



## Tests of phytotoxicity of ashes from low-rise buildings on selected group of plants

Monika CZOP<sup>1</sup>, Daniel CZOCH<sup>1</sup>, Agata KOROL<sup>1</sup>, Anna MADUZIA<sup>1</sup>

<sup>1</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), [danielczoch03@gmail.com](mailto:danielczoch03@gmail.com), [agatakorol92@gmail.com](mailto:agatakorol92@gmail.com), [maduzia.anna@gmail.com](mailto:maduzia.anna@gmail.com)

### Abstract

Ash is a solid remain from combustion of organic substances such as solid fuels. Ash is a secondary product. Combustion waste received from combustion of biomass may constitute mineral manure that might be used in agriculture. Conducted tests consisted on determination of the influence of ash from low-rise buildings on the germination of selected plant species. Test covered four types of ashes generated in typical household furnace fired with solid fuels: hard coal, wood wastes and fruit tree timber.

The article compares basic physicochemical properties of ashes from household furnaces and discusses their impact on germination and early stages of growth in selected plants (wheat, cress and white mustard). Phytotoxicity tests were performed in accordance with standard ISO-11269-2:2001 and guidelines ECD/OCDE 208/2006.

**Keywords:** ash, waste, combustion, physicochemical properties, Phytotoxicity tests

### Streszczenie

Badanie fitotoksyczności popiołu z zabudowy niskiej na wybranej grupie roślin

Popiół to stała pozostałość po spalaniu substancji organicznej np. paliw stałych. Popiół jest produktem wtórnym. Odpad paleniskowy otrzymany ze spalania biomasy może stanowić nawóz mineralny z możliwością do zastosowania w rolnictwie. Przeprowadzone badania dotyczyły określenia wpływu popiołów z zabudowy niskiej na kiełkowanie wybranych gatunków roślin. Badaniom poddano cztery rodzaje popiołów powstających w typowych paleniskach gospodarstw domowych opalanych paliwami stałymi: węglem kamiennym, odpadami drzewnymi i drewnem drzewa owocowego.

W artykule porównano podstawowe właściwości fizykochemiczne popiołów pochodzących z palenisk domowych i omówiono ich wpływ na wschody oraz wczesne stadia wzrostu wybranych roślin (pszenica, rzeżucha i gorczyca biała). Badania fitotoksyczności przeprowadzono zgodnie z normą ISO-11269-2:2001 oraz przewodnikiem OECD/OCDE 208/2006.

**Słowa kluczowe:** popiół, odpad, spalanie, właściwości fizykochemiczne, fitotoksyczność

### 1. Wstęp

Popioły powstające w domostwach zabudowy niskiej stanowią problem środowiskowy. Z jednej strony powstają w dużych ilościach, w szczególności w sezonie grzewczym, który w Polsce trwa ok. pół roku – od listopada do kwietnia, a z drugiej strony niejasny jest sposób ich ewentualnego zagospodarowania. Obecnie w Polsce, na mocy nowelizacji Ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach z dnia 13 września 2013 r., obowiązek odbioru odpadów przejęły gminy i dominującą formą zagospodarowania popiołów jest ich deponowanie na składowisku [1]. Nierzadko jednak dochodzi do sytuacji, kiedy popioły wykorzystywane są przez społeczeństwo do utwardzania nawierzchni i dróg, lub też odprowadzane zostają bezpośrednio do środowiska, gdyż jak wspomniano wcześniej powstają w znacznych ilościach i zalegają w budynkach mieszkalnych. Problemem jest również selektywna zbiórka popiołów. Segregacja tego odpadu może być realizowana różnymi metodami, jednak najbardziej pożądana jest segregacja „u źródła”. Oznacza to, że odpady zbierane są w sposób selektywny, już w miejscu ich powstawania, czyli w zabudowie jednorodzinnej i umieszczane w specjalnie do tego

przeznaczonych pojemnikach. W realizacji tego rodzaju segregacji przeszkodę stanowi fakt, że selektywna zbiórka nie jest wymagana prawnie, a dodatkowo wiąże się z podwyższoną opłatą za wywóz odpadów z gospodarstwa domowego. Ponadto barierę stanowi niska świadomość ekologiczna mieszkańców oraz słaba dyscyplina społeczna w codziennej, selektywnej zbiórce odpadów komunalnych.

Celem badań jest określenie fitotoksyczności popiołu na wybranych grupach roślin oraz analiza podstawowych zanieczyszczeń wymywanych z analizowanych popiołów, które mogą wpływać na toksyczne oddziaływanie.

## 2. Ogólna charakterystyka popiołów

Termin popioły oznacza ten rodzaj stałych cząstek, które powstały jako produkt uboczny w procesie termicznej degradacji. Natomiast pojęcie „lotne” sugeruje nawiązanie do popiołów, które w składzie mają frakcje, zdolne do unoszenia się w powietrzu [2].

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 09 grudnia 2014 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz. U. 2014, poz. 1923) uboczne produkty spalania (w tym odpady paleniskowe) przyporządkowano do grupy odpadów z procesów termicznych, których kod to 10. W skład tej grupy wchodzi m.in. [3].

- Żużle, popioły paleniskowe i pyły z kotłów – 10 01 01;
- Popioły lotne z węgla – 10 01 02;
- Mikrosfery z popiołów lotnych – 10 01 81.

W Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 21 marca 2006 roku w sprawie odzysku lub unieszkodliwiania odpadów poza instalacjami i urządzeniami (Dz. U. 2006, nr 49 poz.356) na podstawie art. 13 ust. 2a można wywnioskować, iż odpadem pochodzącym z paleniska domowego, którym możliwe jest utwardzanie powierzchni terenów jest jedynie żużel. Zabronione jest wykorzystywanie popiołów z paleniska zabudowy niskiej w tym celu [4]. W Polsce powstawanie lotnych popiołów koncentruje się przede wszystkim w miejskich aglomeracjach.

