

**UNIwersYTET PRZYRODnicZY W LUBLINIE**  
**WYDZIAŁ AGROBIOINŻYNIERII**

**Kierunek**  
**ROLNICTWO**  
**Specjalność**  
**Kształtowanie środowiska**

**Katarzyna Olesińska**

**Nr albumu 83167**

**Wykorzystanie testu kiełkowania i wczesnego wzrostu roślin  
(Phytotoxkit F<sup>TM</sup>) do oceny wpływu biowęgla na jakość wybranych gleb  
w gminie Skrzyszów**

Use of the seed germination and early growth tests with higher plants  
(Phytotoxkit F<sup>TM</sup>) to assess the impact of biochar on soil quality selected in the  
commune Skrzyszów

**Praca magisterska wykonana  
w Katedrze Ekologii Rolniczej  
pod kierunkiem  
dr hab. Piotra Kraski**

**Lublin, 2015**

## OŚWIADCZENIE O AUTORSTWIE PRACY

Oświadczam, że niniejszą pracę przygotowałem/przygotowałam\* samodzielnie.

Wszystkie przytoczone w pracy teksty dosłowne innych autorów udokumentowane zostały w formie cytatów, natomiast dane, definicje i sformułowania, stwierdzenia i poglądy autorów przytoczone niedosłownie opatrzone zostały odpowiednimi odsyłaczami.

Praca ta nie była wcześniej publikowana i przedkładana do jakiegokolwiek oceny.

Lublin, dnia ..... 20.... r.

.....

czytelny podpis autora pracy

\*) niepotrzebne skreślić

.....  
*Imię i nazwisko studenta*

.....  
*Kierunek i stopień studiów*

.....  
*Nr albumu*

Wydział Agrobiotechnologii

### Oświadczenie autora

Świadom odpowiedzialności prawnej oświadczam, że niniejsza praca dyplomowa w wersji papierowej jest zgodna z wersją zapisaną na nośniku CD i nie zawiera znaków niewidocznych na wydruku.

Lublin, dnia.....

podpis autora pracy.....

**OŚWIADCZENIE O PRZEKAZANIU UNIWERSYTETOWI PRAWA  
DO EKSPLOATACJI PRACY DYPLOMOWEJ W SYSTEMIE  
ANTYPLAGIATOWYM**

Ja, niżej podpisany/na

*imię i nazwisko* .....

(*nr albumu* .....)

student Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie oświadczam, że udzielam nieodpłatnie i na czas nieokreślony Uniwersytetowi prawa do eksploatacji pracy mojego autorstwa pt.

.....  
.....  
.....

na następujących polach:

1. Wprowadzanie i przetwarzanie tekstu pracy dyplomowej w systemie antyplagiatowym. Przez przetwarzanie należy rozumieć wyłącznie porównywanie przez system antyplagiatowy treści pracy dyplomowej z innymi dokumentami oraz generowanie przez ten system raportu.
2. Dodanie pracy dyplomowej do elektronicznej uczelnianej bazy prac.
3. Udostępnienie pracy dyplomowej dodanej do uczelnianej elektronicznej bazy innym uczelniom wyższym, w celu wykorzystania jej tekstu do wykonania analizy porównawczej dokonywanej za pomocą systemu antyplagiatowego. Uczelnia może upoważnić inną osobę do korzystania z tej licencji.

Lublin, dnia.....

.....

*podpis autora pracy*

## Spis treści

1.	Wstęp	6
2.	Przegląd piśmiennictwa	
2.1.	Gmina Skrzyszów- charakterystyka ze szczególnym uwzględnieniem działalności rolniczej	7
2.2.	Ogólna charakterystyka gleb w Polsce i gminie Skrzyszów	11
2.3.	Zagrożenie degradacją oraz wpływ rolnictwa na gleby	13
2.4.	Glebowa substancja organiczna (SOM) - jej znaczenie i straty związane z gospodarką rolną	15
2.5.	Biowęgiel- krótka charakterystyka	19
2.6.	Rodzaje biowęgla	22
2.7.	Wpływ biowęgla na właściwości gleby	22
2.8.	Test kiełkowania i wczesnego wzrostu roślin (Phytotoxkit F <sup>TM</sup> )	25
3.	Metodyka i cel badań	26
4.	Wyniki badań i ich omówienie	32
5.	Podsumowanie	50
6.	Piśmiennictwo	51

## 1. Wstęp

W związku z postępującym rozwojem rolnictwa i coraz intensywniejszym użytkowaniem środowiska glebowe podlega narastającej antropopresji. Gleba, jako główny czynnik produkcji podlega specyficznym przemianom w związku ze stosowaną agrotechniką i sposobem gospodarowania. Zjawiska te narażają ją na niespotykane dotąd zagrożenia oraz nasilają występujące dotychczas problemy.

W ostatnich latach szczególnie dotkliwy staje się narastający deficyt substancji organicznej w glebie. Przyczynia się on do ciągłego pogarszania się, już nie najlepszej jakości użytków rolnych w Polsce oraz w gminie Skrzyszów. Przyczyną tego stanu jest niewłaściwe gospodarowanie nawożeniem organicznym, bądź jego całkowite zaniechanie. Ponadto obecna struktura zasiewów, w której ponad 70% stanowią rośliny zbożowe, nie sprzyja zwiększaniu ilości substancji organicznej w glebie.

Niska zasobność gleby w materię organiczną i jednocześnie jej ubywanie na skutek mineralizacji, prowadzi do obniżenia zawartości próchnicy. Utwory glebowe o niskiej ilości próchnicy słabiej plonują, ze względu na niższą zasobność w składniki pokarmowe i mniejszą zdolność do retencji biogenów oraz wody. Ponadto są one mniej odporne na degradację, wyrażającą się w zakwaszeniu, zasoleniu, erozji oraz pogorszeniu właściwości fizycznych (nadmierne zagęszczenie lub zbyt duża pylistość).

W niniejszej pracy poruszano tematykę nawożenia gleb uprawnych biowęgłem o różnej jakości. Karbonat będąc zwięzłą materią organiczną przyczynia się do wzrostu zawartości w glebie węgla organicznego o dużej trwałości i odporności na niekorzystne czynniki (rozkład biologiczny, mineralizacja, wymywanie). Ponadto wniesione nawożenie biokarbonem sprzyja resorpcji składników pokarmowych oraz wody, a także stymuluje rozwój mikroflory oraz immobilizuje niepożądane substancje chemiczne, które stają się niedostępne dla roślin. W związku z jego szczególnymi właściwościami oczekuje się, że jego dodatek do gleby będzie korzystnie wpływał na jej właściwości tak fizyczne, chemiczne, jak i biologiczne oraz umożliwi stałą poprawę jakości nawożonych gruntów.

## 2. Przegląd piśmiennictwa

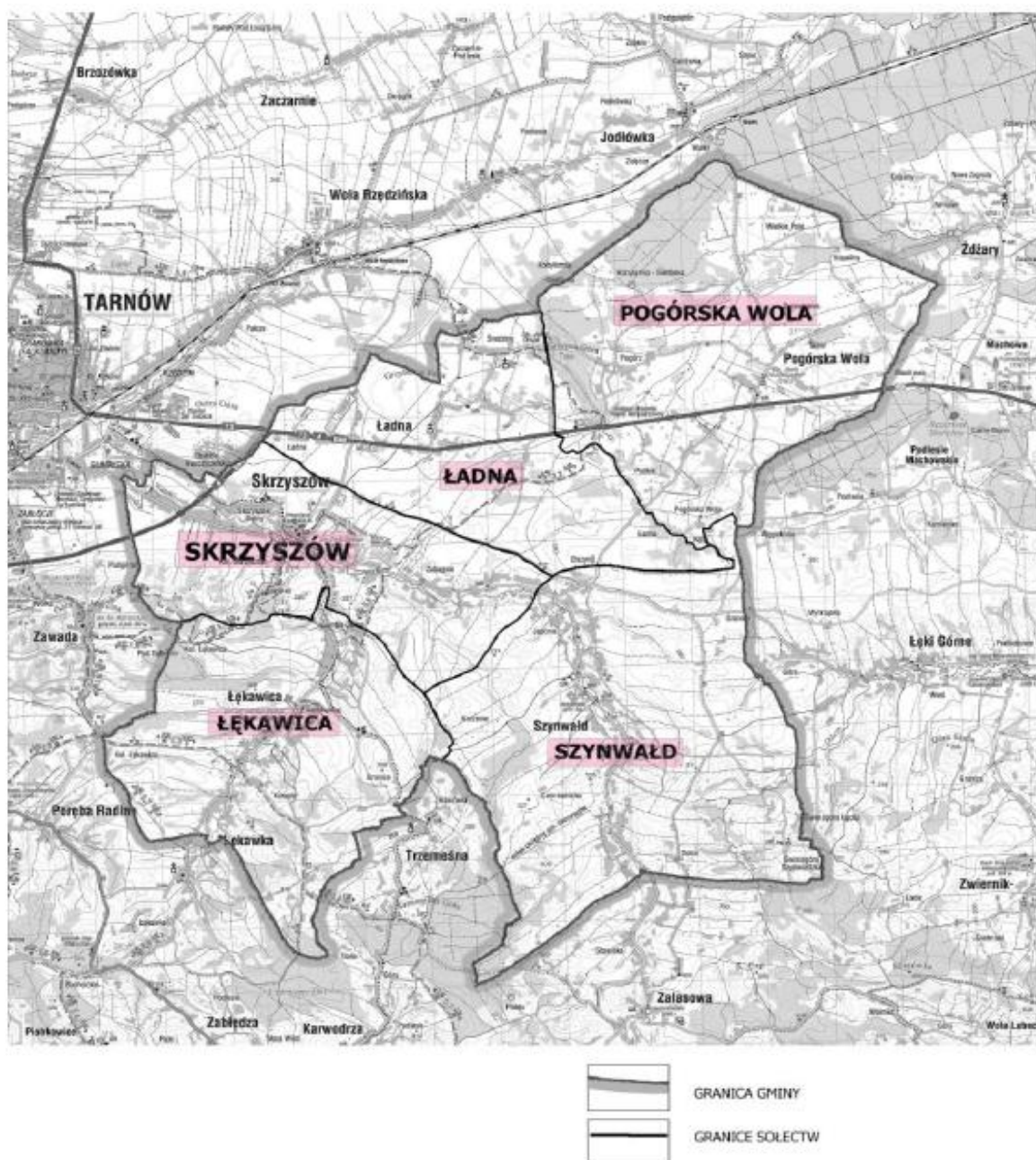
### 2.1. Gmina Skrzyszów- charakterystyka ze szczególnym uwzględnieniem działalności rolniczej

Gmina Skrzyszów położona jest w północno-wschodniej Małopolsce w powiecie tarnowskim. Od strony zachodniej graniczy z miastem Tarnów i gminą Tarnów, od południa z gminami Ryglice i Tuchów, zaś od wschodu z dwoma gminami województwa podkarpackiego (Czarna i Pilzno) (rys.1).



