia zachowanie najkorzystniejszego stosunku wysokości zbiornika do jego średnicy, bliskiego 1. Zastosowanie zbiorników stalowych, bez membrany gazowej, pozwala ograniczyć duże straty ciepła zimą oraz intensywne nagrzewanie cieczy fermentacyjnej latem dzięki możliwości zastosowania skutecznej izolacji termicznej na całej powierzchni zbiornika. Dodatkowo węższy stosunek średnicy zbiornika do wysokości pozwala zastosować sprawniejsze i oszczędniejsze systemy mieszania.

Podsumowanie

Proces fermentacji metanowej od wielu lat wykorzystywany jest do produkcji biogazu i metanu na całym świecie. Pozwala on na unieszkodliwienie, powstających w dużych ilościach, odpadów organicznych. Oprócz zapewnienia odpowiedniej obsługi technologicznej, konieczne jest również wykonanie prawidłowego projektu instalacji biogazowej. Jednym z kluczowych decyzji na tym etapie inwestycji jest wybór odpowiedniego rodzaju zbiornika fermentacyjnego. Jest to szczególnie ważne w przypadku niepewności na rynku odnawialnych źródeł energii dotyczących wprowadzania systemu aukcyjnego w Polsce. Zastosowanie nieodpowiednich materiałów do budowy fermentatorów może doprowadzić do awarii i zatrzymania pracy całej instalacji biogazowej. Przedstawiona w pracy analiza pozwala na usystematyzowanie aktualnego stanu wiedzy dotyczącego rodzajów wykorzystywanych, w instalacji przemysłowych, zbiorników fermentacyjnych.

Bibliografia

- [1] Abatzoglou N., Boivin S.: A review of biogas purification processes. *Biofuels Bioprod. Biorefining*, 2009, 3, 42-71.
- [2] Agencja Rynku Rolnego, Rejestr wytwórców biogazu rolniczego, Warszawa, [Dostęp 03.10.2017]. http://www.arr.gov.pl/data/020-04/rejestr_wytworcow_biogazu_rolniczego_31082017.pdf.
- [3] Butlewski K.: Metody uzdatniania biogazu z uwzględnieniem możliwości integracji termicznej z procesem fermentacji biomasy. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 2016, 2, 92, 67-83.
- [4] Chandra R., Takeuchi H., Hasegawa T.: Methane production from lignocellulosic agricultural crop wastes: A review in con-text to second generation of biofuel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012, 16, 1462-1476.
- [5] Choong Y.Y., Norli I., Abdullah A.Z., Yhaya M.F.: Impacts of trace element supplementation on the performance of anaerobic digestion process: A critical review. *Bioresource Technology*, 2016, 209, 369-379.
- [6] Czekąła W., Brzoski M., Janczak D., Kozłowski K., Smurzyńska A., Chełkowski D., Kwiatkowska A.: Kofermentacja w biogazowniach rolniczych. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*, 2017, 4, 13-15.
- [7] Czekąła W., Pilarski K., Dach J., Janczak D., Szymańska M.: Analiza możliwości zagospodarowania pofermentu z biogazowni. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*, 2012, 4, 13-15.
- [8] Czerwińska E., Kalinowska K.: Warunki prowadzenia procesu fermentacji metanowej w biogazowni. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*, 2014, 2, 12-14.
- [9] Dach J., Koszela K., Boniecki P., Zaborowicz M., Lewicki A., Czekąła W., Skwarcz J., Wei Q., Piekarska-Boniecka H., Białobrzewski I.: The use of neural modelling to estimate the methane production from slurry fermentation processes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 56, 603-610.
- [10] Deublein D., Steinhauser A.: *Biogas from waste and renewable sources: an introduction*. Weinheim. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2008. ISBN: 978-3-527-32798-0.
- [11] Eder B., Schulz H.: *Biogas-Praxis: Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele, Wirtschaftlichkait*. Ökobuch, 2006. ISBN: 978-3-936-89613-8.
- [12] Ferrer I., Gamiz M., Almeida M., Ruiz A.: Pilot project of biogas production from pig manure and urine mixture at ambient temperature in Ventanilla (Lima, Peru). *Waste Management*, 2009, 29, 168-173.
- [13] Fleszar J., Kalinowska K.: Rodzaje zbiorników do magazynowania biogazu stosowanych w biogazowniach. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*, 2013, 2, 20-22.
- [14] Furlr Ch., Oberbarnscheidt B., Wenske E.: CCM-Silos richtig bemessen. *Bestimmung der Lagerungsdichten von CCM*. *Landtechnik*, Jg., 1990, 45, 6, 229-230.
- [15] Główny Urząd Statystyczny, Rolnictwo w 2015 roku, Warszawa, [Dostęp 04.05.2017]. <http://stat.gov.pl/en/topics/agriculture-forestry/agriculture/agriculture-in-2015,4,12.html>. ISSN: 1507-9724.
- [16] Jiang X., Sommer S.G., Christensen K.V.: A review of the biogas industry in China. *Energy Policy*, 2011, 39, 10, 6073-6081.
- [17] Kozłowski K., Dach J., Lewicki A., Cieślak M., Czekąła W., Janczak D.: Parametry środowiskowe oraz procesowe fermentacji metanowej prowadzonej w trybie ciągłym (CSTR). *Inżynieria Ekologiczna*, 2016, 50, 153-160.
- [18] Kozłowski K., Lewicki A., Cieślak M., Janczak D., Czekąła W., Smurzyńska A., Brzoski M.: Możliwości poprawy bilansu energetycznego i ekonomicznego biogazowni rolniczej. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*, 2017, 3, 10-13.
- [19] Kumaran P., Hephzibah D., Sivasankari R., Saifuddin N., Shamsuddin A.H.: A review on industrial scale anaerobic digestion systems deployment in Malaysia: Opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 56, 929-940.
- [20] Lindmark J., Thorin E., Bel Fdhila R., Dahlquist E.: Effects of mixing on the result of anaerobic digestion: Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, 40, 1030-1047.
- [21] Mao C., Feng Y., Wang X., Ren G.: Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, 45, 540-555.