Podczas spalania węgla, w wyniku przemian fizykochemicznych, z substancji mineralnej powstaje popiół, którego ilość, struktura i skład różni się od początkowej substancji mineralnej. Z uwagi na zastosowanie różnorodnych technologii spalania oraz różniącego się składu paliwa, ziarna paliwa odznaczają się niejednakowym składem fazowym, chemicznym oraz morfologicznym [5].

Największy wpływ na skład chemiczny popiołów ma technologia spalania, przebieg procesu spalania oraz pochodzenie i różnorodność stosowanych gatunków węgla.

Popioły lotne charakteryzują się obecnością wielu pierwiastków, przykładowo: tlen, glin, krzem, żelazo, magnez, wapń, potas, tytan. Ich udział waha się od kilku do kilkudziesięciu procent. Dodatkowo jednak, w popiele istnieje szereg innych pierwiastków, które ze względu na mały udział nazywa się pierwiastkami śladowymi. Ich zawartość to kilka do kilkudziesięciu ppm. Są to m.in.: arsen, bar, kadm, kobalt, chrom, miedź, gal, german, mangan, nikiel, ołów, rubid, cyna, stront, ittr, cynk, cyrkon. Skład chemiczny popiołów najczęściej podaje się w formie tlenkowej. W popiele obecne są trzy podstawowe tlenki: krzemu ( $\text{SiO}_2$ ), wapnia ( $\text{CaO}$ ) i glinu ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Wymienione tlenki stanowią 80 – 90 % wszystkich obecnych w popiołach tlenków. Na tej podstawie klasyfikuje się popioły wg składu chemicznego na: krzemianowy, wapniowy oraz glinowy [2, 6].

W skład mineralny popiołów wchodzi [2]:

- Minerale tlenkowe – tlenki glinu, żelaza, magnezu, wapnia;
- Ziarna metali – głównie żelaza, przybierające postać form kulistych;
- Glinokrzemiany i krzemiany – struktura pierścieniowa, łańcuchowa, przestrzenna.

Dominującym składnikiem fazowym popiołów jest substancja amorficzna (tzw. amorficzne szkło). Zawartość substancji szklistej waha się w granicach 50 – 90 %. Skład chemiczny szkliska jest zmienny i zależy od wielu czynników, dlatego niełatwo jest podać jego charakterystykę. Formy fazy szklistej przyjmują kuliste kształty. Najliczniejszą grupę ziaren stanowią ziarna o wielkości ok. 1  $\mu\text{m}$ , ale mogą osiągać wielkość nawet od 300 do 500  $\mu\text{m}$  [2, 5].

Istotnym czynnikiem określającym popioły jest również ich skład granulometryczny. Jest on zależny od rodzaju oraz pochodzenia węgla, rozdrobnienia frakcji, a także od typu kotłów, w których ulega spalaniu [5].

### 3. Popiół a rośliny

Określenie możliwego ryzyka związanego z toksycznością popiołu względem roślin było dominującym aspektem badanej pracy. Sformułowanie to definiuje się jako fitotoksyczność. Narażenie rośliny na kontakt z popiołem jest możliwe, kiedy zostanie on bezpośrednio wprowadzony do środowiska przyrodniczego. Wpływ odpadu paleniskowego na rośliny badany był w pierwszym stadium rozwojowym rośliny, a toksyczne substancje zostały wchłonięte przez system korzeniowy roślin. Ocena fitotoksyczności może się objawiać w różny sposób, dlatego niezbędnym jest prowadzenie badań na roślinach z różnych jednostek systematycznych. W tym przypadku zastosowano rośliny jedno i dwuliścienne, zgodnie z wymaganiami zawartymi w przewodniku OECD/OCDE 208/2006 [7].

Tabela 3. 1. Wybór gatunków roślin zgodnie z OECD/OCDE 208/2006.

Kategoria	Badany gatunek	
1	Rajgras Ryż Owies Pszenica Sorgo	Lolium perenne Oryza sativa Avena sativa Triticum aestivum Sorghum bicolor
2	Gorzycza Rzepak Rzodkiew Rzepa Kapusta chińska	Brassica alba Brassica napus Raphanus sativus Brassica rapa Brassica campestris var. chinensis
3	Wyka Fasola złota Koniczyna czerwona Kozieradka pospolita Sałata Rzeżucha	Vicia sativa Phaseolus aureus Trifolium pratense Trifolium ornithopodioides Lactuca sativa Lepidium sativum

### 4. Charakterystyka popiołów badanych

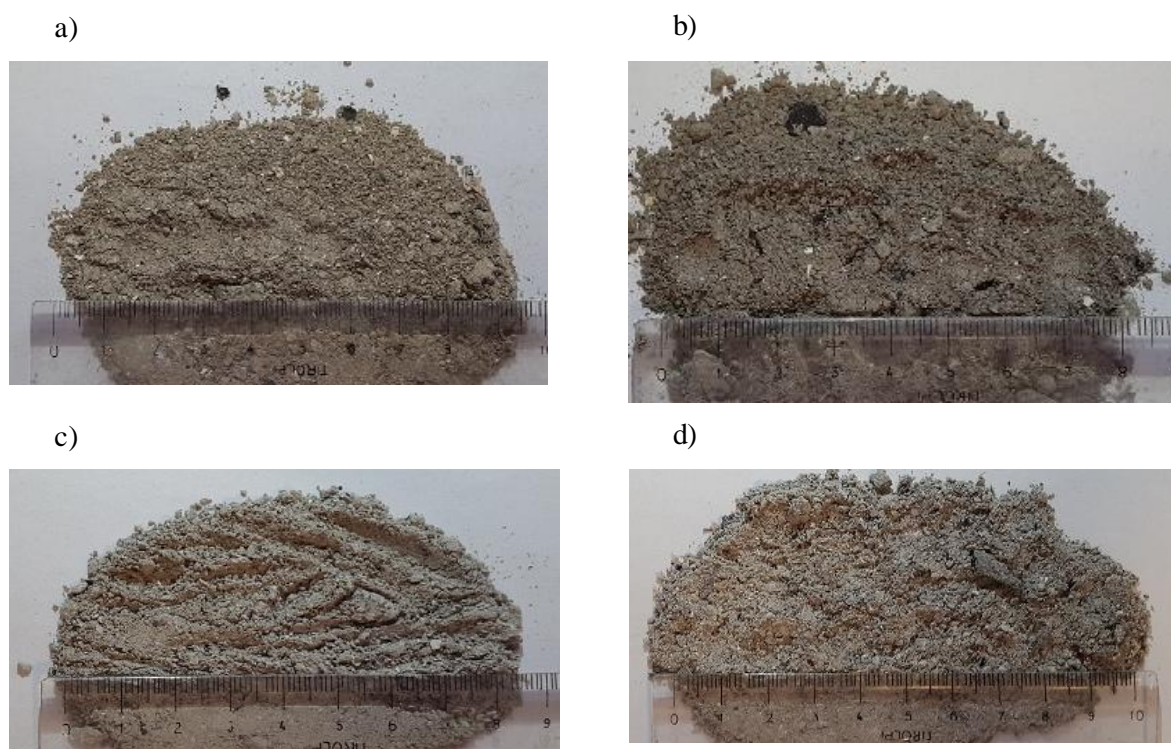
Badaniom poddano popioły, powstałe w procesie spalania w zabudowie niskiej:

- węgla kamiennego z dodatkiem odpadów (PP<sub>1</sub>),
- węgla kamiennego (PP<sub>2</sub>) w kotle centralnego ogrzewania.

oraz popioły wytworzone w wyniku spalania w domowym kominku:

- drewna leśnego (PK<sub>3</sub>),
- drzewa owocowego (PK<sub>4</sub>).

Analizowane odpady cechowały się sypką, drobną frakcją oraz szarą barwą o zróżnicowanym odcieniu. Na rysunku 4.1 zaprezentowano badane popioły pochodzące z zabudowy niskiej.



Rys. 4.1. Badany popiół ze spalania a) PP<sub>2</sub>, b) PP<sub>1</sub>, c) PK<sub>3</sub>, d) PK<sub>4</sub> (wyk. własne).

## 5. Metodologia badań

W celu określenia podstawowych właściwości chemicznych badanych popiołów przeprowadzono szereg oznaczeń. Wszystkie oznaczenia przeprowadzono zgodnie z obowiązującymi normami. W tabeli 5.1 zamieszczono wykaz zastosowanych norm.

Tabela 5. 1. Normy polskie zastosowane w analizie.

Parametr	Symbol	Jednostka	Norma
Oznaczanie wilgotności całkowitej	W <sub>c</sub>	%	PN-Z-15008-02:1993P
Oznaczanie pH	pH	-	PN-Z-15011-3:2001P
Oznaczanie gęstości nasypowej	ρ	kg/m <sup>3</sup>	BN-79-6048-02-06
Oznaczanie azotu amonowego - metoda destylacyjna z miareczkowaniem	N <sub>NH4</sub>	mg/kg	PN-ISO 5664:2002P
Oznaczanie sumarycznej zawartości wapnia i magnezu -- Metoda miareczkowa z EDTA	T <sub>og</sub>	mval/dm <sup>3</sup>	PN-ISO 6059:1999
Oznaczanie chlorków - metoda miareczkowania azotanem srebra w obecności chromianu jako wskaźnika (Metoda Mohra)	Cl <sup>-</sup>	g/dm <sup>3</sup>	PN-ISO 9297:1994P

W ramach badań wykonano test fitotoksyczności na popiołach z zastosowaniem roślin z trzech kategorii sugerowanych przez OECD[7]:

- jednoliściennych – pszenica (kategoria 1),
- dwuliściennych – gorczyca (kategoria 2),
- dwuliściennych – rzeżucha (kategoria 3).

Zanim przystąpiono do przeprowadzenia testów toksykologicznych, skontrolowano zdolność kiełkowania nasion pozostawionych w ciemni w temperaturze 21°C. Do dalszych testów wybrano nasiona, których zdolność

kiełkowania przekroczyła 90%. Test kiełkowania i wzrostu roślin przeprowadzono w oparciu o obowiązującą normę [8].

Szalkę Petriego wyłożono warstwą badanego popiołu i zwilżono wodą destylowaną. Następnie odpad przykryto bibułą filtracyjną oraz umieszczono na niej dokładnie 25 wybranych nasion i ponownie nawilżono. Test prowadzony był dwukrotnie dla każdego z badanych popiołów.

Badania przeprowadzono w miejscu zacienionym, w temperaturze otoczenia (ok. 25°C), w czasie 72h. Równoległe z testami właściwymi wykonano próby kontrolne.

Inhibicję lub stymulację określono na podstawie pomiaru wzrostu korzeni i łodyg, które odniesiono do prób kontrolnych.

Zdolność kiełkowania ( $Z_k$ , %) zdefiniowano wzorem [5]:

$$Z_k = \frac{n_k}{n_c} \cdot 100 [\%] \quad (5.1)$$

gdzie:

$n_k$  - liczba nasion wykiełkowanych,

$n_c$  - liczba wszystkich wysianych nasion.

Współczynnik inhibicji wzrostu korzeni roślin ( $I_K$ , %) obliczono na podstawie wzoru [5]:

$$I_K = \frac{L_k - L_b}{L_k} \cdot 100 [\%] \quad (5.2)$$

gdzie:

$L_k$  - średnia długość korzeni roślin w próbce kontrolnej [mm],

$L_b$  - średnia długość korzeni roślin w próbce badanej [mm].

Analogicznie obliczono współczynnik inhibicji wzrostu łodyg roślin ( $I_N$ ) [5]:

$$I_N = \frac{L_k - L_b}{L_k} \cdot 100 [\%] \quad (5.3)$$

gdzie:

$L_k$  - średnia długość łodyg roślin w próbce kontrolnej [mm],

$L_b$  - średnia długość łodyg roślin w próbce badanej [mm].

