

Mariola CHOMCZYŃSKA<sup>1\*</sup> i Aleksandra NOBIS<sup>1</sup>

## **SUBSTRAT BIONA<sup>®</sup>-312 I POPIÓŁ LOTNY JAKO MATERIAŁY WSPOMAGAJĄCE ROZWÓJ ROŚLIN ENERGETYCZNYCH NA KWAŚNYCH GLEBACH**

### **BIONA<sup>®</sup>-312 SUBSTRATE AND FLY ASH AS MEANS FOR ENHANCEMENT OF ENERGY CROP GROWTH ON ACIDIC SOILS**

**Abstrakt:** Zakwaszenie gleb w Polsce nadal pozostaje istotnym problemem powodującym ograniczenie rozwoju roślin podczas konwencjonalnych upraw rolniczych czy upraw energetycznych. W związku z tym celem prezentowanych badań było określenie wpływu wzrastającej dawki popiołu lotnego (środek odkwaszający), w obecności substratu jonitowego Biona<sup>®</sup>-312 (nośnik makro- i mikroelementów), na przebieg vegetacji roślin na wybranej kwaśnej glebie ( $\text{pH}_{\text{KCl}} = 3,84$ ). Dla osiągnięcia celu badań przeprowadzono doświadczenie wazonowe z kupkówką pospolitą (*Dactylis glomerata* L.) jako gatunkiem testowym. Na potrzeby doświadczenia przygotowano 7 serii podłoży, tj.: samą glebę, glebę z 2 % (v/v) dodatkiem Biony-312, glebę z 2 % (v/v) dodatkiem popiołu, glebę z 5 % (v/v) dodatkiem popiołu, glebę z 2 % (v/v) dodatkiem Biony-312 i 2 % (v/v) dodatkiem popiołu, glebę z 2 % (v/v) dodatkiem Biony-312 i 5 % (v/v) dodatkiem popiołu oraz glebę z 2 % (v/v) dodatkiem Biony-312 i 10 % (v/v) dodatkiem popiołu. Doświadczenie prowadzono w fitotronie przy fotoperiodzie 13/11 godzin (dzień/noc). Uzyskane wyniki badań pozwoliły stwierdzić, że oddzielne dodatki substratu Biona<sup>®</sup>-312 i popiołu lotnego na poziomie 2 % do kwaśnej gleby nie spowodowały statystycznie istotnego zwiększenia wielkości biomasy kupkówki pospolitej. Wspólne dodatki substratu Biona<sup>®</sup>-312 i popiołu lotnego w przedziale 2-10 % do kwaśnej gleby korzystnie wpłynęły na wzrost i rozwój gatunku testowego, zwiększając wielkości parametrów vegetacyjnych o 136-454 %. Polepszenie warunków vegetacji roślin przy zastosowaniu wspólnego 2 % dodatku substratu Biona<sup>®</sup>-312 i dodatków popiołu (zwłaszcza w ilości 2 % i 5 %) wynikało z podwyższenia pH podłoży (5,57-6,96) w porównaniu do pH samej gleby (3,84). Z uwagi na korzystne działanie zastosowanych dawek popiołu lotnego stwierdzono, że dodatek popiołu do poziomu 10 % można rozważać jako środek do odkwaszania gleb użytkowanych rolniczo lub gruntów zdegradowanych, o ile przestaną obowiązywać aktualne, prawne obostrzenia co do stosowania różnych rodzajów popiołów przy jednoczesnym zapewnieniu, że nie będą przekroczone w glebach limity zawartości substancji toksycznych, takich jak np. metale ciężkie.

**Słowa kluczowe:** substrat jonitowy Biona<sup>®</sup>-312, popiół lotny, kwaśne gleby

### **Wprowadzenie**

Zakwaszenie gleb w Polsce nadal pozostaje istotnym problemem powodującym ograniczenia rozwoju roślin podczas konwencjonalnych upraw rolniczych lub upraw energetycznych. Według danych statystycznych, w latach 2013-2016 udział próbek gleb bardzo kwaśnych (o  $\text{pH}_{\text{KCl}} < 4,5$ ) i kwaśnych (o  $\text{pH}_{\text{KCl}} = 4,6-5,5$ ) w całkowitej liczbie próbek badanych wyniósł odpowiednio 12 i 26 % [1]. Rezultaty monitoringu przeprowadzonego przez Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach w 2015 roku wykazały niepokojące zjawiska, gdyż doszło do spadku średniej wartości  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  analizowanych gleb w porównaniu do lat 1995-2010 [2]. Ponadto stwierdzono, że w 2015 roku udział profili gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych (65 %) wzrósł w stosunku do roku 1995 (59,26 %) i 2010 (56,9 %). Zakwaszenie gleb w Polsce powodowane jest głównie przyczynami naturalnymi, chociaż na niektórych obszarach czynniki

<sup>1</sup> Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin, tel. 81 538 44 04

\* Autor do korespondencji: m.chomczynska@pollub.pl

Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole' 18, Polanica-Zdrój, 10-13.10.2018

antropogeniczne istotnie intensyfikują to zjawisko [3]. Do przyczyn naturalnych zalicza się wytwarzanie przez rośliny i organizmy glebowe produktów o charakterze kwaśnym (diltlenek węgla, kwasy organiczne) oraz ubytek z kompleksu sorpcyjnego kationów zasadowych pobieranych przez rośliny i wymywanych w głąb profilu glebowego w warunkach klimatu Polski, gdzie wsiąkanie przeważa nad parowaniem [3, 4]. Przyczyny antropogeniczne zakwaszenia gleb to zanieczyszczenia atmosferyczne powodujące kwaśne deszcze ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ), intensywna uprawa roślin i odprowadzanie wraz z ich plonami kationów zasadowych oraz stosowanie nawozów fizjologicznie kwaśnych w rolnictwie. Zakwaszenie środowiska glebowego powoduje wiele negatywnych skutków, w tym ograniczenie rozwoju bakterii, pogorszenie struktury i przepuszczalności gleb, zwiększenie rozpuszczalności i mobilności pierwiastków śladowych, w tym toksycznych metali ciężkich (np. glinu), oraz intensyfikację ubytku z kompleksu sorpcyjnego kationów zasadowych będących jednocześnie składnikami pokarmowymi dla roślin i organizmów glebowych [4, 5].

