

Barbara JURASZKA*, Tadeusz PIECUCH**

Spalanie osadów pokoagulacyjnych zawierających kleje organiczne oraz utylizacja powstałych popiołów

STRESZCZENIE. W ramach tej publikacji przedstawiono wyniki badań spalania osadów pokoagulacyjnych zawierających kleje organiczne.

W celu określenia możliwości zagospodarowania popiołów po procesie spalania przebadano przydatność wtórnych odpadów jako wypełniacza mieszanki betonowej do produkcji prefabrykatów budowlanych. Odpady poddano procesowi solidyfikacji. Zastosowano różny udział odpadu wtórnego zamiast cementu (od 0 do 6% sumy komponentów).

Analiza otrzymanych wyników badań pozwala stwierdzić, że osady powstałe w procesie koagulacji i sedymentacji grawitacyjnej po ich odwodnieniu i wysuszeniu nadają się do spalania. Jest to wygodny sposób utylizacji powstałych osadów. Wartość opałowa osadów pokoagulacyjnych będących przedmiotem badań wynosiła 21014 kJ/kg, co pozwala na stwierdzenie, że badane osady nadają się do współspalania wraz z miałem węgla kamiennego w ciepłowniach czy elektrociepłowniach. Po procesie spalania powstaje niewielka ilość odpadu wtórnego (kilka procent), który poddano próbie neutralizacji przez cementację (solidyfikację). Zastosowanie tego procesu jest rozwiązaniem skutecznym oraz łatwym technicznie do wdrożenia, spełniającym wymogi ochrony środowiska.

SŁOWA KLUCZOWE: spalanie, utylizacja, osady pokoagulacyjne, kleje organiczne

* Dr inż., Prof. dr hab. inż. — Katedra Techniki Wodno-Mułowej i Utylizacji Odpadów, Politechnika Koszalińska, Koszalin.

Recenzenci: prof. dr hab. inż. Andrzej KRÓLIKOWSKI, prof. dr hab. Kazimierz SZYMAŃSKI

Wprowadzenie

Ze wszystkich sposobów utylizacji termicznej najłatwiejsze technicznie oraz najbardziej ekonomiczne jest współspalanie osadów w elektrowniach i elektrociepłowniach opalanych węglem kamiennym lub brunatnym. Obiekty te wyposażone są coraz częściej w wysoko-wydajne urządzenia do ochrony powietrza oraz infrastrukturę techniczną: transportery, podajniki, silosy, suszarnie, młyny, które mogą być wykorzystane do wytwarzania i dozowania mieszaniny osadowo-węglowej. Spalanie mieszaniny osadowo-węglowej o zawartości osadu do 4% suchej masy nie wywołuje praktycznie żadnych niekorzystnych zmian w składzie gazów odlotowych i odpadów paleniskowych, co oznacza, że nie są przekraczane dopuszczalne stężenia i wskaźniki zanieczyszczeń emitowanych do powietrza, jak również nie zachodzi konieczność zmiany sposobu wykorzystania odpadów produkowanych przez elektrownię (np. w budownictwie) (Zielewicz-Madej, Fukas-Płonka 2001).

W ramach tej publikacji przedstawiono wyniki badań spalania odwodnionych osadów pokoagulacyjnych zawierających kleje organiczne (Juraszka, Piecuch 2004; Pawłowski 2000; Piecuch, Dąbrowski, Hryniewicz, Żuchowicki 1999; Piecuch, Juraszka, Dąbek 2002; Praca zbiorowa 1997).

W celu określenia możliwości zagospodarowania popiołów po procesie spalania przebadano przydatność wtórnych odpadów jako wypełniacza mieszanki betonowej do produkcji prefabrykatów budowlanych (po procesie solidyfikacji). Zastosowano różny udział odpadu wtórnego zamiast cementu (od 0 do 6% sumy komponentów).

1. Doświadczenia zagraniczne

Doświadczenia krajów Europy Zachodniej wykazały, że umiarkowane dozowanie osadów do masy węgla nie miało żadnego wpływu na ekonomię procesu spalania, emisję zanieczyszczeń do powietrza atmosferycznego oraz możliwości utylizacji popiołu. Współspalanie osadów ściekowych wraz z węglem jest w państwach Unii coraz częściej stosowaną metodą utylizacji osadu, sprawdzoną w skali przemysłowej. W elektrociepłowni Heilbronn (należącej do Energie Baden Württemberg) przeprowadzono próbę współspalania osadu w skali technicznej. Osad współspalano w bloku 750 MW opalany miałem węglowym z suchym odciążeniem popiołu i z paleniskiem komorowym o stycznym układzie palników. Zużycie węgla przy całkowitym obciążeniu wynosiło 240 t/h. Instalacja oczyszczania gazów odlotowych wyposażona była w najnowocześniejsze systemy ochrony środowiska, tzn. w elektrofiltry o skuteczności >99% z katalizatorem typu HJGHDUST i urządzeniem służącym do mokrego odsiarczania spalin. Doświadczenie miało na celu udowodnienie, że dopuszczalne wartości emisji przy współspalaniu osadu ściekowego nie zostaną przekroczone oraz że produkty odpadowe elektrowni (takie jak popioły paleniskowe, popiół

lotny i gips) również odpowiadają obowiązującym normom, co pozwala na ich wykorzystanie w dotychczas stosowany sposób. W czasie prób spalono 3700 ton suchej masy osadu (Zielewicz-Madej, Fukas-Płonka 2001).

Przeprowadzone badania wykazały, że proces współspalania osadów w ilości poniżej 10% udziału wagowego spalanego miału węglowego nie prowadzi do znaczących zmian eksploatacyjnych w elektrowni w porównaniu ze spalaniem samego węgla. Uzyskiwane poziomy emisji mieściły się w wartościach dopuszczalnych (tab. 1).

TABELA 1. Wartości emisji zanieczyszczeń w spalinach (Zielewicz-Madej, Fukas-Płonka 2001)

TABLE 1. Values of contaminants emission in flue gas

Wskaźniki	Wartości dopuszczalne normatywne	Wartości uzyskiwane dla spalania węgla	Wartości uzyskiwane dla spalania mieszaniny osadowo-miałowej 2–4%
CO	150	3–10	4,7–8,5
SO ₂	400	80–270	175–270
NO _x	200	150–190	170–180
HF	10	1–3,4	1,5–2,5
Pył	50	5–20	4,6–6,1
C organiczny	-	1,0	0,3–1,3
Cd., Ti	-	< 0,005	< 0,005
Hg*	-	0,3–12 ug/m ³	0,1–13 ug/m ³
Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn	-	< 0,075	< 0,075
Dioksyny, furany	-	< 5 ug/m ³	< 5 ug/m ³

* Wartości mierzone jako średnia z dwóch godzin.

