



## Tests of physicochemical properties of secondary wastes from the Municipal Thermal Waste Treatment Plant ITPOK

Weronika WYROŻĘBSKA<sup>1</sup>, Bartosz ORŁOWSKI<sup>2</sup>, Monika CZOP<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Śląska, ul Konarskiego 18A, 44-100 Gliwice, e-mail: [weronikawyrozebska@gmail.com](mailto:weronikawyrozebska@gmail.com)

<sup>2</sup> Politechnika Śląska, ul Konarskiego 18A, 44-100 Gliwice, e-mail: [bartoszorlowski92@gmail.com](mailto:bartoszorlowski92@gmail.com)

<sup>3</sup> Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Katedra Technologii i Urządzeń Zagospodarowania Odpadów, tel. 32 237 21 04, [Monika.Czop@polsl.pl](mailto:Monika.Czop@polsl.pl)

### Abstract

The presented article treats about the physical and chemical properties of secondary waste such as ashes and slags created after the thermal treatment of municipal waste. Problems, current trends and future expectations regarding municipal waste management are discussed. The legal aspects and the basics of the waste incineration plant are also described. Ash from gas treatment and bottom slag are characterized. The results of the research are tabulated and compared to the current standards and regulations. It presents the methods of utilizing secondary waste used in the world, as well as proposes specific solutions in line with the idea of circular economy.

**Keywords:** combustion, secondary wastes, municipal waste

### Streszczenie

Badania właściwości fizykochemicznych odpadów wtórnych z Instalacji Termicznego Przetwarzania Odpadów Komunalnych ITPOK

Przedstawiony artykuł traktuje o właściwościach fizykochemicznych odpadów wtórnych jakimi są popioły i żużle powstałe po termicznym przekształcaniu odpadów komunalnych. Omówiono problemy, obecne tendencje i oczekiwania stawiane w przyszłości gospodarce odpadami komunalnymi. Opisano także aspekty prawne i podstawy działania spalarni odpadów. Scharakteryzowano popiół pochodzący z oczyszczania gazów oraz żużel denny. Wyniki badań zestawiono tabelarycznie i porównano ich wielkości do obecnie obowiązujących norm oraz rozporządzeń. Przedstawiono wykorzystywane na świecie sposoby zagospodarowania odpadów wtórnych, a także zaproponowano konkretne rozwiązania, zgodne z ideą gospodarki o obiegu zamkniętym.

**Słowa kluczowe:** spalanie, odpady wtórne, odpady komunalne

### 1. Wstęp

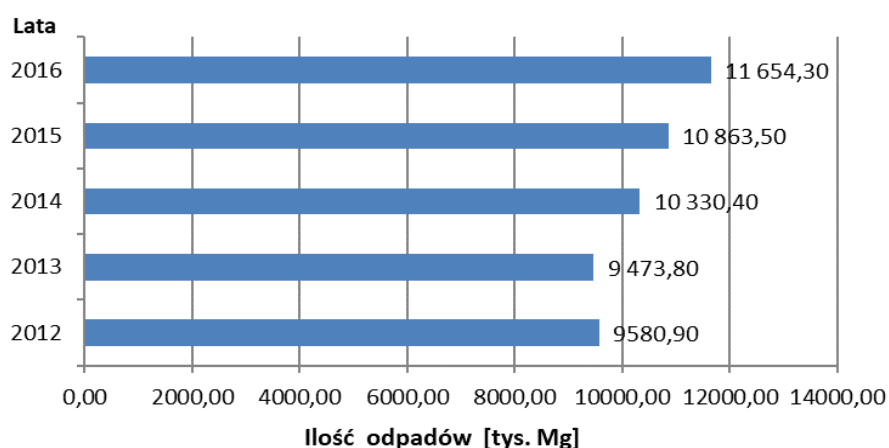
Zwiększająca się ilość odpadów (Rys. 1.1) jest jednym z najistotniejszych problemów cywilizacyjnych. Do tej pory opracowano wiele sposobów gospodarowania odpadami, dzięki którym problem ten jest sprawnie rozwiązywany. Do najczęstszych metod zagospodarowania odpadów zalicza się: składowanie, recykling, kompostowanie oraz termiczne przekształcanie z odzyskiem energii lub bez. Metody gospodarowania odpadami należy dobierać zgodnie z obowiązującą hierarchią postępowania, gdzie najbardziej pożądane jest zapobieganie, a najmniej unieszkodliwianie ich na składowiskach.

Mogłoby się wydawać, że największy problem stanowią odpady przemysłowe. Są one produkowane na większą skalę, a także często kwalifikowane jako odpady niebezpieczne lub trudne do degradacji. Jednakże odpady

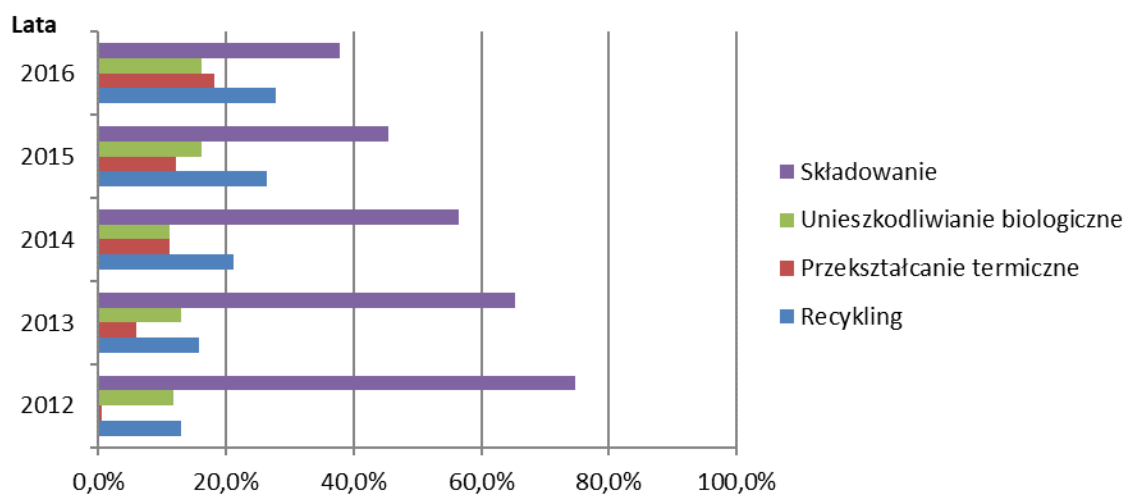
przemysłowe zazwyczaj poddawane są prawidłowej zbiórce i segregacji, co sprawia, że ich jakość jest bardzo dobra, a frakcja jednolita i niezanieczyszczona. Opisany stan ułatwia w znacznym stopniu ich zagospodarowanie np. poprzez recykling, który jest priorytetową metodą w krajach UE. [1-2]

