

OPRACOWANIE SKŁADU POLEPSZACZA GLEBOWEGO NA BAZIE BAZALTU, BIEWĘGLA I OTRĄB OWSIANYCH NA PLON PSZENICY JAREJ

ESTABLISHING THE COMPOSITION OF THE SOIL IMPROVER ON THE BASIS OF BASALT, BIOCARBON AND OAT BRIST FOR SPRING WHEAT CROP

Justyna Sobolczyk-Bednarek, Anna Choińska-Pulit, „Poltegor – Instytut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław
Wojciech Łaba - Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Katedra Biotechnologii i Mikrobiologii Żywności

Praca obejmuje opracowanie różnych wariantów mieszanek polepszacza glebowego i testowania go w glebie, w celu poprawy plonu pszenicy jarej. W badaniach wykorzystano 3-czynnikowy układ doświadczalny według Boxa-Behnkena, w celu modelowania wpływu składników takich jak: biowęgiel, bazalt, otręby pszenne na parametry wzrostu roślin w glebie uniwersalnej. Możliwość zastosowania powyższych składników została potwierdzona poprzez wykonaną wcześniej analizę wieloelementową.

Prace badawcze polegały na monitorowaniu tempa wzrostu roślin, badania składu gleby po zakończeniu eksperymentu oraz suchej i mokrej masy roślin po zakończeniu doświadczenia.

Badania potwierdziły zasadność stosowania dodatków do gleb, szczególnie jeśli chodzi o otręby pszenne i biowęgiel. Dodatek polepszacza nie wpłynął na zwiększenie zawartości metali ciężkich, co wskazuje na możliwości jego wykorzystania.

Słowa kluczowe: bazalt, biowęgiel, otręby pszenne, plan Boxa-Behnkena

The work includes the development of various variants of soil improver mixtures and testing them in soil to improve the yield of spring wheat. The study used a 3-factor experimental system according to Box-Behnken in order to model the influence of components such as: biochar, basalt, wheat bran on plant growth parameters in a substrate based on universal soil. The applicability of the above ingredients has been confirmed by a multi-element analysis performed earlier.

The research work consisted in monitoring the plant growth rate, examining the soil composition after the end of the experiment, and the dry and wet mass of plants after the end of the experiment.

The research confirmed the legitimacy of the use of soil additives, especially when it comes to wheat bran and biochar. The addition of an improver did not increase the content of heavy metals, which indicates the possibility of their use.

Keywords: basalt, biochar, wheat bran, Box-Behnken design

Wprowadzenie

W ostatnich latach podejmuje się wiele wysiłków nad złagodzeniem różnych wpływów działalności rolniczej na środowisko, a w szczególności stosowaniem nawozów sztucznych. Nadmiar nawozu jest przenoszony przez wody opadowe z powierzchni gleby do innych zasobów wodnych, powodując zanieczyszczenia, proliferację glonów i eutrofizację ekosystemów wodnych. Badania nad wykorzystaniem pyłu bazaltowego mają ogromne znaczenie dla sektora przemysłowego wydobywania bazaltu, jak i dla rolnictwa w regionie, ponieważ mogą stworzyć alternatywną metodę utylizacji odpadów przerobowych oraz poprawić rentowność i zrównoważenie lokalnych gospodarstw, unikając w ten sposób nadmiernego zużycia nawozów mineralnych [2, 10].

Mączka bazaltowa powstaje poprzez zmielenie skały bazaltowej. W swoim składzie zawiera bardzo dużo makro- i mikroelementów, potrzebnych roślinom do życia. Obok znacznej

ilości SiO_2 zawiera także tlenek magnezu, wapnia i potasu, które to wpływają na zasadowy charakter mączek. Ponadto zawierają dużo mikroelementów, takich jak: mangan, cynk, miedź, molibden, bor, żelazo i selen.

Mączka bazaltowa ceniona jest ze względu na ekologiczny charakter, a co najważniejsze, że nie można jej przedawkować, jak inne nawozy, gdyż minerały uwalniają się powoli, w sposób naturalny, gdy tylko potrzebne są roślinom [11].

Zaletą mączek bazaltowych jest użyźnianie gleby, gdyż poprawiają strukturę oraz umożliwiają rozwój pożytecznych mikroorganizmów glebowych. Dodatkowo są one nie wymywane przez wody gruntowe. Do wszechstronnych zastosowań mączek bazaltowych należą: właściwości grzybobójcze, owadobójcze, stymulujące rozwój mikroorganizmów tlenowych [5, 7].

Stosowanie pyłu skalnego jako naturalnego sposobu poprawy systemów korzeniowych, powoduje zwiększenie plonów oraz promowanie zdrowia roślin. Atrakcyjnym kierunkiem badań jest

zdolność pyłu skalnego do zwiększania wrodzonej odporności roślin na stres fizyczny i biologiczny [8, 2, 16]. Elimem (2020) w swoich badaniach stosował handlowo dostępny środek na bazie bazaltu. Wykazał, że środek zastosowany do uprawy owoców pod szklarniami, na polach i w sadach chronił rośliny przed chorobami i szkodnikami [13].

W badaniach Akter i Akagi (2005) udowodniono, że rośliny na styku korzeni ze skałami bazaltowymi, prowadzą ich rozkruszanie, co dowodzi wchłaniania przez korzenie składników odżywczych [9].

Podobnie dużą uwagę poświęca się badaniom nad wykorzystaniem biowęgla, bogatego w węgiel, który pochodzi z pirolizy biomasy, głównie pochodzenia roślinnego. Biowęgiel pozostaje stabilny w glebie przez dłuższy czas, a jego stosowanie poprawia właściwości fizykochemiczne gleby, w tym żyzność. Ta poprawa generuje pozytywne reakcje w fizjologicznym zachowaniu roślin, takie jak: wzrost kiełkowania, gromadzenie suchej masy, fotosynteza, plon i jakość. Biowęgiel otwiera drzwi dla zrównoważonego zarządzania rolnictwem. Można go rozważyć w regionach rolniczych narażonych na skażenie metalami ciężkimi, w celu zmniejszenia ich wpływu na zdrowie człowieka [3]. Biowęgiel ma zdolność do wspomaganie wzrostu roślin poprzez poprawę fizycznych właściwości gleby (gęstość, infiltracja, przewodność hydrauliczna, napowietrzanie, retencja wody, temperatura), chemicznych właściwości (pH, CEC, kwasowość wymienna, składnik odżywczy, dostępność, pobieranie i sorpcja) oraz właściwości biologicznych gleby (aktywność enzymatyczna, brodawkowanie korzeni, biomasa drobnoustrojów), co wszystko przekłada się na zwiększoną produkcję roślinną [4].