Gleby kwaśne bądź silnie kwaśne i jednocześnie ubogie w składniki pokarmowe można zaliczyć do tzw. gleb marginalnych, które są interesujące z punktu widzenia uprawy roślin energetycznych [6-8]. Rośliny energetyczne dostarczają biomasy uważanej za najmniej kapitałochłonne odnawialne źródło energii. Niemniej, zintensyfikowanie produkcji biomasy roślin energetycznych wymaga dodatkowych nakładów związanych z nawożeniem, nawadnianiem czy stosowaniem pestycydów [9]. Do wspomagania rozwoju roślin energetycznych można zastosować substraty jonitowe Biona<sup>®</sup>. Substraty te po raz pierwszy przygotowano w Instytucie Chemii Fizycznej i Organicznej Białoruskiej Akademii Nauk w Mińsku w celu prowadzenie upraw roślin w zamkniętych systemach ekologicznych [10]. W istocie stanowią one mieszaniny kationitów i anionitów nasyconych w stosownych proporcjach jonami pierwiastków odżywczych [10]. Dzięki wysokiej pojemności wymiennej jonitów zawartość składników pokarmowych w substratach może być istotnie wyższa niż w najlepszych glebach naturalnych. Obecne w jonitach w wysokich stężeniach jony makro- i mikroelementów nie są aktywne osmotycznie, w związku z czym nie ma możliwości uszkodzeń korzeni roślin [11]. Jak wykazały przeprowadzone badania, niewielkie dodatki substratów jonitowych (na poziomie 2 % v/v) do piasku jako modelu gleby zdegradowanej spowodowały zwiększenie biomasy roślin w zakresie 300-1400 % [12, 13]. Dotychczas nie prowadzono testów vegetacyjnych ze wspólnym wykorzystaniem substratów jonitowych i popiołu lotnego ze spalania węgla jako środka odkwaszającego glebę. W tym miejscu należy dodać, że popioły lotne są opisywane jako materiały ulepszające właściwości gleb [14-18], ale obecnie powszechne wykorzystanie popiołów lotnych w rolnictwie i rekultywacji gleb w Polsce jest ograniczone przepisami rozporządzenia ministra środowiska w sprawie odzysku R10 [19]. Niemniej, nie można wykluczyć, iż w przyszłości dojdzie do zmiany przepisów, co pozwoli na szersze wykorzystanie popiołów lotnych do poprawy właściwości gleb. Stąd, celem badań przedstawionych w niniejszej pracy było określenie wpływu wzrastającej dawki popiołu lotnego (pochodzącego ze spalania węgla brunatnego) w obecności substratu jonitowego Biona<sup>®</sup>-312 na przebieg vegetacji kupkówki pospolitej na wybranej kwaśnej glebie. Zastosowany w przeprowadzonych badaniach gatunek testowy nie tylko jest polecany jako składnik roślinnych mieszanek rekultywacyjnych, ale również jest uważany za roślinę energetyczną należącą do rodzimych traw, których uprawa w przeciwieństwie do gatunków

introdukowanych (np. gatunki z rodzaju: *Miscanthus*) nie niesie za sobą zagrożenia dla środowiska naturalnego [6].

## Materiały i metody

### Charakterystyka materiałów

Do badań użyto gleby mineralnej, substratu jonitowego Biona<sup>®</sup>-312 oraz popiołu lotnego pochodzącego ze spalania węgla brunatnego.

Wykorzystana podczas testu wegetacyjnego gleba kwaśna pochodziła z miejscowości Felin, zlokalizowanej w gminie Rybczewice (woj. lubelskie). Wartość pH<sub>KCl</sub> gleby wynosiła 3,84. Zawartość form przyswajalnych makroelementów w glebie przedstawiono w tabeli 1. Dane zawarte w tej tabeli wskazują, że gleba charakteryzowała się niską zawartością fosforu, magnezu i siarki siarczanowej [20-22], bardzo niską zawartością potasu [23], natomiast zawartości azotu mineralnego i wapnia pozostawały na poziomie określonym jako niedostateczny dla upraw warzyw w uprawie polowej [24].

