

**Mgr inż. Karol Kupryaniuk**

**Zastosowanie techniki ekstruzji materiałów lignocelulozowych w aspekcie ich wykorzystania w biogazowniach**

**STRESZCZENIE**

Celem niniejszej rozprawy było sprawdzenie możliwości wykorzystania ekstruzji jako procesu obróbki wstępnej odpadowych surowców lignocelulozowych do zastosowania w biogazowniach rolniczych. W badaniach wykorzystano powszechnie dostępne, wybrane surowce lignocelulozowe, tj.: słomę kukurydzianą, słomę pszenną, łodygi słonecznika bulwiastego (topinamburu), siano, otręby kukurydziane, słomę gryczaną oraz rzepakową. Pozyskane surowce rozdrobiono do wielkości cząstek maks. 10 mm, a następnie dowlżono do założonych poziomów 20, 25, 30, 35, 40, oraz 50 % wilgotności. Biomasę lignocelulozową poddano obróbce ciśnieniowo-termicznej z wykorzystaniem ekstrudera jednoślimakowego TS-45 z zastosowaniem trzech rodzajów elementów roboczych (ślimaków). Badania procesu ekstruzji wybranych surowców lignocelulozowych obejmowały określenie jego wydajności i energochłonności. Otrzymane ekstrudaty poddano wybranym badaniom jakościowym. Określono wpływ zmiennych warunków procesowych (poziomu dowlżenia, prędkości obrotowej ślimaka ekstrudera oraz modyfikacji układu plastyfikującego) na wybrane właściwości fizykochemiczne ekstrudatów (tj.: wskaźnik absorpcji wody, wskaźnik rozpuszczalności w wodzie gęstość usypową), a także na wydajność biogazową, którą określono w Pracowni Ekotechnologii działającej przy Instytucie Inżynierii Biosystemów Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.

Udowodniono, że ekstruzja może być wykorzystywana jako efektywna obróbka wstępna biomasy lignocelulozowej różnego pochodzenia. Podczas procesu ekstruzji wybranych surowców o określonej wilgotności, przy jednoczesnym oddziaływaniu wysokiej temperatury, ciśnienia oraz sił ścinających, dochodzi do rozerwania struktur lignocelulozowych dzięki czemu następuje szybszy i efektywniejszy rozkład materiału lignocelulozowego wewnątrz komory fermentacyjnej. Wykazano, że ekstrudowana biomasa lignocelulozowa tonie, dzięki czemu pozostaje w stałym ruchu, uniemożliwiając powstanie kożucha ze słomy, a co za tym idzie zablokowanie komory fermentacyjnej. Szereg przeprowadzonych analiz pokazuje, że zastosowanie zakładanych zmiennych procesowych ma odzwierciedlenie w otrzymanych wynikach badań. Bilans wydajnościowy zastosowanej obróbki wstępnej surowców lignocelulozowych zależy od indywidualnego podejścia do każdego z przetwarzanych surowców. Określenie odpowiednich parametrów procesu ekstruzji, które pozwolą na uzyskanie maksymalnego uzysku biogazu przy minimalnym koszcie obróbki jest bardzo trudne i zależy od wielu czynników przetwórczych (wilgotności surowca, prędkości obrotowej ślimaka ekstrudera oraz zastosowanego układu plastyfikującego ekstrudera). Przeprowadzona analiza porównawcza dwóch metod aglomeracji otrąb kukurydzianych (ekstruzji oraz peletowania) wykazała znaczące różnice w otrzymanych wynikach pomiarów.

Potwierdziła to analiza spektroskopowa, zdjęcia mikroskopowe oraz wzrost wydajności biogazowej badanych substratów. Umiejętny dobór parametrów procesu ekstruzji substratów

lignocelulozowych pozwala w znaczący sposób zredukować jego energochłonność. Produkcja biogazu z biomasy lignocelulozowej jest długotrwałym procesem zajmującym około 125 dni. Zastosowanie ciśnieniowo-termicznej obróbki biomasy lignocelulozowej pozwala zredukować czas fermentacji metanowej do około 28 dni. Teoretyczna wydajność biogazowa słomy pszennej (około  $300 \text{ m}^3 \text{ Mg}^{-1}$  metanu), w rzeczywistości jest prawie 3 razy niższa. Zastosowanie procesu ekstruzji powodujące rozerwanie struktur lignocelulozowych pozwala w znaczący sposób przyspieszyć proces produkcji biogazu, jak też uzasadnić dodatkowo poniesione nakłady energetyczne. Badania wykazały, że stosując słomę pszenną poddaną ekstruzji można osiągnąć zwiększenie produkcji metanu w procesie fermentacji ze  $119 \text{ m}^3 \text{ Mg}^{-1}$  do  $223 \text{ m}^3 \text{ Mg}^{-1}$ , co daje korzyść w postaci 415 kWh na tonę przetwarzanego substratu (uwzględniając 40% sprawności elektrycznej agregatu kogeneracyjnego). Udowodniono ponadto, że modyfikacja układu plastyfikującego ślimaka ma istotny wpływ na otrzymane wyniki badań, tj. pozwala otrzymać materiał o większej wydajności biogazowej.