Nie wykazano także żadnych znaczących zmian w ilości i jakości odpadów (popiół lotny, popioły ze spalania, gips) powstających ze spalania miału węglowego, w porównaniu ze spalaniem mieszaniny osadowo-miałowej (Zielewicz-Madej, Fukas-Płonka 2001).

2. Doświadczenia krajowe

W 1997 roku w Instytucie Inżynierii Wody i Ścieków Politechniki Śląskiej w Gliwicach wspólnie z Instytutem Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrze wykonano prace badawcze nad możliwością utylizacji osadów z miejskiej oczyszczalni ścieków przez współspalanie z miałem węglowym w elektrociepłowni. Zakres badań obejmował:

- ✧ określenie techniczno-technologicznych warunków suszenia osadu,
- ✧ ocenę właściwości energetycznych osadów wysuszonych,

- ✧ badania emisji spalin ze spalania osadów i samego miaz węglowego,
- ✧ badania emisji spalin i ciepła spalania mieszaniny osadowo-węglowej dla ustalenia proporcji wagowych mieszaniny,
- ✧ określenie zmian wpływu oddziaływania na środowisko elektrociepłowni przy spalaniu mieszaniny osadowo-węglowej (Zielewicz-Madej, Fukas-Płonka 2001).

Próby spalania prowadzono w instalacji ułamkowo-technicznej symulującej spalanie w kotłach z rusztem mechanicznym. Wsad do kotła wynosił 200 kg mieszaniny osadu i miaz węglowego. W celu określenia emisji zanieczyszczeń pyłowych i gazowych do powietrza dokonywano pomiarów składu CO₂, CO, O₂, SO₂, SO₂, NO w spalinach.

Przeprowadzona analiza właściwości paliw miaz i mieszaniny miazowo-osadowej (przy 5% udziale osadu) nie wykazała istotnych różnic jakości paliw. Przykładowo wartość opałowa samego miaz o wilgotności 10,7% wynosiła 22 071 kJ/kg, osadu o wilgotności 46,3% – 12 869 kJ/kg, a mieszaniny o wilgotności 12,9% – 21 699 kJ/kg. Zwiększyły się w mieszaninie zawartości siarki i azotu.

Analiza spalin wykazała, że ze wszystkich wskaźników emisji najbardziej znaczące zmiany, w stosunku do wartości uzyskanych przy spalaniu samego miaz, wystąpiły dla wskaźników:

- ✧ SO_x – wzrost o 20%,
- ✧ NO_x – wzrost o 50%,
- ✧ pył – wzrost o 30%,
- ✧ benzo(a)piren – zmniejszenie o 60%,
- ✧ zanieczyszczenia organiczne – zmniejszenie o 30%.

Analiza uzyskanych wyników spalania pozwala stwierdzić, że dodatek granulatu w ilości 5% suchej masy osadu do miaz węglowego nie obniża wartości opałowej mieszaniny w stosunku do miaz węglowego oraz nie wpływa na wzrost ilości popiołów. Zaobserwowany wzrost emisji SO_x i NO_x oraz pyłów nie stanowią zagrożenia w warunkach eksploatacyjnych pełnej skali technicznej. Lepsze warunki spalania oraz instalacje odpylania i odsiarczania gazów odlotowych wpłyną na znaczne ograniczenie rzeczywistej emisji tych zanieczyszczeń do środowiska.

Podobne badania w roku 1999 przeprowadziła Katedra Technologii i Urządzeń Zagospodarowania Odpadów Politechniki Śląskiej. Wykonane zostały testy współspalania osadów z oczyszczalni ścieków EC FASTY w Białymstoku. Przeprowadzone badania stanowią potwierdzenie technicznych możliwości współspalania osadów w elektrociepłowniach (Zielewicz-Madej, Fukas-Płonka 2001).

3. Charakterystyka osadów pokoagulacyjnych

Badaniom poddano osady pokoagulacyjne, które ze względu na swe właściwości klejące nie nadają się do wykorzystania rolniczego ani przyrodniczego. Charakterystyka osadów została przedstawiona w tabeli 2.

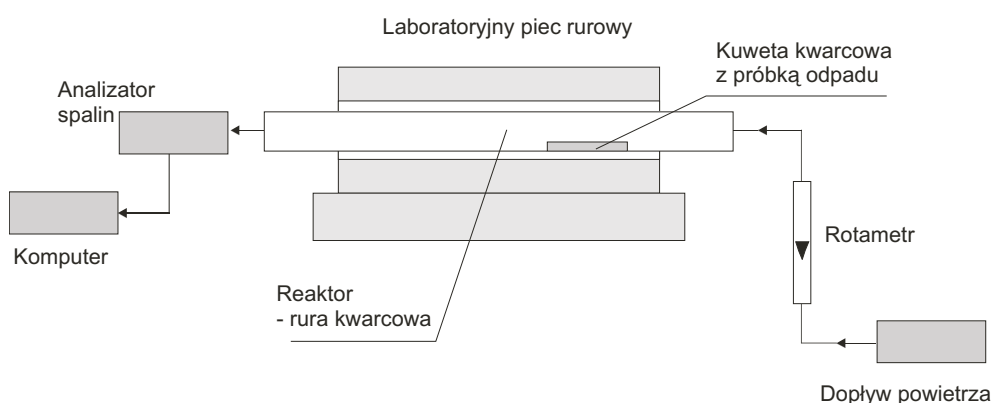
TABELA 2. Charakterystyka osadów użytych do badań własnych procesu spalania

TABLE 2. Characteristics of sediments used during incineration research

Parametry osadów nadanych do procesu	Seria 1	Seria 2	Seria 3	Seria 4	Seria 5
Sucha masa osadu m [g s.m /dm ³]	121,78	78,87	111,80	96,25	105,80
Pozostałość po prażeniu [g /dm ³]	3,96	2,24	3,76	2,93	3,68
Straty przy prażeniu [g /dm ³]	117,82	76,63	115,04	93,32	102,12
Zawartość popiołu [%]	3,25	2,84	3,36	3,04	3,48
Zawartość suchej masy organicznej [%]	96,75	97,16	96,64	96,96	96,52
Zagęszczenie odcieku [g/dm ³]	16,85	12,53	14,11	18,10	11,26

