

OSADY ŚCIEKOWE JAKO PALIWO ODNAWIALNE

Autorzy: Bogdan Kosturkiewicz, Aneta Magdziarz, Małgorzata Wilk

(„Rynek Energii” – październik 2011)

Słowa kluczowe: osady ściekowe, zagospodarowanie odpadów, brykietowanie, termiczna utylizacja

Streszczenie. Znaczący postęp w zakresie technologii oczyszczania ścieków komunalnych oraz zainwestowanie w ochronę wód powierzchniowych powoduje, że niezwykle szybko rośnie ilość osadów wytwarzanych przy oczyszczaniu ścieków komunalnych. Obecnie w znacznej mierze zasilają one istniejące wysypiska. Mając na uwadze zobowiązania Polski, wynikające z przyjęcia Traktatu Akcesyjnego, dotyczące uporządkowania gospodarki odpadami jednym z pierwszoplanowych zadań jest ich przeróbka i zagospodarowanie np. utylizacja termiczna. Nabiera ona szczególnego znaczenia, gdyż najpopularniejsza metoda zagospodarowania – składowanie – w krótkiej perspektywie czasowej będzie musiała być zaniechana z uwagi na obowiązek znaczącej redukcji odpadów komunalnych ulegających biodegradacji. W drastyczny sposób wzrastają także koszty składowania odpadów, a i możliwość rolniczego zagospodarowania osadów jest mocno ograniczona m. in. ze względu na obecność w nich metali ciężkich. W systemie gospodarki odpadami, termiczne ich przekształcanie można zatem analizować nie tylko jako metodę pozyskania energii, lecz także jako sposób chemicznego unieszkodliwiania odpadów.

1. WSTĘP

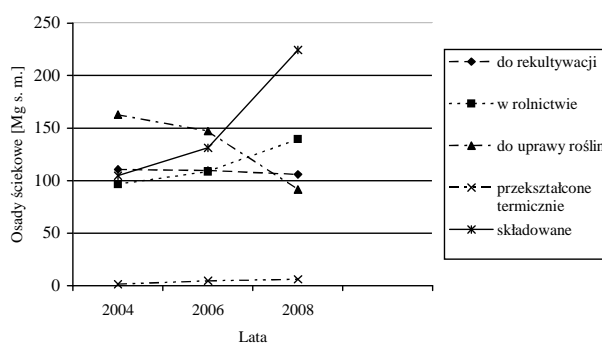
Rozwój przemysłu, wzrost produkcji, a tym samym zwiększenie zapotrzebowania na energię przyczynia się do korzystania z innych źródeł energii niż konwencjonalne (węgiel kamienny czy gaz ziemny). Zanieczyszczenie atmosfery wymusza politykę propagowania alternatywnych źródeł energii, które będą mniej szkodliwy środowisku. Zagospodarowanie odnawialnych źródeł energii stało się więc istotnym elementem przemysłu energetycznego. Tematyką odnawialnych źródeł energii, a w szczególności biomasy od kilku lat zainteresowane są nie tylko ośrodki naukowe w kraju i na świecie, w których prowadzi się liczne badania, ale również inwestorzy małych i średnich przedsiębiorstw. Biomasa stanowi zatem jedno z najbardziej dostępnych odnawialnych źródeł energii (OZE) w Polsce. W rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 23 lutego 2010 roku w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii, zdefiniowano pojęcie biomasy w sposób następujący: „biomasa to stałe lub ciekłe substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, które ulegają biodegradacji, pochodzące z produktów, odpadów i pozostałości z produkcji rolnej oraz leśnej, a także przemysłu przetwarzającego ich produkty, a także części pozostałych odpadów, które ulegają biodegradacji oraz ziarna zbóż niespełniające wymagań jakościowych dla zbóż w zakupie...”. Terminem biomasa określa się więc substancje, które są wytwarzane w naturalnych procesach biologicznych. Biomasa wykorzystywana na cele energetyczne to głównie drewno i odpady z przerobu drewna, rośliny pochodzące z upraw energetycznych, produkty rolnicze i odpady organiczne, odpady komunalne i osady ściekowe [6,7,12]. W związku z dostosowywaniem polskiego prawa do prawa Unii Europejskiej w ostatnim okresie większość aktów prawnych została gruntownie zmieniona. Dyrektywa Rady 99/31/WE w sprawie składowisk odpadów opisuje wymagania techniczno-eksploatacyjne dotyczące odpadów i składowisk ziemnych. Według niej zabrania się składowania odpadów płynnych oraz w zdecydowany sposób ogranicza składowanie substancji organicznych. Dotychczas w Polsce ponad 70 % osadów ściekowych było unieszkodliwianych poprzez umieszczenie ich na składowisku odpadów. Zgodnie z w/w Dyrektywą, ewentualne korzystanie w Polsce z dotychczasowej formy składowania odpadów płynnych wymaga zastosowania takiej technologii, która pozwoliłaby na zmniejszenie zawartości substancji organicznych w osadach. Głównym problemem zagospodarowania osadów ściekowych jest wciąż metoda ich składowania oraz praktycznie brak instalacji do termicznego

ich przekształcania. Termiczne metody utylizacji osadów ściekowych wymagają osuszania, stabilizacji i odwadniania oraz przygotowania materiału do procesu spalania. Przed procesem suszenia osady poddawane są zagęszczeniu w sposób naturalny lub mechaniczny [2,5,7,13,18].

