

Agnieszka Kowalska

175032@edu.p.lodz.pl

Instytut Chemii Ogólnej i Ekologicznej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka

Charakterystyka roślin energetycznych jako potencjalnego surowca do produkcji biogazu

Wstęp

W ostatnim dwudziestolecu w większości krajów świata nastąpił intensywny rozwój energetyki bazującej na odnawialnych źródłach energii (OZE). Według przyjętych założeń, w 2020 r. w Unii Europejskiej produkcja energii w skali całej Wspólnoty ma osiągnąć poziom 20%, a w poszczególnych krajach nie mniej niż 15% [1-5], co potwierdzają dane zamieszczone w tabeli 1. Energia odnawialna jest pozyskiwana głównie z procesów: spalania biogazu uzyskiwanego w wyniku fermentacji biomasy [1-16], energetycznego spalania bądź współspalania odpadów drewna i biomasy roślinnej [16-19], produkcji ciekłych biopaliw [18-20], siły wiatru [21-23], energii promieniowania słonecznego [24, 25], ciepła wód podziemnych [26] oraz wykorzystania siły wód płynących [27, 28]. Poszczególne OZE wykazują różne mankamenty, jak np. niestabilność pracy w czasie (energetyka solarna i wiatrowa) [21-24], generowanie hałasu (turbiny wiatrowe) [21] czy potencjalne oddziaływanie odorowe (biogazownie) [13, 29]. Mimo to dynamicznie rozwijają się one dzięki oparciu ich właśnie o odnawialne surowce bądź naturalne zasoby energii, a także dotowanie ekonomiczne w wielu państwach Unii Europejskiej i niektórych innych krajach świata [4-19, 29]. W polskich realiach liczą się zwłaszcza źródła pozyskiwania biomasy opałowej, jakimi są drewno oraz odpady z przemysłu drzewnego. Jednak zwiększa się także znaczenie odpadów organicznych, jak śłoma, odpady komunalne i dostarczanych przez przemysł

Tabela 1. Procentowy udział energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto dla Unii Europejskiej i Polski w wybranych latach okresu 2005-2020 [31, 32]

Rok	Unia Europejska [%]	Polska [%]
2005	8,7	6,9
2010	12,5	9,2
2014	15,5	11,5
2020	20,0	15,0

rolno-spożywczy, a także z upraw roślin energetycznych. Województwo łódzkie odnotowuje wzrost produkcji energii elektrycznej z OZE mając duży i zróżnicowany potencjał energetyczny [30].

Jedną z dróg prowadzących do osiągnięcia powyżej sygnalizowanego celu Unii Europejskiej jest rozwój energetyki OZE opartej o biomasę. Główne kierunki jej wykorzystania to spalanie jako dodatku do węgla kamiennego lub brunatnego, poddawanie fermentacji w zamkniętych komorach fermentacyjnych biogazowni, ewentualnie wytwarzanie z niej na drodze chemicznej paliw ciekłych lub gazowych [1-4, 16-20, 24, 30]. Biomasa do powyższych procesów może pochodzić, m. in. z upraw energetycznych. Rozwój tego sektora rolnictwa może generować nowe miejsca pracy na terenie danej gminy, a także tworzyć lokalne rynki energii [33].

Uprawy roślin energetycznych powinny cechować się wysokimi plonami suchej masy z jednego hektara, dużym przyrostem rocznym i wysoką wartością opałową. Ponadto muszą być odporne na choroby, szkodniki oraz niekorzystne warunki atmosferyczne. Powinny również posiadać niskie wymagania glebowe, a przy tym w jak najmniejszym stopniu wyjaławiać podłoże. Plantacja roślin energetycznych wieloletnich może być użytkowana w okresie do 20 lat. Ważna jest także możliwość mechanizacji prac agrotechnicznych, które związane są z zakładaniem plantacji oraz zbieraniem plonu. Wszystkie te cechy wpływają na możliwość racjonalnego użytkowania gleb wyłączonych z produkcji żywności, przy stosunkowo niskim nakładzie inwestycyjnym [33]. Optymalną efektywność wykorzystania biomasy jako nośnika z grupy odnawialnych źródeł można uzyskać stosując ją możliwie jak najbliżej miejsc założenia plantacji roślin energetycznych, dzięki czemu można zredukować koszty transportu biomasy na duże odległości. Znaczne korzyści ekonomiczne uzyskujemy inwestując w lokalne systemy grzewcze położone w promieniu do 50 km [17, 19].