**Rys.1. Położenie gminy Skrzyszów na tle województwa małopolskiego i powiatu tarnowskiego [Strategia rozwoju, 2014]**

Gminę współtworzy 5 sołectw: Skrzyszów, Szywałd, Pogórska Wola, Łękawica i Ładna, które są zróżnicowane pod względem rozwoju i funkcji, na co wpłynęła bliskość miasta i warunki przyrodnicze (rys.2.). Szywałd i Łękawica to miejscowości o charakterze rolniczym, w których nieliczne są pozarolnicze formy działalności. Natomiast w Ładnej i Pogórskiej Woli ze względu na bardziej uprzywilejowane położenie silniej rozwija się przemysł i usługi niż rolnictwo. Centrum gminy stanowi Skrzyszów, który ze względu na obecność Urzędu Gminy, gimnazjum oraz zespołu szkół ogólnokształcących i zawodowych pełni funkcję administracyjno-usługową [Zaktualizowany program ochrony środowiska, 2009].



Rys.2. Podział administracyjny gminy Skrzyszów [MGGP S. A., 2011]

W gminie Skrzyszów panują sprzyjające warunki rolnicze, co wyraża się w jakości użytków rolnych i miejscowym klimacie. Okolice Tarnowa, to jeden z najcieplejszych rejonów Polski, gdzie średnia miesięczna temperatura lipca wynosi ok. +18°C, a stycznia ok. -2°C. Na terenie gminy panuje dość długi okres wegetacyjny, (ok. 220 dni), a średnie roczne sumy opadów wahają się na poziomie ok. 700 mm [MGGP S. A., 2011].

Zgodnie z waloryzacją rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce w gminie Skrzyszów panują korzystne warunki rolnicze. Wyraża się to w wyższym niż dla kraju wskaźnikiem waloryzacji- dla Polski wynosi 66,6 pkt, zaś dla gminy został on wyliczony na



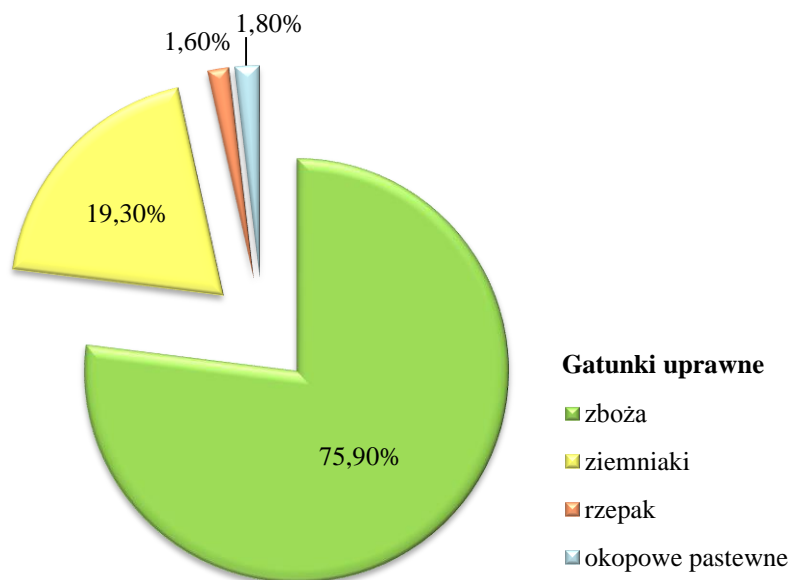
71,4 pkt. Poszczególne wskaźniki bonitacji rolniczej przedstawiono w tabeli 1 sporządzonej na podstawie "Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Gminy Skrzyszów".

**Tab.1. Zestawienie wskaźników rolniczej przydatności przestrzeni produkcyjnej**

Jednostka administracyjna	Wskaźnik bonitacji rolniczej				Ogólny wskaźnik rolniczej przydatności
	Jakość i przydatność rolnicza	Agroklimat	Rzeźba terenu	Warunki wodne	
<b>Gmina Skrzyszów</b>	53,8	12,0	2,5	3,1	71,4
<b>Polska</b>	49,5	9,9	3,9	3,3	66,6

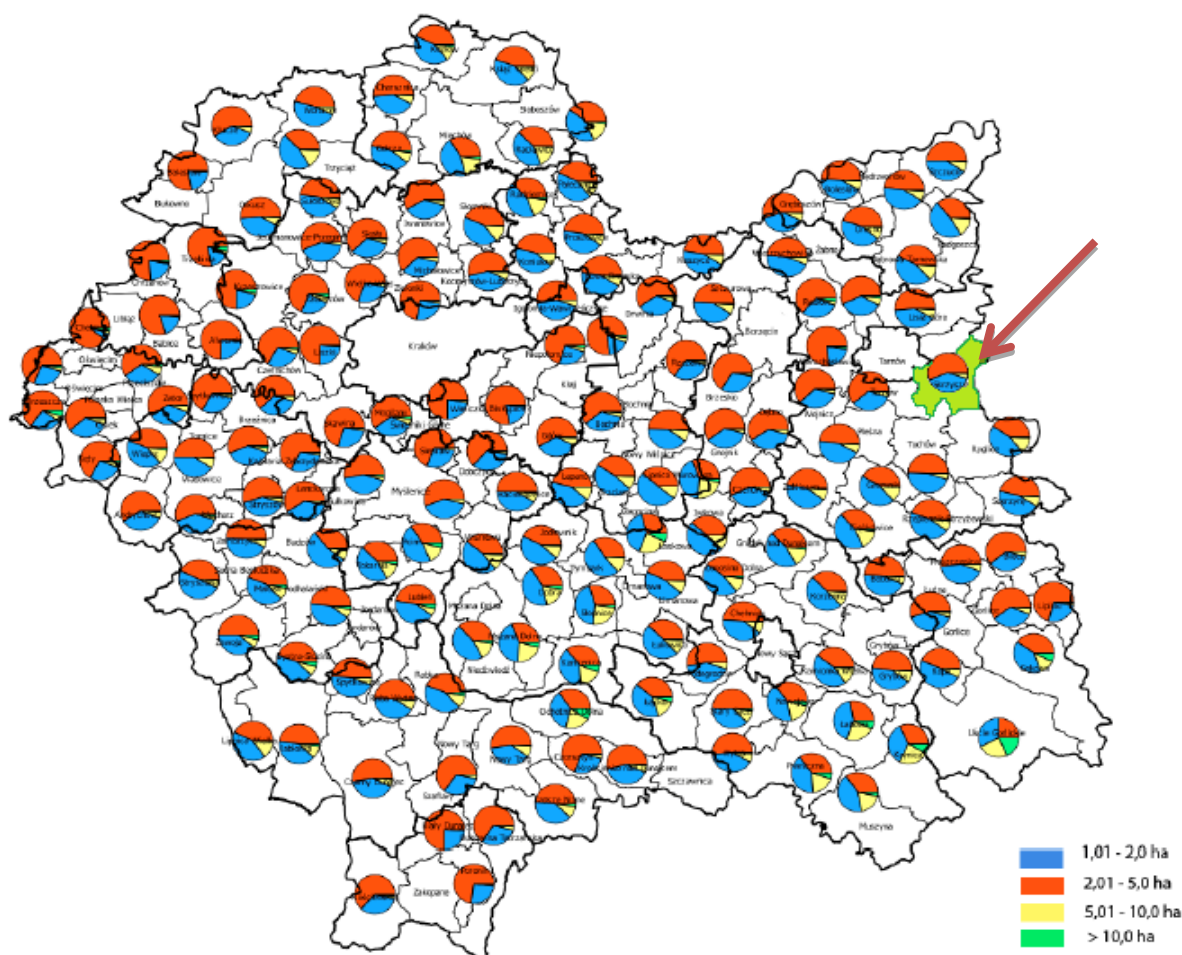
W strukturze użytków rolnych przeważają grunty orne (78,1%), trwale użytki zielone zajmują 19,6%, a sady tylko 2,3% wszystkich użytków rolnych [Strategia rozwoju, 2014].

Struktura gatunkowa upraw jest silnie związana z jakością gleb, przeważają w niej zboża (z dominacją pszenicy ozimej- 30% zasiewów), ziemniaki, rośliny pastewne i strączkowe. Sytuację tę obrazuje wykres nr 1 [Zaktualizowany program ochrony, 2009].



**Wyk.1. Udział poszczególnych grup roślin w powierzchni gruntów ornych [Zaktualizowany program ochrony, 2009]**

Rozwojowi rolnictwa nie sprzyja rozdrobnienie gospodarstw-92% gospodarstw ma powierzchnię między 1 a 5 ha, tylko 5 rolników gospodaruje na powierzchni większej niż 50 ha. W związku z czym przeważa produkcja rolna na własne potrzeby- tylko ok. 10% gospodarstw wytwarza płody rolne, których głównym przeznaczeniem jest sprzedaż rynkowa [Strategia rozwoju Gm. Skrzyszów, 2014]. Rysunek 3 przedstawia strukturę agrarną gminy Skrzyszów na tle innych gmin Małopolski [Szafrńska , 2012].