Dokonano obliczenia indeksu kiełkowania dla sumarycznej oceny obu parametrów (%GI — ang. germination index) wzorując się na formule [5]:

$$GI = \frac{(G_s \cdot L_s)}{(G_c \cdot L_c)} \cdot 100 [\%] \quad (5.4)$$

gdzie:

$G_s$  - liczba wykiełkowanych nasion w badanej próbce,

$G_c$  - liczba wykiełkowanych nasion w próbce kontrolnej,

$L_s$  - długości korzeni w badanej próbce [mm],

$L_c$  - długości korzeni w próbce kontrolnej [mm].

## 6. Wyniki badań i ich dyskusja

W celu sprawdzenia potencjalnego oddziaływania badanych popiołów na rośliny uprawne określono podstawowe właściwości fizykochemiczne. W tabeli 6.1 zaprezentowano podstawowe parametry badanych popiołów z palenisk zabudowy niskiej.

Badane popioły z paleniska zabudowy niskiej charakteryzują się niską wilgotnością, która dla popiołów PP<sub>1</sub> oraz PP<sub>2</sub> wynosi odpowiednio 2,39% i 2,35%. Dla popiołu PK<sub>3</sub> i PK<sub>4</sub> wilgotność jest rzędu 1,35% oraz 1,34%.

Wszystkie przebadane popioły cechują się zasadowym odczynem. Najbardziej zasadowy jest PK<sub>4</sub>, jego pH jest równe 12,43. Większość roślin wzrasta na glebach o odczynie lekko kwaśnym lub obojętnym. Na podłożu o odczynie zasadowym porastają rośliny jedynie bardzo tolerancyjne.

Największą gęstością nasypową odznacza się popiół PP<sub>1</sub>, która wynosi 564,8 kg/m<sup>3</sup>, natomiast popiół PK<sub>4</sub> osiąga najmniejszą wartość równą 228,0 kg/m<sup>3</sup>.

Tabela 6.1. Właściwości fizykochemiczne badanych popiołów z zabudowy niskiej (badania własne).

Wskaźnik zanieczyszczenia	Jednostka	Rodzaj popiołu			
		PP <sub>1</sub> [9]	PP <sub>2</sub>	PK <sub>3</sub>	PK <sub>4</sub>
Wilgotność	%	2,39	2,35	1,35	1,34
pH	–	11,38	11,71	11,93	12,43
Gęstość nasypowa	kg/m <sup>3</sup>	564,80	438,40	341,30	228,00
Azot amonowy	$\frac{\text{mgN}_{\text{NH}_4}}{\text{kg odpadów}}$	349,43	408,26	330,40	42,00
Twardość ogólna	mval/dm <sup>3</sup>	20,46	24,70	5,50	143,13
Zawartość chlorków	mg/dm <sup>3</sup>	0,06	76,03	0,08	0,15

Azot amonowy sprzyja rozwojowi systemu korzeniowego roślin, a także powoduje ograniczenie akumulacji azotanów w roślinach. W środowisku zasadowym azot amonowy ulega redukcji do wolnego amoniaku, który w większych stężeniach wpływa fitotoksycznie na młode rośliny w fazie kiełkowania lub na siewki. [10, 11] Największa zawartość azotu amonowego występuje w popiele PP<sub>2</sub>, wynosi ona  $408,26 \frac{\text{mgN}_{\text{NH}_4}}{\text{kg odpadów}}$ . W popiołach PP<sub>1</sub> oraz PK<sub>3</sub> azot amonowy utrzymuje się na podobnym poziomie  $349,43 \frac{\text{mgN}_{\text{NH}_4}}{\text{kg odpadów}}$  oraz  $330,40 \frac{\text{mgN}_{\text{NH}_4}}{\text{kg odpadów}}$ , natomiast dla popiołu PP<sub>4</sub> jest to wartość rzędu  $42,00 \frac{\text{mgN}_{\text{NH}_4}}{\text{kg odpadów}}$ .

Twardość ogólna dla popiołu PP<sub>1</sub> i PP<sub>2</sub> utrzymuje się na porównywalnym poziomie, który wynosi odpowiednio 24,70 mval/dm<sup>3</sup> oraz 20,46 mval/dm<sup>3</sup>. Największą twardością ogólną charakteryzuje się popiół PK<sub>4</sub>, która jest równa 143,13 mval/dm<sup>3</sup>. Oznacza to, że otrzymane wyciągi z badanych popiołów są bardzo twarde.

Zgodnie z Rozporządzeniem 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 niebezpiecznych dla środowiska wodnego (Dz. U. 2014 poz. 1800) dopuszczalna zawartość chlorków w ściekach, które są wprowadzane do wód lub ziemi wynosi 1000 mg/dm<sup>3</sup> [12]. Poziom chlorków we wszystkich badanych popiołach nie przekracza tej wartości, co oznacza że powstałe odcieki nie są zbyt uciążliwe dla środowiska. Największą zawartością chlorków charakteryzuje się popiół PP<sub>2</sub>, jest to wartość rzędu 76,03 mg/dm<sup>3</sup>. Najmniejszą zawartość chlorków odnotowano dla PP<sub>1</sub>, wynosi ona 0,06 mg/dm<sup>3</sup>.

Wyniki badania zmian fitotoksyczności wybranych popiołów z zabudowy niskiej przedstawiono w tabelach 6.2 – 6.4 oraz na rysunkach 6.1 – 6.4. Ocenę toksyczności badanych popiołów przeprowadzono w oparciu o test biologiczny z zastosowaniem rzeżuchy ogrodowej, gorczycy i pszenicy, gdyż są to rośliny charakteryzujące się wysoką wrażliwością korzeni na obecność związków mutagennych oraz kancerogennych. Kiełkowanie i wzrost korzenia to dwa etapy rozwoju roślin, które są szczególnie wrażliwe na oddziaływanie szeregu zanieczyszczeń.

Tabela 6.2. Zdolność kiełkowania [%].