4. Metodyka badań procesu spalania

Badania prowadzono w instalacji badawczej przedstawionej na rysunku 1. W skład instalacji wchodził między innymi: piec rurowy PRC 20 HM (rys. 2) oraz przenośny analizator spalin GA-21 plus (rys. 3). Wyniki analiz spalin były zbierane przez cały okres pomiarowy w sposób *on-line* i zapisywane przez komputer. W trakcie badań analizowano w sposób ciągły stężenie tlenku węgla CO, siarkowodoru H₂S, tlenków azotu NO_x oraz dwutlenku siarki SO₂ w gazach spalinowych, przy różnych parametrach prowadzenia procesu spalania. Badano wpływ temperatury spalania (w zakresie 300–900°C) oraz nadmiaru powietrza (natężenie przepływu powietrza w zakresie od 100 do 200 dm³/h). Spalaniu poddawano próbkę odpadu o masie 50 mg. Badania procesu spalania prowadzono każdorazowo przez okres 5 minut, co pozwoliło zarejestrować całą krzywą emisji zanieczyszczeń z procesu spalania.



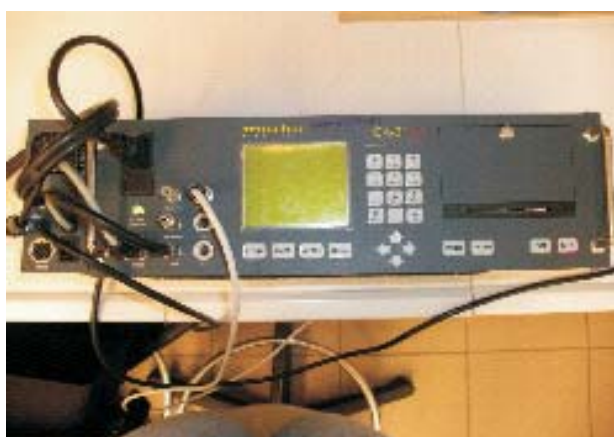
Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego do procesu spalania odpadów

Fig. 1. Diagram of research stand for incineration of sediments



Rys. 2. Piec rurowy PRC 20 HM

Fig. 2. Pipe incinerator PRC 20 HM



Rys. 3. Przenośny analizator spalin GA-21 plus

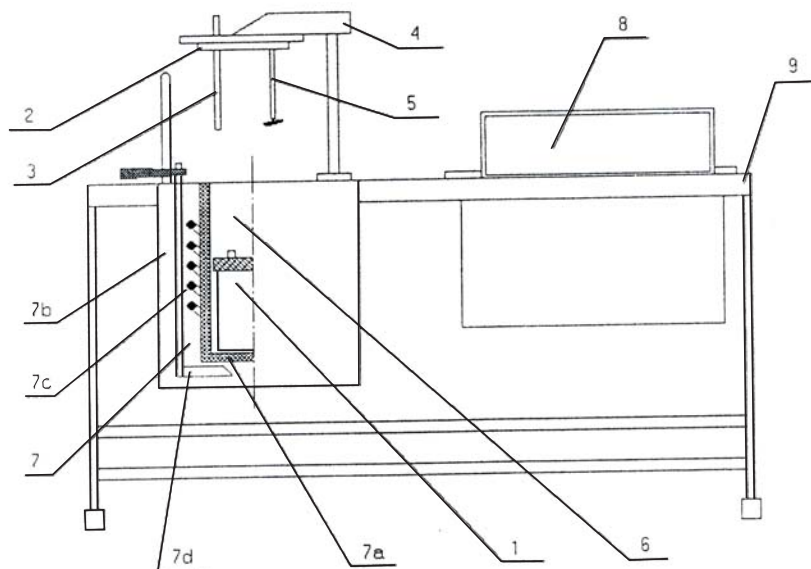
Fig. 3. Mobile flue gas analyzer GA-21 plus

4.1. Ciepło spalania

Przed badaniami spalania określono ciepło spalania badanych osadów. Ciepło spalania określa ilość energii jaką można uzyskać ze spalania 1kg suchej masy osadu (Praca zbiorowa 1997).

Ciepło spalania oznaczono w urządzeniu laboratoryjnym o nazwie Kalorymetr KL – 11. Schemat i budowę kalorymetru KL – 11 przedstawiono na rysunku 4.

Pomiar polegał na całkowitym spalaniu próbki paliwa w atmosferze tlenu pod ciśnieniem w bombie kalorymetrycznej zanurzonej w wodzie i na pomiarze przyrostu temperatury tej wody. Ciepło spalania paliwa wyliczane jest w sposób automatyczny, a wynik przedstawiony na cyfrowym wyświetlaczu kalorymetru.



Rys. 4. Schemat i budowa kalorymetru KL-11 [instrukcja kalorymetru]
 1 – bomba kalorymetryczna, 2 – pokrywa kalorymetru, 3 – czujnik temperatury, 4 – uchwyt pokrywy z umieszczonym w nim napędem mieszadła mechanicznego, 5 – mieszadło mechaniczne, 6 – naczynie kalorymetryczne, płaszcz kalorymetru składający się z: 7a – ścianki wewnętrznej, 7b – ścianki zewnętrznej, 7c – wężownicy, 7d – mieszadła ręcznego, 8 – pulpit sterujący, 9 – stół kalorymetru z płytą czołową zawierającą gniazda przyłączeniowe i wyjście czujnika temperatury

Fig. 4. Diagram of calorimeter KL-11
 1 – calorimeter bomb, 2 – cover, 3 – temperature sensor, 4 – cover handle with stirrer mechanism, 5 – stirrer, 6 – tank, 7 – water jacket, 7a – inner wall, 7b – outer wall, 7c – coil, 7d – manual stirrer, 8 – console, 9 – calorimeter table with front desk containing sockets and temperature sensor output

Wartość opałowa osadów pokoagulacyjnych będących przedmiotem badań wynosiła 21 014 kJ/kg, jest to średnia z pięciu prób podanych do badania. Można stwierdzić, że badane osady nadają się do współspalania, podobnie jak osady badane przez Gniadego i Hehna (1998). Badane przez tych autorów osady po wysuszeniu do stanu powietrzno-suchego oraz stałe odpady polakiernicze miały wartość opałową od 10 500 do 19 700 kJ/kg, a więc porównywalną do mialu węgla kamiennego. Osady odwodnione i wysuszone mogą być po rozdrobnieniu przekazywane w mieszaninie z miałem węgla kamiennego do spalania.