Słowa kluczowe: ekstruzja, surowce lignocelulozowe, biogaz, fermentacja metanowa, biomasa

## SUMMARY

The purpose of this dissertation was to investigate the possibility of applying extrusion-cooking as a pre-treatment process for preparing lignocellulosic waste materials as feedstock for agricultural biogas plants. The studies used commonly available, selected lignocellulosic raw materials, i.e.: corn straw, wheat straw, Jerusalem artichoke stalks, hay, corn bran, buckwheat straw and rapeseed straw. The obtained raw materials were ground to a particle size of max. 10 mm, and then moistened to the levels of 20, 25, 30, 35, 40, and 50% moisture content. The lignocellulosic biomass was then subjected to pressure and thermal treatment using a single-screw extruder TS-45 with the employment of three types of working elements (screws). The study of the extrusion process of selected lignocellulosic raw materials included the determination of its efficiency and energy consumption. The obtained extrudates were subsequently subjected to selected qualitative tests. The influence of variable process conditions (moisture level, rotational speed of the extruder screw and modification of the plasticizing unit) on selected physicochemical properties of extrudates (i.e.: water absorption index, water solubility index, bulk density and durability) were assessed. Biogas efficiency was also determined. This was explored in the Ecotechnology Laboratory operating at the Institute of Biosystems Engineering at the University of Life Sciences in Poznań.

The work demonstrated that extrusion can be applied as an effective pre-treatment method for lignocellulosic biomass as used in agricultural biogas plants. During the extrusion process of selected raw materials with specific moisture contents, with the simultaneous impact of high temperature, pressure and shear forces, the lignocellulosic structures were broken, thanks to which the lignocellulosic material decomposed faster and more effectively inside the fermentation chamber. The work showed that the extruded lignocellulosic biomass sinks, thanks to which it remains in constant motion, preventing the formation of a straw scum, and thus blocking the fermentation chamber. A number of analyzes carried out show that the application of the assumed process variables is reflected in the obtained test results.

As noted in the study, the efficiency balance of the applied pre-treatment of lignocellulosic raw materials depends on the individual approach to each of the processed raw materials. Determining the appropriate parameters of the extrusion process that will allow to obtain the maximum yield of biogas at the minimum cost of processing is very difficult and depends on many processing factors (raw material moisture, rotational speed of the extruder screw and the extruder plasticizing unit). Indeed, the comparative analysis of two methods of corn bran agglomeration (extrusion and pelletizing) showed significant differences in the obtained measurement results. This was confirmed by spectroscopic analysis, microscopic picture and an increase in biogas efficiency of the tested substrates. Skillful selection of parameters of the extrusion process of lignocellulosic substrates allows to significantly reduce its energy consumption. The production of biogas from lignocellulosic biomass is a long-term process that takes commonly about 125 days. The use of pressure-thermal treatment of lignocellulosic biomass allows to reduce the time of methane fermentation to about 28 days. Theoretical biogas efficiency of wheat straw (about  $300 \text{ m}^3 \text{ Mg}^{-1}$  of methane), in fact is almost 3 times lower.

The application of the extrusion process broke apart the lignocellulosic structures and significantly accelerated the process of biogas production. Hence, it justifies the additional

energy expenditure. The research shows that by using extrusion treated wheat straw, an increase in methane production can be achieved in the fermentation process from 119 m<sup>3</sup> Mg<sup>-1</sup> to 223 m<sup>3</sup> Mg<sup>-1</sup>, which gives a benefit of 415 kWh per ton of processed substrate (taking into account 40% of the electrical efficiency of the cogeneration unit). Our work also demonstrates that modification of the screw plasticizing unit has a significant impact on the obtained test results, i.e. it allows to obtain material with better biogas efficiency.

Key words: extrusion, lignocellulosic raw materials, biogas, methane fermentation, biomass