Podstawowym celem niniejszej pracy jest pogłębienie wiedzy z zakresu możliwości zagospodarowania osadów ściekowych jako paliwa. Ilość osadów ściekowych oraz charakterystyka fizyczno-chemiczna są istotnym problemem dla eksploatatora oczyszczalni ścieków. Procesy przeróbki osadów stanowią bowiem często ponad 30 % kosztów eksploatacji całej oczyszczalni. Do niedawna problematyka gospodarki osadowej była mało postrzegana i niedoceniana a według Krajowego Planu Gospodarki Odpadami [16] na terenie Polski powstało w 2008 roku ok. 567,3 tys. Mg suchej masy osadów ściekowych. Istotną barierą w ich zagospodarowania jest wysoki stopień uwodnienia osadów ściekowych dochodzący nawet do 80 %. W niniejszej pracy podjęto próbę oceny celowości termicznego przekształcania tego odpadu.

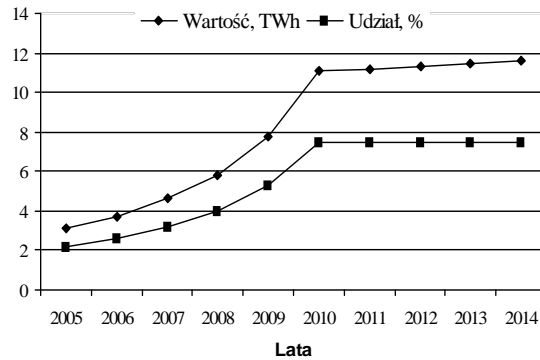
2. PROBLEMATYKA ZAGOSPODAROWANIA OSADÓW ŚCIEKOWYCH

Komunalne osady ściekowe są obecnie wykorzystywane do rekultywacji terenów, w rolnictwie, do uprawy roślin, część z nich jest przekształcana termicznie, a reszta składowana. Ten ostatni sposób jest najmniej pożądaną metodą zagospodarowania osadów ściekowych. Według Krajowego Planu Gospodarki Odpadami [16] w 2008 roku składowanych było blisko 92 tys. Mg s. m. (16,1 %) całkowitej masy osadów wytworzonych w komunalnych oczyszczalniach ścieków na terenie Polski. Pomimo, że odnotowano znaczący postęp, w stosunku do poprzednich kilku lat, w zakresie proekologicznego zastosowania tych odpadów, to problemu ich składowania w dalszym ciągu nie wolno bagatelizować. Ten wyżej wymieniony sposób postępowania z osadami ściekowymi jest bowiem znaczącym źródłem emisji metanu, jednego z najgroźniejszych gazów cieplarnianych. Konieczne jest zatem zwiększanie roli wszelkich metod zagospodarowywania osadów ściekowych, w tym przekształcania termicznego. W 2008 roku w ten właśnie sposób zutylizowano 6 tys. Mg s. m. wymienionych wyżej odpadów, czyli ponad czterokrotnie więcej, niż w roku 2004 (rys.1).



Rys.1. Sposób zagospodarowania komunalnych osadów ściekowych w latach 2004, 2006 i 2008 wg [16]

Zgodnie z dyrektywą Nr 2001/77/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 27 września 2001 r. w sprawie wspierania produkcji na rynku wewnętrznym energii elektrycznej wytwarzanej ze źródeł odnawialnych [4] przewidywany udział procentowy energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnych źródłach energii, znajdujących się na terytorium Polski, w całkowitym krajowym zużyciu energii elektrycznej w najbliższych latach wyniesie 7,5% (rys.2). Zakłada się również, że 4% tej energii zostanie wytworzone z biomasy, w tym z termicznego przekształcenia odpadów komunalnych.



Rys. 2. Energia elektryczna z OZE w Polsce (aktualny plan – zgodny w 2010 r. z dyrektywą Nr 2001/77/WE) [4]

Komunalne osady ściekowe mogą być termicznie przekształcane w spalarniach lub współspalarniach odpadów (m. in. w cementowniach). Przewiduje się [16], że w najbliższym czasie zostaną zrealizowane inwestycje obejmujące budowę instalacji do suszenia i termicznego przekształcania komunalnych osadów ściekowych, które będą mogły zagospodarować 189 tys. Mg/rok s. m. tych odpadów, czyli ponad dwukrotnie więcej niż obecnie.