W prezentowanych badaniach wykorzystano również dodatek siarki do podłoża wzrostowych roślin. Z danych literaturowych jednoznacznie wynika, że gleby wielu rejonów świata, w tym także Polski, obecnie mają niedostateczną dla prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin zawartość siarki. Związane jest to przede wszystkim z wyraźnym ograniczeniem emisji przemysłowych oraz zmniejszeniem depozycji tego pierwiastka w glebach, przy jednoczesnym stosowaniu nawozów mineralnych o małej jego zawartości. Z uwagi na wiele ważnych funkcji, jakie spełnia ten składnik pokarmowy oraz jego wpływ na ilość i jakość plonu siarka nie może być pominięta w nawożeniu roślin wyższych. Udział siarki w dawce nawozowej jest ważny również dlatego, że zapewnia ona właściwy metabolizm azotu. Wyraża się to nie tylko korzystnym wpływem na plon i jakość roślin, ale także ograniczeniem strat azotu w środowisku. W związku z prognozami o stale pogłębiającym się deficycie siarki w produkcji roślinnej oraz konieczności utrzymania dużego plonowania roślin istnieje realna potrzeba nawożenia upraw tym pierwiastkiem [1].

Uzasadnione zatem jest stosowanie dodatków do gleby, nawozów naturalnych i organicznych, ponieważ przyczynia się to również do poprawy właściwości biologicznych gleb. W efekcie ich aplikacji dochodzi między innymi do rozwoju mikroorganizmów glebowych, powstawania koloidów organicznych oraz zwiększenia aktywności mikrobiologicznej, prowadzącej do zwiększenia efektywności mikrobiologicznych procesów rozkładu substancji organicznej. Stanowią one źródło naturalnych biostymulatorów, a także dostarczają pożywki dla mikroorganizmów glebowych.

Nie sposób także pominąć badań odnoszących się do niekorzystnego działania bazaltu. Przykładowo Wang i inni badali wpływ bazaltu na glebie rolnej [15]. Sprawdzone zawartość metali w układzie gleba, uprawa, człowiek. Uprawy dotyczyły ryżu i pszenicy. Badania pokazały, że w ziarnach ryżu gromadził

się nikiel, a jego spożycie stanowi zagrożenie dla człowieka [15].

Zarówno zalety jak i wady stosowania dodatków do gleb (w tym bazaltu) potwierdzają konieczność studiowania tematu związanego ze stosowaniem bazaltu w rolnictwie, w celu optymalizacji dawek, tak aby nie zaszkodzić uprawianym roślinom.

Metodyka badań

Material badawczy

Material badawczy stanowił pył bazaltowy (Kopalnia Gracze), biowęgiel (piroliza odpadowego węgla brunatnego), otręby pszenne, gleba uniwersalna oraz nasiona pszenicy jarej.

Metodyka badawcza

Plan eksperymentu

Wpływ dodatku bazaltu, biowęgla i otrębów pszenicznych oraz wzrost i plonowanie pszenicy jarej oceniane były za pomocą 3-czynnikowego modelu statystycznego według Boxa-Behnkena. Metoda ta pozwala na zbudowanie modelu regresyjnego w celu odzwierciedlenia nieliniowych zależności między ustalonymi zmiennymi niezależnymi a badaną odpowiedzią, z uwzględnieniem interakcji pomiędzy zmiennymi wejściowymi (Tab.1). Do analizy modelu wykorzystano pakiet Statistica 13 (TIBCO Software Inc.). Przeprowadzone zostały testy wazonowe z wykorzystaniem doniczek, do których została zaaplikowana gleba z dodatkiem wybranych mieszanek polepszacza glebowego o łącznej masie 2 kg. Kontrolę stanowiła gleba bez dodatków. W każdej z doniczek przeprowadzone zostały nasadzenia pszenicy jarej w ilości 5 nasion/doniczkę. Wszystkie eksperymenty były przeprowadzone w trzech powtórzeniach. Czas wegetacji roślin trwał 5 tygodni.

Monitorowanie wzrostu

W tygodniowych odstępach wykonane zostały pomiary długości roślin. Tuż po wykiełkowaniu została zliczona ilość wykiełkowanych nasion. W tygodniowych odstępach wykonywano dokumentację fotograficzną wzrostu roślin. Po zakończeniu zebrany plon roślin został zważony, wysuszony w temperaturze 105°C, przez 17 godzin. Dla wybranych trzech próbek gleby, po zakończonym eksperymencie wykonano analizę wieloelementową gleby

Analizy fizykochemiczne

Oznaczanie wilgotności gleby

W próbkach gleby na początku i na końcu doświadczenia oznaczona została sucha masa metodą wagową w 105°C.

Analizy wieloelementowe

Po zakończeniu eksperymentu trzy próbki gleby poddane zostały następującym analizom:

- analiza elementarna: C, H, N, O, S (na aparacie analizy elementarnej CHNS)
- popiół (metodą prażenia)
- skład mineralny: CaO, SiO₂, Al₂O₃, FeO, MgO, P₂O₅, Na₂O, K₂O, TiO₂ (oznaczanie metodą dyfrakcji rentgenowskiej XRF)
- PO₄³⁻, NH₄⁺, NO₃⁻, SO₄²⁻ (oznaczanie w ekstrakcie wodnym, metodą kolorymetryczną)
- Cu, Ni, Zn, Co, Cr, Pb, Cd (po uprzedniej mineralizacji mikrofalowej metodą absorpcji atomowej).

W pierwszym etapie badań planowano również poddać

Tab. 1. Plan eksperymentu
Tab.1. Experiment plan

Wariant badawczy	Bazalt* [g]	Biowęgiel* [g]	Otręby pszenne* [g]	Siarka [g]	Gleba [g]
	X ₁	X ₂	X ₃		
Kontrola	0	0	0	0	2000
1	1	11	4	4	1980
2	2	11	4	4	1982
3	1	35	4	4	1956
4	2	35	4	4	1955
5	1	23	3	4	1969
6	2	23	3	4	1968
7	1	23	5	4	1967
8	2	23	5	4	1966
9	1,5	11	3	4	1980,5
10	1,5	35	3	4	1956,5
11	1,5	11	5	4	1978,5
12	1,5	35	5	4	1946,5
13	1,5	23	4	4	1967,5
14	1,5	23	4	4	1967,5
15	1,5	23	4	4	1967,5

*- Zmienne ujęte w układzie doświadczalnym wg Boxa-Behnkena

do analizy rośliny wyrosłe w doświadczeniu. Jednak nie uzyskano plonu w ilości wystarczającej do analizy.

Wyniki badań

Monitorowanie wzrostu

Po siedmiu dobach od posiewu pszenicy zaobserwowano wzrost kielków. Największy wzrost (około 8 cm) odnotowano dla próbki nr 3, a najmniejszy dla próbek nr 9, 11, 13. Próbką nr 3 w stosunku do wyżej wymienianych próbek zawierała większą ilość biowęgla i otrąb, a mniejszą bazaltu. Po siedmiu dniach największą ilość wykiełkowanych roślin uzyskano dla próbek kontrolnych, 1, 2 oraz 13. Najmniejszą ilość wykiełkowanych ziaren odnotowano dla próbki nr 5 (Rys. 1).

Po kolejnych 7 dobach (w 14 dobie), największy wzrost również odnotowano dla próbki nr 3, natomiast najniższą wartość tego parametru dla próbek nr 5, 10, 11. Ilość wykiełkowanych ziaren największa była w próbie kontrolnej, próbkach od 1-3 oraz w próbce 14 (Rys. 2).

W dobach 21- 34 wykonywano pomiar długości łodyg pszenicy, z których wynika, że najwyższy wzrost odnotowano dla próby nr 1, a następnie dla próbek 4, 14, 3 i 5 oraz dla kontroli (Rys. 3).