**Rys.3. Procentowy udział wielkości gospodarstw w poszczególnych obszarach przedziałowych [Szafrńska, 2012]**

Poza niekorzystną strukturą agrarną zagrożeniem dla dalszego rozwoju działalności rolniczej jest ekspansja miasta, wyrażająca się w wykorzystaniu coraz większych powierzchni na cele mieszkaniowe.

## 2.2. Ogólna charakterystyka gleb w Polsce i gminie Skrzyszów

Na terenie naszego kraju przeważają gleby strefowe, których powstanie jest silnie związane z klimatem i szatą roślinną. Są to gleby brunatne, płowe, rdzawe i bielicowe, które łącznie zajmują ok 75% powierzchni Polski. Ponad to występują gleby pozastrefowe (czarnoziemy powstałe na lessach, 0,74% powierzchni gleb) oraz śródstrefowe, związane z występowaniem specyficznych skał (rędziny), czy wysokim poziomem wód gruntowych (mady, czarne ziemie, gleby murszowe, torfowe i mułowo-bagienne). Oprócz w/w pojawiają się gleby inicjalne i słabo wykształcone oraz antropogeniczne [Skłodowski i Bielska, 2009; Siebielec i in., 2012].

Gleby w Polsce cechują się bardzo dużym zróżnicowaniem na małych powierzchniach, gdyż wykształciły się na osadach zwałowych i wodnolodowcowych silnie zróżnicowanych tak w przekroju pionowym, jaki poziomym. Skałami macierzystymi większości utworów glebowych są osady glacialne –piaski zwałowe, piaski wodno-lodowcowe i gliny zwałowe. Mają one w przeważającej większości charakter kwaśny ze względu na wysoką zawartość krzemionki i niską zasobność w składniki zasadowe (głównie wapń i magnez), co wraz z humidowym klimatem Polski silnie wpływa na pH gleb [Józefaciuk i Szatanik-Kloc, 2002; Skłodowski i Bielska, 2009].

O rolniczej przydatności gleb i ich odporności na degradację decydują głównie skład granulometryczny i jego zmienność w profilu, warunki wodne, zasobność w próchnicę, pojemność sorpcyjna, odczyn i stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi.

W Polsce przeważają gleby z grupy piasków lekkich i słabogliniastych, które należą do gleb o gorszej przydatności dla rolnictwa [Siebielec i in., 2012].

Grunty rolne w Polsce cechuje duże zakwaszenie- ponad 60% gleb to utwory kwaśne i bardzo kwaśne. Poza naturalnymi uwarunkowaniami (klimat i morfologia gleb) przyczyniły się do tego stanu zaniedbania w agrotechnice, niezrównoważone nawożenie głównie mineralne i niewystarczające wapnowanie oraz ubytek kationów wynoszonych z pola razem z plonem [Józefaciuk i Szatanik-Kloc, 2002].

Zróżnicowanie gleb w Polsce dostrzegalne jest także w zawartości makro- i mikroskładników. Ilość fosforu, potasu i magnezu wynika z naturalnej zasobności oraz kształtowana jest przez nawożenie. „Monitoring chemizmu gleb ornych w Polsce w latach 2010-2012” wykazuje, że nie doszło do pogorszenia się zasobności gleb w P, K i Mg. Udział profili o niskiej i bardzo niskiej zasobności wynosił ponad 40% dla fosforu i potasu

oraz 26% dla magnezu. W przypadku dwóch ostatnich pierwiastków udział ten zmniejszył się w ostatnim okresie badawczym [Siebielec i in., 2012].

Jakość gleb Polski jest jednak jedną z najniższych w Europie. Potencjał produkcyjny 1 ha krajowych gleb odpowiada potencjałowi przeciętnych 0,6 ha gruntów ornych krajów UE. Przyczyną tego stanu jest fakt, że w ogólnej powierzchni polskich gruntów ornych znajduje się 32% gleb słabych i bardzo słabych i tylko 29% gleb o wysokiej produktywności. Dominuje IV klasa bonitacyjna (39,9%) oraz III (22,7%) i V (22,6%) [Sokołowski i Bielska, 2009].

Podobnie jak zróżnicowana jest pokrywa glebowa Polski, tak i w gminie Skrzyszów wykazuje ona dużą mozaikowość, która wynika ze zróżnicowanej rzeźby terenu, budowy geologicznej oraz stosunków wodnych. Pod względem bonitacyjnym, tak jak w kraju dominuje klasa IV i III. W tabeli 2 przedstawiono jakość bonitacyjną gleb gminy Skrzyszów na tle całego kraju [Strategia rozwoju Gm. Skrzyszów, 2014].

**Tab.2. Zestawienie jakości gleb Polski i gminy Skrzyszów wg klas bonitacyjnych [Sokołowski i Bielska, 2009; Strategia rozwoju Gm. Skrzyszów, 2014]**

Klasa bonitacyjna	Udział %	
	Polska	Gmina Skrzyszów
I	0,4	0,02
II	2,9	0,9
III	22,7	35,65
IV	39,9	42,09
V i VI	34,6	21,34

Sytuacja glebowa w poszczególnych sołectwach jest zróżnicowana. Największa ilość gruntów ornych znajduje się w Łękawicy (82,4%), zaś najmniejsza w Pogórskiej Woli. Na terenie Ładnej, Pogórskiej Woli i Skrzyszowa przeważają gleby piaskowe o niskiej przydatności rolniczej, dominuje tu klasa IV a i b oraz V, które zaliczone zostały do kompleksów żytni słaby oraz żytni dobry. Na obszarze Skrzyszowa, Łękawicy i Szywnaldu Dolnego przeważają gleby kompleksu pszennego dobrego oraz żytniego bardzo dobrego, włączone do klas od II do IV. Teren Łękawicy (Łękawka i Granica) oraz Szywnaldu (Dolce, Świniogóra i Korzeń) to także gleby klas II-IV, lecz należą one do kompleksu pszenno-górskiego i zbożowego-górskiego. Natomiast w dolinach potoków zalegają mady i gleby

gliniaste włączone do kompleksu pszenno-dobry (klasa II i III) [Strategia rozwoju Gm. Skrzyszów, 2014].

Użytki rolne najlepsze (klasy I-III) w Łękawicy stanowią 87,9% i stanowią 64,4% całej powierzchni wsi, w Szynwałdzie 44,6% (35,4% całej powierzchni miejscowości), a w Skrzyszowie 45,2% (34,4% całej powierzchni wioski). W Pogórskiej Woli przeważają klasy IV-VI – 99,5% użytków rolnych (w tym 65,1% gruntów w klasie IV). Podobnie jest w Ładnej – 99,9% użytków rolnych w klasach IV-VI ( w tym 65,1% użytków w klasie IV) [Zaktualizowany program ochrony środowiska dla gminy Skrzyszów na lata 2004-2015, 2009].

### **2.3. Zagrożenie degradacją oraz wpływ rolnictwa na gleby**

Gleba jest złożonym utworem biologicznym, który jest podstawowym czynnikiem produkcji rolniczej- tak roślinnej jak i zwierzęcej. Podlega ona silnej antropopresji i przez to łatwo ulega dewastacji. Jednym z nadrzędnych zadań rolnictwa jest zachowanie oraz zwiększanie żyzności gleby, rozumianej nie tylko jako zasobność w składniki pokarmowe, lecz jako całokształt życia glebowego (nie zaburzony rozwój flory, fauny, ze szczególnym uwzględnieniem mikroorganizmów) i ciągłości procesów glebowych związanych z obiegiem materii i przepływem energii. Pozwoli to na właściwe wykorzystanie glebowego potencjału produkcyjnego i uzyskanie pełnowartościowych biologicznie plonów.

Nie zrównoważona działalność rolnicza prowadzi do dewastacji gleby, która przejawia się w pogorszeniu jej właściwości fizycznych przez uprawę mechaniczną oraz narażeniu na erozję. Negatywnie odbija się też na chemizmie gleby- wzrasta zakwaszenie i zasolenie, zaburzona zostaje zawartość makro- i mikroelementów oraz stosunki między nimi, spada zasobność w próchnicę. Ponadto wraz z nawozami i środkami ochrony roślin wprowadzane są do gleby metale ciężkie, a także substancje obce dla środowiska przyrodniczego (np. pozostałości pestycydów).

Nieprawidłowa mechaniczna uprawa gleby sprzyja jej zagęszczaniu na skutek nadmiernego ugniatania przez sprzęt rolniczy, co zaburza stosunki wodno-powietrzne i utrudnia prawidłowy rozwój roślinom i mikroorganizmom. Ponadto może prowadzić do rozpylania, przesuszania lub zamulania gleby, a także zwiększa podatność gleby na erozję [Domagała- Świątkiewicz, 2005].

Zakwaszenie prowadzi do pogorszenia warunków do rozwoju roślin (spadek plonów i ich gorsza jakość) oraz mikroflory i fauny (zaburzenie przemian materii organicznej oraz

rozwój populacji niepożądanych i chorobotwórczych). Niskie pH gleby obniża przyswajalność składników pokarmowych oraz sprzyja udostępnianiu metali ciężkich [Łabętowicz i in., 1999]. W Polsce przeważają gleby średnie i lekkie, które ze względu na niską zawartość koloidów mineralnych (wtórne materiały ilaste) i organicznych (próchnica glebowa) mają silnie ograniczone zdolności buforowe. Wprowadzenie protonów wodorowych wraz np. z azotowymi nawozami mineralnymi prowadzi do obniżenia odczynu i nasilania się skutków zakwaszenia [Filipek i Skowrońska, 2013]. Na permanentny wzrost zakwaszenia polskich gleb ma również wpływ uruchamianie się glinu wymiennego, przez co zachwiana zostaje równowaga jonowa i pogarszają się właściwości sorpcyjne [Rutkowska i in., 2010]. W glebach zakwaszonych panują warunki niesprzyjające aktywności mikrobiologicznej. Ze względu na mniej liczne i mniej aktywne populacje drobnoustrojów spowolniony zostaje rozkład materii organicznej, przez co gleby te są mniej żyzne [Księżopolska, 2010].