Minimalizacja zagrożeń środowiskowych oraz ułatwienie transportu osadów wymaga nadania temu odpadowi postaci kawałkowej. Mając powyższe na uwadze, w ostatnich kilku latach, w Katedrze Systemów Wytwarzania AGH przeprowadzono badania, mające na celu opracowanie technologii scalania komunalnych osadów ściekowych. Efektem tych prac było m. in. wyznaczenie procedur obliczeniowych wskaźników pomocnych przy opracowaniu biznes planu oraz bilansu energetycznego [9,10].

3. ANALIZA OSADÓW ŚCIEKOWYCH POCHODZĄCYCH Z OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW W BOCHNI

Oczyszczalnia ścieków w Bochni odprowadza ścieki do odbiornika rzeki Raba na podstawie Pozwolenia Wodnoprawnego z dnia 23 sierpnia 1976 roku wydanego przez Urząd Wojewódzki w Tarnowie (w oparciu o rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub do ziemi z dnia 5 listopada 1991 roku). Średnie stężenie zanieczyszczeń w odprowadzanych ściekach podano w tabeli 1.

Rocznie oczyszczalnia przyjmuje około 1013,4 tys. m³ ścieków, z czego produkuje około:

- 800 Mg osadów ściekowych o uwodnieniu 60-70%,
- 10 Mg piasku z piaskowników,
- 50 Mg skratek.

Tabela 1 Średnie stężenie zanieczyszczeń w odprowadzanych ściekach z oczyszczalni ścieków w Bochni

L.p.	Zanieczyszczenie	Stężenie	Wielkość redukcji zanieczyszczeń, %
1	BZT ₅	4,0 mg O ₂ /l	98,75
2	CHZT	33,9 mg O ₂ /l	94
3	Zawiesina ogólna	15,2 mg/l	92
4	Azot ogólny	27,0 mg N/l	65
5	Fosfor ogólny	1,0 mg P/l	96,15

3.1. Badania fizykochemiczne osadów ściekowych

Komunalne osady z oczyszczania ścieków zawierają dużo substancji organicznych oraz różne ilości metali ciężkich i chorobotwórczych organizmów. Chemizm osadów ściekowych wykazuje dużą różnorodność i zmienność powodowaną przez biochemiczne przemiany w czasie. Do badań wybrano osady ściekowe pochodzące z Oczyszczalni Ścieków Miejskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji sp. z o.o. w Bochni. Osady ściekowe oceniono pod kątem ich przydatności do termicznego przekształcania. W tym celu przeprowadzono badania podstawowych własności fizycznych i chemicznych. Określono skład elementarny osadów ściekowych, zawartości pierwiastków śladowych (tabela 2) oraz skład popiołu (tabela 3). Zawartości pierwiastków śladowych oraz skład popiołu wykonano metodami powszechnie stosowanymi w chemii analitycznej z wykorzystaniem analizy instrumentalnej. Głównym składnikiem palnym w badanych osadach ściekowych jest węgiel. Całkowita zawartość substancji organicznej (C, H, S) wynosi 43,7 %. Porównując z danymi literaturowymi [13] badane osady zawierają stosunkowo dużą ich ilość, co sugeruje, że mogą być stosowane jako paliwo. Osady ściekowe zawierają oczywiście te składniki, które występują w odpadach komunalnych, a więc metale śladowe, których stężenie może być większe niż w surowych odpadach. Wśród pierwiastków śladowych najwięcej jest cynku, a następnie miedzi i ołowiu. Należy podkreślić, że w badanych osadach ściekowych zawartość szkodliwych metali ciężkich (Pb, Cd, Hg) jest niska [5,13]. Stwierdza się, że pod względem zawartości substancji szkodliwych na jednostkę energii, osady te charakteryzują się odpowiednimi własnościami, które umożliwią ich termiczną utylizację w kotłowniach przemysłowych, ciepłowniach i elektrowniach.

Tabela 2 Własności fizykochemiczne badanych osadów ściekowych po prasie odwadniającej

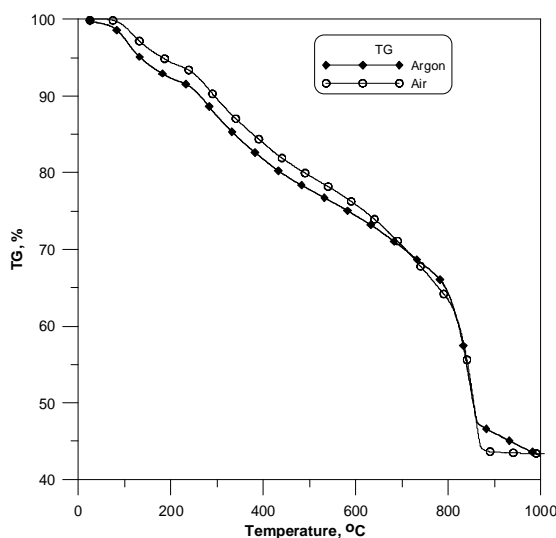
Oznaczenie	Wartość
Zawartość substancji organicznej, % s.m	43,7
Azot, % s.m.	2,9
Fosfor, % s.m.	3,3
Wapń, % s.m.	2,4
Magnez, % s.m.	0,33
Ołów, mg/kg s.m.	75,6
Kadm, mg/kg s.m.	3,6
Rtęć, mg/kg s.m.	0,6
Nikiel, mg/ kg s.m.	22,8
Cynk, mg/kg s.m.	1183
Miedź, mg/kg s.m.	103
Chrom, mg/kg s.sm.	36,1