Najbardziej popularne gatunki roślin energetycznych uprawianych w Polsce to wierzba wiciowa (*Salix viminalis*),



ślazowiec pensylwański (*Sida hermaphrodita*), zwany również malwą pensylwańską, słonecznik bulwiasty, zwany topinamburem (*Helianthus tuberosus*), róża wielokwiatowa – bezkolcowa (*Rosa multiflora*), rdest sachaliński (*Polygonum sachalinense*) oraz trawy wieloletnie, jak miskant olbrzymi (*Miscanthus giganteus*), miskant cukrowy (*Miscanthus sacchariflorus*), mozga trzcinowata (*Phalaris arundinacea*), spartina preriowa (*Spartina pectinata*) i palczatka Gerarda (*Andropogon gerardi*) [16, 19, 33].

Uprawy wieloletnie

Do upraw wieloletnich roślin energetycznych w naszym kraju dających najwyższe plony można zaliczyć szybko rosnące, corocznie plonujące trawy takie jak **miskant olbrzymi** i **mozga trzcinowata**, a także byliny, jak np. **ślazowiec pensylwański** i **topinambur** [34, 35]. Największą wadą tego rodzaju plantacji jest ich duże zapotrzebowanie terytorialne. Rośliny energetyczne zajmują bowiem areał, który mógłby być potencjalnie wykorzystany do produkcji żywności, co może ograniczać jej dostępność i ilość. Dodatkowo – takie wielkoobszarowe monokultury powodują niekorzystne ze względów ekologicznych zmniejszenie bioróżnorodności środowiska lokalnego. Często mogą także prowadzić do wyjałowienia gleby, dlatego też uprawę roślin energetycznych powinno prowadzić się na glebach niskiej jakości, które są np. nawożone ustabilizowanymi biologicznie osadami z miejskich oczyszczalni ścieków [16, 36].

Miskant olbrzymi to okazała trwa kępowa należąca do rodziny wiechlinowatych przywieziona do Europy z Azji Południowo-Wschodniej około 1930 r. Gatunek powstał w wyniku naturalnego skrzyżowania miskanta chińskiego (*Miscanthus sinensis*) z miskantem cukrowym (*Miscanthus sacchariflorus*). Częścią podziemną miskanta olbrzymiego są krótkie kłaczka. Corocznie wiosną wyrastają z nich ulistnione, bujne pędy, tworzące okazałe, gęste kępy. Łodygi, zwane u traw źdźbłami, osiągają u tego gatunku imponującą wysokość nawet do 3,5 metra, przy grubości około 1 cm. Roślinę cechuje wytwarzanie sztywnych, grubych, wypełnionych gąbczastym rdzeniem źdźbeł. Liście tej rośliny są spłaszczone, ciemnozielone i lancetowate. Miskant olbrzymi rośnie bardzo szybko, starsze okazy są odporne na niskie temperatury. W Europie początkowo miskant olbrzymi był uprawiany jako roślina ozdobna, ale po pewnym czasie zdobył popularność jako dobry surowiec do energetyki odnawialnej. Roślina cechuje się wysokim plonem osiągającym 25 t/ha, a jej wartość opałową można szacować na 14-17 MJ/kg, przy zawartości suchej masy 94,1% i suchej masy organicznej 89,8% [17, 19, 36, 37].