Badania przeprowadzone przez IUNG Puławy w 2010 r. wskazują, że konieczne jest wprowadzenie programów wapnowania oraz systemów produkcji i agrotechniki sprzyjających gromadzeniu materii organicznej w glebie. Ponadto pozwalają one wnioskować, że zakwaszenie oraz niedostatek próchnicy są istotniejszymi zagrożeniami dla jakości gleb niż poziom potencjalnie toksycznych zanieczyszczeń [Siebielec i in., 2012].

Zagrożeniem dla gleb jest także niezbilansowane nawożenie mineralne i organiczne. Procesy degradacyjne w agrocenozach mogą rozpocząć się w chwili wywiezienia całości lub części plonu poza strefę produkcji. Aby temu zapobiec istotne jest odpowiednie nawożenie, które nie tylko pozwoli na uzupełnienie wyniesionych składników i optymalizację ich ilości, ale także spowoduje tzw. „starą siłę nawozową”, która pozwoli uzupełniać czasowe braki dopływu składników powstające np. wskutek błędnej agrotechniki [Gliński i Turski., 2002]. Zrównoważone nawożenie, zwłaszcza organiczne, zapewnia odpowiednią bazę substancji odżywczych dla roślin oraz wzbogaca glebę w substancję organiczną, która jest substratem w procesie powstawania próchnicy glebowej [Mazur i Mazur, 2010]. Jednakże zbyt wysokie prowadzi do strat ekonomicznych, obniżenia plonów oraz ich jakości, a także stwarza niebezpieczeństwo dla środowiska. Natomiast za niskie nawożenie nie zaspokaja potrzeb pokarmowych roślin, co skutkuje obniżeniem zawartości składników odżywczych i spadkiem żyzności gleby. Ponadto deficyt jednego pierwiastka uniemożliwia pełne wykorzystanie pozostałych, przez co ograniczone zostaje plonowanie roślin. Tylko 0,12% gospodarstw w Polsce oraz w Małopolsce ma optymalne saldo bilansu N, P i K. Tabela 3 przedstawia saldo bilansu dla wybranych składników nawozowych [Wrzaszcz, 2010].

**Tab.3. Udział gospodarstw wg salda bilansu N, P i K [Wrzaszcz, 2010]**

Pierwiastek	Wyszczególnienie	Udział gospodarstw wg salda bilansu N, P i K		
		Saldo zawyżone	Saldo optymalne	Saldo zaniżone
Azot	Polska	37,2	5,1	57,2
	Małopolska	28,0	5,2	66,7
Fosfor	Polska	37,5	16,5	45,6
	Małopolska	28,0	13,6	52,2
Potas	Polska	30,7	4,0	64,8
	Małopolska	28,7	3,5	67,6

Zbyt wysokie nawożenie azotowe i sprzyjające warunki agroekologiczne przyspieszają mineralizację, co skutkuje obniżeniem zawartości węgla organicznego i spadkiem żyzności gleby [Spiak, Radoła, 2010].

#### **2.4. Glebowa materia organiczna (SOM)- jej znaczenie i straty związane z gospodarką rolną**

Glebowa materia organiczna (SoilOrganicMater) to wszystkie związki organiczne, z wyłączeniem nierozłożonych resztek roślinnych i zwierzęcych oraz żywych mikroorganizmów [Gosek, 2008]. Obejmuje ona również nawozy organiczne, resztki poźniwne i zwierzęce oraz związki wytwarzane przez mikroorganizmy glebowe. Jest to pojęcie, które dotyczy bezpostaciowych substancji organicznych o ciemnej barwie, występujących w glebie, a powstałych z rozkładu (humifikacji) obumarłych organizmów roślin i zwierząt [Pałosz, 2009]. Substancje humusowe ze względu na rozpuszczalność w kwasach i zasadach podzielono na 3 zasadnicze frakcje, tj. kwasu huminowe, fulwowe oraz huminy. Kwasy huminowe to wielkocząsteczkowe substancje rozpuszczalne w wodzie w odczynie zasadowym. Zawierają one liczne grupy funkcyjne (głównie fenolowe i karboksylowe), dzięki którym reagując z jonami metali tworzą związki kompleksowe rozpuszczalne lub nierozpuszczalne w wodzie. Zjawisko to jest ważne z punktu widzenia mobilizacji i immobilizacji oraz przemieszczania się metali ciężkich w glebie oraz substancji pokarmowych [Karczewska i in; 2008; Kwiatkowska-Malina i Maciejewska, 2009].

Przybliżony skład chemiczny próchnicy przedstawia się następująco: 60% C, 30% O, 6% N, 1,2% P, 0,9% S oraz mikroelementy. Wzajemny stosunek poszczególnych makroelementów to 10:1:0,2:0,15. Warto podkreślić, że w glebie ulokowane jest 2 razy więcej węgla niż w ziemskiej atmosferze [Pałosz, 2009].

Pałosz [2009] wydzielił szereg unikalnych cech fizyko-chemicznych próchnicy, do których należą:

- koloidalna struktura próchnicy odpowiadająca za zdolność do zatrzymywania wody w ilości kilkakrotnie większej od jej masy oraz sorpcję składników pokarmowych 4-12 razy większą niż w przypadku części mineralnych;
- zdolność do adsorpcji substancji szkodliwych (np. pozostałości pestycydów) do momentu ich rozkładu przez mikroorganizmy;
- zwiększanie zdolności buforowych gleb, co stabilizuje i reguluje odczyn gleby;
- próchnica i inne rodzaje SOM są źródłem węgla do organizmów, jest ona także swoistym magazynem składników pokarmowych dla roślin;
- związki próchniczne stanowią lepszycze stałych cząstek gleby, dzięki czemu może powstać korzystna dla roślin i mikroorganizmów struktura gruzelkowata;
- próchnica poprzez ciemne zabarwienie przyspiesza ogrzewanie się gleby dzięki pochłanianiu promieniowania słonecznego.

Zawartość materii organicznej w glebie jest wskaźnikiem oceny jej jakości. Poza w/w właściwościami SOM stabilizuje glebę, zmniejsza jej podatność na zagęszczenie oraz degradację na skutek erozji wodnej i wietrznej [OSCh-R w Białymstoku, 2008].

Ilość próchnicy jest uzależniona od stosowanego płodozmianu, ilości pozostawianych resztek poźniwnych, nawożenia organicznego i naturalnego, pH gleby, składu granulometrycznego, położenia w terenie oraz stosunków wodnych. Trudniej utrzymać wysoką zawartość próchnicy w glebach lekkich wyżej położonych o nisko zalegających wodach gruntowych, ze względu na naturalnie niską zasobność oraz wysoki stopień mineralizacji materii organicznej [OSCh-R w Białymstoku, 2008].

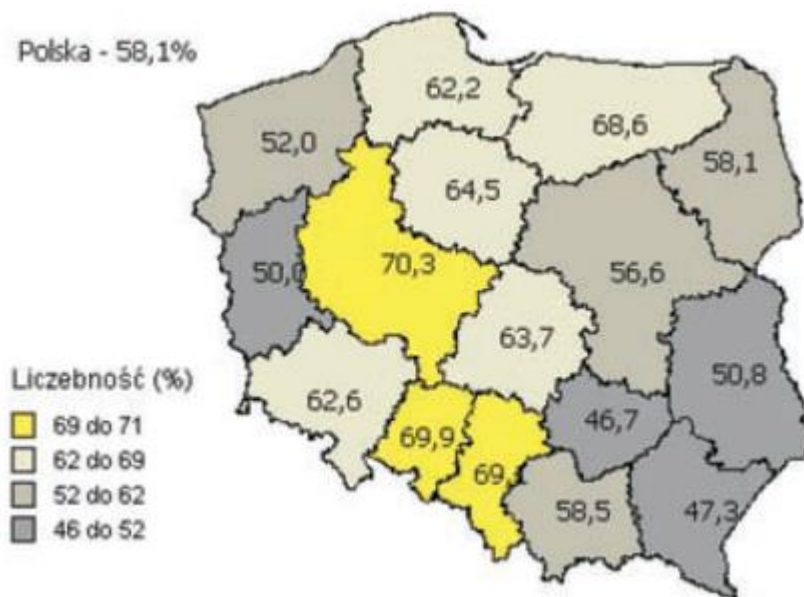
Zasobność gleb mineralnych w próchnicę waha się w szerokich granicach i jest silnie uzależniona od zawartości mineralnej frakcji koloidalnej. Gleby wytworzone z pisaków zawierają 0,6-1,8% próchnicy, gleby brunatne 1,5-2,5%, a czarnoziemy i czarne ziemie 1,8-5,6%. Ograniczająco na zawartość związków próchnicznych w glebie poza ograniczeniem ilość resztek poźniwnych wpływa także zwiększenie mineralizacji SOM wskutek intensywnej uprawy i aeracji gleby oraz jej rozkład w wyniku używania fizjologicznie kwaśnych nawozów



i aktywacji mikroflory pod wpływem nawożenia mineralnego [Domagała- Świątkiewicz, 2005]. O szybkości mineralizacji decyduje także jakość materii organicznej i jej podatność na utlenianie [Księżopolska, 2010]. Hamująco na mineralizację SOM wpływa zastąpienie orki uprawkami płytszymi i bezodkładnicowymi. Dzięki takim zabiegom możliwe jest ograniczenie strat węgla organicznego nawet o 30%. W średnich warunkach agrotechnicznych humifikacji podlega tylko niewielka część materii organicznej (ok. 20%), 60-70% węgla z jej rozkładu jest uwalniana do atmosfery w formie CO<sub>2</sub>, a pozostałe 5-10% jest wykorzystywane do produkcji biomasy [Pałosz, 2009]. Klimat Polski, rodzaj skał macierzystych gleb oraz intensyfikacja rolnictwa nie sprzyjają akumulacji próchnicy, a wręcz nasilają rozkład SOM i emisję CO<sub>2</sub> z gleby [Księżopolska, 2010].