Zawartość makroskładników w glebie testowej

Tabela 1

Content of macronutrients in the test soil

Table 1

Makroelement	Zawartość		Roztwór ekstrakcyjny
	[mg/dm <sup>3</sup> ]	[g/100 g]	
N-NO <sub>3</sub> + N-NH <sub>4</sub>	21,26	-	1% K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
P/P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	3,32/7,61	0,04M (CH <sub>3</sub> CHOHCOO) <sub>2</sub> Ca
K/K <sub>2</sub> O	-	3,4/4,08	0,04M (CH <sub>3</sub> CHOHCOO) <sub>2</sub> Ca
Ca	38,28	-	0,03M CH <sub>3</sub> COOH
Mg	-	3,0	0,0125M CaCl <sub>2</sub>
S-SO <sub>4</sub>	-	1,27	0,5 M CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub> + 0,25M CH <sub>3</sub> COOH

W eksperymencie wazonowym wykorzystano substrat jonitowy Biona<sup>®</sup>-312 jako nośnik makro- i mikroskładników. Substrat ten to mieszanina substratu Biona<sup>®</sup>-111 (56 % w/w) oraz naturalnego zeolitu - klinoptylolitu (44 % w/w). Zawartości makro- i mikroelementów w substracie Biona<sup>®</sup>-312 były następujące [g/kg]: azot - 11,21, fosfor - 3,41, potas - 17,60, magnez - 4,37, wapń - 22,24, siarka - 6,09, mangan - 0,220, miedź - 0,064, cynk - 0,015, molibden - 0,044, bor - 0,110, żelazo - 2,234, sód - 1,379, chlor - 3,900 [12].

Skład chemiczny popiołu lotnego ze spalania węgla brunatnego w Elektrowni Bełchatów

Tabela 2

Chemical composition of lignite fly ash from Belchatow Power Plant

Table 2

Zawartość [%]								
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	CaO <sub>wolny</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
42,63	17,74	4,61	1,17	29,45	3,9	0,16	0,19	0,10

Popiół lotny użyty w doświadczeniu vegetacyjnym pochodził ze spalania węgla brunatnego w Elektrowni Bełchatów. Wartość  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  popiołu wynosiła 11,42. Skład chemiczny popiołu przedstawiono w tabeli 2.

Zawartości metali ciężkich w popiele po ekstrakcji wodą królewską i oznaczeniu metodą spektrometrii emisji atomowej (ICP-MS) były następujące [mg/kg]: arsen - 63,44, bar - 195,58, kadm - 1,94, kobalt - 12,48, chrom - 76,03, miedź - 37,88, rtęć - 2,7, molibden - 3,52, nikiel - 42,26, ołów - 22,84 oraz cynk - 83,98. Porównanie powyższych wyników z wartościami dopuszczalnymi dla powierzchniowej warstwy gleb (0-0,25 m ppt.) wprowadzonymi przez rozporządzenie ministra środowiska z dn. 1 września 2016 r. [25] wykazało, że stwierdzone w popiele zawartości arsenu przekraczały dopuszczalne limity tego metalu dla gruntów grupy I, II i III. W przypadku pozostałych metali ich zawartości w popiele w zasadzie były niższe niż limity przedstawione we wspomnianym wyżej rozporządzeniu [25].

### Przebieg doświadczenia vegetacyjnego

Osiągnięcie celu badań wymagało przeprowadzenia eksperymentu wazonowego, gdzie jako gatunek testowy wykorzystano kupkówkę pospolitą (*Dactylis glomerata* L.). Opierając się na wynikach pomiarów pH gleby z dodatkami popiołu i substratu Biona<sup>®</sup>-312, na potrzeby doświadczenia vegetacyjnego przygotowano następujące serie podłoży: gleba, gleba z 2 % (v/v) dodatkiem Biony<sup>®</sup>-312, gleba z 2 % (v/v) dodatkiem popiołu, gleba z 5 % (v/v) dodatkiem popiołu, gleba z 2 % (v/v) dodatkiem Biony<sup>®</sup>-312 i 2 % (v/v) dodatkiem popiołu, gleba z 2 % (v/v) dodatkiem Biony<sup>®</sup>-312 i 5 % (v/v) dodatkiem popiołu oraz gleba z 2 % (v/v) dodatkiem Biony<sup>®</sup>-312 i 10 % (v/v) dodatkiem popiołu (tab. 3).

Tabela 3

Charakterystyka serii podłoży użytych w doświadczeniu wazonowym

Table 3

Media series used in the pot experiment

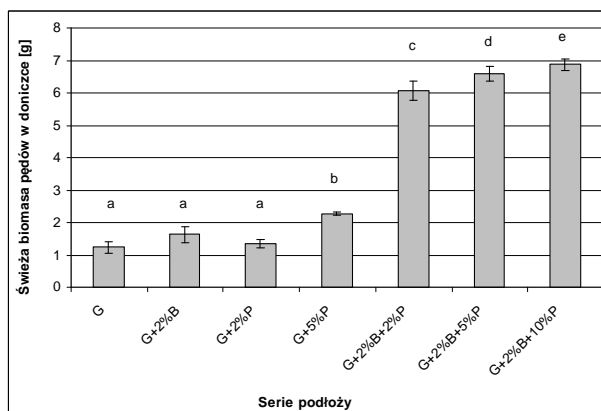
Seria podłoża	Liczba doniczek	Ilość gleby [g] [cm <sup>3</sup> ]	Dawka Biony <sup>®</sup> - 312 [g] [cm <sup>3</sup> ]	Dawka popiołu [g] [cm <sup>3</sup> ]	$\text{pH}_{\text{KCl}}$ [-]
Gleba	5	428,7 (300)	-	-	3,84
Gleba+2% popiół	5	420,13 (294)	-	5,24 (6)	5,44
Gleba+5% popiół	5	407,27 (285)	-	13,10 (15)	6,84
Gleba+2% Biona	5	420,13 (294)	3,21 (6)	-	4,20
Gleba+2% Biona+2% popiół	5	411,55 (288)	3,21 (6)	5,24 (6)	5,57
Gleba+2% Biona+5% popiół	5	396,69 (279)	3,21 (6)	13,10 (15)	6,96
Gleba+2% Biona+10% popiół	5	377,26 (264)	3,21 (6)	26,20 (30)	8,51

Łącznie do eksperymentu użyto 35 doniczek. W każdej z nich wysiano po 30 nasion kupkówki pospolitej. Po zakończeniu okresu kiełkowania z doniczek usunięto część siewek w celu ujednoczenia liczby roślin do 25 osobników. Czas trwania eksperymentu wynosił 6 tygodni. Doświadczenie prowadzono w fitotronie z zachowaniem następujących warunków: fotoperiod - 13 godzin, temperatura w ciągu dnia - 25 °C, temperatura podczas nocy - 16 °C. Po zakończeniu eksperymentu ścięto pędy nadziemne roślin oraz wyizolowano korzenie z podłoży. Zważono świeżą biomasa pędów nadziemnych.