Mozga trzcinowata także należy do rodziny wiechli-

watych. Gatunek występuje na całej półkuli z wyjątkiem Azji Wschodniej. Na stanowiskach naturalnych rośnie zawsze w miejscach wilgotnych, na terenach bagiennych, na obrzeżach wód tworząc trawiaste zarośla. Odmiana osiąga wysokość z kwiatostanem do 75 cm [38]. Liście początkowo ma jasnożółte, następnie zielone z podłużnym, kremowo-żółtym paskowaniem, ciemniejące do koloru zielonego w bardzo gorące lato. Kwitnie od czerwca do sierpnia. Roślina tworzy liczne rozłogi, dlatego ma charakter ekspansywny. W ogrodach i parkach może być wysadzana pojedynczo lub w grupach, a także w większych skupiskach, jako roślina okrywowa. Efektownie wygląda w sąsiedztwie zbiorników wodnych. Mozga trzcinowata wymaga gleb próchnicznych, stanowisk od wilgotnych do mokrych, ale raczej nasłonecznionych [38]. Roślina ta jest dość mrozoodporna, tolerancyjna w stosunku do odczynu gleby (rośnie na glebach kwaśnych, obojętnych i zasadowych) i dość dobrze znosi zacienienie, jest natomiast wrażliwa na częste deptanie, ugniatanie, bardzo niskie koszenie i niskie przygryzanie przez zwierzęta. Łączny plon uzyskany z plantacji dwuletniej może wynosić 5-7 t/ha. W kolejnych latach wzrasta do zakresu 8-9 t/ha przy wartości opałowej rzędu 14-16 MJ/kg suchej masy. Celowo założona plantacja mozgi trzcinowatej może być tak intensywnie użytkowana jednak nie dłużej niż przez okres 8-10 lat [17, 19, 38].

Kolejną rośliną wieloletnią, którą można uprawiać w Polsce w celach energetycznych jest **ślazowiec pensylwański**. Należy on do rodziny ślazowatych i pochodzi z południowych terenów Ameryki Północnej. Na początku był popularny jako roślina paszowa, włóknodajna i miododajna. Podobnie jak w przypadku miskantu olbrzymiego jest postrzegany od lat jako roślina energetyczna [16, 19]. Ślazowiec pensylwański cechują skrętoległe, ogonkowe liście, osadzone na łodydze. Jego pędy mogą osiągać wysokość nawet do 4 m, a ich średnica może mieć około 35 mm. System korzeniowy tej rośliny jest bardzo dobrze rozwinięty a korzenie sięgają nawet 3 m. W celach energetycznych wykorzystuje się głównie części nadziemne roślin, tj. zdrewniałe i uschnięte łodygi. Plony ślazowca pensylwańskiego osiągają 20-25 t/ha, a jego wartość opałowa wynosi około 15 MJ/kg przy zawartości suchej masy 95,6% i suchej masy organicznej do 92,0% [17, 19, 36, 39].

Wierzba wiciowa (*Salix viminalis*) nazywana także wierzba energetyczną rośnie w warunkach naturalnych w Europie Środkowej. Jest rośliną lubiącą wodę, dlatego najlepiej rozwija się na gruntach zapewniających wysoki poziom wilgoci. Jest to gatunek, który bardzo dobrze kumuluje zanieczyszczenia z gleby, może być więc uprawiana w pobliżu terenów przemysłowych lub składowisk odpadów w formie



pasów ochronnych. Wartość opałowa wierzby wynosi 16-17 MJ/kg suchej masy, a plon w formie suchej masy może wynosić rocznie 8-15 ton/ha przy zawartości suchej masy organicznej 50,24% [36, 40].

Uprawy roślin jednorocznych

Najpopularniejszymi w Polsce roślinami jednorocznymi uprawianymi w celach energetycznych są: **kukurydza zwyczajna** (*Zea mays*), **rzepak ozimy** (*Brassica napus*), **burak energetyczny** (*Beta vulgaris*) i **żyto** (*Secale cereale*). Właściwości tych roślin energetycznych i ich pochodnych przedstawiono w tabeli 2 [2, 4, 6, 12, 16, 17, 19, 33, 39].

Kukurydza ma zastosowanie jako roślina pastewna, jadalna oraz przemysłowa. Głównym celem jej uprawy jest produkcja kiszonki. Dzięki wprowadzeniu na terenie kraju nowych odmian kukurydzy zauważa się wzrost arealu uprawy tej rośliny z przeznaczeniem na ziarno i susz. W okresie kilku ostatnich lat znacznie wzrosło zainteresowanie kukurydzą jako rośliną pastewną, a także energetyczną z przeznaczeniem na biomasę dla biogazowni rolniczych. Kukurydza nie ma dużych wymagań glebowych, najlepsze są jednak gleby takie jak czarnoziemy, lessy, a także mady i gleby brunatne [36]. Wykorzystanie kukurydzy w instalacjach biogazowych jest bardzo korzystne w związku z wysokim uzyskiem energii przeliczonej na hektar uprawy. Plony zbierane z hektara są zależne od wielu czynników, ale średnio wynoszą one około 45 t świeżej masy roślinnej [4].