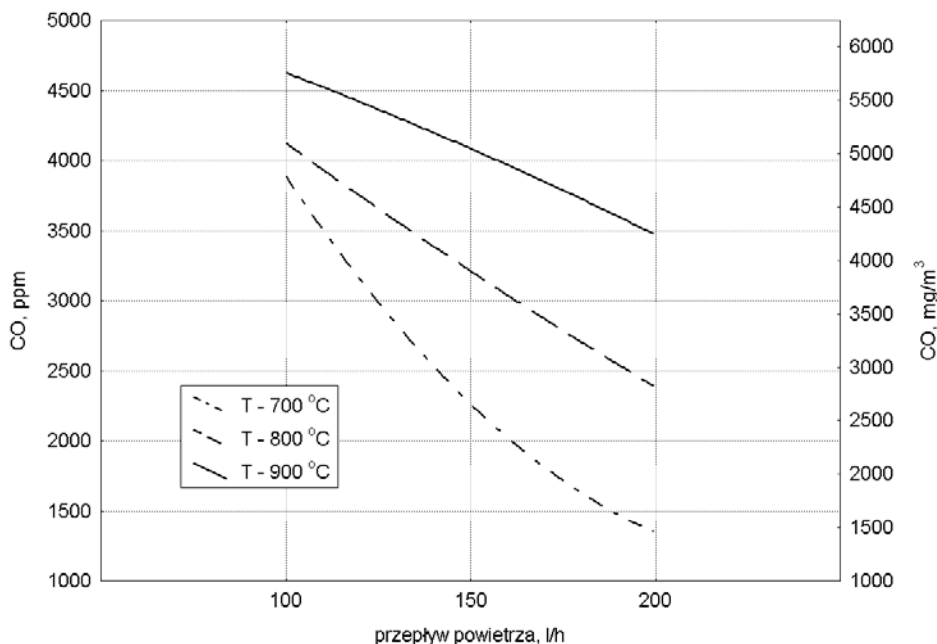
4.2. Zestawienie i analiza wyników badania wpływu temperatury oraz natężenia przepływu powietrza na stężenie zanieczyszczeń gazowych w spalinach

W tabeli 3 oraz na wykresie (rys. 5) przedstawiono wpływ natężenia przepływu powietrza na stężenie tlenku węgla w gazach spalinowych przy różnych temperaturach spalania.

TABELA 3. Wpływ natężenia przepływu powietrza na stężenie tlenku węgla w gazach spalinowych przy różnych temperaturach spalania

TABLE 3. Influence of air flow rate on concentration of carbon monoxide in flue gas at various temperatures of incineration

Lp.	Przepływ powietrza [l/h]	Temperatura [°C]			Przelicznik	Temperatura [°C]		
		700	800	900		700	800	900
		CO [ppm]	CO [ppm]	CO [ppm]		CO [mg/m ³]	CO [mg/m ³]	CO [mg/m ³]
1	100	3 891	4 125	4 627	1,25	4 864	5 156	5 784
2	150	2 265	3 212	4 085	125	2 831	4 015	5 106
3	200	1 347	2 384	3 471	1,25	1 684	2 980	4 339



Rys. 5. Wpływ natężenia przepływu powietrza na stężenie tlenku węgla w gazach spalinowych przy różnych temperaturach spalania

Fig. 5. Influence of air flow rate on concentration of carbon monoxide in flue gas at various temperatures of incineration

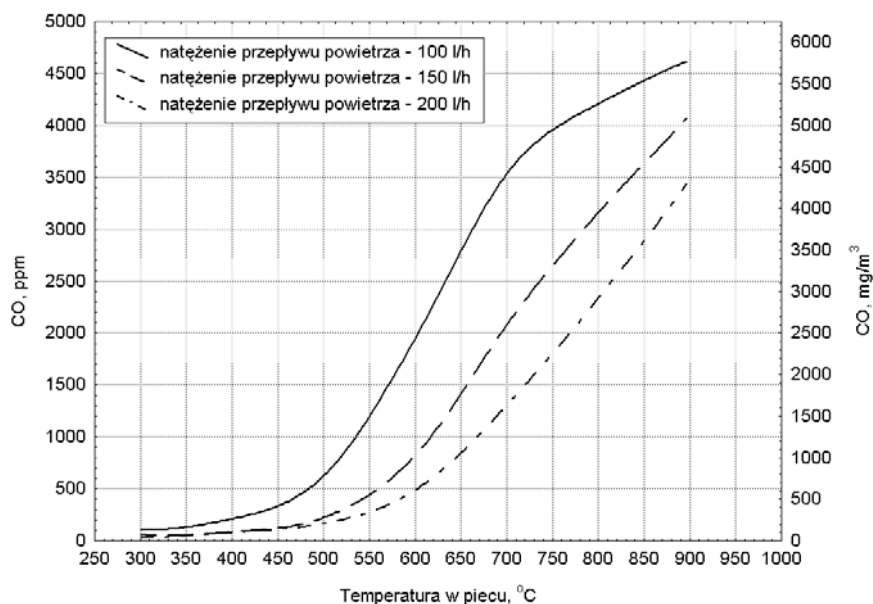
Analiza wyników przedstawionych w tabeli 3 oraz na rysunku 5 pozwala stwierdzić, że wraz ze wzrostem natężenia przepływu powietrza maleje stężenie CO w gazach spalinowych. Jednocześnie można zauważyć, że im wyższa temperatura spalania tym stężenie CO w gazach spalinowych jest większe.

W tabeli 4 oraz na rysunku 6 przedstawiono wpływ temperatury spalania na stężenie tlenku węgla w gazach spalinowych przy różnym przepływie powietrza.