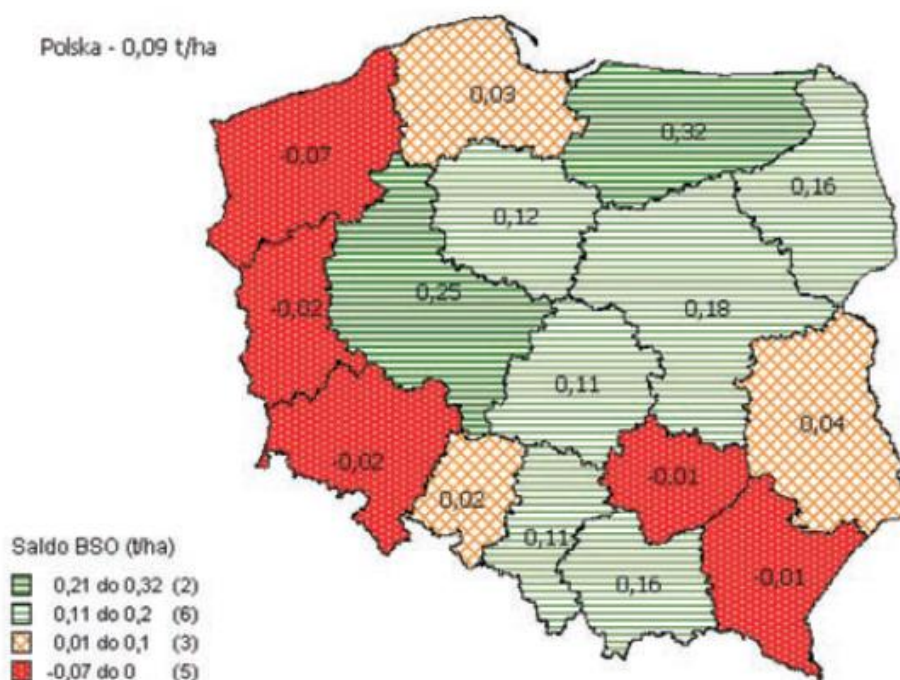
Wyniki analiz chemicznych gleb Polski świadczą o zmniejszeniu się w nich ilości węgla organicznego w ostatnim trzystoletniu o 10-20%. Przyczyną tego zjawiska może być wyparcie ze struktury zasiewów roślin bobowatych [Skłodowski i Bielska, 2009], częsta w gospodarstwach konwencjonalnych uprawa roślin w monokulturze [Spiak i Radoła, 2010] oraz niewystarczające nawożenie organiczne. Szczególnie widocznie jest to na przykładnie ilości użytego w celach nawozowych obornika- w latach '80 na 1 ha UR przypadało 7,8 t obornika, a obecnie jest to 5,6 t [Mazur i Mazur, 2010].

Dodatknie saldo bilansu materii organicznej świadczy o dobrym zmianowaniu, umożliwia systematyczny wzrost zawartości próchnicy w glebie oraz stopniowy rozkład SOM, który zapewnia zaspokojenie potrzeb pokarmowych roślin przez cały okres wegetacyjny. Bilans ujemny utrzymujący się przez kilka czy kilkanaście lat prowadzi do degradacji gleby oraz uwolnienia znacznych ilości składników mineralnych (a zwłaszcza azotu), które mogą zanieczyścić wody gruntowe i powierzchniowe. W Polsce jedynie niespełna 60% gospodarstw indywidualnych ma poprawny bilans materii organicznej. Udział gospodarstw o korzystnym saldzie jest zróżnicowany regionalnie i wahał się w przedziale od 46,7 do 70,3% [Wrzaszcz, 2010]. Stan ten obrazuje mapa zamieszczona na następnej stronie (rys. 4).



Rys.4. Mapa przedstawiająca gospodarstwa z dodatnim saldem bilansu substancji organicznej (w %, ogółem gospodarstwa indywidualne=100,0) [Wrzaszcz, 2010]

Kolejna rycina (rys.5) przedstawia przeciętne saldo bilansu substancji organicznej. Do ubożenia gleb w SOM dochodzi w województwach zachodniopomorskim, lubuskim, dolnośląskim oraz świętokrzyskim i podkarpackim [Wrzaszcz, 2010].



Rys.5. Przeciętne saldo bilansu wg substancji organicznej województw [Wrzaszcz, 2010]

Źródłem materii organicznej w glebie poza resztkami poźniwnymi, nawozami organicznymi i naturalnymi mogą być także odpowiedniej jakości odpady organiczne (tzw. niekonwencjonalne substancje nawozowe) [Kwiatkowska-Malina i Maciejewska, 2009], do których można zaliczyć biowęgiel. Korzystny wpływ dodatku materii organicznej na żyzność gleby i wysokość plonów roślin wykazały badania wielu autorów [Ciećko i in., 2001; Sienkiewicz i in., 2005; Wołoszyk i in., 2005].

## 2.5. Biowęgiel- krótka charakterystyka

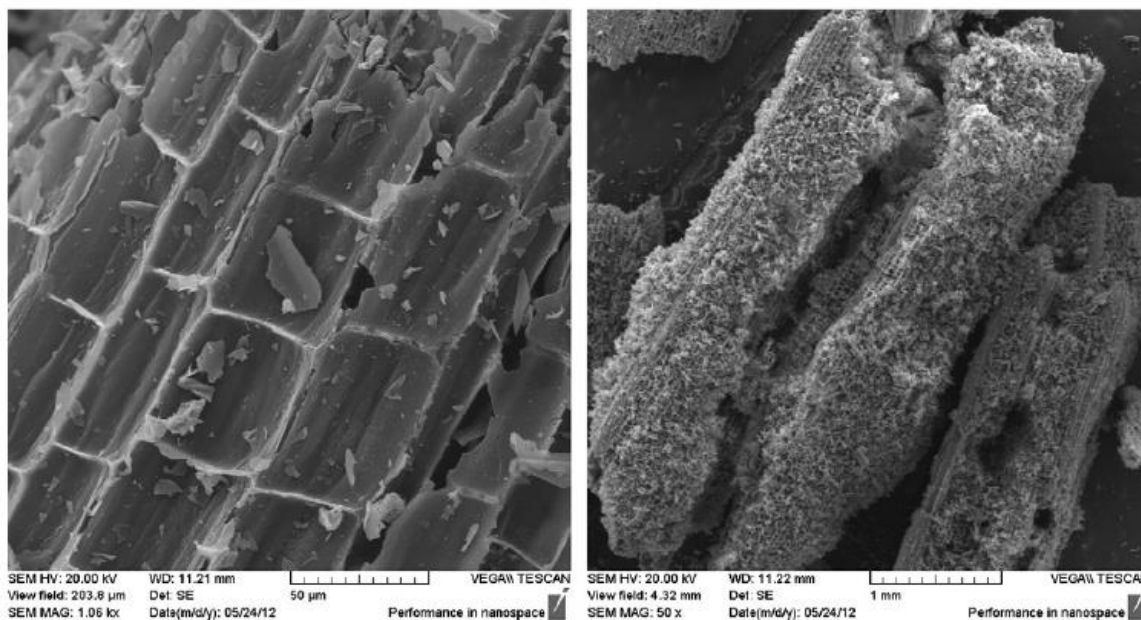
Biowęgiel (BC) to drobnoziarnisty karbonat, który cechuje się dużą zawartością węgla i wysoką odpornością na rozkład [IBI, 2015], występujący również pod nazwą karbonizatu, biokarbonizatu, biokarbonu i agrokarbonu [Malińska, 2012].

Jest on otrzymywany na drodze pirolizy biomasy w beztlenowych warunkach i w zakresie temperatury 350-700°C [Lehmann, 2007]. W czasie tego procesu poza biowęgłem powstaje gaz syntezowy i olej, które mogą być wykorzystane do uzyskania energii cieplnej i elektrycznej. Ilość powstających w czasie pirolizy produktów (BC, gaz i olej) jest zależna od parametrów procesu. Wzrost wydajności produkcji biokarbonu pociąga za sobą spadek wydajności otrzymywania energii. Przy 45 % wydajności produkcji karbonatu można uzyskać maksymalnie 32%, natomiast spadek wydajności do 20% umożliwi uzyskanie z biomasy 72% energii [Woolf, 2008]. Parametry i stosunek powstających produktów zestawiono w tabeli 4 [Sohi i in., 2009].

**Tab.4. Wpływ parametrów pirolizy na stosunek powstających produktów [Sohi i in., 2009]**

Proces i jego parametry	Olej	Biowęgiel	Gaz syntezowy
<b>Szybka piroliza</b> temp.:~ 500°C; tlen:-; czas użycia gorącej pary: 1-2 s	75%	12%	13%
<b>Średnio szybka piroliza</b> temp: pośrednia; czas użycia gorącej pary: pośredni	50%	25%	25%
<b>Powolna piroliza</b> temp.: 450-650°C; tlen:-; czas trwania procesu: >5 s dla prod. gazu syntezowego, minuty- dni dla BC	30%	35%	35%
<b>Gazyfikacja</b> temp.: > 800°C ciśnienie:15-50 barów tlen: kontrolowany dostęp; czas użycia gorącej pary: najdłuższy	5%	10%	85%

Powstały w ten sposób karbonat jest czarną, lekką, drobną substancją, której silnie porowate drobiny zachowują strukturę przestrzenną celulozowego materiału, z którego zostały wytworzone [Sohi i in., 2009]. Poniższa fotografia przedstawia mikroskopowy obraz biowęgla otrzymanego ze słomy pszenicy [Oleszczuk i in., 2014].