Po 35 dobach hodowli pszenicy, po wykonanym pomiarze wysokości, ścięto łodygi i wykonano pomiar mokrej masy łodyg oraz suchej masy po suszeniu.

Z przeprowadzonego pomiaru wynika, że największy plon mokrej biomasy uzyskano dla próby kontrolnej oraz próbki nr 3, a najmniejszy dla próbki nr 8 i 13. Odzwierciedleniem wcześniejszego pomiaru był pomiar suchej masy. Tutaj podobnie najwyższe wartości uzyskano dla próbek kontrolnej oraz 3, a najniższy dla próbek nr 8 i 13.

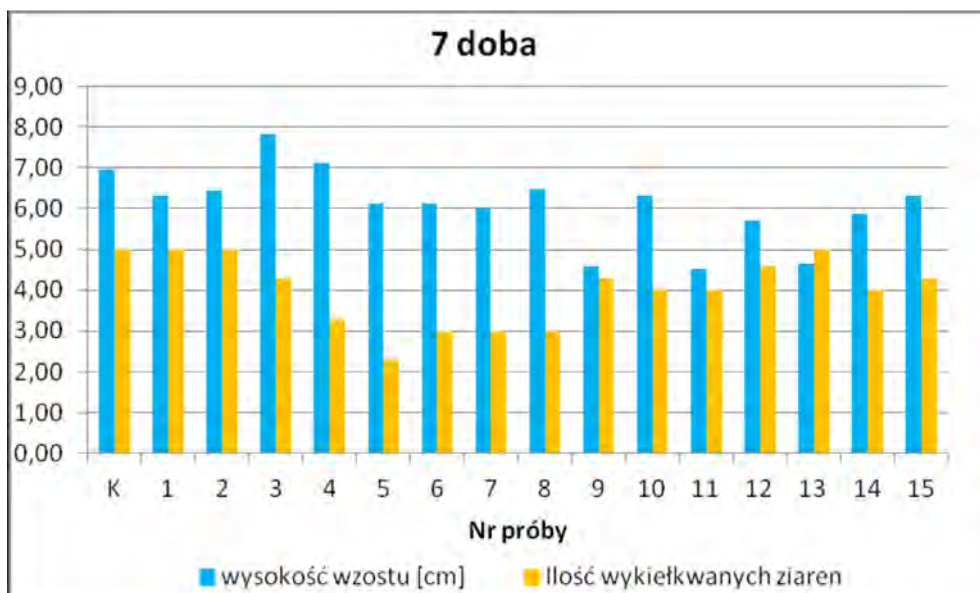
Pomiary wilgotności gleby wykonane przed posiewem ziaren, jak i na końcu doświadczenia wskazują na poziom od 43% do 60%.

Rośliny pobierają składniki pokarmowe z roztworu glebowego. Zatem zarówno rodzime składniki pokarmowe (znajdujące się w glebie), jak i wprowadzone do gleby w nawozach, aby mogły być pobrane, najpierw muszą się rozpuścić w roztworze glebowym (w „wodzie glebowej”) i dopiero mogą zostać pobrane przez korzenie. Stąd też wysoką efektywność stosowania nawozów mineralnych uzyskuje się w warunkach odpowiedniej wilgotności gleby, gdyż decyduje ona zarówno o szybkości rozpuszczania nawozów, jak i o uzupełnianiu roztworu glebowego z fazy stałej gleby [5].

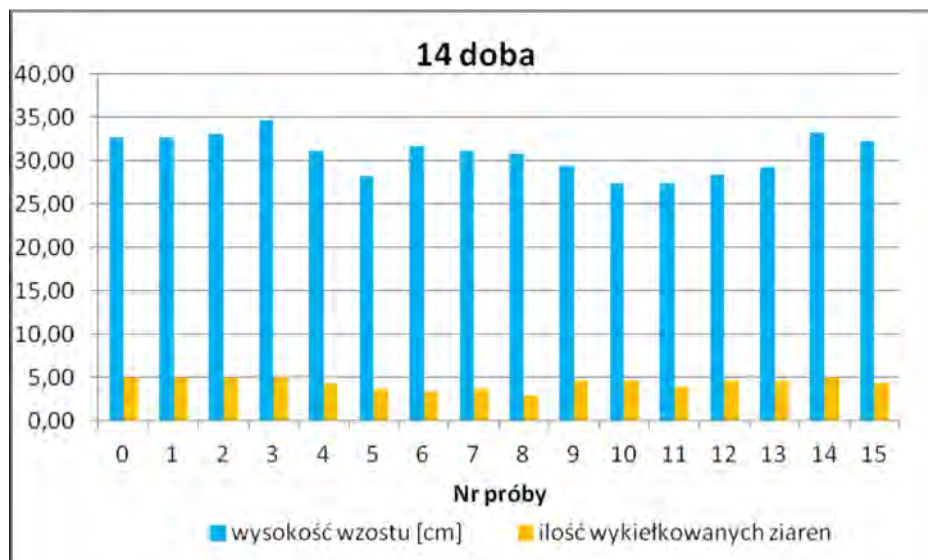
Na podstawie analizy modeli regresji obejmujących wejściowe zmienne w postaci dodatku do podłoża wzrostowego bazaltu, biowęgla i otrębów pszennych, wykreślono zależności określające ich wpływ na mokrą masę roślin, wysokość wzrostu oraz suchą masę, oznaczaną w końcowym czasie eksperymentu. Zaobserwowano, że zwiększanie dodatku bazaltu do podłoża wzrostowego wpłynęło negatywnie zarówno na mokrą, jak i suchą masę roślin, przy czym jego wpływ na końcową wysokość roślin nie był istotny statystycznie. Inny był natomiast wpływ na zwiększanie stężenia biowęgla w podłożu. Powodował on przyrost mokrej i suchej masy roślin, przy jednoczesnym braku wpływu na wysokość ich wzrostu. Z kolei zmienne stężenie otrębów pszennych wpływało istotnie na każdy z badanych parametrów wzrostu roślin. Zależności te miały charakter wypukły, przez co możliwy jest wybór takiego dodatku otrębów, przy którym wartość mokrej i suchej masy roślin oraz ich wysokość są największe.

Spśród powyższych parametrów wzrostu roślin, stworzono szczegółowy model regresji dla końcowej suchej masy roślin. Należy jednocześnie zaznaczyć, że występowała wysoka korelacja pomiędzy suchą a mokrą masą roślin, na poziomie $R^2 = 0,9411$.