W tabeli 3 przedstawiono wyniki analizy popiołu. Zawartość poszczególnych tlenków w popiele jest zróżnicowana pod względem ilościowym. Zawartość SiO_2 i Al_2O_3 jest największa, podczas gdy zawartość CaO , P_2O_5 i Fe_2O_3 jest zdecydowanie niższa. Metale alkaliczne oraz chlor i siarka uwalniane podczas procesu spalania mogą być przyczyną korozji wysokotemperaturowej, będącej podstawowym problem eksploatacji kotłów na paliwa odnawialne. Oceniając osady pod względem ich korozyjności stwierdzono, że mogą wywoływać niewielkie zagrożenie korozyjne.

Tabela 3 Skład chemiczny popiołu z osadów ściekowych

Składnik,	Zawartość, %
SiO_2	32,93
CaO	5,56
MgO	0,98
Fe_2O_3	2,24
Cl (chlorki)	2,32
Al_2O_3	23,41
P_2O_5	0,42
Na_2O	0,73
K_2O	1,75

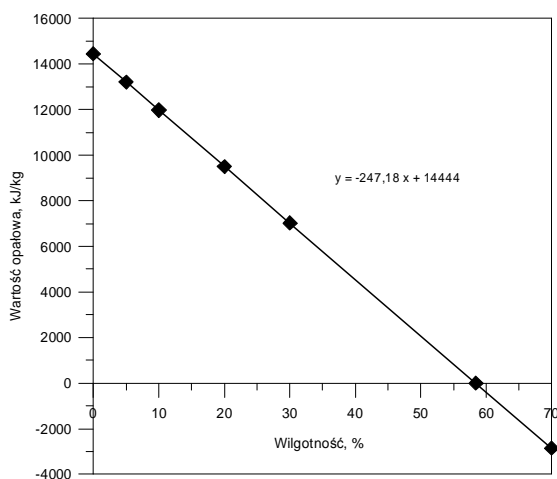
Analiza termogravimetryczna jest jedną z metod instrumentalnych wykorzystywanych w analizie osadów ściekowych [4,9,10]. Badania termogravimetryczne (TG) wykonano przy użyciu analizatora NETZSCH STA Jupiter 449F3. Otrzymane krzywe TG pozwoliły na analizę procesu utleniania osadów ściekowych (rys. 3). Warunki prowadzenia analizy termogravimetrycznej: atmosfera - powietrze i argon, szybkość grzania próbki - $10^\circ\text{C}/\text{min}$, tygle typu Alumina Al_2O_3 , przepływ gazu reakcyjnego – 40 ml/s. Ubytek masy przedstawia krzywa TG, powstała podczas ogrzewania próbki osadów ściekowych w atmosferze powietrza i w argonie. Można zauważyć, że rozkład termiczny uzyskany w obu atmosferach jest podobny. Ubytek masy komunalnych osadów ściekowych zachodzi w trzech etapach. W temperaturze powyżej 900°C spalanie w atmosferze powietrza jest zakończone. Z kolei badanie zmiany masy osadów w atmosferze argonu następuje w czterech etapach. Próbkę ulega rozkładowi głównie poniżej 850°C .



Rys. 3. Krzywe TG ogrzewania komunalnych osadów ściekowych w atmosferze powietrza i argonu

3.2. Analiza bilansu energetycznego

Zawartość substancji organicznej w osadach ściekowych jest wskaźnikiem, który informuje o właściwościach paliwowych osadów i możliwości ich stosowania w procesach termicznych. Wartość opałowa zależna jest od rodzaju osadów ściekowych. W celu określenia bilansu energetycznego spalania osadów ściekowych wyznaczono, wg normy PN-93/Z-15008, zależność ich wartości opałowej od wilgotności [11].



Rys. 4. Zależność wartości opałowej osadów ściekowych od ich wilgotności

Przy korzystnej dla procesu scalania wilgotności wynoszącej około 23,5% wartość opałowa kształtowała się na poziomie około 8635 kJ/kg (rys. 4).