TABELA 4. Wpływ temperatury spalania na stężenie tlenku węgla w gazach spalinowych przy różnym przepływie powietrza

TABLE 4. Influence of incineration temperature on concentration of carbon monoxide in flue gas at various air flow rates

Lp.	Temperatura [°C]	Przepływ powietrza [l/h]			Przelicznik	Przepływ powietrza [l/h]		
		100	150	200		100	150	200
		CO [ppm]	CO [ppm]	CO [ppm]		CO [mg/m ³]	CO [mg/m ³]	CO [mg/m ³]
1	300	103	45	21	1,25	129	56	26
2	400	299	175	152	1,25	374	219	190
3	500	379	206	196	1,25	474	256	245
4	600	1 863	657	401	1,25	2 329	821	501
5	700	3 891	2 265	1 347	1,25	4 864	2 831	1 684
6	800	4 125	3 212	2 384	1,25	5 156	4 015	2 980
7	900	4 627	4 085	3 471	1,25	5 784	5 106	4 339



Rys. 6. Wpływ temperatury spalania na stężenie tlenku węgla w gazach spalinowych przy różnym przepływie powietrza

Fig. 6. Influence of incineration temperature on concentration of carbon monoxide in flue gas at various air flow rates

Analiza wyników przedstawionych na wykresie (rys. 6) pozwala stwierdzić, że wraz ze wzrostem temperatury rośnie stężenie CO w gazach spalinowych. Wzrost emisji CO podczas zwiększania temperatury spalania spowodowany jest większą prędkością spalania próbki.

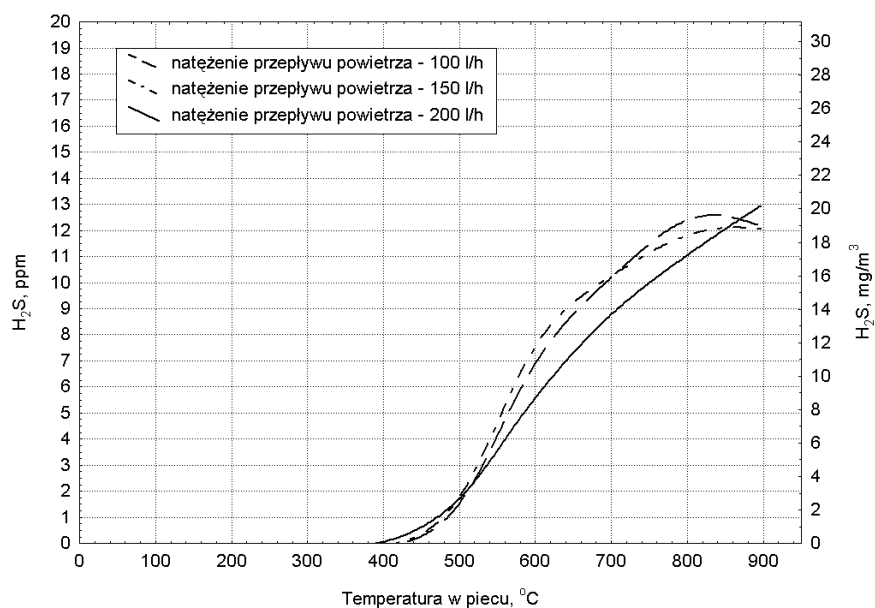
Jednocześnie można zauważyć, że im większe natężenie przepływu powietrza tym stężenie CO w gazach spalinowych jest mniejsze.

W tabeli 5 oraz na rysunku 7 przedstawiono wpływ temperatury spalania na stężenie siarkowodoru w gazach spalinowych przy różnym przepływie powietrza.

TABELA 5. Wpływ temperatury spalania na stężenie siarkowodoru w gazach spalinowych przy różnym przepływie powietrza

TABLE 5. Influence of incineration temperature on concentration of hydrogen sulfide in flue gas at various values of air flow rates

Lp.	Temperatura [°C]	Przepływ powietrza [l/h]			Przelicznik	Przepływ powietrza [l/h]		
		100	150	200		100	150	200
		H ₂ S [ppm]	H ₂ S [ppm]	H ₂ S [ppm]		H ₂ S [mg/m ³]	H ₂ S [mg/m ³]	H ₂ S [mg/m ³]
1	300	0	0	0	1,559	0	0	0
2	400	0	0	0	1,559	0	0	0
3	500	0	0	1	1,559	0	0	2
4	600	8	9	6	1,559	12	14	9
5	700	10	10	9	1,559	16	16	14
6	800	13	12	11	1,559	20	19	17
7	900	12	12	13	1,559	19	19	20



Rys. 7. Wpływ temperatury spalania na stężenie siarkowodoru w gazach spalinowych przy różnym przepływie powietrza

Fig. 7. Influence of incineration temperature on concentration of hydrogen sulfide in flue gas at various values of air flow rates

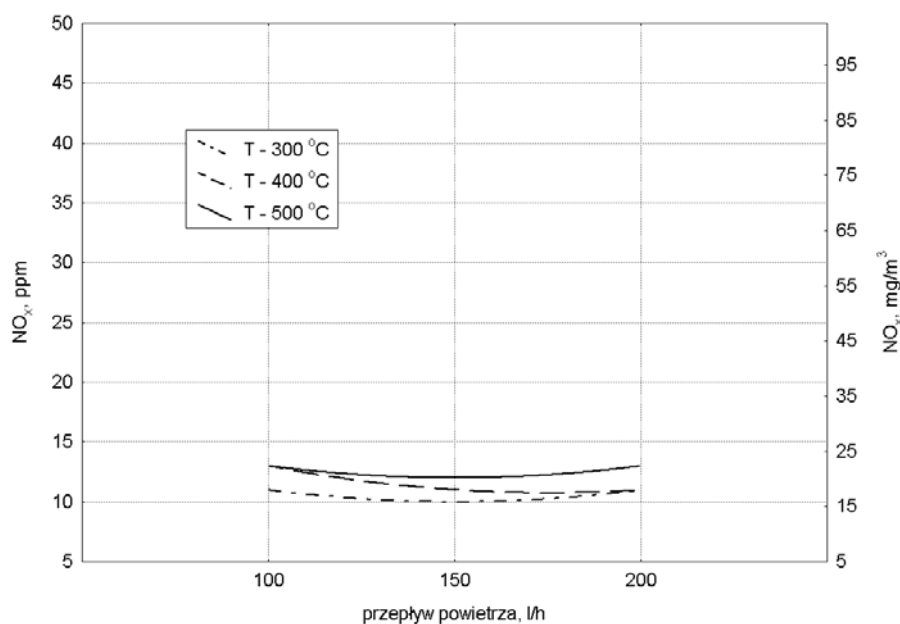
Analiza wyników przedstawionych w tabeli 5 oraz na rysunku 7 pozwala stwierdzić, że wraz ze wzrostem temperatury rośnie stężenie H₂S w gazach spalinowych, jednak im większe natężenie przepływu powietrza tym stężenie H₂S w gazach spalinowych jest mniejsze.