Następnie materiał roślinny suszono w temperaturze 105 °C w celu określenia wielkości suchej biomasy pędów i korzeni metodą wagową. Wielkości całkowitej suchej biomasy roślin w poszczególnych doniczkach serii doświadczalnych obliczono, sumując wielkości suchej biomasy pędów i korzeni. Na podstawie otrzymanych wyników obliczono średnie wartości parametrów wegetacyjnych charakteryzujących przebieg wegetacji gatunku testowego w poszczególnych seriach doświadczenia wazonowego. W celu określenia istotności różnic pomiędzy porównywanymi średnimi zastosowano analizę wariancji z jednoczesnym wykorzystaniem testu Tukeya (przy poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ ).

## Wyniki i ich omówienie

Wartości mierzonych parametrów charakteryzujących przebieg i rozwój gatunku testowego w poszczególnych seriach doświadczenia wazonowego przedstawiono na rysunkach 1-4.

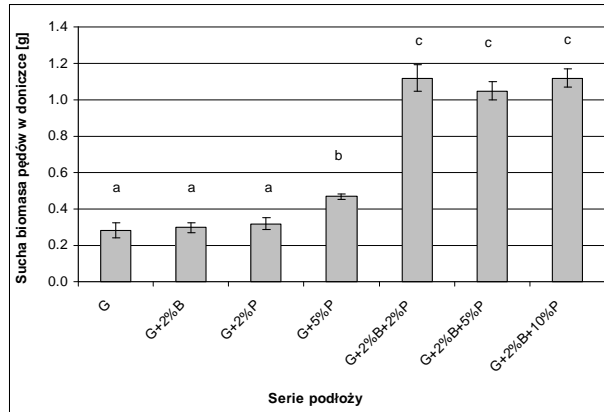


Rys. 1. Świeża biomasa pędów kępki pospolitej w poszczególnych seriach doświadczenia wazonowego; objaśnienia: G - gleba, G+2%B - gleba z 2 % dodatkiem substratu Biona<sup>®</sup>-312, G+2%P - gleba z 2 % dodatkiem popiołu, G+5%P - gleba z 5 % dodatkiem popiołu, G+2%B+2%P - gleba z 2 % dodatkiem substratu Biona<sup>®</sup>-312 i 2 % dodatkiem popiołu, G+2%B+5%P - gleba z 2 % dodatkiem substratu Biona<sup>®</sup>-312 i 5 % dodatkiem popiołu, G+2%B+10%P - gleba z 2 % dodatkiem substratu Biona<sup>®</sup>-312 i 10 % dodatkiem popiołu, I - odchylenie standardowe; średnie wartości oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie

Fig 1. Wet stem biomass of orchard grass in media series of pot experiment; explanations: G - soil, G+2%B - soil with 2 % Biona<sup>®</sup>-312 addition, G+2%P - soil with 2 % ash addition, G+5%P - soil with 5 % ash addition, G+2%B+2%P - soil with 2 % Biona<sup>®</sup>-312 addition and 2 % ash addition, G+2%B+5%P - soil with 2 % Biona<sup>®</sup>-312 addition and 5 % ash addition, G+2%B+10%P - soil with 2 % Biona<sup>®</sup>-312 addition and 10 % ash addition, I - standard deviation, the mean values with the same letter are not significantly different

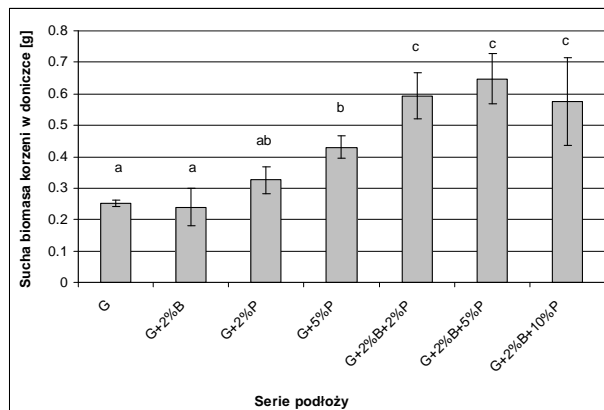
Rozpatrując wartości parametrów wegetacyjnych uzyskane w serii G (gleba bez dodatku nawozowego) i w seriach G+2%B oraz G+2%P, można stwierdzić, że sam 2 % dodatek substratu jonitowego i sam 2 % dodatek popiołu do gleby nie wpłynął znacząco na wegetację roślin. Wprowadzie wartości świeżej i suchej biomasy pędów, suchej biomasy korzeni oraz suchej biomasy roślin uzyskane w seriach G+2%B i G+2%P były

o odpowiednio: 9-30 %, 6-13 %, 29 % i 1-21 % większe niż w serii G, ale stwierdzone różnice między średnimi okazały się statystycznie nieistotne (rys. 1-4).