Ilość energii elektrycznej lub ciepła wytworzonych z brykietów otrzymanych z osadów ściekowych E_{OZE} można określić z wzoru:

$$E_{OZE} = m_p W_{op} - E_z - E_t - 3,6 m_b Z_e, \text{ MJ}$$

gdzie: m_p - masa osadów ściekowych spalonych w jednostce wytwórczej, Mg, W_{op} - wartość opałowa osadów ściekowych spalonych w jednostce wytwórczej, MJ/Mg, E_z - ilość energii elektrycznej lub ciepła potrzebnej do odparowania wilgoci z osadów ściekowych, MJ – rys.4, E_t - ilość energii elektrycznej potrzebnej do przygotowania mieszanki do scalania, MJ, m_b - masa materiału poddanego brykietowaniu, Mg, Z_e - jednostkowe zapotrzebowanie energii w czasie realizacji procesu brykietowania, kWh/Mg,

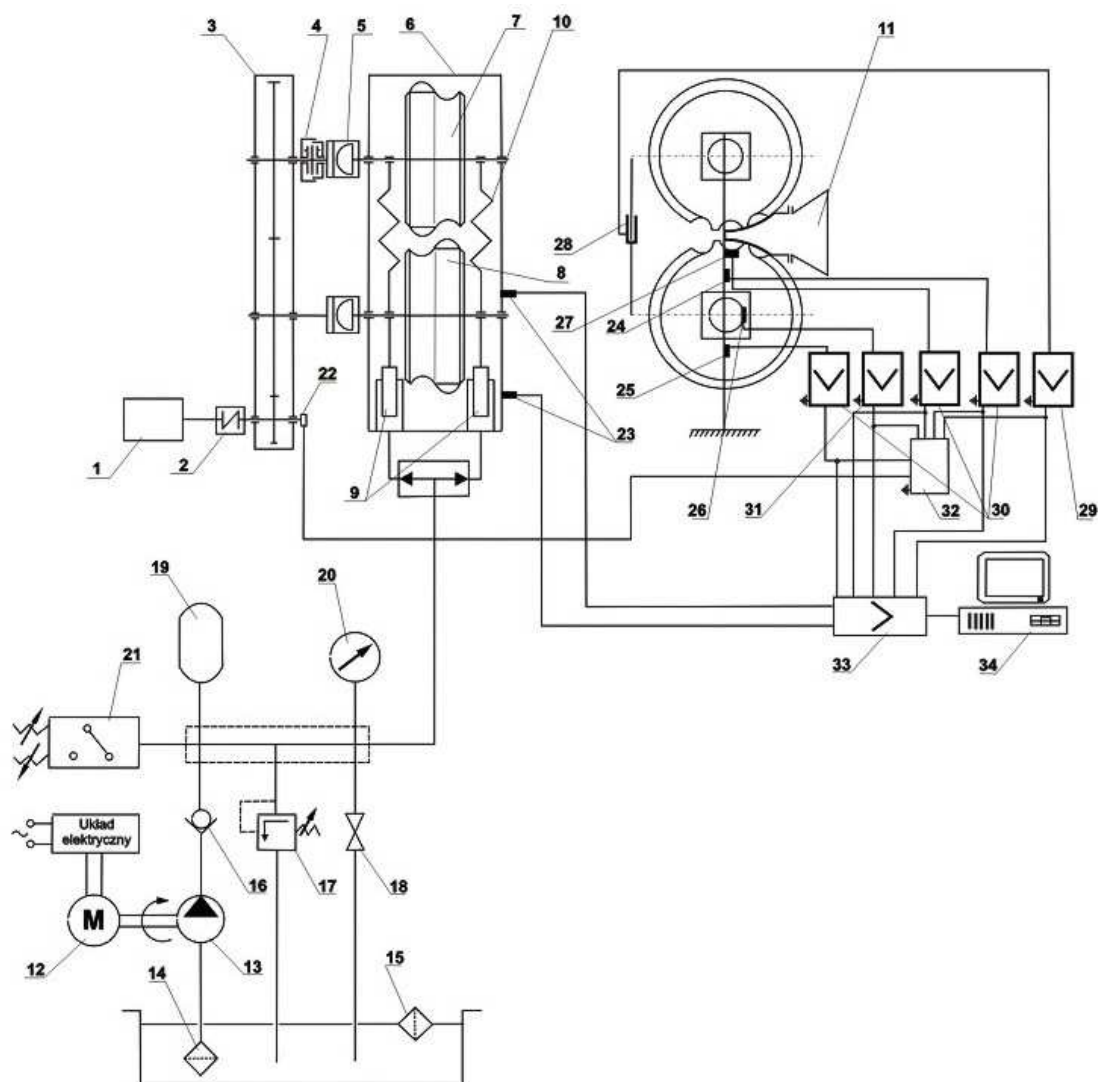
4. BRYKIETOWANIE OSADÓW ŚCIEKOWYCH

4.1. Metodyka badań

Proces brykietowania osadów ściekowych został poprzedzony ujednorodnieniem składu materiału pod względem fizyczno-chemicznym poprzez długotrwałe mieszanie w mieszarce zetowej z podgrzewanym płaszczem wodnym. Mając na względzie ograniczenie zapotrzebowania energii cieplnej dla potrzeb odwodnienia osadów ściekowych oraz odpowiednią higienizację i biostabilizację odpadu dodawano do scalanego materiału wapno palone w ilości 10 % udziału masowego wsadu. Czas mieszania ustalano w oparciu o badania zmiany poziomu wilgotności materiału. Oczekiwana wartość wilgotności mieszanki wynosiła ok. 23,5 %. Tak przygotowaną mieszankę podawano do zasypu grawitacyjnego umieszczone-

go nad strefą zagęszczania prasy walcowej LPW 450, którą wyposażono w pierścienie formujące przeznaczone do wytwarzania brykietów bez płaszczyzny podziału tzn. w kształcie „siodła”. Istnieje pogląd, że ten kształt powierzchni roboczej walców umożliwia uzyskanie wysokich nacisków jednostkowych w procesie brykietowania, sprzyja zatem scalaniu materiałów trudnych do brykietowania w prasie walcowej [1]. Badania realizowano w instalacji doświadczalnej, której schemat przedstawiono na rys. 5.

