

dr inż. Agnieszka PILARSKA

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Instytut Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego

e-mail: pilarska@up.poznan.pl

mgr inż. Kamil WITASZEK, prof. dr hab. inż. Adam KRYSZTOFIK, dr inż. Krzysztof PILARSKI

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Instytut Inżynierii Biosystemów

e-mail: witaszek@up.poznan.pl

# INHIBITORY W PROCESIE FERMENTACJI METANOWEJ

Streszczenie

Fermentacja metanowa (FM) jest procesem biochemicznym, podczas którego z substancji organicznej wytwarzany jest, przy udziale bakterii beztlenowych, biogaz. Proces ten jest jednocześnie jednym z bardziej ekonomicznych i przyjaznych środowisku sposobów zagospodarowania różnego rodzaju odpadów organicznych. Można tutaj wymienić odpady z przemysłu rolno-spożywczego, komunalne, zielone z terenów aglomeracyjnych, osady ściekowe czy odpady pochodzące z rolnictwa, tj.: odpady lignocelulozowe, obornik oraz gnojowicę. FM jest procesem wieloetapowym, w którym wyróżnia się kolejno: hydrolizę, kwasogenezę, octanogenezę oraz metanogenezę. Fermentacja metanowa może zostać zakłócona lub nawet zahamowana z różnych przyczyn. Jedną z nich jest obecność inhibitorów w substratach i mieszaninach biogazowych. Są to substancje, które nawet w niewielkich stężeniach mogą być powodem nieprawidłowej pracy biogazowni. Obecnie rozpoznanych jest bardzo wiele rodzajów inhibitorów procesu FM. W niniejszej pracy zostały przedstawione najczęściej występujące, w postaci: amoniaku, metali ciężkich (Cu, Zn, Pb, Hg, Cr, Cd, Fe, Ni, Co oraz Mo), jonów metali lekkich (Na, K, Mg, Ca), związków organicznych oraz związków lignocelulozowych. Aby fermentacja mogła przebiegać prawidłowo, należy wyeliminować działanie inhibitorów zarówno tych, które dostają się do komory fermentacyjnej z substratem, jak i tych, które generowane są w procesie FM.

**Słowa kluczowe:** inhibitory, fermentacja metanowa, produkcja biogazu

## Wprowadzenie

Fermentacja metanowa (FM) jest procesem biochemicznym, w którym bakterie beztlenowe produkują gaz (zwany biogazem) z substancji organicznej. W skład biogazu wchodzi między innymi metan, dwutlenek węgla oraz śladowe ilości siarkowodoru, amoniaku, pary wodnej i wodoru. Proces może odbywać się w różnych warunkach temperaturowych: psychrofilowych (<20°C), mezofilowych (25-40°C) lub termofilowych (50-65°C). W praktyce najczęściej realizowaną jest fermentacja mezofilowa.

Fermentacja metanowa jest jednym ze sposobów zagospodarowania różnego rodzaju odpadów organicznych. Można tutaj wymienić odpady z przemysłu rolno-spożywczego, komunalne, zielone z terenów aglomeracyjnych [1], osady ściekowe [2], odpady pochodzące z rolnictwa, tj.: odpady lignocelulozowe [3], obornik oraz gnojowicę [4]. FM jest procesem wieloetapowym, w którym wyróżnia się kolejno: hydrolizę, kwasogenezę, octanogenezę oraz metanogenezę [5]. W typowej biogazowni wymienione etapy przebiegają w jednym fermentorze. Bakterie z poszczególnych etapów wymagają różnych warunków środowiskowych, stąd ważne jest znalezienie odpowiedniego kompromisu. Bakterie biorące udział w metanogenezie są najbardziej wrażliwe na zakłócenia, a ich namnażanie przebiega bardzo wolno, dlatego warunki panujące w fermentorze należy dostosować właśnie do nich.

Fermentacja metanowa może zostać zakłócona lub nawet zahamowana z różnych przyczyn. Taką przyczyną mogą być błędy operatora instalacji biogazowej, wynikające z braku doświadczenia oraz niewiedzy lub problemy techniczne. Drugą przyczyną jest obecność inhibitorów w substratach i mieszaninach biogazowych. Są to substancje, które nawet w niewielkich stężeniach są powodem nieprawidłowej pracy biogazowni. Inhibitory mogą być dostarczone do fermentora z podłożem (związki organiczne, metale ciężkie) lub mogą powstawać w procesach biochemicznych, zachodzących wewnątrz fermentora podczas FM (amoniak  $\text{NH}_3$ , siarkowódór  $\text{SO}_2$ ). Inhibitory nawet w niewielkich stężeniach powodują zaburzenie w pracy biogazowni [6].