**Fot.1. Obraz biowęgla otrzymanego ze słomy pszenicy, widoczny pod mikroskopem elektronowym [Oleszczuk i in., 2014]**

Właściwości biowęgla, a szczególnie cechy chemiczne (m.in. skład chemiczny oraz ewentualna zawartość substancji toksycznych) zależą od surowca, z którego został on wytworzony oraz parametrów procesu pirolizy (gł. czas spalania i temperatura). Trudno jednoznacznie określić skład chemiczny biowęgla ze względu na duże zróżnicowanie surowców używanych do produkcji. Nie mniej jednak agrokarbon to w znacznej części węgiel, głównie zawarty w związkach aromatycznych przyjmujących regularną strukturę. Poza sześciopierścieniowym pierścieniem węglowym, który nie zawiera atomów wodoru i tlenu (przypomina grafit) występują także częstsze i mniej regularne układy zawierające tlen, wodór oraz inne pierwiastki, uzależnione od rodzaju użytego do produkcji substratu [Lehmann i Joseph, 2009]. W zależności od użytego surowca oraz warunków pirolizy biowęgiel może zawierać 50-90% węgla, 1-15% wody, 0-40% substancji lotnych oraz 0,5-5% mikro- i makroelementów. Stosunek C/N waha się od 7 do 500 i więcej, również zróżnicowana jest zawartość fosforu ( $2,7-480 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) oraz potasu ( $1,0-58 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). Rodzaj użytych do produkcji biowęgla substratów determinuje jego gęstość nasypową

– BC otrzymany z bambusa ma gęstość ok  $40 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , natomiast z odpadów drzewnych  $250 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Charakterystyczne dla biowęgla jest także pH od obojętnego do zasadowego i waha się od 4 do 12. W niektórych przypadkach wzrost temperatury pirolizy pociąga za sobą wzrost odczynu biowęgla [Malińska, 2012].

Temperatura procesu pirolizy wpływa na powierzchnię właściwą otrzymanego karbonatu. Prowadzone doświadczenia dowiodły, że wzrost temperatury z  $400^\circ\text{C}$  do  $900^\circ\text{C}$  skutkuje zwiększeniem powierzchni z 120 do  $460 \text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ . Ponadto niska temperatura pirolizy sprzyja powstaniu powierzchni hydrofobowych, co może ograniczająco wpływać na zdolność do retencji wody, lecz przedłuża trwałość biowęgla [Shoi i in., 2009]. Wysoka temperatura sprzyja powstaniu dużej powierzchni właściwej i porowatości, dzięki której BC można wykorzystywać jako sorbent, lecz ogranicza to jego użycie do poprawy właściwości gleby. Za optymalną temperaturę do produkcji biokarbonu uznaje się  $550^\circ\text{C}$ . Pozwala ona na uzyskanie najkorzystniejszych parametrów biowęgla, tzn. zawartości węgla, pojemności wymiany kationowej i powierzchni właściwej. Niższa temperatura pirolizy pozwala na otrzymanie karbonatu o wysokiej pojemności jonowymiennej, w temperaturze powyżej  $600^\circ\text{C}$  pojemność kationowa znacznie spada. Ponadto wysoka temperatura pirolizy eliminuje patogeny zasiedlające substraty oraz umożliwia transformację metali ciężkich w formy o niższej toksyczności [Malińska, 2012].

Wielu autorów, m.in. Leifeld i in. [2007], Lehmann i Joseph [2009], Novotnyi in. [2009] twierdzi, że biokarbon uzyskany z dawnej działalności antropogenicznej oraz naturalnych pożarów cechuje się znaczną trwałością i stabilnością. Niewielka podatność na degradację i rozkład przez mikroorganizmy skutkuje stałością składu chemicznego, lecz z upływającym czasem biowęgiel ulega w glebie mineralizacji [Malińska, 2012]. Obecnie trudno jednoznacznie określić jak długi jest czas rozkładu współcześnie produkowanego biowęgla. Wynika to z małej zawartości składników labilnych, częściowego utleniania biologicznego i abiotycznych reakcji powierzchniowych [Shoi i in. 2009]. O trwałości karbonatu decyduje rodzaj użytego do produkcji surowca, parametry pirolizy oraz warunki glebowe i klimatyczne [Malińska, 2012].

## 2.6. Rodzaje biowęgla

Rodzaj karbonatu zależy od surowca użytego do jego produkcji. Do wytwarzania biowęgla wykorzystuje się szeroko pojętą biomasę, do której zalicza się rośliny rolnicze i energetyczne oraz algi, odpady leśne, rolno-spożywcze oraz komunalne (uprzednio przekompostowane), obornik bydlęcy, kurzy pomiot i osady ściekowe. Przykładowe surowce zaprezentowano w tabeli 5 [Granstein i in., 2009; Kwapinski i in, 2010; Bird i in., 2011; Ibarrolai in., 2012; Laine, 2012; Sanchez i in., 2012; Song i Guo, 2012].

**Tab.5. Surowce używane do produkcji biowęgla**  
[Granstein i in., 2009; Kwapinski i in, 2010; Bird i in., 2011; Ibarrola i in., 2012; Laine, 2012; Sanchez i in., 2012; Song i Guo, 2012]

Rodzaje surowców	Wyszczególnienie
rolnicze	rośliny energetyczne (np. miskant, wierzba), łodygi tytoniu i bawełny, kolby kukurydzy, owies pofermentacyjny, wytloki trzciny cukrowej i sorga, łuski ryżowe, łupiny słonecznika, orzechów laskowych i kokosowych, odpady z produkcji oliwy, bambus, słoma z pszenicy, ryżu, rzepaku i kukurydzy, zdrewniałe części lnu, plewy pszenicy, obornik bydlęcy, pomiot kurzy, algi
leśne	kora klonu i drzew iglastych, pellety sosnowe, trociny z topoli osiki, drewno bukowe, brzoźowe i sosnowe, torf, mech
odpady	z fabryk herbaty, papier (w tym także gazetowy), odpady płynne, organiczne odpady komunalne i osady ściekowe

## 2.7. Wpływ biowęgla na właściwości gleby

Zastosowanie węgla w formie popiołu i odpadów bytowych, będącego pierwowzorem dla współczesnego biowęgla sięga okresu przedkolumbijskiego. Na terenie Amazonii dzięki wprowadzeniu popiołu wskutek działalności antropogenicznej (wypalanie puszczy pod uprawy, wyrzucanie popiołu z palenisk itp.) lub naturalnej (pożary) powstały bardzo żyzne gleby zwane TPI (Terra Preta de Indios). Te zasobne w węgiel i składnik pokarmowe gleby zajmują płaty o powierzchni zwykle do 2 ha, lecz zgłoszono także obszar ponad 350 ha. Na tle gleb sąsiednich wyróżnia je wysoka zawartość węgla (nawet  $150 \text{ g C kg}^{-1}$ ; gdy na glebach przyległych zasobność waha się od 20 do  $30 \text{ g C kg}^{-1}$ ) oraz wielkość warstwy wzbogacenia w węgiel (TPI- do 200 cm- średnio 40-50 cm, pozostałe gleby 10-20 cm) [Novotny i in., 2009]. Również w starożytnej Japonii (w 1697r. opisał to Miyazaki) i Chinach

(Liebig w 1878 r.) stosowano do użyźniania gleb odpady organiczne, które uprzednio spalano w pryzmach przysypanych ziemią [Lehmann i Joseph, 2009].

Wprowadzenie do gleby biomasy korzystnie wpływa na tworzenie mocnego kompleksu sorpcyjnego, co jest szczególnie ważne na glebach lekkich o naturalnie słabych właściwościach buforowych (ze względu na niską zawartość wtórnych materiałów ilastych i próchnicy glebowej). Gleby są bardzo podatne na zasolenie i zakwaszenie, a wprowadzenie dużych ilości biomasy rozkładanej przez mikroorganizmy prowadzi do uwalniania kwasów organicznych i dalszego wzrostu zakwaszenia [Filipek i Skowrońska, 2013]. W związku z odpornością i niepodatnością agrokarbonu na rozkład mikrobiologiczny wprowadzenie węgla do gleby w takiej formie nie będzie skutkowało dalszym obniżeniem pH. Malisa i in. [2011] wykazali, że biowęgiel ma właściwości odkwaszające. Przeanalizowali oni zmianę m.in. pH i całkowitej pojemności kationowej gleby przed i po aplikacji BC. Odczyn oznaczony w wodzie początkowo wynosił 6,27, po upływie 64 dni wzrósł do 6,39. Również pH całkowite wzrosło z 5,49 do 6,77. Ponadto biokarbon zwiększył pojemność kationową gleby (z 0,02 do 0,18  $\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ ), przez co ograniczająco wpływa na jej zasolenie.

Nawiązując do innych autorów stwierdzających poprawę żyzności i odczynu gleby po zaaplikowaniu węgla drzewnego Kurth i in. [2006] oceniają, że dodatek BC korzystnie wpływa na mikroorganizmy glebowe. Karbonat wzmacnia ich aktywność i ułatwia nityfikację [Kurth i in., 2006] oraz pozytywnie wpływa na mikoryzę [Woolf, 2008].

Ponadto wraz z wprowadzeniem do gleby biokarbonu uzyskiwany jest nie tylko wzrost zawartości węgla organicznego [Laird, 2008; Oleszczuk i in., 2014], lecz także innych biogenów (głównie N, P, K i Mg) [Chang i in. 2007]. Dzięki właściwościom fizykochemicznym (wysoka pojemność jonowymienna i powierzchnia właściwa) biowęgiel ogranicza wymywanie z gleby pierwiastków biogennych, a zwłaszcza azotu w formie  $\text{N-NO}_3$  [Cornet i Escadafal, 2009], redukuje emisję metanu i tlenku azotu z gleby [Woolf i in., 2010; Malińska, 2012] oraz korzystnie wpływa na wykorzystanie nawożenia przez rośliny [Lal, 2008]. Redukcja emisji gazów cieplarnianych wg Lehmana jest możliwa dzięki lepszemu napowietrzeniu gleby i ewentualnemu spowolnieniu obiegu azotu.