Ilość materiału drobnoziarnistego dozowanego jednorazowo wynosiła $5 \div 7$ kg. Mieszkankę scalano przy prędkościach obwodowych walców $v_w = 0,1 \div 0,4$ m/s, co odpowiadało prędkości obrotowej $n_w = 4,24 \div 16,99$ obr/min. Początkowa wartość szczeliny między walcami podczas brykietowania wynosiła $\delta_{nom} \sim 1,0$ mm.



Rys. 5. Schemat laboratoryjnej prasy walcowej LPW 450 wraz z układem pomiarowym; 1 - motoreduktor, 2 - sprzęgło podatne, 3 - klatka walców zębatach, 4 - sprzęgło cierne, 5 - sprzęgło Oldhama, 6 - rama, 7 - walec formujący nieprzesuwny, 8 - walec formujący przesuwny, 9 - siłowniki nurnikowe, 10 - element sprężysty lub dystansowy, 11 - zasilacz grawitacyjny, 12 - silnik elektryczny, 13 - pompa, 14 - filtr ssawny, 15 - filtr wlewowy, 16 - zawór zwrotny, 17 - zawór przelewowy, 18 - zawór zamykający, 19 - akumulator gazowy, 20 - manometr, 21 - układ regulacji ciśnienia, 22 - tor pomiarowy prędkości obrotowej wału wejściowego klatki zębatach, 23 - czujniki drgań, 24 - tor pomiarowy siły obciążającej element dystansowy, 25 - tor pomiarowy siły docisku walca przesuwnego, 26 - tor pomiarowy momentu skręcającego na wale przesuwnego walca formującego, 27 - tor pomiarowy nacisku we wgłębieniu formującym, 28 - tor pomiarowy przemieszczenia walca przesuwnego 29 - wzmacniacz pomiarowy PE102, 30 - wzmacniacz pomiarowy MGT-232, 31 - wzmacniacz pomiarowy KMN-602, 32 - rejestrator, 33 - karta pomiarowa DAQ-700 (National Instruments), 34 - komputer

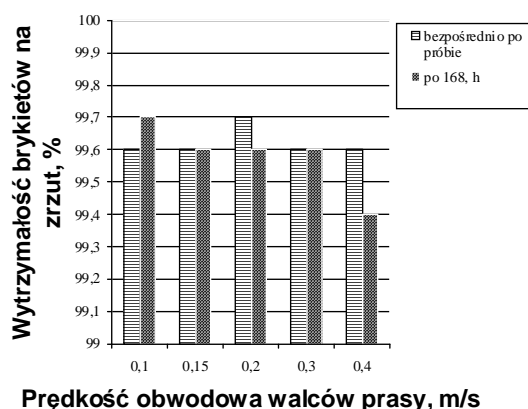
Podczas badań dokonywano m. in. pomiarów: gęstości brykietów (ρ_b), wytrzymałości brykietów na zrzut po próbie (K_0) i po 168 h (K_{168}), wytrzymałości brykietów na ściskanie po 168 h (D_{168}), oraz nacisku jednostkowego we wgłębieniu formującym (p_n).

Z materiału dozowanego do prasy walcowej uzyskiwano brykiety o kształcie odpowiadającym kształtowi wgłębień formujących. Po opuszczeniu wgłębień brykiety gromadziły się w pojemniku, skąd pobierano losowo próbki (w seriach po 10 sztuk) w celu wyznaczenia parametrów charakteryzujących ich własności: wytrzymałość na zrzut, wytrzymałość na ściskanie oraz gęstość.