## Rodzaje inhibitorów

Obecnie znanych jest wiele rodzajów inhibitorów procesu fermentacji metanowej. W niniejszej pracy zostały przedstawione

najczęściej występujące, takie jak: siarczki, amoniak, metale ciężkie, jony metali lekkich, związki organiczne oraz związki powstałe podczas obróbki termiczno-ciśnieniowej substratów lignocelulozowych.

### Siarczki

Siarczki ( $\text{S}^2$ ;  $\text{H}_2\text{S}$ ) są związkami powszechnie występującymi w: osadach ściekowych, poddawanych beztlenowemu oczyszczaniu [7], odpadach z garbarni, przemysłu petrochemicznego oraz w odpadach z rzeźni. Bakterie, które biorą udział w tworzeniu siarczków z siarczanów ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), to bakterie redukujące siarczany (*Sulfate Reducing Bacteria*, SRB). *Sulfate Reducing Bacteria* odgrywają rolę jako inhibitor w czwartym etapie FM, czyli w metanogenezie. Doświadczenia dowiodły, że działanie inhibujące SRB związane jest z konkurencją o węgiel oraz wodór z bakteriami metanowymi. Jednym z siarczków hamujących proces fermentacji anaerobowej jest siarczek w formie niezdysonowanej, czyli siarkowódór ( $\text{H}_2\text{S}$ ), powstający w reakcji siarczanu  $\text{SO}_4^{2-}$  z wodorem ( $\text{H}_2$ ) lub z kwasem octowym. Siarkowódór ze względu na swoją obojętną postać, może łatwo przenikać przez błony komórkowe. Ponadto wykazuje dużą reaktywność z komórkami bakterii anaerobowych, które biorą udział w tworzeniu metanu [7]. Oprócz tego, siarczki uczestniczą w denaturacji białka na skutek powstawania wiązań poprzecznych między łańcuchami polipeptydowymi, co prowadzi do zatrzymania produkcji enzymów metabolicznych w komórkach. Siarczki mogą także wpływać na asymilację siarki i wewnątrzkomórkowe pH. Stężenia, które powodują zahamowanie procesu lub jego inhibicję, to dla  $\text{H}_2\text{S}$  wartości powyżej 50 mg/l, dla  $\text{S}^2$  od 100 mg/l, natomiast dla  $\text{Na}_2\text{S}$  od 160 mg/l. Jeżeli w fermentorze występują bakterie tolerujące wyższe stężenia siarczków, to graniczne, inhibujące proces wartości stężeń, będą osiągały nawet do 600 mg/l dla  $\text{Na}_2\text{S}$  i 1000 mg/l w przypadku  $\text{H}_2\text{S}$  [5].

### Amoniak

Amoniak jest niezbędnym składnikiem odżywczym dla bakterii anaerobowych, jednak w wysokich stężeniach inhibuje proces fermentacji beztlenowej. Azot amonowy powstaje w wy-

niku fermentacji związków azotowych, takich jak mocznik oraz białka. Jego formowanie towarzyszy zatem rozkładowi każdego rodzaju substratu i niezwykle trudno jest wyeliminować jego obecności w procesie FM. Wyróżniamy dwie formy azotu amonowego. Pierwszą jest postać jonowa czyli jon amonowy  $\text{NH}_4^+$ , który jest mniej toksyczny od drugiej postaci azotu, czyli amoniaku  $\text{NH}_3$ . Podczas fermentacji odpadów z hodowli zwierząt gospodarskich, gnojowicy czy obornika, powstają znaczne ilości azotu amonowego, co prowadzi do podwyższenia odczynu pH i niekorzystnie wpływa na rozwój oraz aktywność mikroorganizmów metanogennych. Konsekwencją działania amoniaku będzie zatem obniżenie produkcji metanu. Badania naukowe wykazują, że stężenie azotu amonowego w zakresie od 1,7 do 14 g  $\text{NH}_3\text{-N/l}$  powoduje zmniejszenie produkcji metanu nawet o 50% [8]. Na niekorzystny wzrost ilości amoniaku, obok pH, wpływa również temperatura fermentacji metanowej. Im wyższa temperatura FM, tym szybciej zachodzi przemiana materii, a tym samym wzrasta stężenie amoniaku. Naukowcy dowiedli, że fermentacja odpadów o dużym stężeniu amoniaku przebiega bardziej stabilnie w warunkach mezofilowych, aniżeli w termofilowych [9].