Rys. 2. Sucha biomasa pędów kupkówki pospolitej w poszczególnych seriach doświadczenia wazonowego; objaśnienia takie same jak dla rys. 1

Fig. 2. Dry stem biomass of orchard grass in media series of pot experiment; explanations are the same as for Fig. 1

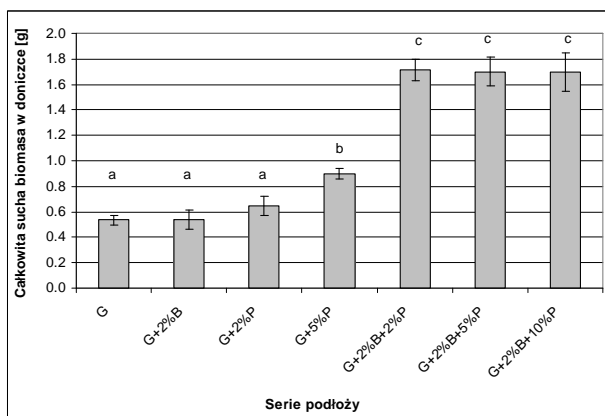


Rys. 3. Sucha biomasa korzeni kupkówki pospolitej w poszczególnych seriach doświadczenia wazonowego; objaśnienia takie same jak dla rys. 1

Fig. 3. Dry root biomass of orchard grass in media series of pot experiment; explanations are the same as for Fig. 1

Zupełnie inaczej sytuacja wygląda, gdy porównuje się wartości parametrów wegetacyjnych roślin rosnących na samej glebie z wielkościami charakteryzującymi rozwój roślin w seriach G+5%P, G+2%B+2%P, G+2%B+5%P i G+2%B+10%P. Dodatek popiołu na poziomie 5 % oraz wspólne dodatki substratu jonitowego i popiołu korzystnie wpłynęły na proces wegetacji kupkówki pospolitej, istotnie zwiększając wartości mierzonych

parametrów. Świeża i sucha biomasa pędów, sucha biomasa korzeni oraz całkowita sucha biomasa roślin w seriach: G+5%P, G+2%B+2%P, G+2%B+5%P, G+2%B+10%P przewyższała o odpowiednio: 84-454, 66-297, 71-157, 68-221 % wartości tych parametrów uzyskane przez kupkówkę rosnącą na samej glebie (rys. 1-4).



Rys. 4. Całkowita sucha biomasa kupkówki pospolitej w poszczególnych seriach doświadczenia wazonowego; objaśnienia takie same jak dla rys. 1

Fig. 4. Total dry biomass of orchard grass in media series of pot experiment; explanations are the same as for Fig. 1

Porównanie wyników uzyskanych w serii, gdzie rośliny rosły na glebie wzbogaconej tylko w 2 % dodatek substratu i na glebie wzbogaconej tylko w 2 % dodatek popiołu, wykazało, że wartości parametrów vegetacyjnych roślin nie różniły się od siebie w sposób statystycznie istotny (rys. 1-4). Zatem można powiedzieć, że zastosowanie obu dodatków tak samo wpłynęło na vegetację gatunku testowego. Odnosząc się jednocześnie do efektów wywołanych wprowadzeniem obu dodatków do gleby (na poziomie 2 % objętościowych), należy stwierdzić, że dodatek popiołu podwyższył pH gleby (tab. 3), ale nie do poziomu, przy którym zaistniałyby warunki optymalne dla rozwoju roślin (pH w granicach 6-7), skutkujące istotnym zwiększeniem biomasy roślin. Natomiast samodzielny 2 % dodatek Biony<sup>®</sup>-312 przede wszystkim wprowadzał do gleby składniki pokarmowe, ale nie miał znaczącego wpływu na pH gleby (tab. 3). Stąd, przy zbyt niskim pH podłoża nie można było oczekiwać efektu zwiększenia biomasy przy zastosowaniu tylko dodatku substratu jonitowego. Taki rezultat jest odmienny od wyników wcześniejszych badań, które wykazały, że 2 % dodatki różnych substratów jonitowych do piasku lub gleby zwiększały nawet kilkunastokrotnie wartości biomasy roślin [12, 13].

Analiza wartości parametrów vegetacyjnych uzyskanych w serii G+5%P wykazała, że były one w większości przypadków istotnie większe niż w serii G+2%B oraz G+2%P (rys. 1-4). Świeża i sucha biomasa pędów, sucha biomasa korzeni oraz całkowita sucha biomasa roślin rosnących na glebie wzbogaconej w 5 % dodatek popiołu była o odpowiednio: 41, 57, 89 i 67 % większa niż w przypadku roślin rosnących na glebie z 2 % dodatkiem substratu Biona<sup>®</sup>-312. Jednocześnie wartości świeżej i suchej biomasy

pędów, suchej biomasy korzeni i całkowitej suchej biomasy kupkówki uzyskane w serii G+5%P przewyższały o odpowiednio: 68, 46, 32, 39 % wartości tych parametrów stwierdzone w serii G+2%P. Korzystny wpływ 5 % dawki popiołu na vegetację roślin mógł wynikać z faktu, iż dawka ta podwyższyła pH podłoża do poziomu, który odpowiada optymalnemu dla rozwoju roślin (tab. 3). Nie można też wykluczyć działania nawozowego zastosowanej dawki popiołu. Działanie to wynika z obecności makroskładników (P, K, Ca, Mg, S) i mikroskładników (Fe, Mn, Zn, Co, B, Mo) w popiołach lotnych [26-29]. Ponadto modyfikacja pH gleby w wyniku wprowadzenia do niej dodatku popiołu również może zwiększać dostępność składników odżywczych obecnych w podłożu [28, 30, 31]. Generalnie, w wielu pracach przedstawia się pozytywny wpływ dodatku popiołów lotnych ze spalania węgla na rozwój i plon gatunków uprawnych [32-34]. Wielkość opisywanych, pozytywnych efektów powodowanych przez dodatki popiołów lotnych zależała od zastosowanej dawki danego popiołu, właściwości nawożonej gleby czy wymagań pokarmowych gatunków testowych. Stąd, w badaniach różnych autorów podawane są odmienne dawki popiołów lotnych, które korzystnie wpływały na rozwój i plon roślin bądź ograniczały vegetację gatunków testowych, jeśli były zbyt wysokie [35-38]. Wspominając o możliwym negatywnym oddziaływaniu popiołów na proces vegetacji roślin warto dodać, że wiąże się go z toksycznością pierwiastków śladowych obecnych w popiołach i z zasoleniem [30, 31, 39].