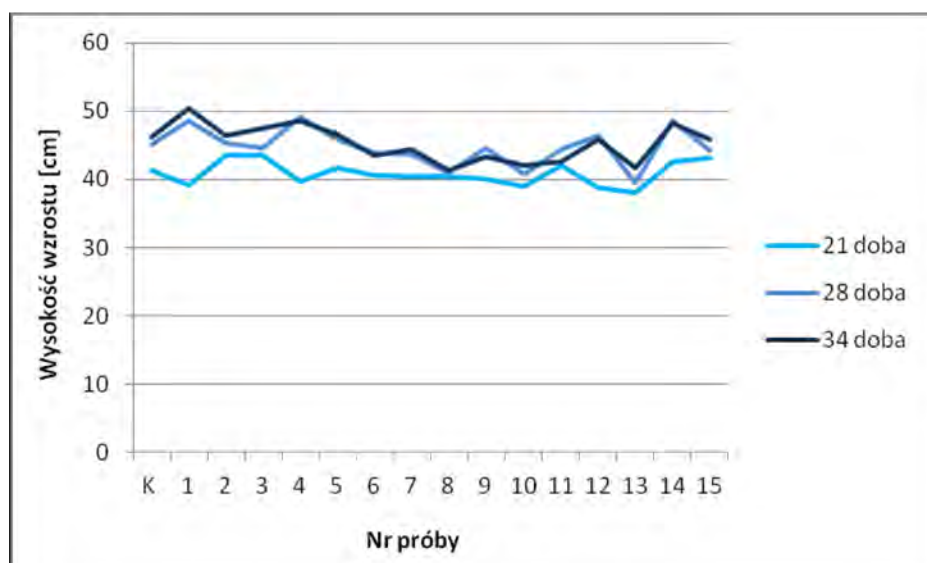
Jak wynika z wykresu Pareto, każda ze zmiennych wejściowych wpływała w sposób istotny na zmienną zależną, czyli końcową suchą masę roślin (Rys. 6). Najsilniejszy wpływ na zmienną zależną można przypisać dodatkowi otrębów, a w dal-



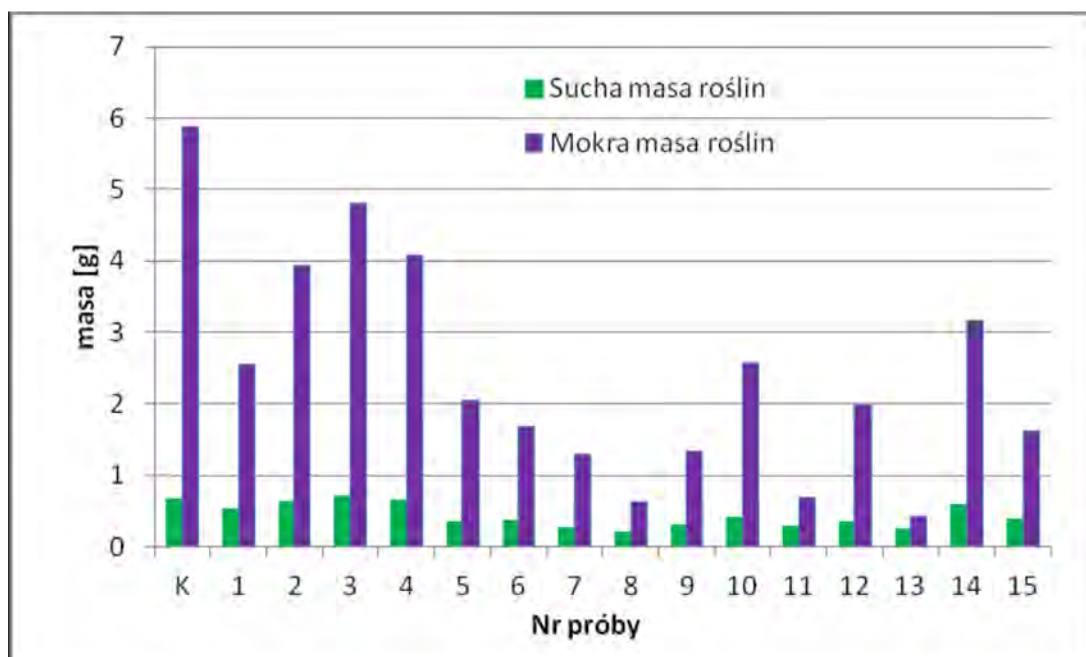
Rys. 1. Monitoring wzrostu ziaren pszenicy po 7 dobach
 Fig. 1. Monitoring of the growth of wheat grains after 7 days



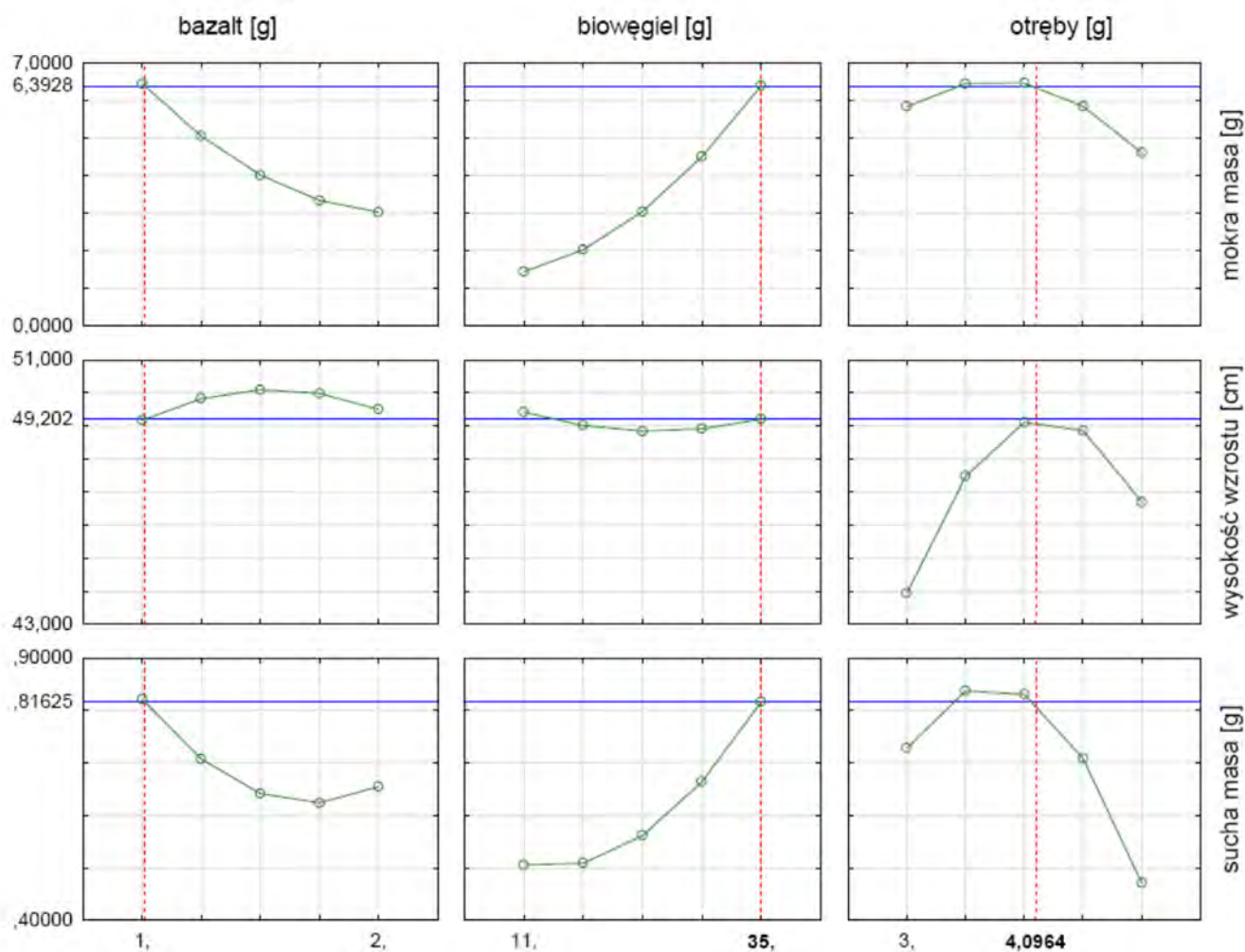
Rys. 2. Monitoring wzrostu ziaren pszenicy po 14 dobach
 Fig. 2. Monitoring of the growth of wheat grains after 14 days