### Metale ciężkie

ródłem metali ciężkich są przede wszystkim osady ściekowe oraz odpady komunalne, które są często wykorzystywane jako substrat biogazowy. Wyróżniamy następujące metale ciężkie: kadm (Cd), miedź (Cu), żelazo (Fe), ołów (Pb), cynk (Zn), rtęć (Hg), molibden (Mo), chrom (Cr), nikiel (Ni), kobalt (Co) [10]. Metale ciężkie oprócz tego, że są inhibitorami procesu FM, pełnią również rolę substancji potrzebnych do prawidłowego działania enzymów, koenzymów wytwarzanych przez bakterie anaerobowe. To, jaką rolę metale ciężkie będą pełniły w FM, zależy od ich stężenia w bioreaktorze. Metale ciężkie nie ulegają procesowi biodegradacji, dlatego mogą z łatwością gromadzić się w fermentorze. Graniczne stężenia, inhibujące proces FM dla wolnych jonów metali wynoszą odpowiednio od: 10 mg/l Ni, 40 mg/l Cu, 130 mg/l Cr, 340 mg/l Pb, 400 mg/l Zn, natomiast dla metali w formie węglanowej od: 160 mg/l Zn, 170 mg/l Cu, 180 mg/l Cd, 530 mg/l  $\text{Cr}^{3+}$ , 1750 mg/l Fe [5]. Metale ciężkie w zbyt dużych stężeniach zaburzają czynności enzymów.

Uważa się, że bakterie kwasotwórcze są bardziej odporne na inhibujące działanie metali ciężkich, niż bakterie metanogenne. Metale ciężkie wykazują działania antagonistyczne lub synergiczne. Synergizm przejawia się tym, że niektóre metale są bardziej toksyczne w obecności niewielkich ilości innych metali ciężkich. Antagonizm natomiast polega na tym, że metale ciężkie w obecności innego metalu ciężkiego są mniej toksyczne dla bakterii anaerobowych. Przykładem takiego zachowania może być nikiel (Ni), który działa synergicznie z metalami takimi jak miedź (Cu), rtęć (Hg) oraz kobalt (Co) i antagonistycznie z metalami takimi jak cynk Zn oraz kadm Cd.

Metody, które zmniejszają toksyczność metali ciężkich, to wytrącanie, sorpcja oraz chelatacja, za pomocą związków organicznych (np. aminy, alkohole, fenole, fosfiny, etery) i nieorganicznych (np.  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ , Cl, CN) oraz ligandów [11].

Siarczki to związki, które są również stosowane do wytrącania metali ciężkich. Jednak zbyt duża ilość siarczków w mieszaninie biogazowej może doprowadzić do inhibicji FM. Ponadto sorpcja metali ciężkich, czyli zmniejszenie ich toksyczności, może odbywać się za pomocą: węgla aktywnego, kaolinu, bentonitu, ziemi okrzemkowej, a nawet kompostu czy miazgi celulozowej.

### Jony metali lekkich

Do metali lekkich, które mogą toksycznie wpływać na fermentację beztlenową, zalicza się: sód (Na), potas (K), magnez (Mg) oraz wapń (Ca). Jony metali lekkich mogą powstawać w procesie rozkładu substancji organicznej w bioreaktorze, bądź są wprowadzane do bioreaktora jako związki chemiczne, służące regulacji pH lub jako odpady przemysłowe. Jony metali lekkich w niskich

stężeniach korzystnie wpływają na bakterie biorące udział w FM. Natomiast w zbyt wysokich stężeniach inhibują proces. Graniczne stężenia jonów metali lekkich to: sód 6-30 g/l (w przystosowanych kulturach do 60 g/l), potas od 3 g/l, wapń od 2,8 g/l  $\text{CaCl}_2$ , magnez od 2,4 g/l  $\text{MgCl}_2$  [5].