W tabeli 6 oraz na rysunku 8 przedstawiono wpływ natężenia przepływu powietrza na stężenie sumy tlenków azotu w gazach spalinowych przy różnych temperaturach spalania.

TABELA 6. Wpływ natężenia przepływu powietrza na stężenie sumy tlenków azotu w gazach spalinowych przy różnych temperaturach spalania

TABLE 6. Influence of air flow rate on concentration of nitrogen oxides sum in flue gas at various temperatures of incineration

Lp.	Przepływ powietrza [l/h]	Temperatura [°C]			Przelicznik	Temperatura [°C]		
		700	800	900		700	800	900
		NO _x [ppm]	NO _x [ppm]	NO _x [ppm]		NO _x [mg/m ³]	NO _x [mg/m ³]	NO _x [mg/m ³]
1	100	11	13	13	2,05	23	27	27
2	150	10	11	12	2,05	21	23	25
3	200	11	11	13	2,05	23	23	27



Rys. 8. Wpływ natężenia powietrza na stężenie sumy tlenków azotu w gazach spalinowych przy różnych temperaturach spalania

Fig. 8. Influence of air flow rate on concentration of nitrogen oxides sum in flue gas at various temperatures of incineration

Średnie stężenie sumy tlenków azotu w trakcie zwiększania przepływu powietrza w bardzo nieznaczny sposób malało, najlepiej można zaobserwować ten proces (tab. 6 oraz rys. 8) przy temperaturze spalania T = 400°C.

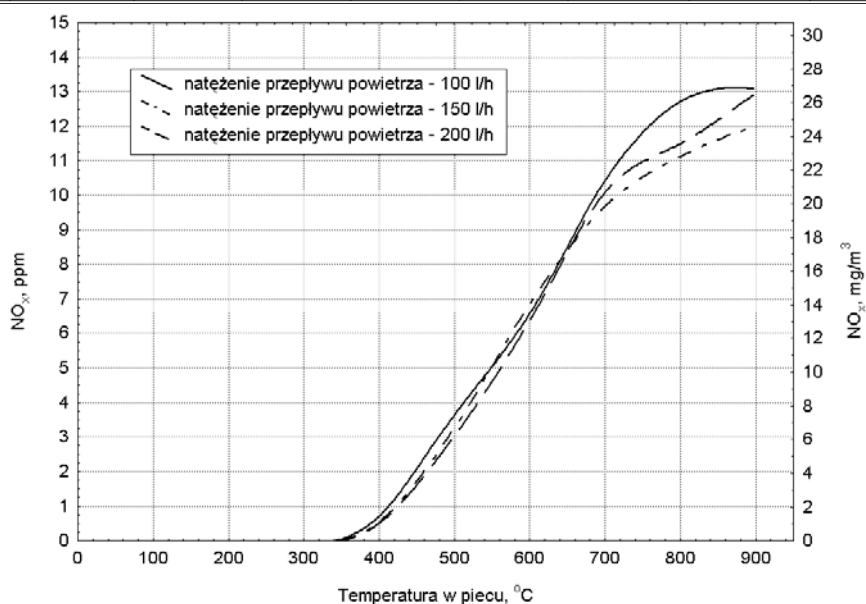
W tabeli 7 oraz rysunku 9 przedstawiono wpływ temperatury spalania na stężenie sumy tlenków azotu w gazach spalinowych przy różnym przepływie powietrza.

Analizując wyniki badań zależności stężenia sumy tlenków azotu w gazach spalinowych od temperatury spalania przedstawionych w tabeli 7 oraz na wykresie można stwierdzić, że (podobnie jak w przypadku stężenia CO oraz H₂S) wraz ze wzrostem

TABELA 7. Wpływ temperatury spalania na stężenie sumy tlenków azotu w gazach spalinowych przy różnym przepływie powietrza

TABLE 7. Influence of incineration temperature on concentration of nitrogen oxides sum in flue gas at various air flow rates

Lp.	Temperatura [°C]	Przepływ powietrza [l/h]			Przelicznik	Przepływ powietrza [l/h]		
		100	150	200		100	150	200
		NO _x [ppm]	NO _x [ppm]	NO _x [ppm]		NO _x [mg/m ³]	NO _x [mg/m ³]	NO _x [mg/m ³]
1	300	0	0	0	2,05	0	0	0
2	400	0	0	0	2,05	0	0	0
3	500	4	3	3	2,05	8	6	6
4	600	6	7	6	2,05	12	14	12
5	700	11	10	11	2,05	23	21	23
6	800	13	11	11	2,05	27	23	23
7	900	13	12	13	2,05	27	25	27



Rys. 9. Wpływ temperatury spalania na stężenie sumy tlenków azotu w gazach spalinowych przy różnym przepływie powietrza

Fig. 9. Influence of incineration temperature on concentration of nitrogen oxides sum in flue gas at various air flow rates

temperatury rośnie stężenie sumy tlenków azotu w gazach spalinowych. Przy najmniejszym przepływie powietrza stężenie NO_x w gazach spalinowych było największe.