Rys. 3. Monitoring wysokości wzrostu pszenicy po 21, 28 i 34 dobach
 Fig. 3. Monitoring of the height of wheat growth after 21, 28 and 34 days



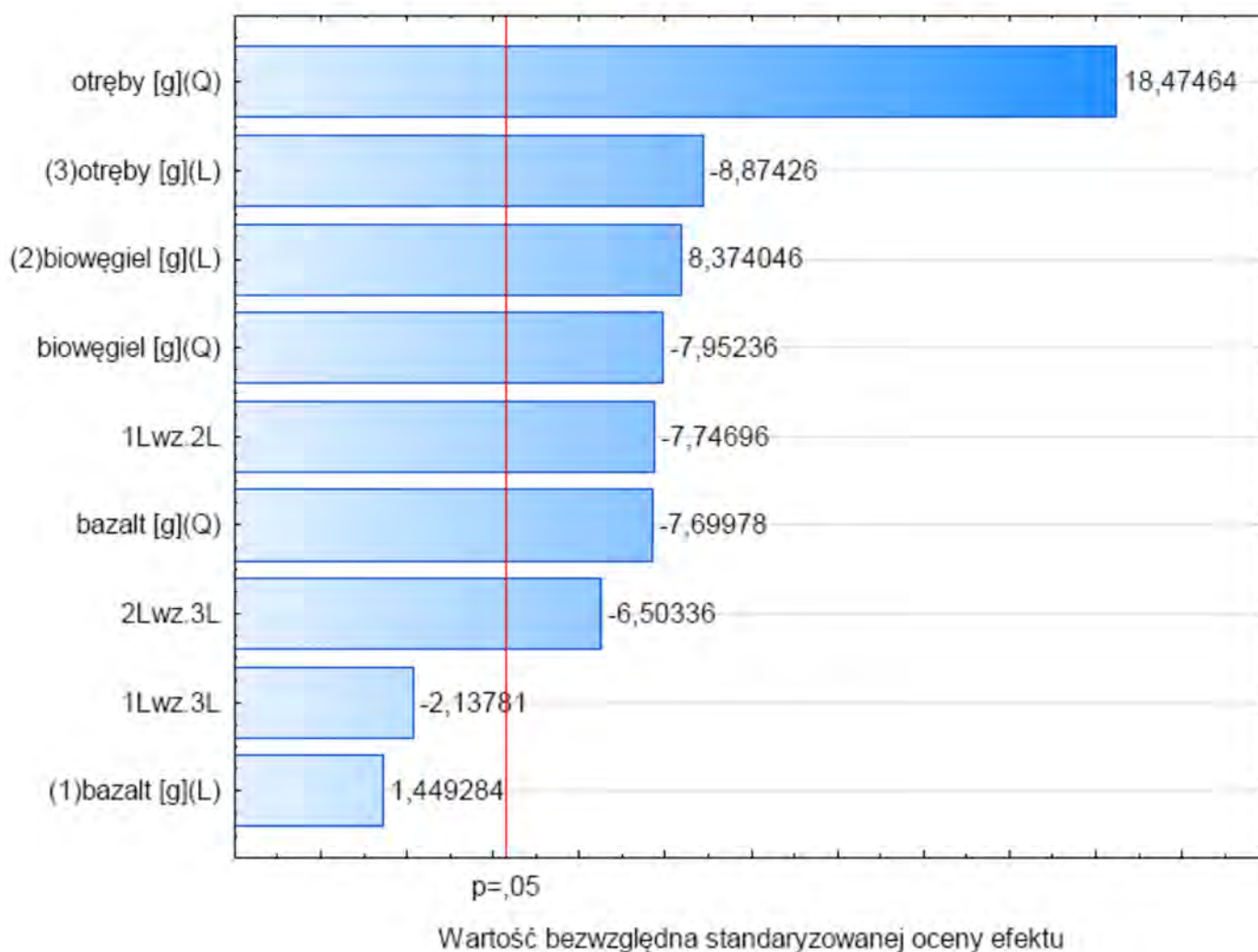
Rys. 4. Pomiar mokrej i suchej masy plonu po zakończeniu doświadczenia
Fig. 4. Measurement of wet and dry mass of the crop after the end of the experiment



Rys. 5. Aproxymowane wartości parametrów wzrostu roślin po zakończeniu eksperymentu, w zależności od wartości poszczególnych zmiennych wejściowych
Fig. 5. Approximated values of plant growth parameters at end of the experiment, depending on the values of individual input variables

Tab. 2. Analiza wariancji modelu Boxa-Behnkena dla suchej masy roślin
 Tab. 2. Analysis of the variance of the Box-Behnken model for dry weight of plants

Współczynnik	SS	df	MS	F	p
bazalt [g](Q)	0,034406	1	0,034406	59,2866	0,016452
biowęgiel [g](L)	0,040696	1	0,040696	70,1246	0,013962
biowęgiel [g](Q)	0,036700	1	0,036700	63,2401	0,015447
otręby [g](L)	0,045703	1	0,045703	78,7525	0,012461
otręby [g](Q)	0,198075	1	0,198075	341,3125	0,002917
bazalt wz. biowęgiel	0,034829	1	0,034829	60,0153	0,016257
biowęgiel wz. otręby	0,024544	1	0,024544	42,2937	0,022837
Brak dopasowania	0,020059	5	0,004012	6,9130	0,131185
Czysty błąd	0,001161	2	0,000580		
Całk. SS	0,458271	14			



Rys. 6. Wykres Pareto efektów w modelu Boxa-Behnkena dla suchej masy roślin
 Fig. 6. Pareto plot of effects in the Box-Behnken model for dry weight of plants

szej kolejności biowęgla i bazaltu. Jednocześnie, wpływ każdej ze zmiennych wejściowych miał charakter nieliniowy. Stwierdzono także obecność istotnych interakcji pomiędzy liniowymi współczynnikami dla bazaltu i biowęgla oraz biowęgla i otrębów. Uzyskany model wykazywał bardzo korzystny współczynnik determinacji $R^2 = 0,9537$ co oznacza, że ponad 95% zmienności wartości wyjściowej jest opisywana przez model. Dodatkowo, test „brak dopasowania” wykazujący brak istotności, potwierdza poprawność modelu. Podsumowując istotne statystycznie współczynniki regresji modelu, opisane w nim zależności można opisać równaniem kwadratowym:

$$Y = -3,68 + 0,03x_2 + 1,96x_3 + 0,15x_1^2 + 0,00x_2^2 - 0,24x_3^2 - 0,02x_1x_2 - 0,01x_2x_3$$