Rzepak ozimy jest stosowany głównie do celów spożywczych, w produkcji między innymi oleju rzepakowego, margaryny i innych tłuszczów kuchennych. Jego nasiona są wykorzystywane w produkcji biodiesla, a pozostała po wyłoczeniu oleju śruta poekstrakcyjna jest dobrą paszą dla

zwierząt. Produktem energetycznym rzepaku jest słoma i makuchy tej rośliny [4, 16, 29].

Burak energetyczny to roślina należąca do rodziny komosowatych, kojarząca się głównie z produkcją cukru. Burak cukrowy ma największy wśród roślin uprawnych potencjał plonowania – w korzystnych warunkach plon masy biologicznej może przekroczyć 100 ton z hektara. Roślina ta charakteryzuje się masą o wysokiej koncentracji energii, lecz do tej pory nie była powszechnie stosowana przez producentów biogazu. Buraki energetyczne wymagają żyznych i urodzajnych gleb, położonych na terenach równinnych. Do celów energetycznych może być także wykorzystana ich nać [40]. W tabeli 2 zostały przedstawione wybrane właściwości buraka energetycznego i naci buraczanej. Buraki dobrze rozdrobnione są podatne na rozkład, jednak problemem jest ich suche czyszczenie. Resztki ziemi muszą być całkowicie usunięte, ponieważ mogą gromadzić się na dnie komory fermentacyjnej, zajmując przestrzeń przeznaczoną do procesu fermentacji. Buraki to rośliny sezonowe, w związku z czym dla zapewnienia ich dostępności przez cały rok, należy je składować. Odbywa się to zazwyczaj poprzez zakiszenie uprzednio rozdrobnionych roślin [4].

Przykładem jednorocznej rośliny energetycznej jest **żyto**, z którego cała część nadziemna łądygi nadaje się na kiszonkę. Posiada ono niskie wymagania odnośnie jakości gleby i klimatu, dlatego można je uprawiać w relatywnie chłodnym klimacie i na mniej żyznych glebach. Plon żyta wynosi około 5-6 ton na hektar uprawy, a stosunek ziarna do słomy szacuje się na 1:1,6. Pozwala to uzyskać od 13 do 15 ton suchej masy na hektar. Zbiór żyta odbywa się tylko raz w roku, dlatego też wskazane jest jego zakiszenie, by cała biomasa miała te same właściwości [4].

Tabela 2. Właściwości jednorocznych roślin energetycznych i ich wybranych pochodnych

Roślina energetyczna lub jej pochodna	Sucha masa s.m. [%]	Sucha masa organiczna s.m.o. [%]	Uzysk biogazu [m ³ /t s.m.]	Uzysk biogazu [m ³ /t s.m.o.]	Zawartość CH ₄ w biogazie [% obj.]
Kiszonka kukurydzy [4, 16]	20-35	85-95	170-200	450-700	50-55
Rzepak ozimy [29]	12,0	85,5	73	708	56
Pozostałość po ekstrakcji rzepaku [29]	88,6	92,1	516	633	61
Makuchy z rzepaku (15% tłuszczu) [28]	91,0	93,2	612	722	63
Burak cukrowy [4, 16]	23	90-95	170-180	800-860	53-54
Nać buraka [4, 16]	16	75-80	około 70	550-600	54-55
Żyto [4, 16]	30-35	92-98	170-220	550-680	55



Podsumowanie

W Polsce, szczególnie w ostatnich dziesięciu latach, miał miejsce rozwój produkcji energii elektrycznej i ciepłej z różnych źródeł odnawialnych, z których na czoło wysunęły się następujące: spalanie biomasy lub jej fermentacja prowadząca do otrzymywania biogazu, wykorzystanie siły wiatru, promieniowania słonecznego, a także geotermia. W naszym kraju szczególną szansę dla rozwoju energetyki OZE daje biomasa, z której można także otrzymać paliwa płynne dla transportu (bioetanol, biodiesel).