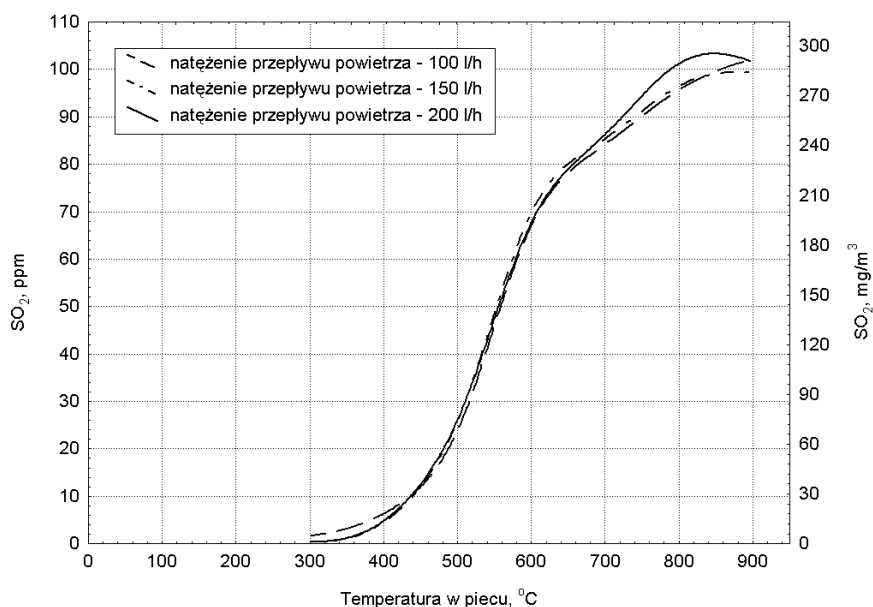
W tabeli 8 oraz na rysunku 10 przedstawiono wpływ temperatury spalania na stężenie dwutlenku siarki w gazach spalinowych przy różnym przepływie powietrza.

Analiza wyników przedstawionych w tabeli 8 oraz na rysunku 10 pozwala stwierdzić, że (podobnie jak w przypadku stężenia NO_x i H_2S) wraz ze wzrostem temperatury rośnie

TABELA 8. Wpływ temperatury spalania na stężenie dwutlenku siarki w gazach spalinowych przy różnym przepływie powietrza

TABLE 8. Influence of incineration temperature on concentration of sulphur dioxide in flue gas at various air flow rates

Lp.	Temperatura [°C]	Przepływ powietrza [l/h]			Przelicznik	Przepływ powietrza [l/h]		
		100	150	200		100	150	200
		SO_2 [ppm]	SO_2 [ppm]	SO_2 [ppm]		SO_2 [mg/m^3]	SO_2 [mg/m^3]	SO_2 [mg/m^3]
1	300	2	1	1	2,86	6	3	3
2	400	7	3	3	2,86	20	9	9
3	500	11	14	16	2,86	31	40	46
4	600	79	82	78	2,86	226	235	223
5	700	81	81	82	2,86	232	232	235
6	800	96	98	105	2,86	275	280	300
7	900	102	99	101	2,86	292	283	289



Rys. 10. Wpływ temperatury spalania na stężenie dwutlenku siarki w gazach spalinowych przy różnym przepływie powietrza

Fig. 10. Influence of incineration temperature on concentration of sulphur dioxide in flue gas at various air flow rates

stężenie SO₂ w gazach spalinowych. Przy największym przepływie powietrza stężenie SO₂ w gazach spalinowych było największe.

5. Metodyka prowadzenia procesu solidyfikacji

Składniki mieszanki betonowej odważane były na wadze i przenoszone do pojemnika uprzednio opłukanego wodą tak, aby nie było tam zbędnych zanieczyszczeń. Po wsypaniu do pojemnika cementu oraz odpadu wtórnego następowało ręczne mieszanie za pomocą szpachelki. Następnie dosypywane było kruszywo. Kruszywo stanowił „zużyty” piasek po procesie filtracji grawitacyjnej.

Gdy mieszanka sypka stała się jednolita dolewano odmierzona ilość wody i mieszano w celu uzyskania jednolitej konsystencji. Do przygotowanych wcześniej form wlewano mieszankę betonową, a następnie zagęszczano na stole wibracyjnym. Formy wraz z mieszanką betonową pozostawiano przez jeden dzień, w celu uzyskania odpowiedniej twardości. Po upływie tego czasu następowało rozformowanie kostek polbruku i przechowywane zgodnie z wymaganiami normy PN-88/B-06250. Otrzymane kostki polbruku poddano próbie wytrzymałościowej na ściskanie na prasie hydraulicznej EDZ 40. Badania przeprowadzono w Międzyszkolnym Laboratorium Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska. Wykonane kostki były jednakowe o wymiarach 10 × 10 × 10 cm. Poddano próbie wytrzymałości po 7 dniach od wykonania formy. Otrzymane wyniki zostały następnie przeliczone za pomocą współczynników przeliczeniowych na wytrzymałość polbruku po 28 dniach, co jest zgodne z normą PN-88/B-06250. Normy dla kostek brukowych, chodnikowych wymagają wytrzymałości nie mniejszej niż 20MPa, natomiast dla kostki drogowej nie mniejszej niż 50 MPa.

Badania wykonano w taki sposób, że zmienną była ilość odpadu wtórnego i cement, a stałą ilość kruszywa (piasek + żwir) i wody. Wykonano trzy próby badań, w których masowy udział procentowy odpadu: 2%, 4%, 6% zastępowano zamiast cementu masy w mieszance wyjściowej. Udział procentowy poszczególnych komponentów wchodzących w skład tak utworzonej kostki przedstawiono w tabeli 9.

TABELA 9. Udział komponentów wchodzących w skład kostek

TABLE 9. Share of components of cobble stones

Wagowy udział odpadu wtórnego zamiast cementu	0%	2%	4%	6%
Cement	14,64%	14,35%	14,06%	13,77%
Kruszywo	78,57%	78,57%	78,57%	78,57%
Woda	6,79%	6,79%	6,79%	6,79%
Odpad	0,00%	0,29%	0,58%	0,87%
Suma	100%	100%	100%	100%