Porównując parametry vegetacyjne uzyskane w serii G+2%B z parametrami charakteryzującymi rozwój roślin w seriach: G+2%B+2%P, G+2%B+5%P, G+2%B+10%P, stwierdzono, iż różnice pomiędzy średnimi wartościami dla tych serii podłoży były statystycznie istotne (rys. 1-4). Dawki substratu jonitowego Biona-312 w wyżej wymienionych seriach były takie same, natomiast poszczególne dawki popiołu w ilościach 2, 5 oraz 10 % istotnie wpłynęły na zwiększenie wartości parametrów vegetacyjnych kupkówki pospolitej. Świeża i sucha biomasa pędów, sucha biomasa korzeni oraz całkowita sucha biomasa roślin stwierdzona w seriach G+2%B+2%P, G+2%B+5%P, G+2%B+10%P była o odpowiednio: 273-323 %, 252-276 %, 140-170 % i 215-218 % większa niż w przypadku serii G+2%B (rys. 1-4). Można zatem powiedzieć, że zastosowane dodatki popiołu do gleby wzbogaconej w substrat jonitowy Biona<sup>®</sup>-312 korzystnie wpłynęły na vegetację gatunku testowego. Polepszenie warunków vegetacji roślin przez zastosowanie dodatku popiołu (szczególnie 2 i 5 %) należy wiązać z podwyższeniem pH podłoży (tab. 3). Dodatek 10 % popiołu również spowodował, jak wspomniano wyżej, znaczący i statystycznie udowodniony wzrost biomasy kupkówki, mimo że pH podłoża wzbogaconego w ten dodatek na początku doświadczenia było wysokie i wynosiło 8,5. Mimo to kondycja gatunku testowego w warunkach doświadczenia była dobra, co mogło wynikać z obniżania się pH podłoża w trakcie vegetacji roślin na skutek zakwaszania wywołanego aktywnością fizjologiczną systemów korzeniowych roślin [3].

Rozpatrując wartości parametrów vegetacyjnych kupkówki rosnącej na glebie wzbogaconej w substrat jonitowy Biona<sup>®</sup>-312 i kolejne zwiększające się dawki popiołu lotnego (serie: G+2%B+2%P, G+2%B+5%P, G+2%B+10%P), stwierdza się, że w zasadzie nie ma statystycznie istotnych różnic między nimi (rys. 1-4). Liczbowo różnice między wartościami świeżej i suchej biomasy pędów, suchej biomasy korzeni oraz całkowitej suchej biomasy odpowiednio wynosiły: 4-13, 6, 3-13, 1 %. Mając na uwadze wyniki



analizy statystycznej, można powiedzieć, że zwiększające się dodatki popiołu w zakresie 2-10 % (v/v) w taki sam sposób wpłynęły na wartość biomasy roślin. Każda z zastosowanych dawek popiołu była tak samo korzystna - jeśli chodzi o jej wpływ na vegetację roślin w okresie prowadzonego testu vegetacyjnego. W związku z tym, że nawet dawka popiołu 10 % (v/v) do podłoża wywołała znaczący wzrost biomasy roślin (rys. 1-4), należy stwierdzić, iż dodatek popiołu do poziomu 10 % można rozważać jako środek do odkwaszania gleb, o ile przestaną obowiązywać aktualne, prawne obostrzenia co do stosowania różnych rodzajów popiołów przy jednoczesnym zapewnieniu, że nie będą przekroczone poziomy zawartości substancji toksycznych, takich jak np. metale ciężkie w odkwaszanych glebach.

## Wnioski

Wyniki przeprowadzonych badań pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Oddzielne dodatki substratu jonitowego Biona<sup>®</sup>-312 i popiołu lotnego ze spalania węgla brunatnego na poziomie 2 % (v/v) do kwaśnej gleby nie spowodowały istotnego zwiększenia wartości parametrów vegetacyjnych kupkówki pospolitej jako gatunku testowego.
2. Wspólne dodatki substratu jonitowego Biona<sup>®</sup>-312 i popiołu lotnego w zakresie 2-10 % (v/v) do kwaśnej gleby korzystnie wpłynęły na wzrost i rozwój gatunku testowego, istotnie zwiększając wartości świeżej i suchej biomasy pędów, suchej biomasy korzeni oraz całkowitej suchej biomasy roślin.
3. Polepszenie warunków vegetacji roślin przy zastosowaniu wspólnego 2 % dodatku substratu jonitowego Biona<sup>®</sup>-312 i dodatków popiołu lotnego (szczególnie w ilości 2 % i 5 % v/v) należy wiązać z podwyższeniem pH podłoża w porównaniu do pH samej gleby.
4. Z uwagi na korzystne działanie zastosowanych dawek popiołu lotnego w zakresie 2-10 % (v/v) należy stwierdzić, że dodatek popiołu do poziomu 10 % można rozważać jako środek do odkwaszania gleb w obecności 2 % dodatku substratu jonitowego.
5. Ze względu na różną tolerancję roślin wobec zmian odczynu gleb warto w przyszłości przeprowadzić dalsze badania z wykorzystaniem popiołów lotnych, w których użyte będą również inne gatunki testowe.