Prawdziwym wyzwaniem w obecnym czasie staje się wykorzystanie odpadów komunalnych. Odpady komunalne w myśl ustawy o odpadach z dnia 14 grudnia 2012 r. (Dz.U.2013.21) „są to odpady powstające w gospodarstwach domowych, z wyłączeniem pojazdów wycofanych z eksploatacji, a także odpady niezawierające odpadów niebezpiecznych pochodzące od innych wytwórców odpadów, które ze względu na swój charakter lub skład są podobne do odpadów powstających w gospodarstwach domowych; zmieszane odpady komunalne pozostają zmieszane z odpadami komunalnymi, nawet jeżeli zostały poddane czynności przetwarzania odpadów, która nie zmieniła w sposób znaczący ich właściwości.”[3] W ich skład wchodzi frakcje takie jak odpady spożywcze pochodzenia roślinnego i zwierzęcego, papier i tektura, tworzywa sztuczne, szkło, metale, odpady materiałów tekstylnych, niebezpieczne i inne.

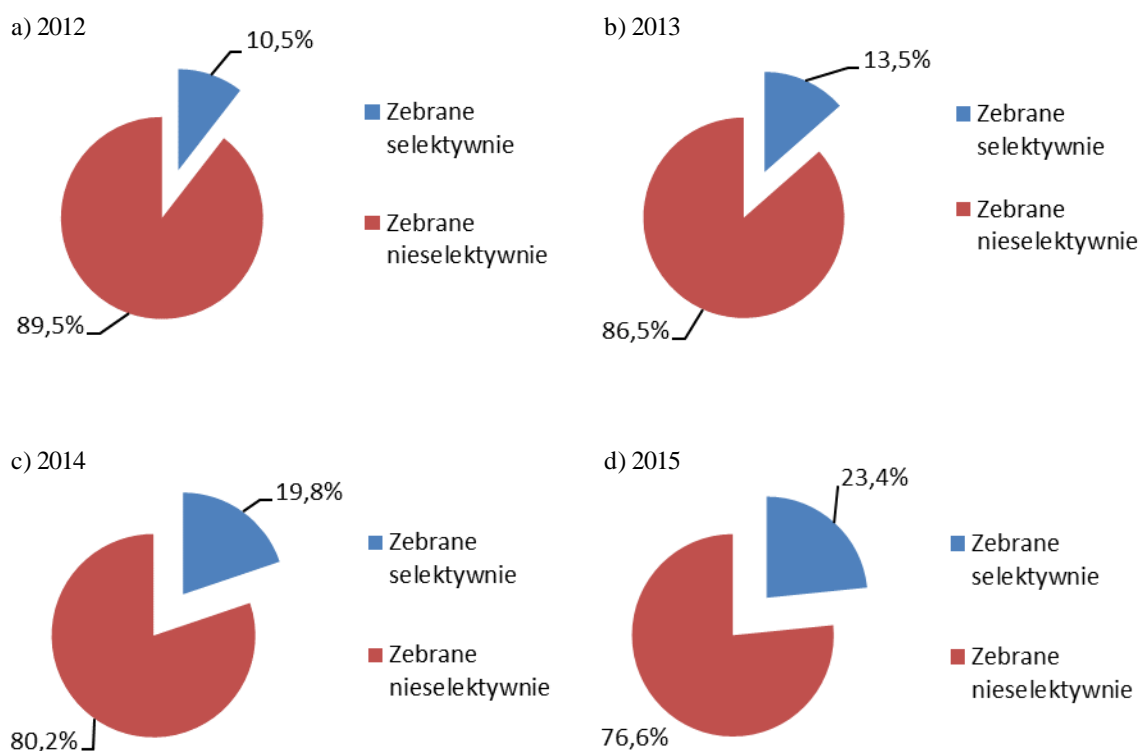
Według rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 29 grudnia 2016 r. w sprawie szczegółowego sposobu selektywnego zbierania wybranych frakcji odpadów (Dz. U. z 2017 poz. 19) [17] odpady komunalne powinny być poddawane selektywnej zbiórce i segregowane w oddzielnych pojemnikach zależnie od rodzaju frakcji. Selektywną zbiórką objęte są następujące frakcje: papier i metale, tworzywa sztuczne, szkło, opakowania wielomateriałowe oraz odpady komunalne ulegające biodegradacji, w tym odpady opakowaniowe ulegające biodegradacji. Poziomy segregacji, zbiórki selektywnej i odzysku w Polsce mają tendencję wzrostową (Rys. 1.2 i 1.3). Znaczący wpływ na to miało przyjęcie nowych planów gospodarowania odpadami i znaczne zmiany jakie dzięki nim zaszły w całym systemie. Niestety mimo to niska jeszcze świadomość ekologiczna społeczeństwa, brak wiedzy na temat segregacji oraz zagospodarowania odpadów, a także brak wyrobionego nawyku, sprawia, że jakość odpadów komunalnych jest bardzo zła, a ich frakcja niejednolita. Nieprawidłowa segregacja odpadów ogranicza wykorzystanie całkowitego potencjału konkretnych frakcji oraz wpływa na poprawne i racjonalne ich zagospodarowanie. W związku z tym, jedną z optymalnych metod stosowanych do zmniejszenia ilości odpadów komunalnych jest ich termiczna degradacja. Pozwala ona także na zagospodarowanie odpadów, których kaloryczność przekracza 6 MJ, co według prawa (Dz. U. 2013 poz. 38) [12] nie pozwala na ich składowanie. Spalanie odpadów dodatkowo mogą starać się o tzw. zielone certyfikaty, które autoryzują energię w nich wytworzoną jako OZE (Odnawialne Źródła Energii). Termiczne przekształcanie odpadów składa się z szeregu substancji tak po stronie substratów, jak i produktów. Do tych drugich zalicza się, oprócz materii pożądaných (między innymi syngaz czy gaz pirolityczny oraz odzysk energii), także te niepożądane, w których skład wchodzi głównie żużel i popiół. By zapobiec ich deponowaniu na składowiskach w artykule tym zostaną zbadane i przedstawione właściwości fizykochemiczne, a następnie zostanie zaproponowane zagospodarowanie tychże pozostałości w sposób zgodny z hierarchią postępowania z odpadami oraz gospodarką obiegu zamkniętego. [1-3,18-20]