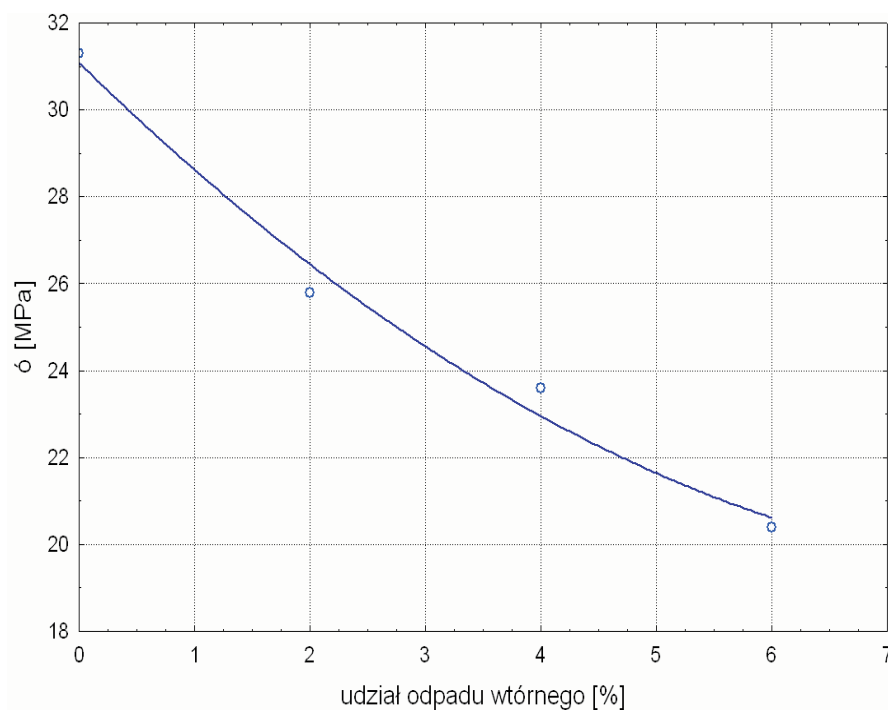
5.1. Opis i analiza wyników badań

W tabeli 10 oraz na rysunku 11 przedstawiono wyniki na ściskanie kostek betonowych typu polbruk.

TABELA 10. Wyniki badań wpływu odpadu wtórnego po spaleniu na wytrzymałość na ściskanie kostek

TABLE 10. Results of compression strength of cobble stones containing various amount of secondary waste after incineration

	Udział odpadu wtórnego zamiast cementu			
	0%	2%	4%	6%
σ [MPa]	31,3	25,8	23,6	20,4



Rys. 11. Wpływ odpadu wtórnego po spaleniu na wytrzymałość na ściskanie kostek

Fig. 11. Influence of post incineration secondary waste addition on compression strength of cobble stones

Analizując wyniki badań przedstawione w tabeli 10 oraz na wykresie (rys. 11) można zauważyć, że wartości wytrzymałości na ściskanie – 20MPa przy poszczególnych udziałach procentowych odpadu wtórnego po spaleniu spełniają normę jakim powinny odpowiadać kostki chodnikowe.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań własnych, ich analizy oraz porównania z danymi literaturowymi można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Osady powstałe w procesie koagulacji i sedymentacji grawitacyjnej po ich odwodnieniu i wysuszeniu nadają się do spalania. Jest to wygodny sposób utylizacji powstałych osadów. Wartość opałowa osadów pokoagulacyjnych będących przedmiotem badań wynosiła 21 014 kJ/kg, co pozwala na stwierdzenie, że badane osady nadają się do współspalania wraz z miałem węgla kamiennego w ciepłowniach czy elektrociepłowniach.

Zestawienie i analiza wyników badań wpływu temperatury oraz natężenia przepływu powietrza na stężenie zanieczyszczeń gazowych w spalinach wykazały, że wraz ze wzrostem natężenia przepływu powietrza maleje stężenie CO, H₂S, sumy tlenków azotu i SO₂ w spalinach, a wraz ze wzrostem temperatury spalin rośnie ich stężenie w spalinach.

2. Po procesie spalania powstaje niewielka ilość odpadu wtórnego (kilka procent), który poddano próbie neutralizacji poprzez cementację (solidyfikację). Zastosowanie tego procesu jest rozwiązaniem skutecznym oraz łatwym technicznie do wdrożenia pod kątem ochrony środowiska.

Praca finansowana z grantu KBN N207 003 31/0141.

Literatura

- GNIADY J., HEHN Z., 1998 — Utylizacja ścieków pochodzących z przemysłu meblarskiego z zastosowaniem nadtlenu wodoru. *Chemia i inżynieria ekologiczna* t. 5, nr 4, s. 289–295, Opole.
- JURASZKA B., PIECUCH T., 2004 — Analiza możliwości intensyfikacji odwadniania osadów pokoagulacyjnych pochodzących ze ścieków poprodukcyjnych Przedsiębiorstwa DREWEXiM. *Rocznik Ochrona Środowiska* t. 6, s. 265–289, Koszalin.
- PAWŁOWSKI L., 2000 — Neutralisation of Wastes in a Cement Kiln. *Thermal Solid Waste Utilisation in Regular and Industrial Facilities*, Kluwer Academic/Plenum Publishers vol. VIII, pp. 1–10.
- PIECUCH T., DĄBROWSKI T., HRYNIEWICZ T., ŻUCHOWICKI W., 1999 — Polish-made pyrolytic convective waste utilizer of WPS type, structure principle of operation and evaluation. *Problems of residue management after thermal waste utilization. The Journal of Solid Waste Technology and Management* vol. 26, no. 3&4, pp. 168–186.
- PIECUCH T., JURASZKA B., DĄBEK L., 2002 — Spalanie i piroliza odpadów. Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej, Koszalin.
- Praca zbiorowa, 1997 — Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków. Wyd. PZITS, Poznań.
- ZIELEWICZ-MADEJ E., FUKAS-PŁONKA Ł., 2001 — Możliwości współspalania osadów w elektrociepłowniach miejskich. *Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej, Nauki Techniczne* nr 142, *Inżynieria Środowiska* z. 15, s. 245–251, Białystok.

Barbara JURASZKA, Tadeusz PIECUCH

Incineration of post-coagulation sediments containing organic glues and utilization of secondary waste – ash

Abstract

This paper presents results of investigations on incineration of post-coagulation sediments which contain organic glues.

In order to define possibility of post incineration ashes recycling, their usefulness as component of concrete mixture for production of building elements (solidification process) was investigated. It was experiment of an applicational character. Different share of secondary waste replacing cement was used (from 0% to 6% of components total).

Analysis of gained results allows to state, that sediments which arise during coagulation and sedimentation processes, after dewatering and drying, may be incinerated. Its convenient method of those sediments utilization. Calorific value of examined sediments was 21 014 kJ/kg, so they also may be co-incinerated with coal for example in thermal power stations. Amount of secondary waste left after incineration is considerably small – a few percent. Results of investigation on it's cementation (solidification) show that this method is effective and technically easily applicable, from the point of view of the environment protection.

KEY WORDS: incineration, utilization, post coagulation sediments, organic glues