Badane rośliny	PP <sub>1</sub>		PP <sub>2</sub>		PK <sub>3</sub>		PK <sub>4</sub>		Próba kontrolna		Gleba referencyjna	
	K	Ł	K	Ł	K	Ł	K	Ł	K	Ł	K	Ł
Rzeżucha	92	88	64	42	0	0	0	0	100	100	100	100
Gorczyca	100	82	100	44	0	0	0	0	100	100	100	100
Pszenica	76	74	56	62	0	0	0	0	60	60	100	100

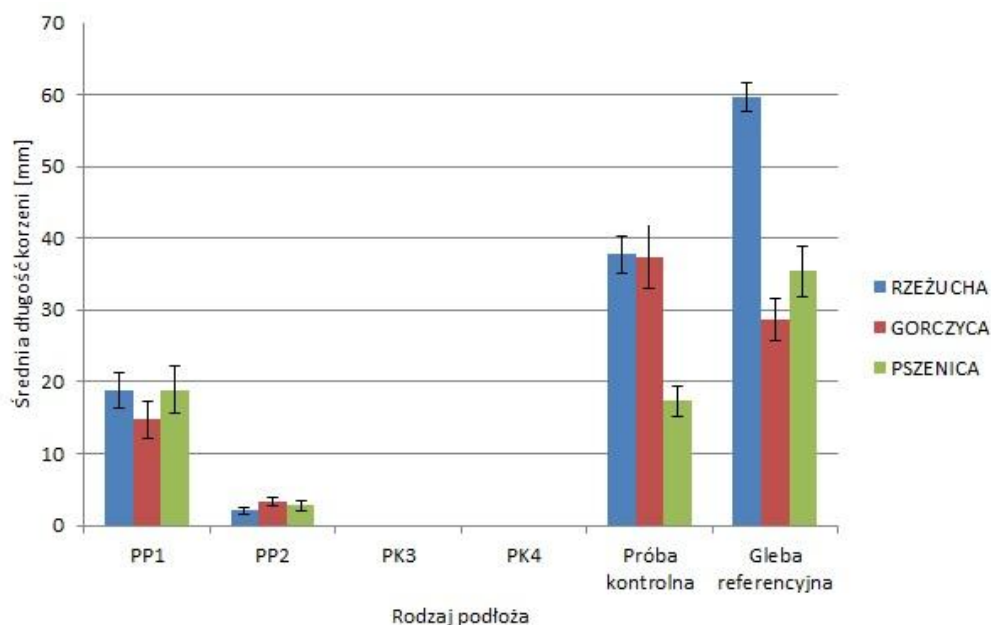
K –korzeń, Ł – łodyga.

W tabeli 6.2 zaprezentowano wyniki dotyczące zdolności kiełkowania dla poszczególnych roślin i badanych prób. Zdolność kiełkowania dla korzeni rzeżuchy na badanych popiołach waha się w granicach 64 – 100%, dla łodyg od 42 – 100%.

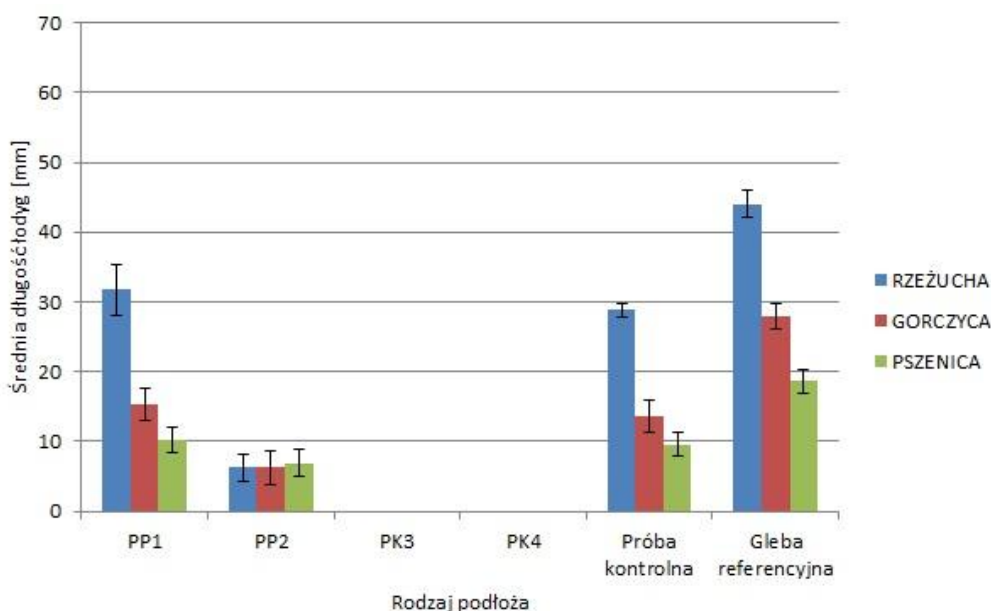
Wartość tego współczynnika dla gorczycy jest na poziomie 100%, dla korzeni oraz 44 – 100% dla łodyg, a dla pszenicy od 56 – 76% - korzenie i od 60 – 74% dla łodyg.

Zdolność kiełkowania nasion wysianych na glebie referencyjnej wynosi 100% zarówno dla rzeżuchy, gorczycy jak również pszenicy.

Na rysunkach 6.1 i 6.2 przedstawiono wyniki pomiarowe średnich długości korzeni oraz łodyg rzeżuchy, gorczycy oraz pszenicy na badanych popiołach z zabudowy niskiej. Jeżeli chodzi o badane popioły to najdłuższe korzenie rzeżuchy, gorczycy i pszenicy uzyskano na PP<sub>1</sub>, dużo mniejszy przyrost zanotowano na PP<sub>2</sub> (Rys. 6.1).