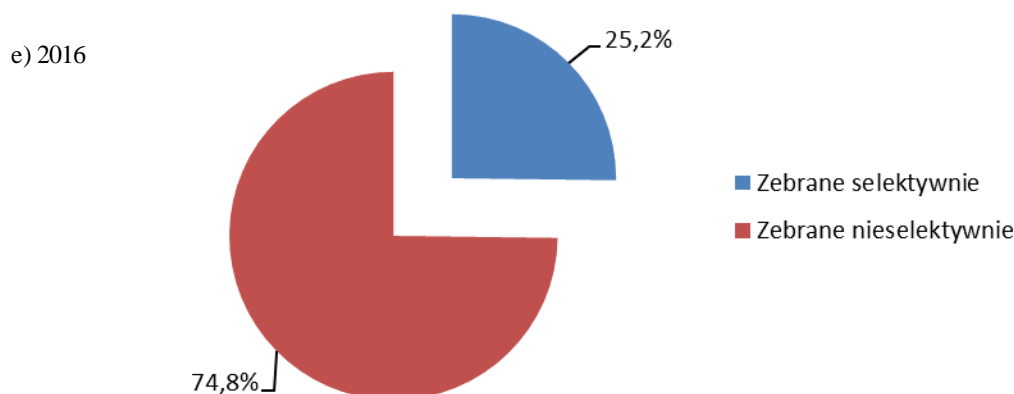


Rys. 1.1. Ilość zebranych odpadów komunalnych w Polsce na przestrzeni 5 lat (wyk. własne, wg Głównego Urzędu Statystycznego)



Rys. 1.2. Sposób zagospodarowania odpadów komunalnych w Polsce na przestrzeni 5 lat (wyk. własne wg Głównego Urzędu Statystycznego )





Rys. 1.3. Odpady komunalne zebrane selektywnie i nieselektywnie w Polsce w roku a) 2012, b) 2013, c) 2014, d) 2015, e) 2016 [opracowanie własne wg Głównego Urzędu Statystycznego]

## 2. Termiczne przekształcanie odpadów – aspekty prawne

Proces termicznego przekształcania odpadów reguluje Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach oraz Rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 21 stycznia 2016 r. w sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów oraz sposobów postępowania z odpadami powstałymi w wyniku tego procesu. [3,4]

Przez termiczne przekształcanie odpadów rozumie się [1]:

- spalanie odpadów przez ich utlenianie,
- inne procesy termicznego przetwarzania odpadów, w tym pirolizę, zgazowanie i proces plazmowy, o ile substancje powstające podczas tych procesów są następnie spalane.

Proces ten prowadzi się wyłącznie w spalarniach odpadów lub we współspalarniach odpadów. Są one „projektowane, budowane, wyposażane i użytkowane w sposób zapewniający osiągnięcie poziomu termicznego przekształcania odpadów, przy którym ilość i szkodliwość dla życia, zdrowia ludzi lub dla środowiska, odpadów i innych emisji powstających wskutek termicznego przekształcania odpadów będzie jak najmniejsza.” (Dz. U. 2018 poz. 992).

Termiczne przekształcanie odpadów niebezpiecznych lub stałych odpadów komunalnych w spalarniach odpadów lub we współspalarniach odpadów, stanowi proces unieszkodliwiania odpadów (D10). Natomiast termiczne przekształcanie, w celu odzysku energii, odpadów opakowaniowych, odpadów innych niż niebezpieczne lub innych stałych odpadów komunalnych stanowi proces odzysku (R1).

Termiczne przekształcanie odpadów musi być prowadzone zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Rozwoju z dnia 21 stycznia 2016 r. w sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów oraz sposobów postępowania z odpadami powstałymi w wyniku tego procesu [4]. Oznacza to, że proces spalania lub współspalania odpadów powinien być prowadzony w taki sposób, aby: temperatura gazów powstających w wyniku spalania została podniesiona i kontrolowana i jednorodny sposób oraz była utrzymywana przez co najmniej 2 sekundy na poziomie nie niższym niż 1100°C dla odpadów o zawartości związków chlorowcoorganicznych przeliczonych na chlor w odpadach powyżej 1%, a dla pozostałych odpadów 850°C. Proces ten musi być również przeprowadzany w taki sposób, aby całkowita zawartość węgla organicznego w żużlach i popiołach paleniskowych była niższa niż 3% lub strata przy prażeniu żużli i popiołów paleniskowych była niższa niż 5% suchej masy (Dz. U. 2016 poz. 108).

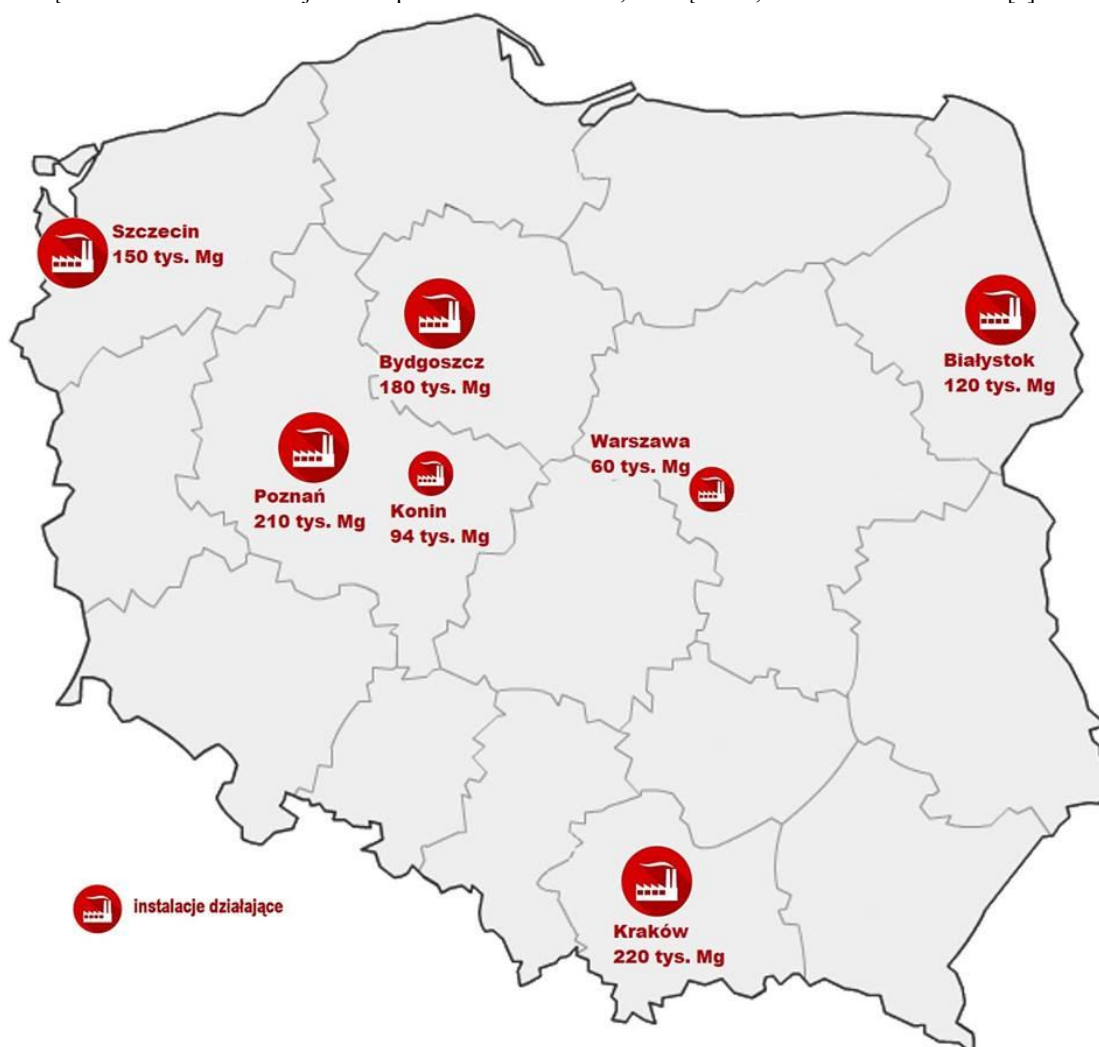
Termiczne przekształcanie odpadów należy prowadzić w taki sposób, aby zminimalizować ilość i szkodliwość odpadów powstałych podczas tego procesu. Odpady powstałe w wyniku tego procesu poddaje się odzyskowi,