Wapń jest metalem niezbędnym do wzrostu bakterii metanogennych, poza tym bierze udział w tworzeniu agregatów bakteryjnych. Natomiast potas może dostawać się do bioreaktora razem z melasą. Niskie stężenie potasu do 400 mg/l, powoduje zwiększenie wydajności metanowej, zarówno w warunkach mezofilowych, jak i termofilowych. Podwyższone działanie toksyczne potasu wykazano z kolei w warunkach termofilowych [8].

### Związki organiczne

Fermentacja metanowa inhibitowana jest nie tylko przez związki nieorganiczne, ale także przez organiczne związki w postaci: halogenowanych węglowodorów alifatycznych, chlorofenoli oraz długołańcuchowych kwasów tłuszczowych. Związki organiczne dostają się do fermentora wraz z substratem poddawanym fermentacji. Ich toksyczność zależy od wielu czynników, m.in.: stężenia związku powodującego inhibicję procesu i jego podatności na biodegradowanie, stężenia biomasy w fermentorze, wieku bakterii anaerobowych, aklimatyzacji bakterii metanogennych oraz temperatury procesu FM. Związki, które są łatwo biodegradowalne, w małych stężeniach nie powodują inhibicji FM. Komora fermentacyjna o wyższym stężeniu biomasy jest mniej podatna na toksyczność związków organicznych, w porównaniu z fermentorem o niższej zawartości biomasy. Również młodsze hodowle bakterii anaerobowe wykazują większą odporność na toksyczne działanie substancji organicznych - w porównaniu ze starszymi [8].

Halogenowane węglowodory alifatyczne (HWA), to m.in.: fluorowce, bromowce oraz chlorowce. Są szeroko rozpowszechnione w przemyśle chemicznym. Obecne są w rozpuszczalnikach, półproduktach chemicznych, środkach owadobójczych, farbách i lakierach, wyrobach włókienniczych, wyrobach z gumy, tworzywach sztucznych, barwnikach. Pośród HWA, bromowce wykazują większą toksyczność względem bakterii metanogennych, niż chlorowce [12]. Do najczęściej występujących w środowisku naturalnym HWA zaliczane są polichlorowane węglowodory alifatyczne, jak: chloroform ( $\text{CHCl}_3$ ), chlorek metylu ( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ), trichloroetylen ( $\text{C}_2\text{HCl}_3$ ) oraz perchloroetylen ( $\text{C}_2\text{Cl}_4$ ). Naukowcy udowodnili, że chloroform najbardziej inhibuje proces FM w stężeniu 0,09 mg/l, chlorek metylu jest toksyczny dla metanogenów w ilości 3,9 mg/l, trichloroetylen - 18 mg/l, natomiast perchloroetylen - 14,5 mg/l [12].

Chlorofenole są związkami stosowanymi w przemyśle produkującym farby i lakiery oraz w przemyśle produkującym pestycydy, herbicydy oraz fungicydy [13]. Wyróżnia się następujące rodzaje chlorofenoli: monochlorofenol (MCF), dichlorofenol (DCF), trichlorofenol (TCF), tetrachlorofenol (TeCF) i pentachlorofenol (PCF). Działanie chlorofenoli ma charakter inhibujący dla procesu FM, należy jednak zaznaczyć, że ich toksyczność ściśle zależy od położenia chloru w cząsteczce, liczby podstawników chloru, jak również od stężenia związku w bioreaktorze. Im więcej podstawników chloru, tym bardziej niekorzystne działanie tych związków. Stąd, najbardziej toksycznym jest PCF, najmniej natomiast MCF. W przypadku PCF, już dawka wynosząca 0,5-10 mg/l inhibuje aktywność bakterii kwasogennych oraz metanogennych [12].

Do długołańcuchowych kwasów tłuszczowych (DKT) zaliczane są następujące kwasy: oleinowy, laurynowy, kaprylowy, kaprynowy, mirystynowy, palmitynowy oraz stearynowy. Wśród substratów, zawierających znaczną ilość tych kwasów, wyróżnia się: olej oraz tłuszcze odpadowe, odpady z lodziarni, ścieki z przemysłu mleczarskiego, odpady rybne, odpady poubojowe, odpady roślinne oraz odpady z przemysłu rolno-spożywczego. Wszystkie te substraty charakteryzują się dużą wydajnością biogazową, jednak zbyt duże obciążenie tymi substratami komory

fermentacyjnej, prowadzi do inhibicji, a w skrajnych przypadkach do zatrzymania procesu FM. Toksyczne działanie DKT zależy od warunków temperaturowych procesu FM. W warunkach mezofilowych toksyczność kwasów jest mniejsza, niż w warunkach termofilowych, co jest związane z większą dynamiką przebiegu procesu w podwyższonej temperaturze. Podczas fermentacji termofilowej kwas oleinowy, kwas palmitynowy oraz stearynowy wykazują najbardziej toksyczne działanie względem bakterii anaerobowych [12]. Kwas kaprylowy, mirystynowy z kolei, zakłócają proces w niewielkim stopniu. Większą toksycznością, zgodnie z doniesieniami, odznacza się kwas laurynowy [8].