W podrozdziale 2.4 niniejszej pracy wskazywano, że dodatek substancji organicznej korzystnie wpływa na odporność gleby na erozję wodną i wietrzną oraz stabilizuje glebę i ogranicza jej degradację na skutek nadmiernego zagęszczania. Biowęgiel to popielna forma substancji organicznej o dużej porowatości i powierzchni właściwej, więc dopuszczalnym jest stwierdzenie, że będzie on oddziaływał na glebę w podobny sposób. Karhu i in. [2011] wykazali korzystny wpływ BC na pojemność wodną gleby (9 t BC·ha<sup>-1</sup> zwiększyło

pojemność wodną gleby o 11%). IBI [2009] wskazuje na wyższą o 18% zasobność w wodę TPI od gleb przyległych oraz informuje o wzroście infiltracji wody deszczowej i dłuższym zachowaniu wilgoci w Ghanie na glebach wzbogaconych biowęgłem. Przypuszcza się, że jest to możliwe dzięki zmianie wielkości porów glebowych – mniejsza średnica utrudnia odpływ wody w głąb profilu. Również porowata struktura BC może korzystnie oddziaływać na retencję wodną. Kierując się strukturą gleby Sohi i in. [2001] oceniają, że na glebie mineralnej karbonat zwiększa dostępność wody, natomiast na glebach gliniastych ograniczy ich wilgotność.

Dzięki wysokiej pojemności jonowymiennej oraz ograniczaniu zakwaszenia biokarbon wykorzystywany jest do neutralizacji metali ciężkich w glebach. Badania prowadzone przez szereg autorów dowiodły, że dodatek biowęgla ogranicza pobieranie metali ciężkich z gleby przez rośliny na niej uprawiane. Nigussie i in. [2012] stwierdzili ograniczenie pobierania chromu przez sałatę (*Lactuca sp. L.*) uprawianą na glebie skażonej tym pierwiastkiem. Namgay i in [2010] wykazali spadek akumulacji arsenu i kadmu w kukurydzy, a Hua i in. [2009] użyli biowęgla do ograniczania mobilności miedzi i cynku w kompostowanych osadach ściekowych, dzięki czemu możliwe było ich wykorzystanie do rekultywacji gruntów i w celach rolniczych. Należy jednak mieć na uwadze, że karbonat uzyskany z surowców o wysokiej zawartości metali ciężkich będzie donorem tych pierwiastków po aplikacji do gleby [Freddo i in., 2012]

Wprowadzenie do gleby biokarbonatu ogranicza negatywny wpływ pestycydów na mikroorganizmy glebowe. Jest to możliwe dzięki sorbowaniu i immobilizowaniu środków ochrony roślin i ich pozostałości oraz pobudzaniu aktywności enzymatycznej gleby [Kookana, 2010; Sopena i Bending, 2013; Tarkova i in., 2013; Oleszczuk i in., 2014].

Ponadto wyniki dotychczasowych badań wskazują, że biowęgiel może być odpowiedzią na problemy związane z nasilającymi się skutkami zmian klimatycznych, gospodarką odpadami, produkcją energii. Dodatek do gleby biowęgla wpływa na zmiany klimatyczne poprzez sekwestrację węgla w glebie, redukcję emisji N<sub>2</sub>O oraz CH<sub>4</sub> z gleb [Whitman i Lehmann 2009, Verheijen i in. 2010, Woolf i in. 2010, Anderson i in. 2011, Malińska 2012].



## 2.8. Test kiełkowania i wczesnego wzrostu roślin (Phytotoxkit F<sup>TM</sup>)

Phytotoxkit F<sup>TM</sup> to test, który poprzez pomiary skróconych korzeni lub brak kiełkujących nasion wybranych roślin pozwala ocenić wpływ badanej substancji na wczesny rozwój siewek. Umożliwia on wstępną ocenę toksyczności nie tylko gleby, ale także osadów, kompostów, ścieków używanych do nawożenia oraz substancji chemicznych i biocydów w odniesieniu do gleby kontrolnej.

Metoda ta opiera się na bezpośrednim pomiarze długości korzeni i pędów w specjalnych pojemnikach testowych przy pomocy analizy obrazu, dzięki wcześniejszej jego rejestracji np. aparatem cyfrowym lub płaskim skanerem.

Plastikowa, przezroczysta płytko testowa o wymiarach 21x15,5x0,8 cm, składa się z dwóch części zamykanych dzięki zatrzaskom znajdującym się na ich obwodzie. Górna część jest płaska, zaś spodnia podzielona na dwie zagłębione części, w które wykłada się badane próbki, np. gleby. Papierowe filtry stosowane w Phytotoxkit cechuje wysoka czystość i kształt w pełni odpowiadający powierzchni, na której rozkłada się analizowaną próbkę.

Gleba kontrolna, zwana także referencyjną została sztucznie wytworzona na potrzeby testu. Jest ona analogiem sztucznej gleby zalecanej przez OECD do testów toksyczności gleby z bezkręgowcami oraz ISO do testów toksyczności z nasionami. Powstała ona ze zmieszania piasku (85%), kaolinu (10%), torfu (5%) i węgla wapnia, który wyregulował jej pH [OECD, 1984].

W teście Phytotoxkit F<sup>TM</sup> używane są sorgo (*Sorghum saccharatum*), pieprzycy siewna (*Lepidium sativum*) oraz gorczyca (*Sinapsis alba*). Gatunki te zostały wybrane na potrzeby zestawu PhytotoxkitF<sup>TM</sup> ze względu na szybkość kiełkowania i szybkość wzrostu korzeni, które umożliwiają pełne oznaczenie po 3 dniach inkubacji w ciemności przy stałej temp. +25°C. Aby utrzymać jak najlepsze parametry nasion należy przechowywać je w lodowce w temp. ok. +5°C. W takich warunkach zachowują one trwałość przez co najmniej 6 miesięcy.

Całość charakterystyki testu Phytotoxkit F<sup>TM</sup> została wykonana na podstawie „Standardowej procedury obsługi”, która dołączana jest do każdego zestawu i umożliwia po zapoznaniu się z nią prawidłowe przeprowadzenie doświadczenia.

### 3. Metodyka i cel badań

Celem doświadczenia przeprowadzonego z użyciem testu kiełkowania i wczesnego wzrostu roślin Phytotoxkit F<sup>TM</sup> było określenie, czy dodatek biowęgla (BC) do badanych gleb będzie miał wpływ na rozwój roślin testowych oraz, która z zastosowanych dawek będzie najkorzystniejsza. W pracy postawiono hipotezę, że zmiana jakości parametrów gleby pod wpływem wniesionych dawek biowęgla korzystnie wpłynie na wzrost korzeni i pędów badanych roślin.

Doświadczenie laboratoryjne z wykorzystaniem testu kiełkowania i wczesnego wzrostu roślin Phytotoxkit F<sup>TM</sup> przeprowadzono w grudniu 2014 r.

W dwuczynnikowym doświadczeniu przeprowadzonym w dziesięciu powtórzeniach porównywano działanie dwóch dawek biowęgla, wprowadzonych do trzech różnych rodzajów gleb, na trzy gatunki roślin testowych. Biowęgiel zastosowano w dawkach 1,5 oraz 3 g C·100 g<sup>-1</sup> gleby. Do testu, zgodnie z zaleceniami producenta wybrano 3 gatunki roślin testowych- jednoliścienne sorgo (*Sorghum saccharatum*) oraz z dwuliściennych pieprzycę (*Lepidium sativum*) i gorzycę (*Sinapis alba*). Gatunki wyselekcjonowano ze względu na zbliżoną szybkość kiełkowania i szybkość wzrostu korzeni i pędów umożliwiającą wykonanie pełnego badania w ciągu 3 dni inkubacji w temp. +25°C.

W maju 2014 r. pobrano 3 rodzaje gleby z gruntów ornych zlokalizowanych w Skrzyszowie i Łękawicy. Kontrolę zdolności kiełkowania roślin stanowiła gleba referencyjna dołączana do zestawu Phytotoxkit F<sup>TM</sup>, której nie nawożono biowęgłem.

Próbki gleby do analiz pobrano 2 maja 2014 r. Z każdego pola za pomocą laski Egnera w pięciu losowo wybranych miejscach pobrano próbki gleby z warstwy 20 cm. Następnie, tak pobrane próby, połączono w jedną zbiorczą. W próbach zbiorczych oznaczono: odczyn- metodą potencjometryczną w 1 M KCl, zawartość węgla organicznego – metodą Tiurina, fosfor (P) i potas (K) przyswajalny metodą Egnera-Riehma oraz magnez (Mg) przyswajalny metodą AAS po ekstrakcji 0,0125 mol CaCl<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>.

W miejscowości Skrzyszów (fot.2) pobrano glebę biellicową powstałą z piasku gliniastego mocnego i glin średnich zaliczaną do klasy bonitacyjnej IVb i kompleksu żytniego dobrego. Gleba ta wykazywała wysoką zasobność w fosfor przyswajalny oraz bardzo niską w potas i magnez., która wynosiła dla P 8,3 mg·100 g<sup>-1</sup>, K 3,7 , a dla Mg 0,8. Zawartość węgla organicznego była średnia i wynosiła 11,5 g C · kg<sup>-1</sup> gleby. Gleba ta miała odczyn bardzo kwaśny, a pH w 1mol KCl wyniosło 4,2. W momencie pobierania próby pole obsiane było żytem ozimym, odmiany populacyjnej Dańkowskie Rubin. Przedplonem żyta było pszenżyto ozime.