Mając na względzie charakter obciążeń, na jakie narażone są brykiety w czasie ich przeładunku, transportu oraz termicznego zagospodarowania zdecydowano, że wskaźnikami, które w najlepszym stopniu oddają ich odporność na zniszczenie będą: wytrzymałość na ściskanie oraz wytrzymałość na zrzut. Próby wytrzymałości brykietów na ściskanie przeprowadzano na stanowisku pomiarowym wyposażonym w prasę ZWICK 1120 o zakresie nacisku $0 \div 2000$ N. Brykiet ścismano pomiędzy dwiema równoległymi płaszczyznami z prędkością $v=0,001$ m/s, a kierunek siły nacisku był prostopadły do tych płaszczyzn. Badania wytrzymałościowe przeprowadzano po 168 h sezonowania w celu zminimalizowania wpływu warunków pogodowych (wilgotność powietrza, temperatura) na wartość otrzymywanych wyników. Zrzuty brykietów dokonywano w seriach po 10 sztuk, z wysokości 2 m na płytę stalową o grubości 60 mm. Próby te powtarzano trzykrotnie, za każdym razem przesiewając pokruszoną masę przez sito o wymiarach oczka 18×18 mm. Rozmiar sita określono jako $2/3$ średniej obliczonej z dwóch maksymalnych wymiarów brykieta, mierzonych we wzajemnie prostopadłych kierunkach.

4.2. Wyniki badań

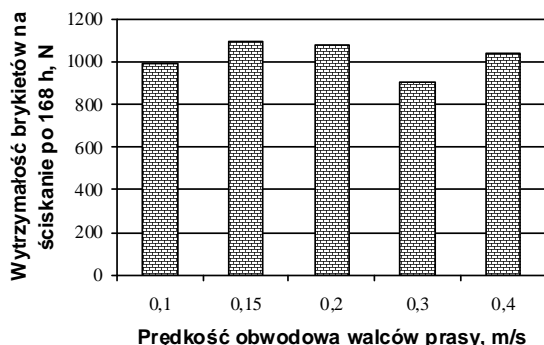
Wyniki badań poddano obróbce statystycznej zgodnie z procedurami określonymi dla estymacji dokonywanej oceną punktową. Na ich podstawie określono wpływ prędkości obwodowej walców na gęstość i wskaźniki jakości otrzymywanych brykietów. Bezpośrednio po scalaniu wykazywały one cechy ciała plastycznego z uwagi na swoją wysoką wilgotność wynoszącą około 23,5%. Plastyczna odkształcalność brykietów bezpośrednio po próbie scalania uniemożliwiała natomiast wyznaczenie ich wytrzymałości na ściskanie.



Rys. 6. Graficzna postać zależności wytrzymałości brykietów na zrzut od prędkości obwodowej walców

Jak wynika z rys. 6 i 7 brykiety charakteryzowały się bardzo wysokim wskaźnikiem wytrzymałości na zrzut bezpośrednio po próbie i po 168 godzinach sezonowania. Jego wartość przekraczała 99%. Również wytrzymałość brykietów na ściskanie była bardzo wysoka (zniszczenie brykieta następowało przy nacisku siły o wartości powyżej 900 N). Należy zaznaczyć, że wpływ wartości prędkości obwodowej na jakość brykietów nie był znaczący. Wraz z jej wzrostem wartość parametrów wytrzymałościowych bry-

kietów nieznacznie malała. Wyniki powyższe sugerują, że o parametrach wytrzymałościowych brykietów decydują w znacznie większym stopniu wiązania chemiczne, niż wiązania mechaniczne.



Rys. 7. Graficzna postać zależności wytrzymałości brykietów na ściskanie po 168 h od prędkości obwodowej walców

5. PODSUMOWANIE

Badania opisane w ramach niniejszej pracy wskazały na możliwość brykietowania komunalnych osadów ściekowych z dodatkiem odpadowego wapna palonego w prasach walcowych wyposażonych w niesymetryczny układ zagęszczania zasilany grawitacyjnie. Z przeprowadzonej analizy elementarnej składu chemicznego osadów, składu popiołu i analizy termogravimetrycznej wynika, że uformowane brykiety z mieszanki osadów ściekowych i odpadowego wapna palonego wykazały dobre właściwości paliwowe. Tak przygotowane paliwo charakteryzowało się dosyć wysoką wartością opałową (ok. 12 MJ/kg) przy 10% zawartości wilgoci. Analiza składu chemicznego popiołu z poddanych spalaniu brykietów wykazała znaczący udział węgla, który nie uległ spalaniu. Wskazuje to na konieczność dopracowania technologii przygotowania do utylizacji osadów ściekowych np. poprzez dodawanie do scalanej mieszanki komponentów w postaci węgla kamiennego lub trocin.