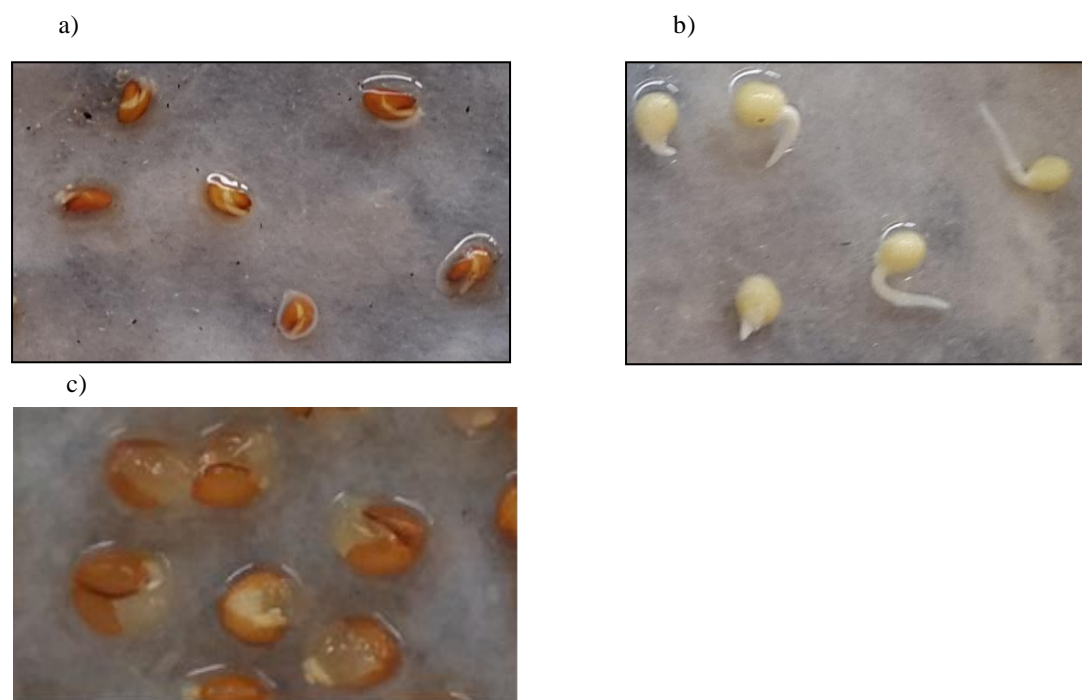


Rys. 6.1. Porównanie długości korzeni w zależności od rodzaju badanego popiołu z zabudowy niskiej.

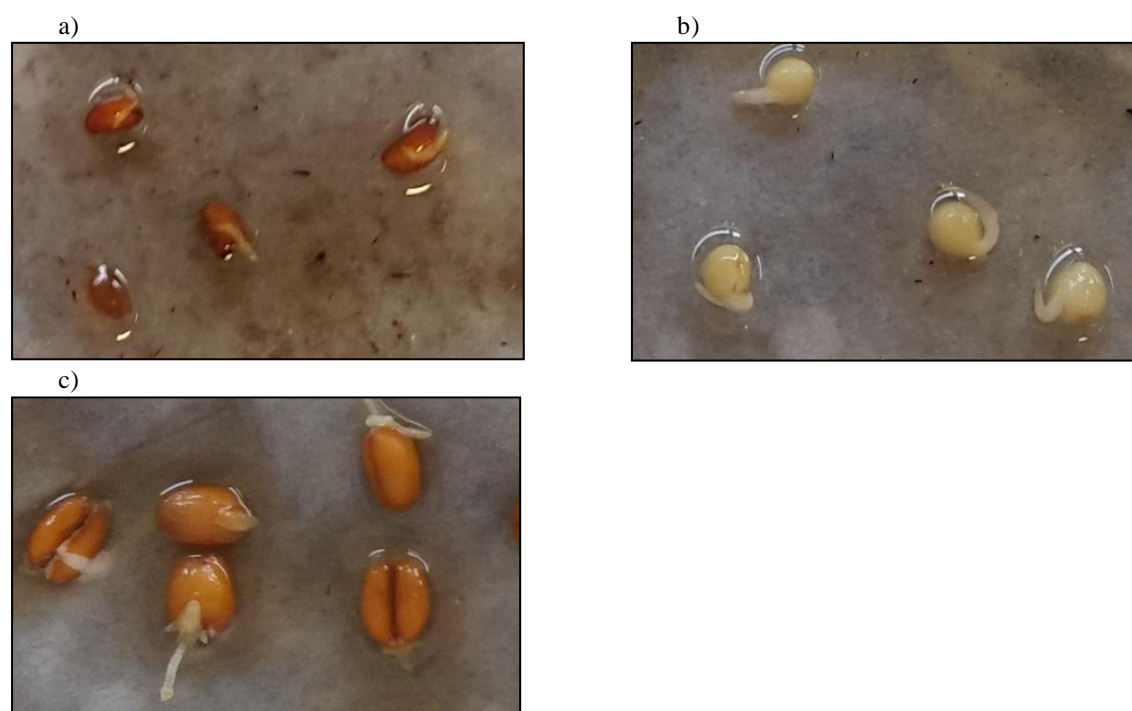


Rys. 6.2. Porównanie długości łodyg w zależności od badanego popiołu z zabudowy niskiej.

Natomiast zerowy przyrost korzeni odnotowano dla PK<sub>3</sub> i PK<sub>4</sub>. Analogicznie sytuacja wyglądała ze wzrostem łodygi (Rys. 6.2). Popiół PK<sub>3</sub> oraz PK<sub>4</sub> w każdej przeprowadzonej próbie powodował nekrozę nasion wybranych roślin (Rys. 6.3).