a w przypadku, gdy jest to niemożliwe, unieszkodliwia się je ze szczególnym uwzględnieniem frakcji metali ciężkich. [3-5]

### 3. Instalacja Termicznego Przekształcania Odpadów Komunalnych (ITPOK)

Przez pojęcie spalarni odpadów rozumie się zakład lub jego części przeznaczone do termicznego przekształcania odpadów z odzyskiem lub bez odzysku wytwarzanej energii cieplnej, obejmujące instalacje i urządzenia służące do prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów wraz z oczyszczaniem gazów odlotowych i wprowadzaniem ich do atmosfery, kontrolą, sterowaniem i monitorowaniem procesów oraz instalacjami związanymi z przyjmowaniem, wstępnym przetwarzaniem i magazynowaniem odpadów dostarczonych do termicznego przekształcania oraz instalacjami związanymi z magazynowaniem i przetwarzaniem substancji otrzymanych w wyniku spalania i oczyszczania gazów odlotowych (Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach Dz. U. z 2013 r. poz. 21). [3,5]

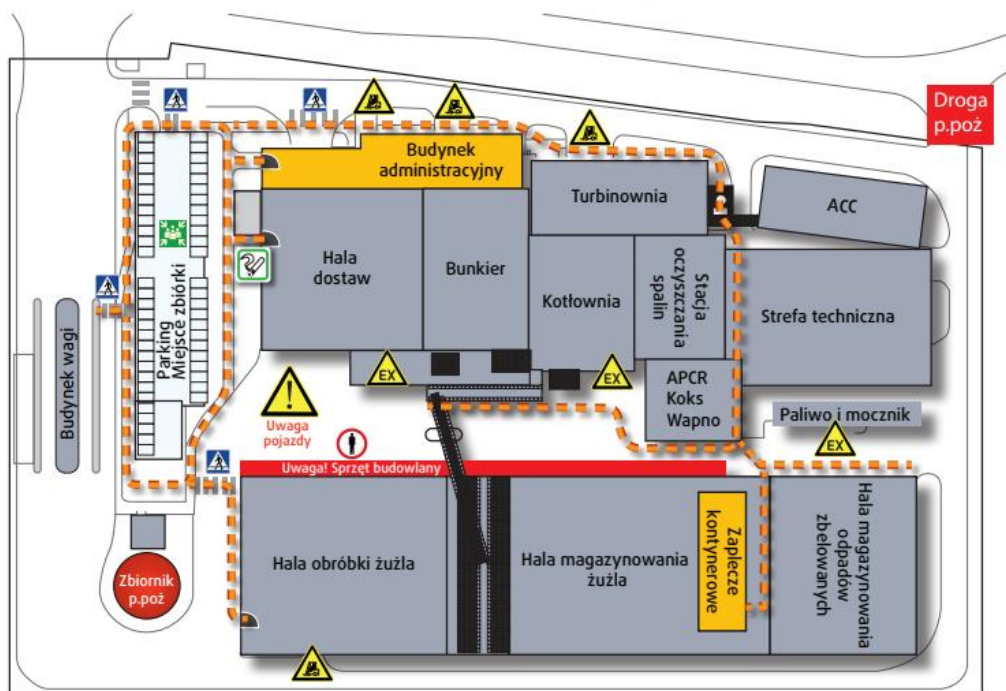
W Polsce obecnie funkcjonuje 7 spalarni odpadów komunalnych. Sumując wydajność wszystkich spalarni, na terenie Polski można przetworzyć łącznie około 1 mln Mg odpadów rocznie. Planowane są także inne inwestycje lub są one w trakcie realizacji m. in. spalarnia w Rzeszowie, Oświęcimiu, Warszawie i Gdańsku. [5]



Rys. 3.1. Rozmieszczenie instalacji na terenie Polski [21]