- [22] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. (Dz.U. Nr 75, poz. 690 z późn. zm.).
- [23] Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej z dnia 7 października 1997 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle rolnicze i ich usytuowanie. (Dz.U. Nr 132, poz. 877 z późn. zm.).
- [24] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz.U. Nr 109, poz. 719).
- [25] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego (Dz.U. Nr 120, poz. 1133 z późn. zm.).
- [26] Sawatdeenarunat C., Surendra K. C., Takara D., Oechsner H., Khanal S.K.: Anaerobic digestion of lignocellulosic biomass: challenges and opportunities. *Bioresour. Technol.*, 2015, 178, 178-186.
- [27] Ustawa Prawo Budowlane z dnia 7 lipca 1994 r. Dz.U. 1994 nr 89, poz. 414.
- [28] Ward A. J., Hobbs P. J., Holliman P. J., Jones D. J.: Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. *Bio-resource Technology*, 2008, 99, 7928-7940.
- [29] Wellinger A., Murphy J., Baxter D.: *The Biogas Handbook Science, Production and Applications*. Elsevier Science and Technology, 2013, ISBN: 978-0-857-09741-5.
- [30] Wolf System, [Dostęp 01.12.2017] <http://www.wolf-system.pl/Zbiorniki-zelbetowe-i-silosy2/Zbiorniki-zelbetowe/Zbiorniki-dla-biogazowni/Przemyslaw>.

TYPES OF FERMENTATION TANKS USED IN BIOGAS PLANTS

Summary

One of the important sectors of renewable energy in Poland is the production of agricultural biogas, which is produced as a result of a methane fermentation process carried out under controlled conditions. With the increase of installed electric power, it is anticipated that further biogas plants will be built. However, in addition to determining and maintaining the correct parameters of the fermentation process, it is also necessary to provide appropriate technical conditions for the production of biogas. The choice of the right type of fermentation tank is one of the key tasks during planning of a biogas investment. The mistakes in the selection of materials and equipment in the installation can lead to a rapid bankruptcy of the investment. This review presents the current state of knowledge on tanks used in biogas plants, and was prepared to systematize information available in the literature concerning technical solutions applied on industrial scale.

Key words: fermentation tanks, biogas plant, methane fermentation, biogas

LIKWIDACJA PLANTACJI WIERZBY ENERGETYCZNEJ



ISBN 978-83-940788-7-4

Publikacja w formie monografii omawia w sposób wyczerpujący zagadnienie uprawy wierzby wiciowej (*Salix viminalis* L.) dla pozyskania biomasy z przeznaczeniem na cele energetyczne.

Po ok. 25 latach użytkowania plantacji powstaje kwestia przywrócenia powierzchni pola do ponownej uprawy roślin rolniczych (np. zbóż, okopowych) i likwidacji plantacji, w tym konieczność rozdrobnienia karp, z których wyrastają łodygi wierzby. W pracy przedstawiono sposoby mechanizacji procesu likwidacji plantacji wierzby na cele energetyczne oraz przedstawiono wyniki badań eksploatacyjnych skonstruowanej nowej maszyny do pasowego rozdrabniania karp wierzby krzewiastej. Ideą działania maszyny jest osłabienie systemu korzeniowego w pasie uprawy poprzez ich rozdrobnienie za pomocą narzędzia roboczego w postaci pionowych wirników rozdrabniających z zespołem frezów. Autorzy przedstawili szczegółowe wyniki badań energetycznych, jak również aspekt ekonomiczny uprawy wierzby wiciowej od momentu zakładania, użytkowania po likwidację plantacji.

Wydawca:

Branżowy Ośrodek Informacji Naukowej, Technicznej, Ekonomicznej i Normalizacyjnej

Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych

60-963 Poznań, ul. Starołęcka 31

tel. 61 87-12-200; fax 61 879-32-62;

e-mail: office@pimr.poznan.pl; Internet: <http://www.pimr.poznan.pl>