*Związki po obróbce termiczno-ciśnieniowej substratów lignocelulozowych.*

Obróbka termiczno-ciśnieniowa (ekstruzja, *steam explosion*) materiału lignocelulozowego stosowana jest w celu przyspieszenia etapu hydrolizy, a docelowo poprawy wydajności procesu fermentacji metanowej. Podczas obróbki wstępnej tego rodzaju biomasy (lignina, celuloza, hemiceluloza) uwalniane są związki w postaci: furfuralu, hydroksymetylofurfuralu oraz związki fenolowe, które są inhibitorami procesu FM. Związki te powstają w warunkach wysokiej temperatury oraz wysokiego ciśnienia. Jak pokazują wyniki przeprowadzonych badań, po określonym czasie aklimatyzacji, odmiennym dla każdego z wymienionych inhibitorów, bakterie anaerobowe są zdolne przystosować się do warunków panujących w bioreaktorze (obecności powstałych inhibitorów), a nawet do strawienia niekorzystnie wpływających produktów rozkładu materiału lignocelulozowego [14].

#### Przeciwdziałanie powstawaniu inhibitorów i ich usuwanie

W celu zapewnienia prawidłowego i efektywnego przebiegu fermentacji metanowej, należy przeciwdziałać powstawaniu inhibitorów, zarówno tych, które dostają się do komory fermentacyjnej z substratem, jak i tych, które uwalniane są podczas procesu FM. Znanych jest kilka metod, pozwalających na zmniejszenie zawartości inhibitorów w substracie. Pierwszą z nich jest intensywne napowietrzanie, np.: gnojowicy, w celu usunięcia amoniaku. Drugą grupą metod są metody chemiczne (koagulacja, utlenianie, oraz wytrącanie) realizowane za pomocą związków chemicznych dodawanych do substratów. Trzecią metodę, przykładowo względem siarczków, stanowi konwersja biologiczna (częściowe utlenianie do elementarnej siarki), natomiast w przypadku chlorofenoli PCP - biologiczne odchlorowanie [8]. Innymi, opisanymi w literaturze sposobami, jest dodanie do fermentora wymienniczy jonowych lub adsorbantów (zeolit i glaukonit), które usuwają związki inhibujące. W celu zmniejszenia toksyczności inhibitorów stosuje się niekiedy rozcieńczanie biomasy. Zabieg

ten może jednak prowadzić do znacznego zwiększenia objętości substratów, co z logistycznego i ekonomicznego punktu widzenia ich zagospodarowania jako wsadu do biogazowni, bywa niekorzystne.

#### Podsumowanie

Fermentacja metanowa jest skuteczną metodą przetwarzania odpadów organicznych, wykorzystującą naturalny rozkład bez-tlenowy, przy jednoczesnym wytwarzaniu biogazu. W zależności od pochodzenia, substraty mogą zawierać różnego rodzaju inhibitory, a nawet toksyczne substancje, takie jak: amoniak, siarkowódór, metale ciężkie czy związki organiczne, których działanie może powodować zakłócenia procesu i ograniczoną produkcję biogazu. Wiedza na temat inhibitorów jest istotna w wyborze analiz substratu, wykonywanych przed jego wykorzystaniem jako wsadu do biogazowni. Obecnie znane są metody adaptacji mikroorganizmów do obecności związków hamujących ich rozwój oraz aktywność, jak również sposoby usuwania i przeciwdziałania powstawaniu inhibitorów.