## Literatura

- [1] Ochrona Środowiska. Environment. 2017. Warszawa: Główny Urząd Statystyczny; 2017. [http://stat.gov.pl/files/gfx/porta\\_informacyjny/pl/defaultaktualnosci/5484/1/18/1ochrona\\_srodowiska2017.pdf](http://stat.gov.pl/files/gfx/porta_informacyjny/pl/defaultaktualnosci/5484/1/18/1ochrona_srodowiska2017.pdf).
- [2] Siebielec G, Smreczak B, Klimkowicz-Pawlas A, Kowalik M, Kaczyński R, Koza P i in. Raport z III etapu realizacji zamówienia „Monitoring chemizmu gleb ornych w Polsce w latach 2015-2017”. Puławy: Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa Państwowy Instytut Badawczy w Puławach; 2017. [www.gios.gov.pl/images/dokumenty/pms/monitoring\\_jakosci\\_gleb/Raport\\_MchG\\_etap3.pdf](http://www.gios.gov.pl/images/dokumenty/pms/monitoring_jakosci_gleb/Raport_MchG_etap3.pdf).
- [3] Karczewska A. Ochrona gleb i rekultywacja terenów zdegradowanych. Wrocław: Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu; 2008. ISBN 9788360574416.
- [4] Baran S, Turski R. Degradacja, ochrona i rekultywacja gleb. Lublin: Wydawnictwa Akademii Rolniczej w Lublinie; 1996. ISBN 83-86761-48-2.
- [5] Goulding KWT. Soil Use Manage. 2016;32:390-399. DOI: 10.1111/sum.12270.

- [6] Lewandowski WM, Ryms M. Biopaliwa. Proekologiczne odnawialne źródła energii. Warszawa: Wydawnictwo WNT; 2013. ISBN 9788363623739.
- [7] Nabel M, Barbosa DBP, Korsch D, Jablonowski ND. Energy Procedia. 2014;59:127-133. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.10.358.
- [8] Nabel M, Temperton VM, Porter H, Lucke A, Jablonowski ND. Biomass Bioenergy. 2016;87:9-16. DOI: 10.1016/j.biombioe.2016.02.010.
- [9] Igliński B, Buczkowski R, Cichosz M. Technologie bioenergetyczne. Toruń: Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika; 2009. ISBN 9788323124412.
- [10] Chomczyńska M, Pristavko S, Soldatov V, Wasag H. J Plant Nutr Soil Sci. 2014;177:438-442. DOI: 10.1002/jpln.201200629.
- [11] Chomczyńska M, Soldatov V, Wasag H, Turski M. Int Agrophys. 2016;30:293-300. DOI: 10.1515/intg-2015-0095.
- [12] Chomczyńska M. Utylizacja zużytych jonitów do rekultywacji zdegradowanych utworów piaszczystych - badania modelowe. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN. 2001;3:1-112. ISBN 839158741X.
- [13] Chomczyńska M. Rekultywacja gleb zdegradowanych przy wykorzystaniu substancji kształtujących ich właściwości sorpcyjne. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN. 2013;110:1-145. ISBN 9788363714093.
- [14] Jala S, Gojal D. Bioresour Technol. 2006;97:1136-1147. DOI: 10.1016/j.biortech.2004.09.004.
- [15] Pandera VC, Abhilash PC, Upadhyay RN, Tewari DD. J Hazard Mater. 2009;166:255-259. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.11.016.
- [16] Kishor P, Ghosh AK, Kumar D. Asian J Agric Res. 2010;4:1-14. DOI: 10.3923/ajar.2010.1.14.
- [17] Nayak AK, Raja R, Rao KS, Shukla AK, Mohanty S, Shahid M, et al. Ecotox Environ Safe. 2015;114:257-262. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2014.03.033.
- [18] Tsadilas CD, Hu Z, Bi Y, Nikoli T. Int J Coal Sci Technol. 2018;5:64-69. DOI: 10.1007/s40789-018-0202-9.
- [19] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 stycznia 2015 r. w sprawie odzysku R10. Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej. Warszawa; 2015 (poz. 132). [prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xps?id=WDU20150000132](http://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xps?id=WDU20150000132).
- [20] Polska Norma PN-R-04023: 1996. Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczanie zawartości przyswajalnego fosforu w glebach mineralnych. [sklep.pkn.pl/pn-r-04023-1996p.html](http://sklep.pkn.pl/pn-r-04023-1996p.html).
- [21] Polska Norma PN-R-04020: 1994. Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczanie zawartości przyswajalnego magnezu w glebach mineralnych. [sklep.pkn.pl/pn-r-04020-1994p.html](http://sklep.pkn.pl/pn-r-04020-1994p.html).
- [22] Motowicka-Terelak T, Terelak H, Witek T. Liczby graniczne do wyceny zawartości siarki w glebach i roślinach. Seria (P). Puławy: Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa; 1993.
- [23] Polska Norma PN-R-04022: 1996. Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczanie zawartości przyswajalnego potasu w glebach mineralnych. [sklep.pkn.pl/pn-r-04022-1996p.html](http://sklep.pkn.pl/pn-r-04022-1996p.html).
- [24] Sady W. Nawożenie warzyw polowych. Kraków: Wydawnictwo Plantpress; 2000. ISBN 9788361438991.
- [25] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 r. w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczeń powierzchni ziemi. Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej. Warszawa; 2016 (poz. 1395). [prawo.sejm.gov.pl/sap.nsf/DocDetails.xps?id=WDU20160001395](http://prawo.sejm.gov.pl/sap.nsf/DocDetails.xps?id=WDU20160001395).
- [26] Kalembara S, Godlewska A, Wysokiński A. Skład chemiczny popiołów z węgla brunatnego i kamiennego w aspekcie ich rolniczego zagospodarowania. Roczn Glebozn. 2008;59:93-97. [ssa.ptg.sggw.pl/files/artyku/2008\\_59/2008\\_tom59\\_nr\\_2/tom\\_59nr\\_2\\_93-97.pdf](http://ssa.ptg.sggw.pl/files/artyku/2008_59/2008_tom59_nr_2/tom_59nr_2_93-97.pdf).
- [27] Basu M, Pande M, Bhadoria PBS, Mahapatra SC. Prog Nat Sci-Mater. 2009;19:1173-1186. DOI: 10.1016/j.pnsc.2008.12.006.
- [28] Yunusa IAM, Loganathan P, Nissanka SP, Manoharan V, Burchett MD, Greg Skilbeck C, et al. Crit Rev Environ Sci Technol. 2012;42:559-600. DOI: 10.1080/10643389.2010.520236.
- [29] Saranraj P. Lignite fly ash and agriculture: a review. Golden Research Thoughts. 2015;4:1-12.
- [30] Ukwattage NL, Ranjith PG, Bouazza M. Fuel. 2013;109:400-408. DOI: 10.1016/j.fuel.2013.02.016.
- [31] Ram LC, Mastro RE. Earth Sci Rev. 2014;128:52-74. DOI: 10.1016/j.earscirev.2013.10.003.
- [32] Tripathi RC, Mastro RE, Ram LC. Resour Conserv Recyc. 2009;54:134-139. DOI: 10.1016/j.resconrec.2009.07.009.
- [33] Singh A, Agrawal SB. Ecotox Environ Safe. 2010;73:1950-1958. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2010.07.023.
- [34] Kumar KV, Patra DD. Ecol Eng. 2012;47:237-241. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2012.06.019.
- [35] Sikka R, Kansal BD. Bioresour Technol. 1995;51:199-203. DOI: 10.1016/0960-8524(94)00119-L.
- [36] Singh SN, Kulshreshtha K, Ahmad KJ. Ecol Eng. 1997;9:203-208. DOI: 10.1016/S0925-8574(97)10004-0.