#### 4. Schemat Instalacji Termicznego Przekształcania Odpadów Komunalnych (ITPOK) w Poznaniu

Odpady do analizowanego poznańskiego ITPOK-u dostarczane są transportem drogowym. Wjeżdżające pojazdy są ważone i ewidencjonowane. Komputerowy system ważenia zapewnia kontrolę ilości i jakości dostarczanych odpadów (w tym detekcję pierwiastków promieniotwórczych). Następnie trafiają one do hali wyładowniczej wyposażonej w kruszarkę, belownicę, samoobsługowy system wjazdu, wyładunku oraz wyjazdu. W hali wyładowniczej panuje podciśnienie zapobiegające wydostawaniu się nieprzyjemnych zapachów na zewnątrz. Kolejne miejsce stanowi bunkier. Przy zwykłym składowaniu zapas zgromadzonych tu odpadów zapewnia pracę instalacji przez 5 dób, a przy wysokim składowaniu 8 dób. Odpady z bunkra są przenoszone chwytakiem do lejów zasypowych, skąd trafiają na ruszty. Chwytnik przenoszący odpady podnosi jednorazowo ok. 5 Mg odpadów. Bunkier jest wyposażony w system gaśniczy i kamery rejestrujące w podczerwieni w celu wykrycia zagrożeń pożarowych. Sterownia jest centrum dowodzenia ITPOK – miejscem zarządzania i monitorowania wszystkich procesów technologicznych zachodzących w instalacji. Instalacja pracuje w trybie ciągłym 7 dni w tygodniu z krótkimi przerwami na przeglądy i konserwacje urządzeń. Hala kotłowa to miejsce, w którym znajdują się ruszty służące do spalania odpadów oraz zintegrowane z nimi kotły. Ciepło wytworzone podczas spalania odpadów podgrzewa wodę w kotłach, która jest zamieniana w parę. To w kotłach rozpoczyna się proces odzysku energii z odpadów. Także tutaj ma swój początek proces oczyszczania gazów wylotowych (m.in.  $\text{NO}_x$ ).



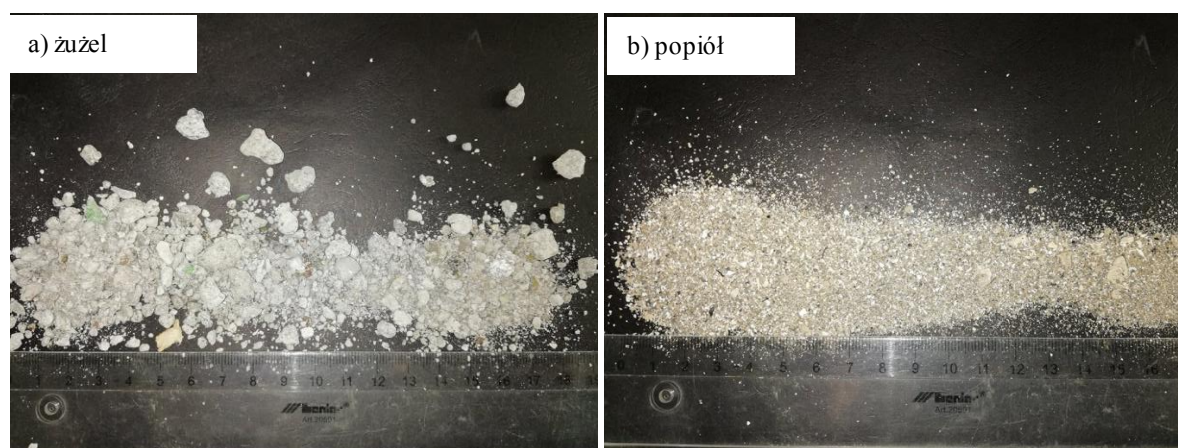
Rys. 4.1. Uproszczony schemat analizowanej instalacji [6]

Redukcja zanieczyszczeń rozpoczyna się już w komorze spalania, a kolejnymi elementami systemu są kotły, turboreaktor, filtry workowe, wentylator wyciągowy. Do redukcji zanieczyszczeń stosuje się mocznik, wapno hydratyzowane oraz węgiel aktywny. Monitoring emisji odbywa się przez czujniki zamontowane na kominach. W wyniku oczyszczania spalin powstają odpady poprocesowe, które są umieszczane w szczelnych silosach. Są one unieszkodliwiane poprzez stabilizację lub wykorzystywane jako wypełnienie pustych wyrobisk w kopalniach, np. soli mineralnych. Kontrolę danych przeprowadza pracujący w instalacji specjalista ds. ochrony środowiska, a praca zakładu jest nadzorowana przez właściwe instytucje zewnętrzne. W turbinowni znajduje się turbogenerator służący do produkcji energii cieplnej i elektrycznej. Instalacja działa w systemie kogeneracji co oznacza, że może wytwarzać jednocześnie prąd i ciepło oraz można zmieniać ilość wytwarzanej energii cieplnej dostosowując się do

zapotrzebowania ciepłowni. Hala waloryzacji żużla to miejsce, w którym żużel powstały w wyniku procesu spalania odpadów jest poddawany obróbce i przygotowywany do dalszego zagospodarowania. [7]

## 5. Charakterystyka badanych odpadów

Badane odpady to żużel oraz popiół powstałe w procesie termicznego przekształcania odpadów komunalnych. Pochodzą one z Instalacji Termicznego Przekształcania Odpadów Komunalnych w Poznaniu. Próbkę przeznaczoną do badania, zostały pobrane przez pracownika ITPOK Poznań. Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 27.IX.2001r. w sprawie katalogu odpadów (Dz. U. nr 112, poz. 1206), żużel o kodzie **19 01 12** został zakwalifikowany jako odpad z termicznego przekształcania odpadów, inny niż wymienione w 19 01 11. Natomiast badany popiół o kodzie **19 01 07\*** to odpad stały z oczyszczania gazów odlotowych, który stanowi odpad niebezpieczny.



Rys. 5.1 . Badane odpady poprocesowe a) żużel, b) popiół (wyk. własne)

Granulacja badanego żużla jest różnorodna (Rys. 5.1). Wstępnie można podzielić go względem tego na dwie grupy: 0/10mm oraz 10/20mm. Kolor szary, niejednorodny. W dotyku szorstki, porowaty, średnio ostry, twardy. Krawędzie nie są gładkie, ale także nie stanowią zagrożenia. Brak pylenia oraz charakterystycznego zapachu.

Natomiast otrzymana próbka popiołu w dużej mierze ma postać bardzo drobnych cząstek o szarej barwie (Rys. 5.2). Występują także pojedyncze fragmenty większych cząstek o kolorze jasnoszarym, białym lub brązowym. Frakcja odpadu nie jest jednolita. Jest on bezzapachowy, ale mocno pylisty.