LITERATURA

- [1] Bembenek M, Hryniewicz M.: Badania i opracowanie metody doboru układu zagęszczania prasy walcowej. Wydawnictwa AGH, Kraków 2010.
- [2] Calvo L.F., Otero M., Jenkins B.M., Garcia A.I., Moran A.: Heating process characteristics and kinetics of sewage sludge in different atmospheres. *Thermochimica Acta* 2004, 409, 127-135.
- [3] Cepanko V., Baltrenas P., Buinevicius K.: Assessment of air pollution when incinerating fermented waste with combustion gas components. *Chemical and Process Engineering* 2010, 31, 163-179.
- [4] Directive 2001/77/EC of the European Parliament and of the Council of 27 September 2001 on the promotion of electricity produced from renewable energy sources in the internal electricity.
- [5] Folgueras M.B., Diaz R.M., Xiberta J., Prieto I.: Thermogravimetric analysis of the co-combustion of coal and sewage sludge. *Fuel* 2003, 82, 2051-2055.
- [6] Folgueras M.B., Diaz R.M., Xiberta J., Prieto I.: Volatilisation of trace elements for coal-sewage sludge blends during their combustion. *Fuel* 2003, 82, 1939-1948.
- [7] Gaska K., Wandarsz A.J.: Optymalizacja procesów formowania paliw z odpadów komunalnych. VII Międzynarodowe Forum Gospodarki Odpadami, Kalisz 2007, 609-619.
- [8] Kaczmarek A.: The use of biomass in energy sector. *Rynek Energii* 2008, 2, 54-58
- [9] Kosturkiewicz B., Janewicz A.: The Issue of Sludge Utilization for Power Production, *Polish Journal of Environmental Studies* 2008, 17 (3A), 313-316.

- [10] Kosturkiewicz B., Tora B.: Proposition of energetic utilization of sewage sludge from Bochnia. Waste Forum 2010, 4, 385-388.
- [11] Kosturkiewicz B.: Zagadnienie wykorzystania pras walcowych do zagospodarowania osadów ściekowych. Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów, Nr 4/2005(228), 138-145.
- [12] Kotowicz J., Bartela Ł.: Energetyczne wykorzystanie biomasy drzewnej-przeгляд technologii. Rynek Energii 2007, nr 6, 22-28.
- [13] Nadziakiewicz J., Waclawiak K., Stelmach S.: Procesy Termiczne Utylizacji Odpadów. Wyd. Politechniki Śląskiej. Gliwice 2007.
- [14] Nowicki L., Stolarek P., Olewski T., Bedyk T., Ledakowicz S.: Mechanism and kinetics of sewage sludge pyrolysis by thermogravimetry and mass spectrometry analysis. Chemical and Process Engineering 2008, 29, 813-825.
- [15] Otero M., Calvo L.F., Estrada B., Garcia A.I., Moran A.: Thermogravimetry as a technique for establishing the stabilization progress of sludge from wastewater treatment plants. Thermochimica Acta 2002, 389, 121-132.
- [16] Resolution no. 217 issued by the Council of Ministers on December 24, 2010, on "National wastes management plan 2014", Official Journal - Monitor Polski, 101, 1183, 2010.
- [17] Wandrasz J.W., Wandrasz A.J.: Paliwa formowane. Biopaliwa i paliwa z odpadów w procesach termicznych, Seidel- Przywecki 2005.
- [18] Werle S., Wilk R.: A review of methods for the thermal utilization of sewage sludge: The Polish perspective, Renewable Energy 2010, 35, 1914-1919.

Praca wykonana w ramach Programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego „Juventus Plus” nr 0231/T02/2010/70 oraz działalności statutowej nr 11.11.130.886.

SEWAGE SLUDGE AS RENEWABLE ENERGY FUEL

Key words: sewage sludge, waste management, briquetting, thermal utilization

Summary. The significant technological progress in municipal sewage-treatment plant and surface water protection cause the increasing of sewage sludge. The sewage sludge are recently stored on the waste dump. Taking into account the obligations of Poland under Treaty of Accession concerning waste management order, the most important problem is the waste recovery and waste disposal. One of waste disposal method is the thermal utilization. The waste storage should be limited, because of obligations of the municipal waste reduction. The increasing charges of waste storage and limited possibilities of waste disposal in agriculture (caused by heavy metals) are the factors, which suggest searching new technologies. The thermal utilization is an energy production method as well as a chemical waste utilization.

Bogdan Kosturkiewicz, dr inż., Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Katedra Systemów Wytwarzania, e-mail: kostur@agh.edu.pl

Aneta Magdziarz, dr, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej, Katedra Techniki Ciepłej i Ochrony Środowiska, e-mail: amagdzia@metal.agh.edu.pl

Małgorzata Wilk, dr inż., Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej, Katedra Techniki Ciepłej i Ochrony Środowiska, e-mail: mwilk@metal.agh.edu.pl