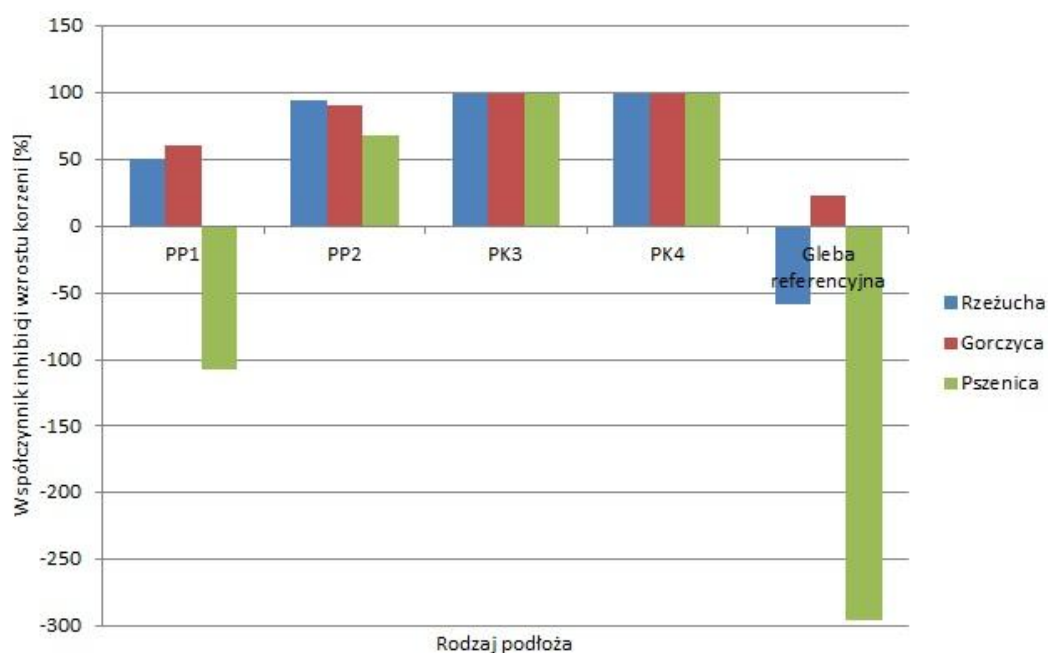
Rys. 6.3. Fitotoksyczność popiołu PK<sub>4</sub> a) rzeżucha, b) gorczyca, c) pszenica (wyk. własne)



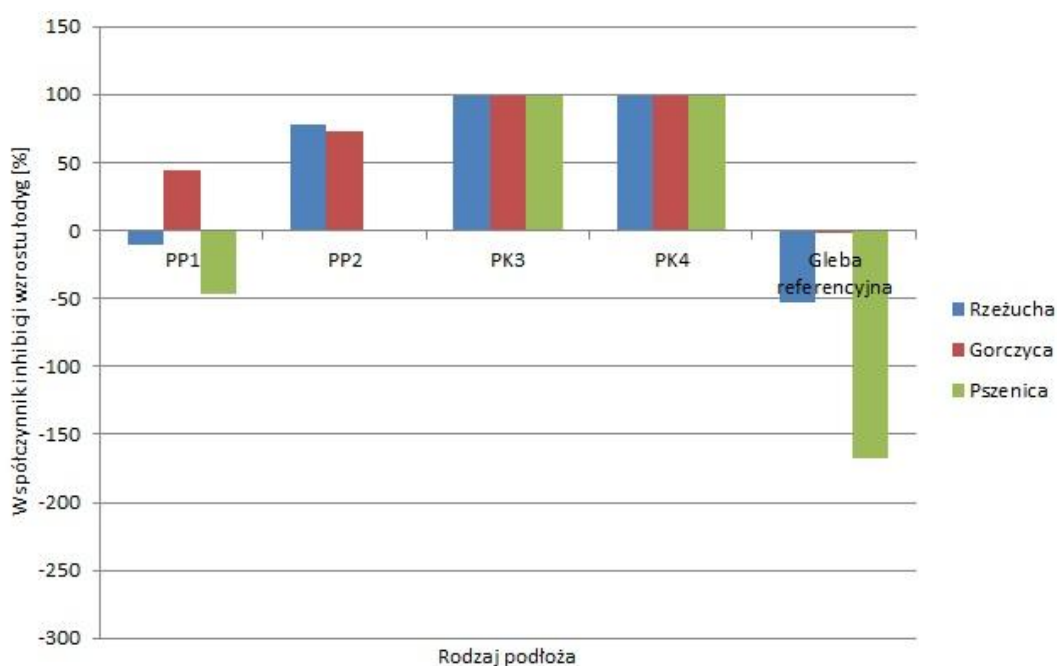
Rys. 6.4. Fitotoksyczność popiołu PK<sub>3</sub> a) rzeżucha, b) gorczyca, c) pszenica (wyk. własne)

Na rysunkach 6.5 – 6.6 zaprezentowano wyniki dotyczące współczynników inhibicji korzeni oraz łodyg dla poszczególnych roślin na badanych popiołach.





Rys. 6.5. Współczynnik inhibicji wzrostu korzeni roślin w zależności od badanych popiołów.



Rys. 6.6. Współczynnik inhibicji wzrostu łodyg roślin w zależności od badanych popiołów.

W przeprowadzanych badaniach po 72 godzinach określono współczynnik inhibicji korzeni i łodyg dla poszczególnych roślin.

Można powiedzieć, że popioły kominkowe (PK<sub>3</sub> i PK<sub>4</sub>) zarówno dla korzenia jak i łodygi wybranych roślin wykazują zdecydowaną inhibicję (100%) we wczesnym stadium ich wzrostu.

Popiół PP<sub>2</sub> również charakteryzuje się inhibicją dla części korzeniowej i łodyg wybranych roślin. Współczynnik inhibicji dla części korzeniowej poszczególnych roślin kształtuje się następująco: dla rzeżuchy 94,4%,

gorzycy 91,11% oraz pszenicy 68,53%. Natomiast dla łodyg wybranych roślin współczynnik inhibicji określono na poziomie: 78,26% dla rzeżuchy, 73,31% dla gorzycy i 1,44% dla pszenicy.

Najmniejsze oddziaływanie inhibicyjne na korzeń i łodygę odnotowano dla PP<sub>1</sub>, o czym świadczy współczynnik zahamowania wzrostu korzeni dla rzeżuchy 50,16%, gorzycy 60,87, a dla pszenicy odnotowano w rozpatrywanym przypadku zdecydowaną stymulację, która była rzędu -107,25%.