## 6. Metodyka badań

W ramach analizy zostały przeprowadzone oznaczenia mające na celu zbadanie podstawowych właściwości fizykochemicznych odpadów, określenie zawartości makro i mikroelementów w odpadach oraz właściwości ich wyciągów wodnych. Wykonano następujące oznaczenia:

- Oznaczanie azotu amonowego w odpadach; wg normy PN-EN 16192:2012;
- Oznaczanie korozyjności odpadów przez pomiar pH; wg normy PN-EN ISO 9223:2012;
- Oznaczanie palności odpadów przez gwałtowne reakcje chemiczne; wg normy PN-EN 15590:2011;
- Oznaczanie palności odpadów przez pochłanianie wilgoci; wg normy PN-EN 15590:2011;
- Oznaczanie reakcyjności odpadów w przypadku wydzielania się toksycznych gazów; wg normy PN-C-04311:1990/Az1:1998;
- Oznaczanie wybuchowości odpadów w reakcji z wodą; wg normy PN-ISO 1213-2:1999;
- Oznaczanie gęstości nasypowej; wg normy PN-EN 1097-3:2000;
- Oznaczanie kwasowości ogólnej (Kp) i mineralnej (Km) w wyciągu wodnym z odpadów; wg normy PN-EN ISO 9963-1:2001;

- Oznaczanie zasadowości mineralnej (Zp) i zasadowości ogólnej (Zm) w wyciągu wodnym z odpadów; wg normy PN-EN ISO 9963-1:2001;
- Oznaczanie twardości ogólnej w wyciągu wodnym z odpadów; wg normy PN-EN ISO 7218:2008;
- Oznaczanie węgla organicznego w odpadach; wg normy PN-EN 16192:2012;
- Oznaczanie zawartości azotu ogólnego w odpadach; wg normy PN-EN 16192:2012;
- Oznaczanie zawartości chlorków w wyciągu wodnym z odpadów; wg normy PN-EN 196-2:2013-11;
- Oznaczanie zawartości fosforu w odpadach; wg normy PN-Z-15011-3:2001;
- Oznaczanie zawartości potasu, sodu, wapnia i litu metodą fotometrii płomieniowej w wyciągu wodnym; wg normy PN-Z-15011-3:2001;
- Oznaczanie zawartości siarki metodą Eschki; wg normy PN-ISO 351:1999;
- Oznaczenie pH wyciągu z odpadów; wg normy PN-EN 13055-2:2006;
- Oznaczanie zawartości siarczanów (VI) w wyciągu wodnym z odpadów; wg normy PN-ISO 9280:2002;
- Oznaczanie wilgotności za pomocą wagosuszarki; wg normy PN-EN 459-2:2010;
- Przygotowanie wyciągu wodnego z odpadów; wg normy PN-Z-15012:1998.

Każde oznaczenie przeprowadzono trzykrotnie. Uzyskane wyniki są średnią arytmetyczną z wykonanych pomiarów. [8,9]

## 7. Zestawienie wyników

Tabela 7.1 przedstawia zestawienie wyników otrzymanych z oznaczenia strat przy prażeniu, zawartości ogólnego węgla organicznego oraz kryteria dotyczące składowania odpadów niebezpiecznych na składowisku odpadów niebezpiecznych.

Tabela 7.1. Wymagania dotyczące składowania odpadów niebezpiecznych na składowiskach odpadów niebezpiecznych

Parametr	Symbol	Jednostka	Wymagania	Wynik	
				Popiół	Żużel
Strata przy prażeniu	LOI	% s.m.	10,00	3,68	0,15
Ogólny węgiel organiczny	TOC	% s.m.	6,00	p.o*	p.o*

\*p.o - poniżej progu oznaczalności

Z wyników zamieszczonych w tabeli 7.1 wynika, że badane odpady mogą być dopuszczone do składowania na składowisku odpadów niebezpiecznych. Badany odpad spełnia wymagania, które zawarte są w rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 6 marca 2017 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie opłat za korzystanie ze środowiska. W tym przypadku koszt poniesiony za składowanie popiołu o kodzie 19 01 07\* wyniósłby 57,95 zł/Mg, natomiast żużli o kodzie 19 01 12 - 24,76 zł/Mg. [10]

Tabela 7.2. Podstawowe właściwości fizyko-chemiczne badanych odpadów [opracowanie własne]

Parametr	Symbol	Jednostka	Wynik	
			Popiół	Żużel
Wilgotność całkowita	W <sub>c</sub>	%	0,98	6,55
Części palne	X <sub>p</sub>	%	3,68	0,15
Części niepalne	X <sub>NP</sub>	%	96,32	99,85
Gęstość nasypowa	ρ <sub>o</sub>	kg/m <sup>3</sup>	510	1 270

W tabeli 7.2 przedstawiono wyniki podstawowych właściwości fizykochemicznych badanych odpadów. Zawartość części palnych w badanym popiołach i żużlach wynoszą kolejno 3,68% i 0,15%, a części niepalnych



96,32% i 99,85%, co świadczy o dużej zawartości związków mineralnych w odpadach. Wilgotność całkowita popiołu jest znacznie mniejsza niż wilgotność badanego żużla. Jednak w obu przypadkach wartość badanego parametru wciąż są stosunkowo niskie. Badany popiół wykazuje gęstość nasypową rzędu  $510 \text{ kg/m}^3$ , natomiast żużel aż  $1270 \text{ kg/m}^3$ . 1 Mg popiołu zajmuje  $1,96 \text{ m}^3$ , a 1 Mg żużla zajmuje  $0,79 \text{ m}^3$ .

Tabela 7.3. Makroelementy badanych odpadów [opracowanie własne]

Parametr	Symbol	Jednostka	Wynik		Najwyższe dopuszczalne wartości**
			Popiół	Żużel	
Węgiel organiczny	TOC	% s.m	p.o*	p.o*	30
Fosfor	P	% s.m	0,38	0,11	-
		ppm	3800	1100	10
Azot ogólny	$N_{og}$	% s.m	p.o*	p.o*	30
Azot amonowy	$N_{NH_4}$	mg $N_{NH_4}$ /kg	p.o*	p.o*	20
Siarka	S	% s.m	2,82	0,91	-
		ppm	28200	9100	-
Siarczany	$SO_4$	% s.m	6,47	0,51	-
		ppm	64700	5100	500
Wapń	Ca	% s.m	0,20	0,00045	-
		ppm	2000	4,50	-
Potas	K	% s.m	0,34	0,00022	-
		ppm	3400	2,20	80
Lit	Li	% s.m	0,0005	0,000001	-
		ppm	5,00	0,01	-
Sód	Na	% s.m	0,37	0,00073	-
		ppm	3700	7,30	800

\* - poniżej progu oznaczalności

\*\* - Najwyższe dopuszczalne wartości dla zanieczyszczeń z Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego.