Analiza powierzchni wykreślonych dla par zmiennych wejściowych pozwala określić ich jednoczesny wpływ na zmienną zależną, z uwzględnieniem występujących interakcji (Rys. 7). Powierzchnia odpowiedzi dla interakcji otrębów pszenicznych i bazaltu wskazuje na określoną wartość dodatku otrębów (3,69 g), przy której wartość zmiennej zależnej jest największa. Jednocześnie, widoczny jest umiarkowany, nieliniowy efekt dodatku bazaltu, o charakterze siodłowym. Powierzchnia odpowiedzi, obrazująca wpływ otrębów oraz biowęgla, sugeruje wprost proporcjonalny i nieliniowy efekt biowęgla. Sugeruje to, że najkorzystniejsze poziomy dodatku biowęgla oraz bazaltu to maksymalne ilości tych dodatków w zaplanowanym zakresie eksperymentalnym, przez co nie jest możliwe określenie ich bezwzględnych wartości optymalnych. Najsilniejsza interakcja pomiędzy dodatkiem biowęgla oraz bazaltu widoczna jest na powierzchni odpowiedzi (c), na której inaczej kształtuje się wpływ biowęgla przy wyższym dodatku bazaltu, a inaczej przy jego niższych wartościach.

Analiza elementarna

Zawartość anionów PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , NO_3^- i NH_4^+ była zróżnicowana w poszczególnych próbkach. Najwięcej jonów PO_4^{3-} występowało w próbce 8A, czyli takiej, której masa wzrostu była najniższa. Związki fosforu pełnią istotną rolę w kształtowaniu mobilności niektórych pierwiastków śladowych – wytrącanie trudno rozpuszczalnych fosforanów powoduje ograniczenie migracji i biodostępności pierwiastków takich jak ołów lub cynk.

Zawartość SO_4^{2-} największa była w próbce 8A, najmniejsza w próbce KB. Potwierdza to niski wzrost i masę zieloną pszenicy, gdyż dodatek siarki uległ rozpuszczeniu, szkodliwie zadziałał na roślinę, mocno spowalniając jej wzrost.

Zawartość NO_3^- , największa była w próbce KB, 1232, 47 mg/kg, a najniższa w próbce 3B. Przeciętna ilość NO_3^- występująca w glebach wynosi 4,5-16 mg/kg. Natomiast zawartość NH_4^+ , największa była w próbce 3B 3,76 mg/kg, a w próbce KB i 8B były na podobnym poziomie 0,27 mg/kg. Przeciętne ilości występujące w glebach wynoszą 7-16 mg/kg.

Porównując te wyniki z próbą wyjściową gleby, ilość SO_4^{2-} wyższa była w próbce KB. Zawartość PO_4^{3-} największa ilość była w próbce wyjściowej. Zawartość NO_3^- oraz NH_4^+ wyższa była w wyjściowej próbce gleby, odpowiednio 3134,22 i 9,01 mg/kg. Niższe, niż w glebie wyjściowej zawartości składników w próbce KB wynikają z wykorzystywania składników potrzebnych roślinom do wzrostu [17].

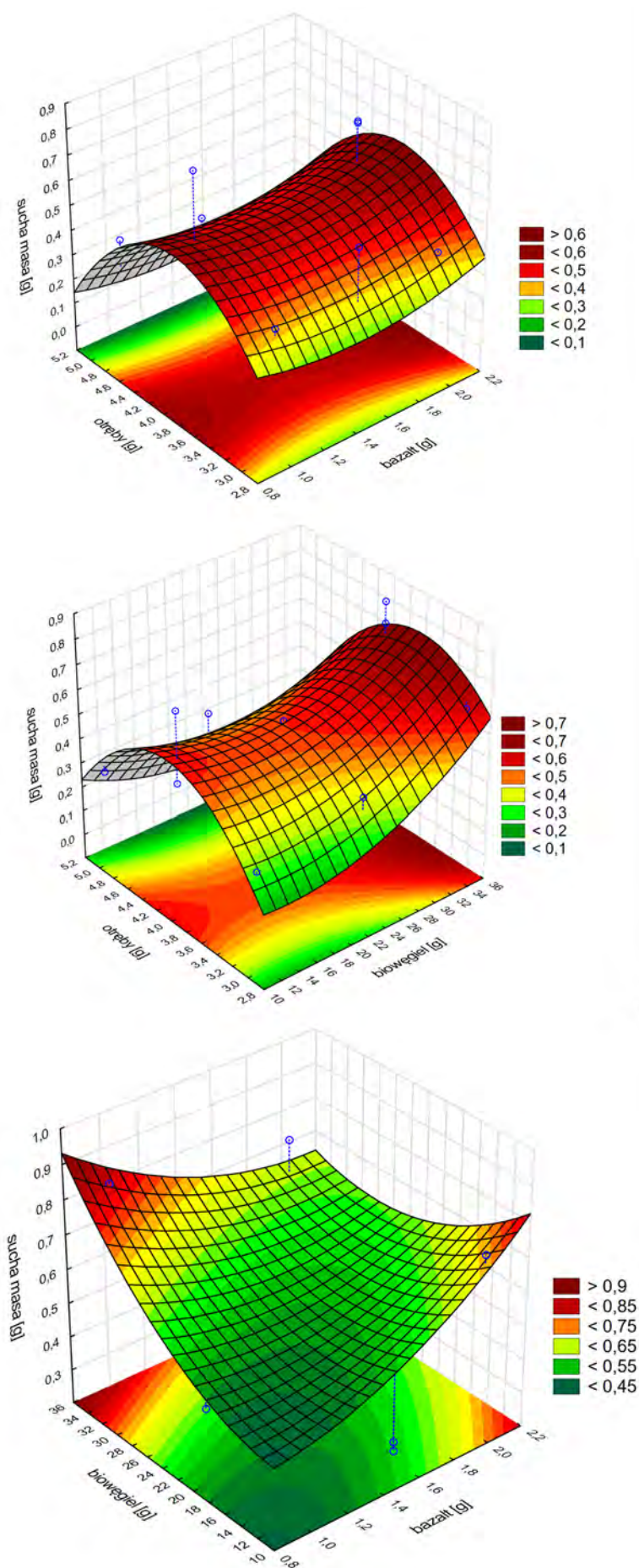
Cynk jest podstawowym składnikiem roślin, regulującym ich metabolizm. Deficyt cynku powstaje w glebach bogatych w fosforany. Nadmiar cynku hamuje białka wiążące wapń i wpływa na gospodarkę miedzią i żelazem. Ilość Zn najniższa była w wyj-

Tab. 3. Wilgotność gleby na początku doświadczenia
Tab.3. Soil moisture at the beginning of the experiment

NR PRÓBY	wilgotność [%]			
	1 doba	A	B	C
K	60,69	60,93	59,83	
1	57,61	58,29	59,01	
2	61,11	57,49	56,52	
3	45,71	48,13	48,33	
4	43,72	45,96	46,55	
5	50	46,33	46,73	
6	46,77	48,09	48,88	
7	48,95	47,59	46,79	
8	47,85	47,26	47	
9	47,69	45,98	47,76	
10	48,62	49	47,22	
11	49,77	56,68	55,88	
12	54,27	54,59	55,56	
13	56,46	58	57,33	
14	53,42	51,1	47,54	
15	49,69	46,51	43,96	