W kraju istnieją znaczne zasoby odłogowanej ziemi rolnej, miejscami zanieczyszczonej, które z powodzeniem można przeznaczyć pod uprawy wieloletnich roślin energetycznych. Wykorzystanie tego potencjału mogłoby odegrać istotną rolę w zwiększeniu możliwości energetycznych Polski oraz przyczynić się do redukcji skali emisji ditlenków węgla i siarki. Należy zatem stwarzać dogodne warunki do powstawania plantacji energetycznych, aby z czasem stały się one istotnym źródłem zaopatrzenia w biomasę dla wytwórców energii.

Największą efektywność biomasy jako surowca OZE można uzyskać wykorzystując ją w pobliżu miejsc usytuowania plantacji roślin energetycznych, dzięki czemu zostają pominięte bądź ograniczone koszty transportu na duże odległości.

Literatura

[1] Curkowski A., Mroczkowski P., Oniszk-Popławska A., Wiśniewski G., 2009, Biogaz rolniczy – produkcja i wykorzystanie. MAE Sp. z o. o., Warszawa, http://www.mae.com.pl/files/poradnik_biogazowy_mae.pdf, 29.02.2017 r.

[2] Wrzosek J., Gworek B., 2010, Biomasa w energetyce odnawialnej, *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 43, 104-116.

[3] Kociotek-Belawejder E., Wilk Ł., 2011, Przegląd metod usuwania siarkowodoru z biogazu, *Przemysł Chemiczny*, 90(3), 389-397.

[4] Gattermann H., Kaltschmitt M., Niebaum A., Schattauer A., Scholwin F., Weiland P., *Produkcja i wykorzystanie biogazu*. Institut für Energetik und Umwelt GmbH, 2010, <http://www.ieo.pl/pl/aktualnosci/183-produkcjabiogazu.html>, 25.02.2017 r.

[5] Kardasz P., Bentkowska M., Błasiński T., Cieńciała M., Duskoc J., Haller P., Magdziak-Tokłowicz M., 2014, Stan odnawialnych źródeł energii w Polsce, *Aura*, 8, 8-11.

[6] Zagdański D., 2014, Realizacja i funkcjonowanie biogazowni rolniczej. Przykład wybranego obiektu, *Aura*, 6, 16-18.

[7] Żarczyński A., Rosiak K., Anielak P., Wolf W., 2014, Praktyczne metody oczyszczania biogazu z siarkowodoru. Cz. 1. Zastosowanie sorbentów stałych, *Acta Innovations*, 12, 24-35.

[8] Żarczyński A., Rosiak K., Anielak P., Ziemiński K., Wolf W., 2015, Praktyczne metody usuwania siarkowodoru z biogazu. II. Zastosowanie roztworów sorpcyjnych i metod biologicznych, *Acta Innovations*, 15, 57-71.

[9] Rosiak K., Klemba K., Żarczyński A., 2016, Technologie otrzymywania biometanu z biogazu, *Aura*, 1, 14-17.

[10] Żarczyński A., Bojarska J., Klemba K., Rajnert G., Wolf W. M., Sowiński W., Zaborowski M., Anielak P., *Badania składu fazowego masy odsiarczającej Sulphurex N technikami analizy XRD & termicznej*, 58 Konwersatorium Krystalograficzne Walne Zebranie i Warsztaty PTK, Wrocław, 22-24 VI 2016 r., B-73, 279-280, Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN, Wrocław oraz Komitet Krystalografii PAN, <http://intibs.pl/kk2016/archiwum/58K-K2016book.pdf>, 5.02.2017 r.

[11] Klemba K., Żarczyński A., Wolf W. M., Anielak P., 2016, Praktyczne metody usuwania siarkowodoru z biogazu. III. Propozycja ankiety jako metody kompleksowej oceny aspektów ekonomicznych i ekologicznych technologii odsiarczania biogazu, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 6, 218-220.

[12] Smolarek T., 2016, Kalkulator biogazowy jako użyteczne narzędzie do obliczeń wskaźników pracy biogazowni, *Eliksir*, (1)3, 52-55.