W tabeli 7.3 przedstawiono zawartość makroelementów w badanych odpadach. Zawartość węgla organicznego, azotu ogólnego oraz azotu amonowego w obu przypadkach znajdują się poniżej progu oznaczalności, co świadczy o śladowej ich ilości. Zawartość siarki to 2,82%, w przypadku popiołu, a 0,91% w przypadku próbki żużla. Natomiast zawartość siarczanów ( $SO_4$ ) wynosi kolejno 6,47% - popiół, 0,51% - żużel. Udział takich pierwiastków jak wapń, potas, lit i sód wynoszą kolejno: Ca- 0,20%, K- 0,34%, Li -0,0005, Na- 0,37% w przypadku popiołu oraz Ca- 0,00045%, K- 0,00022%, Li -0,000001, Na- 0,00073% w przypadku żużli. Udział fosforu w badanych odpadach jest minimalny i wynosi zaledwie 0,38% - popiół oraz 0,11% - żużel.

Tabela 7.4 przedstawia wyniki zanieczyszczeń wymywanych z badanych odpadów. Otrzymane wyniki pH wynoszące 10,15 oraz 11,76, świadczą o alkalicznym odczynie wyciągów wodnych z odpadów, co potwierdza również brak kwasowości ogólnej i mineralnej. Stężenie jonów chloru w wyciągu wodnym z próbki żużli jest większe niż stężenie jonów chloru w wyciągu wodnym z popiołu i wynoszą one kolejno  $2550 \text{ mg Cl/dm}^3$  – żużel oraz  $1010 \text{ mg Cl/dm}^3$  - popiół. Świadczy to o bardzo dużej wymywalności chlorków z odpadów. Po oznaczeniu twardości wyciągów wodnych można stwierdzić, że zawartość  $CaCO_3$  w wyciągu wodnym z próbki popiołu wynosi  $326 \text{ mg/dm}^3$ , natomiast twardość wyciągu wodnego z próbki żużli wynosi zaledwie  $0,89 \text{ mg/dm}^3$ .

Zasadowość ogólna badanego wyciągu wodnego z żużli wynosi 5,33 mval/dm<sup>3</sup>, a zasadowość mineralna 4,50 mval/dm<sup>3</sup>. Natomiast zasadowość ogólna badanego wyciągu wodnego z popiołu wynosi 3,67 mval/dm<sup>3</sup>, a zasadowość mineralna 1,67 mval/dm<sup>3</sup>. Wartości oznaczanego fosforu w wyciągach wodnych w obydwu przypadkach są minimalne i wynoszą zaledwie 0,0059% - popiół, 0,0011% - żużel.

Tabela 7.4. Parametry badanych odpadów na podstawie wyciągu wodnego

Parametr	Symbol	Jednostka	Wynik		Najwyższe dopuszczalne wartości*
			Popiół	Żużel	
pH	pH	-	10,15	11,76	12,5
Chlorki	Cl <sup>-</sup>	mg Cl <sup>-</sup> /dm <sup>3</sup>	1010	2550	1000
Fosfor	P	%	0,0059	0,0011	-
		ppm	59,00	11,00	10
Kwasowość ogólna	K <sub>p</sub>	mval/dm <sup>3</sup>	brak	brak	-
Kwasowość mineralna	K <sub>m</sub>	mval/dm <sup>3</sup>	brak	brak	-
Zasadowość mineralna	Z <sub>m</sub>	mval/dm <sup>3</sup>	1,67	4,50	-
Zasadowość ogólna	Z <sub>p</sub>	mval/dm <sup>3</sup>	3,67	5,33	-
Twardość ogólna	T <sub>og</sub>	mg CaCO <sub>3</sub> /dm <sup>3</sup>	326	0,89	-

\* - Najwyższe dopuszczalne wartości dla zanieczyszczeń z Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego.

Tabela 7.5. Metale ciężkie zawarte w badanych odpadach

Parametr	Symbol	Jednostka	Wynik		Najwyższe dopuszczalne wartości*
			Popiół	Żużel	
Kadm	Cd	mg/kg m.s.	56,88	b.d.**	3,00
Ołów	Pb	mg/kg m.s.	1243,92	b.d.**	80,00
Cynk	Zn	mg/kg m.s.	6187,7	b.d.**	180,00
Miedź	Cu	mg/kg m.s.	344,38	b.d.**	75,00

\* - Najwyższe dopuszczalne wartości dla zanieczyszczeń z Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego.

\*\*b.d – brak danych

W tabeli 7.5 zostały przedstawione wyniki dotyczące ilości metali ciężkich zawartych w badanych odpadach. Zawartość pierwiastków kadmu, cynku, miedzi oraz ołowiu w analizowanej próbce popiołu jest bardzo duża i przekracza ona dopuszczalne granice wymywania dla składowania tego typu odpadu na składowiskach odpadów niebezpiecznych. Metale ciężkie w przypadku, gdy dostają się do środowiska ze źródeł antropogenicznych, są bardzo szkodliwe dla ekosystemu oraz życia człowieka i duże ich stężenie w odpadzie świadczy o poważnym zagrożeniu. Dlatego metoda unieszkodliwiania tego odpadu musi być poprzedzona jego immobilizacją. Potrzebne jest chemiczne przekształcenie odpadu niebezpiecznego w odpad obojętny, tak by nie wymywały się z niego substancje szkodliwe, w tym głównie metale ciężkie. Dopiero wtedy można dopuścić się składowania tego odpadu.

Tabela 7.6. Reakcyjność, palność oraz korozyjność badanych odpadów

Parametr	Wyniki	
	Popiół	Żużel
Reakcyjność	b.r*	b.r*
Palność	b.r*	b.r*
Korozyjność	b.r*	b.r*

\* b.r - brak reakcji

Otrzymane odpady zbadano również pod kątem reakcyjności w kontakcie z wodą, palności odpadów przez gwałtowne reakcje chemiczne oraz ich korozyjności. Odpady nie wykazują żadnej reakcji w kontakcie z wodą, nie pylą się. W przypadku analizy palności obu odpadów, przy kontakcie ze związkami, takimi jak kwas solny (HCl), kwas azotowy (V) ( $\text{HNO}_3$ ), wodorotlenek sodu (NaOH) oraz kwas siarkowy ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) zachodziła szybka reakcja i pojawiały się bąbelki powietrza na powierzchni odpadów. Wyniki dotyczące korozyjności żużli i popiołów świadczą o bardzo małej szansie jej występowania oraz o właściwościach higroskopijnych badanych odpadów.