Tab. 4. Wilgotność gleby na końcu doświadczenia
Tab. 4. Soil moisture at the end of the experiment

NR PRÓBY	wilgotność [%]			
	35 doba	A	B	C
K	54,7	56,4	55	
1	56,5	59,51	45,63	
2	54,9	63,23	56,38	
3	53,5	45,41	55,61	
4	54,29	54,02	50,79	
5	55,32	55,66	51,72	
6	50,51	59,22	54,44	
7	58,69	55,66	55,61	
8	55	57,92	58,37	
9	57,75	57,81	54,49	
10	56,49	56,31	53,36	
11	56,68	61,84	60,3	
12	54,55	56,4	58,79	
13	57,14	62,69	55,19	
14	54,14	55,42	56,52	
15	56,52	57,81	55,38	



Rys.7. Wykresy powierzchni odpowiedzi modelu regresyjnego obrazujący wpływ par zmiennych wejściowych na zmianę zależną (suchą masę roślin):
 a- łączny efekt otrębów pszennych i bazaltu; b- efekt otrębów pszennych i biowęgla; c- efekt biowęgla i bazaltu
 Fig.7. Graphs of the response surface of the regression model showing the influence of pairs of input variables on the dependent change
 (dry weight of plants): a- combined effect of wheat and basalt; b- the effect of wheat bran and biochar; c- biochar and basalt effect

Tab. 5. Skład chemiczny wybranych próbek gleby z przeprowadzonego doświadczenia
 Tab. 5. Chemical composition of selected soil samples from the conducted experiment

Parametr	Jednostka	Gleba	KB	3B	8A
PO ₄ ³⁻	[mg/kg]	291,77	123,31	102,08	171,93
SO ₄ ²⁻	[mg/kg]	1411,52	2693,94	27740,02	41877,93
NO ₃ ⁻	[mg/kg]	3134,22	1232,47	107,41	128,43
NH ₄ ⁺	[mg/kg]	9,01	0,27	3,76	0,28
Zn	[mg/kg]	67,43	32	46,2	44
Cu	[mg/kg]	4,37	8,1	5,6	5,9
Ni	[mg/kg]	3,56	<0,1	0,5	0,1
Co	[mg/kg]	0,44	<0,1	<0,1	<0,1
Cr	[mg/kg]	3,6	5,6	1,5	2,2
Pb	[mg/kg]	5,59	2,8	2,3	0,6
Cd	[mg/kg]	0,06	<0,1	<0,1	<0,1
SiO ₂	[%]	12,97	9,726	3,801	2,988
Al ₂ O ₃	[%]	0,25	0,754	0,312	0,290
Fe ₂ O ₃	[%]	0,95	0,610	0,266	0,220
K ₂ O	[%]	0,11	0,282	0,083	0,080
TiO ₂	[%]	0,01	0,040	0,017	0,014
MgO	[%]	0,09	0,287	0,114	0,147
CaO	[%]	3,16	8,644	3,032	2,292
Na ₂ O	[%]	0,02	0,082	0,053	0,058
SO ₃	[%]	1411,52	2,217	6,035	6,528
MnO	[%]	0,06	0,021	0	0
P ₂ O ₅	[%]	0,09	0,237	0,086	0,083
N	[%]	1,56	1,63	1,27	1,21
C	[%]	40,18	39,37	41,37	39,89
H	[%]	4,97	4,1	4,5	4,32
S	[%]	0,32	0,56	2,28	3,42
Popiół		18,5	22,9	13,8	12,7

ściowej próbce gleby i wynosiła 67,43 ppm, natomiast w próbkach KB, 3B, 8A wynosiła 32-46,2 ppm.

Miedź jest bardzo ważnym składnikiem, gdyż jest aktywatorem wielu enzymów. Zawartość miedzi w powierzchniowych poziomach gleby wynosi 1-24 mg/kg. Zawartość miedzi była najwyższa w wyjściowej próbce gleby. Dodatek pozostałych komponentów podłoża podniósł zawartość tego pierwiastka w mieszanych próbkach gleby.

Zawartość niklu często jest związana z zawartością żelaza, dlatego jego przemieszczanie w glebach jest utrudnione. Dopuszczalna zawartość niklu wynosi 100 mg/kg. Ilość Ni zdecydowanie niższa była w badanych próbkach gleby po wzroście roślin na poziomie 0,5 mg/kg. Możliwe, że rośliny wykorzystały te pierwiastki na potrzeby wzrostowe. Podobnie było z kobaltem [17].

Zawartość chromu niższa była w próbce 3B, a najwyższa w próbce gleby KB.

Ołów jest naturalnym składnikiem różnych skał macierzystych. Jego zawartość w glebach jest zróżnicowana, ale dopuszczalna ilość wynosi 100 mg/kg. Najwyższą zawartość Pb uzyskano dla wyjściowej próbki gleby. Duże jej ilości odnotowano w próbce KB i 3B. Najniższą zawartość w próbce 8A. Być może roślina w stresie, związanym z niskim odczynem podłoża, skorzystała z dostępu do Pb. W swojej pracy Filipek i Skowrońska (2013) potwierdzają, że

zakwaszenie gleb skutkuje mobilizacją i immobilizacją składników pokarmowych roślin i metali toksycznych [14].

Zawartość kadmu podobna była we wszystkich badanych próbkach.

Zawartości metali w każdej z próbek nie przekraczały wartości dopuszczalnych dla nawozów organiczno-mineralnych zgodnie z rozporządzeniem MRiRW z dnia 18 czerwca 2008 r. (Dz.U.Nr 119, poz.76.) [6]. Podobne wnioski uzyskał Maliszewski w badaniach właściwości fizyko-chemicznych mączki bazaltowej z Mięcinka na Dolnym Śląsku [12].

Zawartość tlenku krzemu największa była w próbce kontrolnej i wynosiła 9,72%, a w pozostałych próbkach 3B i 8A, odpowiednio 3,8% i 2,88%. SiO₂ w próbce KB była nieco niższa. W próbce gleby przed doświadczeniem ilość SiO₂ wynosiła 12,87%. Zawartość tego tlenku w bazalcie wynosiła 41,37%. W próbkach 3B i 8A występował dodatek bazaltu, ale jego ilości były mniejsze, niż w glebie bez dodatków.

Ilość Al₂O₃ najwyższa była w próbce KB, a najniższa w próbce 8A. Zawartość tego składnika w wyjściowej próbce gleby i bazaltu wynosiła odpowiednio 0,25% i 14,30%.

Najwięcej tlenku żelaza odnotowano w próbce KB, a najniższą w 8A. Wyjściowo najwięcej Fe₂O₃ było w próbce bazaltu.