- [37] Singh LP, Siddiqui ZA. *Bioresour Technol.* 2003; 86: 73-78. DOI: 10.1016/S0960-8524(02)00111-6.  
[38] Singh A, Sharma RK, Agrawal SB. *Bioresour Technol.* 2008;99:7200-7207. DOI: 10.1016/j.biortech.2007.12.064.  
[39] Shaheen S, Hooda PS, Tsadilas CD. *J Environ Manage.* 2014;145:249-267. DOI: 10.1016/j.earscrev.2013.10.003.

## **BIONA<sup>®</sup>-312 SUBSTRATE AND FLY ASH AS MEANS FOR ENHANCEMENT OF ENERGY CROP GROWTH ON ACIDIC SOILS**

Faculty of Environmental Engineering, Lublin University of Technology, Lublin

**Abstract:** Soil acidification in Poland is still a significant problem limiting the plant growth during conventional agricultural and energy crop cultivations. Thus, the study aimed at determining the influence of increasing the dose of fly ash (deacidification agent), in the presence of Biona<sup>®</sup>-312 ion exchange substrate (nutrient carrier) on plant growth on the chosen acidic soil (pH<sub>KCl</sub> = 3.84). In order to achieve the study aim, the pot experiment with orchard grass (*Dactylis glomerata* L.) as the test species was carried out. Seven series of media were prepared for experiment purposes i.e.: soil alone, soil + 2 % addition of Biona<sup>®</sup>-312, soil + 2 % addition of ash, soil + 5 % addition of ash, soil + 2 % addition of Biona<sup>®</sup>-312 + 2 % addition of ash, soil + 2 % addition of Biona<sup>®</sup>-312 + 5 % addition of ash and soil + 2 % addition of Biona<sup>®</sup>-312 + 10 % addition of ash. The experiment was carried out in a phytotron at the photoperiod of 13/11 hours (day/night). The obtained study results showed that separate additions of Biona<sup>®</sup>-312 ion exchange substrate and fly ash at the level of 2 % to acidic soil did not cause a statistically significant increase in biomass of orchard grass. The common addition of Biona<sup>®</sup>-312 substrate and fly ash in the range of 2-10 % to acidic soil favorably influenced the plant growth, increasing the values of vegetative parameters by 136-454 %. Improving the vegetative conditions for plants by application of common 2 % Biona<sup>®</sup>-312 addition and ash additions (especially 2 and 5 % doses) resulted from an increase in the pH of media (5.57-6.96) as compared to the pH of soil alone (3.84). Because of the beneficial effect of applied fly ash doses, it was stated that the ash addition to the level of 10 % could be considered as an agent for deacidification of agricultural soils or degraded grounds. It is possible provided that the current legal restrictions on the use of different types of ashes will be no longer applicable, while ensuring that the limits of toxic substances (e.g. heavy metals) will not be exceeded in soils.

**Keywords:** Biona<sup>®</sup>-312 substrate, fly ash, acidic soils