## 8. Podsumowanie

Popiół oraz żużel w stanie surowym, bądź po wstępnej obróbce (np. poprzez proces immobilizacji) mogą zostać składowane na składowisku odpadów niebezpiecznych bądź odpadów innych niż niebezpieczne. Jednak zgodnie z panującymi zaleceniami wynikającymi z hierarchii postępowania z odpadami oraz dążeniem do gospodarki o obiegu zamkniętym powinny zostać podjęte wszelkie możliwe kroki, aby nie doprowadzić do ich deponowania. Kierując się tymi wytycznymi oraz biorąc pod uwagę skład i charakterystykę badanych odpadów wtórnych zaproponowano kilka alternatywnych rozwiązań.

Po poddaniu popiołu procesowi stabilizacji możliwe jest wtórne jego wykorzystanie. Żużel dzięki braku statusu odpadu niebezpiecznego może zostać wykorzystany zarówno w formie surowej, jak i po obróbce. Dzięki właściwościom wiążących materiały te znajdują swoje zastosowanie w górnictwie (np. przy prowadzeniu profilaktyki pożarowej, wzmocnianiu mechanicznym górotworów, czy podsadzaniu wyrobisk), w budownictwie (np. jako dodatek do cementu, surowiec do wytwarzania sztucznych kruszyw lub do produkcji betonów komórkowych) oraz przy robotach inżynierskich i drogowych (np. stosowany przy budowie składowisk odpadów, przy przeciwpowodziowym uszczelnianiu terenów, do stabilizacji gruntów w pracach drogowych lub jako materiał do budowy nasypów). Innymi metodami wykorzystania tego typu odpadów wtórnych może być użycie znajdujących się w nich materiałów ceramicznych oraz szklarskich do zeszklenia, spiekania lub keramizacji i wytwarzania w ten sposób materiałów budowlanych takich jak cegły, dachówki czy granulaty izolacyjne. Ze względu na alkaliczny charakter odpadu, popiół znajdzie również zastosowanie w rolnictwie (możliwość wykorzystania go do odkwaszania gleb), ochronie środowiska oraz gospodarce komunalnej (zobojętnianie kwaśnych ścieków przemysłowych oraz neutralizacja ścieków komunalnych). Żużel denny powstały po spalaniu odpadów komunalnych podobnie jak inne żużle (pomiedziowe, paleniskowe, wielkopieczowe) mógłby być zagospodarowany w postaci ściemiwa syntetycznego. Zależnie od wyników mógłby to być granulata do obróbki strumieniowo-ściemnej lub artykuł do wyrobów ściemnych (osełki, narzędzia ścieme, papiery czy płótna ścieme). Dodatkowo, po przeprowadzeniu procesu witrafikacji lub keramizacji, zarówno żużli, jak i popiołów, istnieje możliwość stworzenia ściemiwa o innych właściwościach niż te powstałe z odpadu surowego. Tym samym istnieje możliwość ich użycia do różnego rodzaju powierzchni. Dzięki takim działaniom z jednego odpadu mogą powstać dwa rodzaje produktu: ściemiwa z odpadu surowego oraz z odpadu przetworzonego.

Zakres wykorzystania wspomnianych odpadów wtórnych jest bardzo szeroki. Dodatkowo rozwijająca się technologia może otworzyć nowe drogi wykorzystania ubocznych produktów spalania i wpasowania ich w założenia gospodarki o obiegu zamkniętym. [11-16]

**Literatura**

1. Nadziakiewicz J. Waclawiak K. Stelmach S. „Procesy Termiczne Utylizacji Odpadów” Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2012;
  2. Czajka K. „Program gospodarki odpadami komunalnymi dla powiatu Myślenickiego” Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2000;
  3. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz. U. z 2018 r. poz. 992);
  4. Rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 21 stycznia 2016 r. w sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów oraz sposobów postępowania z odpadami powstałymi w wyniku tego procesu (Dz. U. 2016 poz. 108);
  5. Ziaja R. „Spalanie odpadów komunalnych w Polsce”, Ogólnopolska Konferencja Młodych Energetyków 2016;
  6. Plan ITPOK, SUEZ - Zielona Energia, <http://www.sita-zielonaenergia.pl/zwiedzanie-ITPOK.html> (dostęp 12.0.2018);
  7. Plan ścieżki edukacyjnej w ITPOK, SUEZ - Zielona Energia, <http://www.sita-zielonaenergia.pl/zwiedzanie-ITPOK.html> (dostęp 12.03.2018);
  8. Czekalska Z., Czop M., Kajda-Szcześniak M. „Metody analizy w gospodarce odpadami. Zbiór instrukcji do ćwiczeń laboratoryjnych”. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2008;
  9. Biegańska J., Czop M., Kajda-Szcześniak M. „Gospodarka odpadami niebezpiecznymi. Materiały do zajęć laboratoryjnych.” Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2010;
  10. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 6 marca 2017 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie opłat za korzystanie ze środowiska (Dz. U. 2017 poz. 723);
  11. Mikuła J., Łach M., Mierzwiński D. „Sposoby zagospodarowania popiołów i żużli ze spalarni odpadów” Inżynieria Ekologiczna, Tom 18, Wydanie 3, Styczeń 2017, str. 37–46;
  12. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 8 stycznia 2013 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu (Dz. U. 2013 poz. 38)
  13. Lepinette Ch. „Uczynić z odpadu surowiec” Veolia Environmental Services, 2011;
  14. Pieczarkowski H. „Utylizacja żużli i popiołów ze spalania odpadów komunalnych” Przegląd Geologiczny, vol. 44 nr 7, 1996;
  15. <http://www.goudsmitmagnets.com/przemyslowe-systemymagnetyczne/branche/163/recycling-popiol-zuzel> (dostęp 26.05.2018);
  16. Kraszewski C. „Właściwości techniczne i chemiczne żużli ze spalania odpadów komunalnych (IBA) oraz możliwość ich zastosowania w budownictwie drogowym” Instytut Badawczy Dróg i Mostów w Warszawie Zakład Geotechniki i Fundamentowania;
  17. Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 29 grudnia 2016 r. w sprawie szczegółowego sposobu selektywnego zbierania wybranych frakcji odpadów (Dz. U. z 2017 poz. 19)
  18. <https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/Nie-ma-mozliwosci-by-spalarni-zabraklo-odpadow-4298.html> (dostęp 26.05.2018);
  19. <https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/Recykling-odpadow-komunalnych-w-Polsce-2016-4291.html#xtor=EPR-1>(dostęp 26.05.2018);
  20. <https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/Zagospodarowanie-odpadow-komunalnych-w-Polsce-w-2016-r-4290.html> (dostęp 26.05.2018);
  21. <https://www.nik.gov.pl/aktualnosci/nik-o-gospodarowaniu-odpadami-komunalnymi-w-nbsp-aglomeracji-poznanskiej.html> (dostęp 26.05.2018);
-