[13] Klemba K., 2015, Biogazownia jako potencjalne źródło zagrożeń emisjami odorowymi oraz działania prewencyjne, *Eliksir*, 2, 22-27.

[14] Kwaśny J., Balcerzak W., Rezka P., 2016, Biogaz i charakterystyka wybranych metod jego odsiarczania, *Czasopismo Inżynierii Łądowej, Środowiska i Architektury*, t. 33, z. 63, 129-141.

[15] Borek K., 2016, Kierunki rozwoju biogazowni rolniczych w Polsce, *Aura*, 7-8, 21-23.

[16] Kowalska A., 2016, Biogazowy potencjał energetyczny gminy Błaszki, praca dyplomowa inżynierska, IChOiE, Politechnika Łódzka, Łódź.

[17] Gajewski R., 2016, Potencjalna rola plantacji roślin energetycznych w Polsce. Polska Izba Biomasy, Warszawa. http://www.econet-poland.pl/fileadmin/ahk_polneconet/Publikationen/Polska_Izba_Biomasy_08.06.2016.pdf, 25.02.2017 r.

[18] Dahlquist E. (ed.), 2013, *Technologies for Converting Biomass to Useful Energy. Combustion, gasification, pyrolysis, torrefaction and fermentation*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York, Leiden, ISBN 9780415620888.

[19] Artyszak D., 2016, Rośliny energetyczne – charakterystyka podstawowych gatunków i ich wykorzystanie w polskiej energetyce, Konferencja pt. Nowoczesna Energetyka Europy Środkowo-Wschodniej, s. 1-34, Warszawa.

[20] Sadek R., Chałupka K., Bawolak K., Dzwigaj S., 2015, Produkcja biodiesla w procesie transestryfikacji wyższych kwasów tłuszczowych zawartych w olejach roślinnych, *Eliksir*, 1, 23-25.

[21] Van den Berg G. P., 2004, Effects of the wind profile at night on wind turbine sound, *Journal of Sound and Vibration*, 277(4-5), 955-970.

[22] Mroczek B., Kurpas D., Klera M., 2013, Sustainable Development and Wind Farms, *Problemy Ekorozwoju/Problems of Sustainable Development*, 8(2), 113-122.

[23] Żarczyński A., Niedbalska M., Zaborowski M., 2016, Ocena efektywności energetycznej dwóch turbin wiatrowych firmy Vensys, *Eliksir*, 2(4), 27-31.

[24] Sibiński M., 2014, Wykorzystanie instalacji fotowoltaicznych w celu poprawy niezależności energetycznej mleczarni wyposażonej w reaktor biogazowy, *Acta Innovations*, 10, 14-30.

[25] Góralczyk I., Tytko R., 2016, Dobór urządzeń do instalacji solarnej, *Aura*, 1, 23-25.

[26] Nowicki M., 2016, Czy Polska może być geotermicznym

Eldorado?, *Aura*, 12, 25.

[27] Zwolińska A., Kusyk G., 2014, Energia wody – (nie)przyjazna środowisku? *Aura*, 10, 17-19.

[28] Majewski W., 2015, Kompleksowe zagospodarowanie dolnej Wisły szansą dla regionu i Polski, *Gospodarka Wodna*, 2, 47-52.

[29] Cebula J., Wybrane metody oczyszczania biogazu rolniczego i wysypiskowego, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2012.

[30] Żarczyński A., Klemba K., Smolarek T., 2015, II Międzynarodowy Kongres i Targi „Łódzkie Energetyczne 2015”, *Aura*, 9, 23-25.

[31] Berent-Kowalska G., Jurgaś A., Kacprowska J., Moskal I., Energia ze źródeł odnawialnych w 2015 r., Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2016, http://stat.gov.pl/files/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5485/3/10/1/energia_ze_zrodel_odnawialnych_w_2015_roku.pdf, 25.02.2017 r.

[32] De Norre B., Diaz Alonso F., Fetiche Ch., Gikas A., Goerten J., Goll M., Rase D., Struc M., Energy, transport and environment indicators 2016 edition, Eurostat, European Union 2016, <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/7731525/KS-DK-16-001-EN-N.pdf/cc2b4de7-146c-4254-9521-dcbd6e6fafa6>, 25.02.2017 r.