Współczynnik inhibicji wzrostu łodygi dla PP<sub>1</sub> kształtował się na poziomie: rzeżucha -10,21%, gorzycza 44,91% oraz pszenica -46,84%. Można powiedzieć, że odnotowano stymulację.

Tabela 6.3 Indeks kiełkowania [%].

Badane rośliny	PP <sub>1</sub>		PP <sub>2</sub>		PK <sub>3</sub>		PK <sub>4</sub>		Gleba referencyjna	
	K	Ł	K	Ł	K	Ł	K	Ł	K	Ł
Rzeżucha	46,46	98,32	3,53	9,18	0,00	0,00	0,00	0,00	158,11	153,06
Gorzycza	39,13	44,53	8,89	9,18	0,00	0,00	0,00	0,00	76,55	100,14
Pszenica	56,26	45,35	44,36	137,99	0,00	0,00	0,00	0,00	394,97	267,82

K –korzeń, Ł – łodyga.

Największą wartością indeksu kiełkowania spośród badanych popiołów z zabudowy niskiej dla rzeżuchy, gorzycy i pszenicy charakteryzuje się popiół PP<sub>1</sub> w odniesieniu do gleby referencyjnej (Tabela 6.3).

Tabela 6.4 Stosunek długości korzenia do łodygi.

Badane rośliny	PP <sub>1</sub>	PP <sub>2</sub>	PK <sub>3</sub>	PK <sub>4</sub>	Próba kontrolna	Gleba referencyjna
Rzeżucha	0,59	0,33	0,00	0,00	1,30	1,53
Gorzycza	0,95	0,45	0,00	0,00	1,34	1,02
Pszenica	1,85	0,41	0,00	0,00	1,31	1,90

Zakłada się, że optymalna wartość stosunku długości korzenia do łodygi ma być równa 1, wówczas roślina będzie stabilnie wzrastała w podłożu.

Jedynie stosunek długości korzenia do łodygi jest zbliżona do 1 dla badanego popiołu PP<sub>1</sub>. W pozostałych analizowanych przypadkach wartość tego stosunku jest znacznie mniejsza od 1. Dla popiołu PP<sub>2</sub> wartość tej zależności jest poniżej 0,5, spowoduje to znaczną dysproporcję pomiędzy częścią korzeniową a łodygą.

## 7. Podsumowanie

Kłopotliwy do zagospodarowania popiół stanowi uciążliwy balast w gospodarce odpadami. Brak koncepcji na jego kompleksowe wykorzystanie jest podstawą do szukania bezpiecznego i optymalnego sposobu jego zagospodarowania. Zagospodarowanie generowanych przez gospodarstwa domowe odpadów paleniskowych będzie pozytywnym aspektem ponieważ ograniczy ilość odpadów kierowanych na składowisko.

Racjonalne wykorzystanie odpadów paleniskowych w dzisiejszych czasach jest najkorzystniejszym i priorytetowym wariantem dla gospodarki odpadami. Jednakże tego typu odpady w dalszym ciągu wraz z odpadami komunalnymi deponowane są na składowiskach przyczyniając się do degradacji środowiska przyrodniczego.

Przeprowadzona analiza umożliwia określenie fitotoksyczności poszczególnych popiołów na wybrane grupy roślin. Najbardziej toksyczne dla badanych roślin okazały się popioły PK<sub>3</sub> oraz PK<sub>4</sub>, które powodowały martwice nasion. W przypadku pszenicy objawiało się to spęcznieniem nasion i powstaniem nieokreślonej wydzieliny (PP<sub>3</sub>) lub czernieniem nasion (PP<sub>4</sub>), natomiast dla gorzycy i rzeżuchy podłoże z popiołu powodowało zatrzymanie procesu kiełkowania. Najmniejszy wpływ na rośliny zaobserwowano na próbie przeprowadzonej na PP<sub>1</sub>.

Biorąc pod uwagę uzyskane wyniki należy kontynuować badania pod kątem wykorzystania odpadów paleniskowych powstających w zabudowie niskiej.

## Literatura

1. Ustawa z dnia 28 listopada 2014 r. o zmianie ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach oraz niektórych innych ustaw (Dz.U. 2015 poz. 87).

2. Sobczak J., Sobczak N., Przysaś G. (1999). Zastosowanie materiałów odpadowych w odlewnictwie na przykładzie popiołów lotnych. Instytut Odlewnictwa, Kraków.
  3. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 09 grudnia 2014 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. 2014 poz. 1923).
  4. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 maja 2015 r. w sprawie odzysku odpadów poza instalacjami i urządzeniami (Dz.U. 2015 poz. 796).
  5. Strzałkowska E. (2011). Charakterystyka właściwości fizykochemicznych i mineralogicznych wybranych ubocznych produktów spalania węgla, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
  6. Świątkowski W. (1998). Elementy fizykochemii i techniki spalania paliw, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź.
  7. OECD. 2006. Guideline for the testing of chemicals: Proposal for a new Guideline 227. Terrestrial Plant Test: Vegetative Vigour Test. DOI: [http://www.biotechnologiebt.it/pdf\\_our\\_services/OECD227.pdf](http://www.biotechnologiebt.it/pdf_our_services/OECD227.pdf).
  8. PN-EN ISO 11269 – 1:2013 – 06. Jakość gleby. Oznaczanie wpływu zanieczyszczeń na florę glebową. Część I: Metoda pomiaru hamowania wzrostu korzeni.
  9. Korol A. (2015). Projekt inżynierski, Właściwości fizykochemiczne popiołu z zabudowy niskiej, Politechnika Śląska w Gliwicach, Gliwice.
  10. Informacja o azocie amonowym [on-line: <https://nawozy.eu>], dostęp w internecie: 16.05.2016.
  11. Informacja o azocie amonowym [on-line: <http://e.sggw.pl>], dostęp w internecie: 16.05.2016.
  12. Rozporządzeniem 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 niebezpiecznych dla środowiska wodnego (Dz. U. 2014 poz. 1800).
-