#### Bibliografia

- [1] Witaszek K., Pilarski K., Janczak D., Czekala W., Lewicki A., Rodriguez Carmona P.C., Dach J., Mazur R.: The possibilities of green wastes from urban areas management for energetic and fertilizer purposes. *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska*, 2013, vol. 15, No. 4, s. 21-28.
- [2] Pilarska A., Pilarski K., Krysztofiak A., Dach J., Witaszek K.: Impact of additives on biogas efficiency of sewage sludge. *Agricultural Engineering (Agric. Eng.)*, 2014, vol. 3(151), p. 139-148.
- [3] Pilarska A., Pilarski K., Witaszek K., Dukiewicz H., Dobrzański K.: Preliminary research on thermal treatment of maize silage on biogas production, 2015 (accepted for publication).
- [4] Pilarski K., Witaszek K., Dach J., Janczak D.: Wpływ ilości zaszczepki bakteryjnej na długość rozruchu biogazowni. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*, 2012, Nr 5, s. 23-25.
- [5] Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. *Biogaz. Produkcja. Wykorzystywanie*, 2005, s. 9-10.
- [6] Witaszek K., Pilarski K., Czekala W., Mazur R.: Zasady doboru substratów do biogazowni rolniczej. *Instal. Teoria i praktyka w instalacjach*, 2013, Nr 5, s. 14-16.
- [7] O'Flaherty V., Mahony T., O'Kennedy R., Collieran E.: Effect of pH on growth kinetics and sulphide toxicity thresholds of a range of methanogenic, syntrophic and sulphate-reducing bacteria. *Process Biochem.* 1998, vol. 33 (5), p. 555-569.
- [8] Chen Y., Cheng J.J., Creamer K.S.: Inhibition of anaerobic digestion process: a review. *Bioresource Technology*, 2008, vol. 99, p. 4044-4064.
- [9] Braun B., Huber P., Meyrath J.: Ammonia toxicity in liquid piggery manure digestion. *Biotechnology Letters*, 1981, vol. 3, p. 159-164.
- [10] Altas L.: Inhibitory effect of heavy metals on methane-producing anaerobic granular sludge. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, vol. 162, p. 1551-1556.
- [11] Oleszkiewicz J.A., Sharma V.K.: Stimulation and inhibition of anaerobic process by heavy metals - a review. *Biological Wastes*, 1990, vol. 31, p. 45-67.
- [12] Chen J. L., Ortiz R., Steele T.W.J., Stuckey D.C.: Toxicants inhibiting anaerobic digestion: A review. *Biotechnology Advances*, 2014, vol. 32, p. 1523-1534.
- [13] Dmitruk U., Zbieć E., Dojlido J.: Występowanie i oznaczanie chlorofenoli w środowisku wodnym. *Ochrona Środowiska*, 2006, Nr 3, s. 25-28.
- [14] Zheng Y., Zhao J., Xu F., Li Y.: Pretreatment of lignocellulosic biomass for enhanced biogas production. *Progress in Energy and Combustion Science*, 2014, vol. 42, p. 35-53.

## INHIBITORS IN ANAEROBIC DIGESTION PROCESS

### Summary

*Anaerobic digestion (AD) is a biochemical process to obtain gas, also termed biogas, from organic matter by means of anaerobic bacteria. The process is a highly cost-effective and environmentally-friendly method to dispose of all kinds of organic waste, including food processing waste, domestic waste, green waste formed in urban areas, sewage sludge, as well as agricultural-production waste: lignocellulose, solid and liquid manure. Anaerobic digestion comprises the following, consecutive steps: hydrolysis, acidogenesis, acetogenesis, and methanation. The process can be disturbed or even inhibited, for instance by the presence of inhibitors in the substrates and biogas mixtures. Inhibitors are substances which, when present even at low concentrations, tend to disturb the biogas plant operation. A number of inhibitors have been identified so far as those affecting the anaerobic digestion process. The most frequently encountered inhibitors are discussed in this paper; including: ammonia, heavy metals (Cu, Zn, Pb, Hg, Cr, Cd, Fe, Ni, Co, and Mo), light metal ions (Na, K, Mg, and Ca), organic compounds and lignocellulose compounds. In order that anaerobic digestion proceeds in the desirable way, the inhibition effect must be eliminated: this refers both to the inhibitors entering the digester with the substrate and those being generated during the AD process.*

**Key words:** inhibitors, anaerobic digestion, biogas production

*Pracę zrealizowano w ramach grantu badawczego NCN nr N N313 432539: „Ocena wartości nawozowej i wpływu na glebę pulpy pofermentacyjnej powstałej w procesie wytwarzania biogazu z wykorzystaniem różnych substratów organicznych”.*