[33] Buczyńska E., Uprawy energetyczne w Polsce, http://swiatoze.pl/aktualnosci/uprawy-energetyczne-w-polsce_61.html, 25.02.2017 r.

[34] Chyc M., Ogonowski J., 2015, Możliwości przemysłowego zastosowania topinamburu, *Przemysł Chemiczny*, 4, 578-582.

[35] Maj G., Piekarski W., Słowik T., 2013, Topinambur (*Helianthus tuberosus*) substratem do produkcji biogazu, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 2, 59-60.

[36] Kacprzak A., Michalska K., Romanowska-Duda Z., Grzesik M., 2012, Rośliny energetyczne jako cenny surowiec do produkcji biogazu. *Kosmos. Problemy Nauk Biologicznych*, 2(61), 281-293.

[37] Kiesel A., Lewandowski I., 2015, *Miscanthus* as biogas substrate – Cutting tolerance and potential for anaerobic digestion. *GCB Bioenergy*, December 2015, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcbb.12330/pdf>, 08.01.2017 r.

[38] Portal Sadowniczy.pl, Mozga trzciniowa, <https://www.sadowniczy.pl/product-pol-42975-Mozga-trzciniowa.html>, 08.03.2017 r.

[39] Bueno Piaz Barbosa D., Nabel M., Jablonowski N.D., 2014, Biogas-digestate as nutrient source for biomass production of *Sida hermaphrodita*, *Zea mays* L. and *Medicago sativa* L., *Energy Procedia*, 59, 120-126.

[40] Gołębiowska U. (red.), 2013, OZE Odnawialne Źródła Energii. Materiał wspierający realizację programu „Odnawialne Źródła Energii” dla uczniów szkół ponadgimnazjalnych, Koszalin. ●

Mirosława Prochoń, Anna Biernacka, Marta Witczak

mirosława.prochon@p.lodz.pl

Instytut Technologii Polimerów i Barwników, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka

Kompozyty ceramiczne jako pełne wykorzystanie zalet ceramiki

Kompozyty typu ceramika – polimer

Popularność materiałów ceramicznych jest wynikiem ich bardzo dobrych właściwości mechanicznych, do których można zaliczyć między innymi odporność na ścieranie i niski współczynnik tarcia. Dodatkową zaletą wykorzystywaną w rozwiązaniach konstrukcyjnych jest dobra odporność na warunki atmosferyczne, a także mały współczynnik rozszerzalności cieplnej. Mocną stroną materiałów ceramicznych jest też ich niska cena oraz biogodność. Wadą, a zarazem podstawowym ograniczeniem w stosowaniu ceramiki na szeroką skalę jest jej kruchość [1,2]. Stąd też podjęto próby łączenia ceramiki z innymi materiałami. Jednym z takich rozwiązań są kompozyty ceramika-polimer. W tego typu układach najczęściej fazę ciągłą stanowi polimer, zaś ceramika w postaci włókien lub wypełniaczy jest zbrojeniem (fazą rozproszoną). Zazwyczaj jako fazę rozproszoną stosuje się krzemionkę, dolomit lub też tlenek glinu [1]. W takich kompozytach zadaniem fazy ceramicznej jest zapewnienie

większej twardości kompozytu, a także polepszenie odporności na ścieranie. Obecność fazy polimerowej umożliwia polepszenie zdolności przenoszenia naprężeń [3].

Zastosowanie kompozytów typu ceramika – polimer

Jednym z wielu obszarów zastosowań kompozytów polimerowo-ceramicznych jest branża stomatologiczna. Są one szeroko stosowane jako wypełnienia ubytków ze względu na bardzo dobre właściwości estetyczne, a także właściwości mechaniczne. W skład materiału wypełniającego oparte go na związkach metakrylanowych wchodzi dodatkowo żywica fotopolimeryzująca stanowiąca osnowę, a także napełniacze nieorganiczne o różnym rozmiarze cząstek (od makrocząstek, aż do cząstek w rozmiarze nano) [4]. Kompozyty ceramiczne mają przewagę nad obecnie stosowanymi wypełnieniami amalgamatowymi, które zawierają toksyczną rtęć, a także wykazują dużą przewodność cieplną,