Jeśli chodzi o pozostałe tlenki MgO, P₂O₅, Na₂O, K₂O, TiO₂,

MnO, to największe ich ilości odnotowano w próbce wyjściowej bazaltu. Zakłócenie proporcji makroelementów szczególnie ważne jest w przypadku potasu i magnezu. Przewaga np. potasu prowadzi do ograniczenia pobierania magnezu, co wpływa negatywnie na wzrost roślin. Z próbek gleby po czasie wegetacji pszenicy, ilości tlenków MgO, Na₂O, CaO, MnO, P₂O₅ najwyższa była w próbce kontrolnej KB. Z danych literaturowych wynika, że przeciętne ilości P₂O₅ i K₂O wynoszą odpowiednio 0,04 % i 0,035%. W badanych próbkach wartości te były wyższe i wynosiły od 0,080% do 0,282 %. Fosfor jest równomiernie pobierany przez rośliny i w przeciwieństwie do azotu i potasu jest pierwiastkiem bezpiecznym, bo nie jest akumulowany przez rośliny. Magnez jest ważnym pierwiastkiem, gdyż bierze udział w najważniejszych procesach życiowych roślin. Ilość tlenu magnezu w badanych próbkach wynosiła 0,114-0,287%, rekomendowana zawartość magnezu w glebach wynosi 0,002- 0,01 %. Ilość SO₃ najwyższa była w próbce 8A [17].

Jeżeli chodzi o zawartość N, to najwyższa wartość była w próbce kontrolnej KB 1,63%, a w próbkach 3B i 8A na podobnym poziomie 1,21% - 1,27%. Wynik KB 1,63% jest zbliżony z wyjściową próbką gleby 1,56%. Spotykane w literaturze przeciętne zawartości azotu w glebie są na poziomie 0,02- 0,35%.

Ilość węgla była podobna zarówno w próbce wyjściowej gleby, KB, 3B, 8A i wynosiła w granicach 39,37% - 41,37%. W próbce

wyjściowej biowęgla, ilość węgla wynosiła 49%. Rekomendowane minimalne zawartości węgla w glebie wynoszą 0,36 - 3,84%. Także uzyskane wartości przewyższają wartości minimalne.

Ilość wodoru również podobna była w próbce wyjściowej gleby jak i w pozostałych próbkach KB, 3B, 8A i była w granicach 4,1 - 4,9%. Jedynie wyjściowa próbka bazaltu zawierała 0,59% tego pierwiastka.

Najwyższa ilość siarki była w próbce 8A, a następnie 3B. W wyjściowej próbce gleby wynosiła 0,32%, a w KB 0,56%. Zawartość przyswajalnej siarki w glebach wahała się w szerokich granicach od 0,3 do 50 mg/100 g.

Podsumowanie

Zwiększenie dodatku bazaltu, w przeciwieństwie do biowęgla, nie wpłynęło na końcową masę roślin. Natomiast wpływ na końcową masę i wysokość wzrostu roślin miał dodatek otrąb owsianych.

Ogólnie przeprowadzona analiza wieloelementowa wskazuje na prawidłowe zawartości poszczególnych składników. Szczególnie dotyczy to metali ciężkich, których ilości mieściły się w dopuszczalnych granicach.

Badania finansowane z działalności statutowej „Poltegor-Institut” Instytutu Górnictwa Odkrywkowego, zlecenie 337010/N

5.11.2021



10.11.2021



19.11.2021



26.11.2021



3.12.2021



10.12.2021



Fot. 1. Dokumentacja fotograficzna z tygodniowego monitoringu wzrostu
Phot. 1. Photographic documentation of the weekly growth monitoring

Literatura

- [1] Kaczor, A., Zuza J., 2009, *Znaczenie siarki w rolnictwie*, *Chemia Dydaktyka Ekologia Metrologia*, R. 14, Nr 1-2.
- [2] Nunes, J.M.G., Kautzmann, R.M., Oliveira, C., 2014. *Evaluation of the natural fertilizing potential of basalt dust wastes from the mining district of Nova Prata (Brazil)*. *Journal of Cleaner Production* 84(1):649-656. DOI:10.1016/j.jclepro.2014.04.032.
- [3] Sánchez-Reinoso, AD., Ávila-Pedraza, E.A., Restrepo-Díaz, H., 2020. *Use of Biochar in Agriculture*. *Acta biol. Colomb.*, 25(2). DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v25n2.79466>.
- [4]. Das, S.K., Ghosh, G.K. & Avasthe, R. 2020. *Application of biochar in agriculture and environment, and its safety issues*. *Biomass Conv. Bioref.* <https://doi.org/10.1007/s13399-020-01013-4>
- [5]. <https://www.farmer.pl/produkcja-roslinna/nawozy/odczyn-gleby-a-efektywnosc-nawozenia-mineralnego,60284.html>.
- [6] *Rozporządzenie MRiRW z dnia 18 czerwca 2008 r.* (Dz. U. Nr 119, poz. 76).
- [7] Zagożdżon P.P., 2008. *Mączki bazaltowe w zastosowaniach rolniczych i pokrewnych*. *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej*, nr 123., 133- 142.
- [8] Jian Feng Ma, 2004. *Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses*, *Soil Science and Plant Nutrition*, 50:1, 11-18, DOI: 10.1080/00380768.2004.10408447;
- [9] Akter, M., Akagi,T., 2005. *Effect of Fine Root Contact on Plant-Induced Weathering of Basalt*. *Soil Science & Plant Nutrition*, 51:6, 861-871, DOI: 10.1111/j.1747-0765.2005.tb00121.x.
- [10] Swoboda P., 2016. *Rock dust as agricultural soil amendment: a review*. *Master of Science*.
- [11] Ramos,G.C., Hower, J.C., Blanco E.,Leandro, M., Oliveira S.Suzi HuffTheodoro, S., H., *Possibilities of using silicate rock powder: An overview*. *Geoscience Frontiers*, Volume 13, Issue 1, <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101185>.
- [12] Maliszewski Mirosław, 2021 r. *Preliminary studies of the physico-chemical properties of basalt rock flour from the Męcinka mine in Lower Silesia*. *Mining Science*. Vol. 28, Strony 175--187,DOI 10.37190/msc212813
- [13] Elimem, M., Rouz, S., Kharroubi, H., Mekni, A., Kouk, S., Toukabri, A., Ragnoni, G., Pizzuti, G., Primavera, F., Alessandro Riccini, A., Cari, A. 2020. *Effect of basalt powder « Farina di Basalto ® » on the development of pests and diseases on pepper crop under greenhouse and during storage*. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*. 13(8):38-47,DOI:10.9790/2380-1308023847.
- [14] Filipek, T., Skowrońska, M., 2013, *Aktualnie dominujące przyczyny oraz skutki zakwaszenia gleb użytkowanych rolniczo w Polsce*, *Acta Agrophysica*, Vol. 20, No. 2, 283–294.
- [15] Wang, H., Li, X., , Chen, Y., Li, Z., Hedding, D.W., Nel, W., Ji, J., Chen, J., 2020. *Geochemical behavior and potential health risk of heavy metals in basalt-derived agricultural soil and crops: A case study from Xuyi County, eastern China*. *Sci Total Environ*. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139058.
- [16] Philipp Swoboda, P., Döring, T.F., Hamer M., 2021. *Remineralizing soils? The agricultural usage of silicate rock powders: A review*, *Science of the Total Environment* (807). 150976
- [17] <file:///C:/Users/poltegor/AppData/Local/Temp/OPRACOWANIE%20WYNIK%C3%93W%20BADA%C5%83%20Z%20GMINY%20NEDZA%202013.pdf>