Fot. 2. Pole uprawne w Skrzyszowie (maj 2014)

Drugą próbkę do badania pobrano w miejscowości Łękawica (fot.3). Była to gleba brunatna kwaśna o składzie mechanicznym lessu lekkiego i średniego. Została ona zaliczona do klasy IIIb i kompleksu pszennego dobrego górskiego. Glebę tę charakteryzowała bardzo niska zasobność w przyswajalny fosfor, niska w potas i bardzo wysoka w magnez. Wyrażona w  $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  wyniosła ona odpowiednio: P- 2,2, K- 10, Mg- 12,5. Zawartość węgla organicznego mieściła się w przedziale niskim i wyniosła  $9,6 \text{ g C} \cdot \text{kg}^{-1}$  gleby. Odczyn gleby był lekko kwaśny i w 1 molowym KCl wyniósł 5,8. W chwili pobierania próby powierzchnia pola obsiana była pszenicą jarą, odmiany Arabella. Był to pierwszy roku uprawy po włączeniu odłogu do użytkowania.



Fot. 3. Nowina w Łękawicy (maj 2015)

Trzecią glebę pobrano w miejscowości Łękawica (fot.4). Należała ona do gleb brunatnych kwaśnych zlokalizowanych na lessach lekkich i średnich oraz płytko (20-50 cm) zalegających lessach mocnych, włączonych do klasy bonitacyjnej IIIb i kompleksu pszennego dobrego. Charakteryzowała się ona bardzo niską zawartością w przyswajalny fosfor oraz średnią w potas i magnez. Wyrażona w  $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  wynosiła ona stosownie: P- 0,93, K- 11,6, Mg- 7. Zawartość próchnicy była średnia i wyniosła  $9,4 \text{ g C} \cdot \text{kg}^{-1}$  gleby. Odczyn bardzo kwaśny, oznaczony w 1 mol KCl wyniósł 4,0. Gdy pobierano glebę była ona obsiana żytem ozimym, odmiany mieszańcowej Tur. Rok wcześniej uprawiano na niej rzepak ozimy.



Fot. 4. Pole obsiane żytem w Lękawicy (maj 2015)

Do doświadczenia wykorzystano biowęgiel otrzymany ze słomy pszenicy. Karbonat ten został wyprodukowany przez komercyjnego producenta, Mostostal Sp. z o.o. w procesie pirolizy w zakresie temp. 350 (początek spalania) - 650°C (maksymalna temp. procesu) w atmosferze o ograniczonej zawartości O<sub>2</sub> (1-2%).

Poniższa tabela prezentuje właściwości fizyczno-chemiczne biowęgla zastosowanego w badaniach do niniejszej pracy [Oleszczuk i in., 2014].

Tab.6. Fizyczno-chemiczne właściwości biowęgla użytego w doświadczeniu [Oleszczuk i in., 2014]

Biowęgiel	pH <sub>KCl</sub>	CEC [mmol·kg <sup>-1</sup> ]	Zasobność [mg·kg <sup>-1</sup> ]			Zawartość [%]			Stosunek H/C
			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Mg	C	H	N	
BC	9,9	530,4	539,9	2824,1	163,2	53,87	1,76	0,91	0,033

\* CEC- pojemność kationowa    Zasobność [mg·kg<sup>-1</sup>]- zawartość związków przyswajalnych

Na podstawie składu biowęgla zamieszczonego w tabeli 6 wykonano obliczenia dotyczące zmiany zawartości węgla oraz przyswajalnego fosforu, potasu i magnezu po wniesieniu założonych w doświadczeniu dawek biowęgla. Uzyskane w ten sposób informacje zestawiono w tabeli 7.

Tab.7. Zmiany w zawartości węgla i przyswajalnych form makroelementów na skutek dodania do gleby biowęgla

Gleba+ dawka BC [t BC·ha <sup>-1</sup> ]	Zawartość [kg pierwiastka·ha <sup>-1</sup> ]			
	C	P	K	Mg
Skrzyszów	34500,0	571,0	133,0	25,0
Skrzyszów+45 t BC·ha <sup>-1</sup>	58741,5	581,6	238,5	32,3
Skrzyszów+ 90 t BC·ha <sup>-1</sup>	82983,0	592,2	344,0	39,7
Nowina	28800,0	152,0	360,0	376,0
Nowina+45 t BC·ha <sup>-1</sup>	53041,5	162,6	465,5	383,3
Nowina+ 90 t BC·ha <sup>-1</sup>	77283,0	173,2	571,0	390,7
Łękawica	28200,0	64,0	420,0	210,0
Łękawica+ 45 t BC·ha <sup>-1</sup>	52441,5	74,6	525,5	217,3
Łękawica+90 t BC·ha <sup>-1</sup>	76683,0	85,2	631,0	224,7

\* w obliczeniach przyjęto 3·10<sup>6</sup>kg, jako średnią masę 20 cm warstwy ornej z 1 ha

W czasie doświadczenia do oceny wpływu poszczególnych dawek biowęgla na w/w gleby wykorzystano test kiełkowania i wczesnego wzrostu Phytotxkit F<sup>TM</sup>. Test ten oparty jest na pomiarze zmniejszania lub braku obecności kiełkujących nasion i ocenie wzrostu młodych korzeni po kilku dniach wystawienia wybranych nasion na działanie substancji toksycznych lub skażonej gleby wobec gleby kontrolnej.

### Przebieg doświadczenia i opracowanie uzyskanych wyników.

W czerwcu 2014 r. poszczególne próbki glebowe wzbogacono o dodatek biowęgla. Do każdej z badanych gleb dodano BC w dawkach 1,5 oraz 3 g BC· 100 g<sup>-1</sup> gleby, co odpowiada 45 i 90 t BC · ha<sup>-1</sup> (przy założeniu, że średnia masa 20 cm warstwy ornej na obszarze 1 ha wynosi 3000 t). Tak przygotowane próby zwilżono wodą destylowaną i mieszczono w 0,5 l plastikowych pojemnikach, które przykryto szalkami Petriego pozostawiając niewielki prześwit umożliwiający odparowanie nadmiaru wody. W trzech pojemnikach umieszczono zwilżone gleby pozbawione dodatku biowęgla.

W grudniu 2014 r. zakończono inkubację gleby z biowęglem i rozpoczęto doświadczenie właściwe, podczas którego próbki gleby wyłożono na płaskie, przezroczyste płytki testowe. Każda z płytek składa się z 2 części- dolnej, na którą wykładano glebę przykrywaną następnie czarnym papierowym filtrem oraz górnej, płaskiej stanowiącej

przykrywkę. Nasiona w liczbie 10 sztuk układano w równych odstępach blisko środkowej krawędzi płytki testowej na wyłożonej uprzednio glebie przykrytej filtrem. Dla każdej z trzech badanych gleb założono 6 płytek testowych z różnymi stężeniami BC (1,5 oraz 3 g BC · 100 g<sup>-1</sup> gleby) oraz 3 płytki pozbawione dodatku BC. Ponadto wykonano kontrolę kiełkowania, wysiewając nasiona 3 gatunków (sorgo, pieprzycy i gorczyca) na glebie referencyjnej dołączonej do zestawu testowego, która pozbawiona jest substancji odżywczych oraz toksycznych.

Płytki ustawiono pionowo na stojaku i inkubowano w ciemności przez 3 dni w stałej temperaturze wynoszącej +25°C. Po upływie tego czasu wykonano zdjęcia (fot.5) płytek z kiełkującymi roślinami przy pomocy aparatu cyfrowego. Dokonano analizy i pomiaru kiełkowania nasion oraz długości korzeni i łodyg w zarejestrowanych fotografiach przy pomocy programu **Image Tool 3.0** dla Windows [UTHSCSA, San Antonio, USA].

Uzyskane w ten sposób wyniki opracowano statystycznie metodą analizy wariancji. Średnie porównano przy pomocy najmniejszych istotnych różnic testem Tukeya ( $p=0,05$ ).

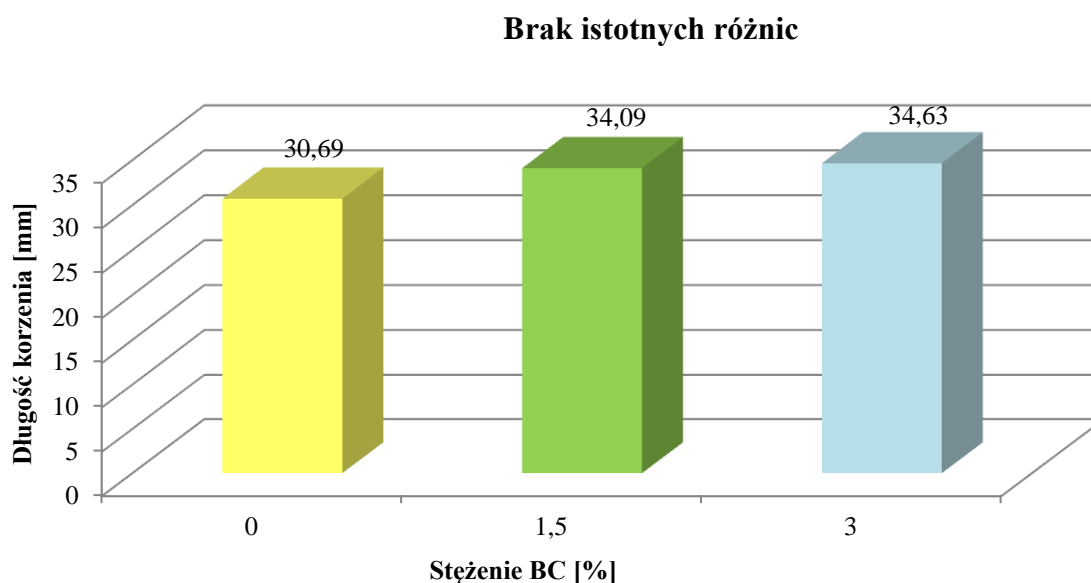


Fot. 5. Gleba referencyjna z siewkami: RS-sorga, RG-gorzycy, RR-pieprzycy

#### 4. Wyniki badań i ich omówienie

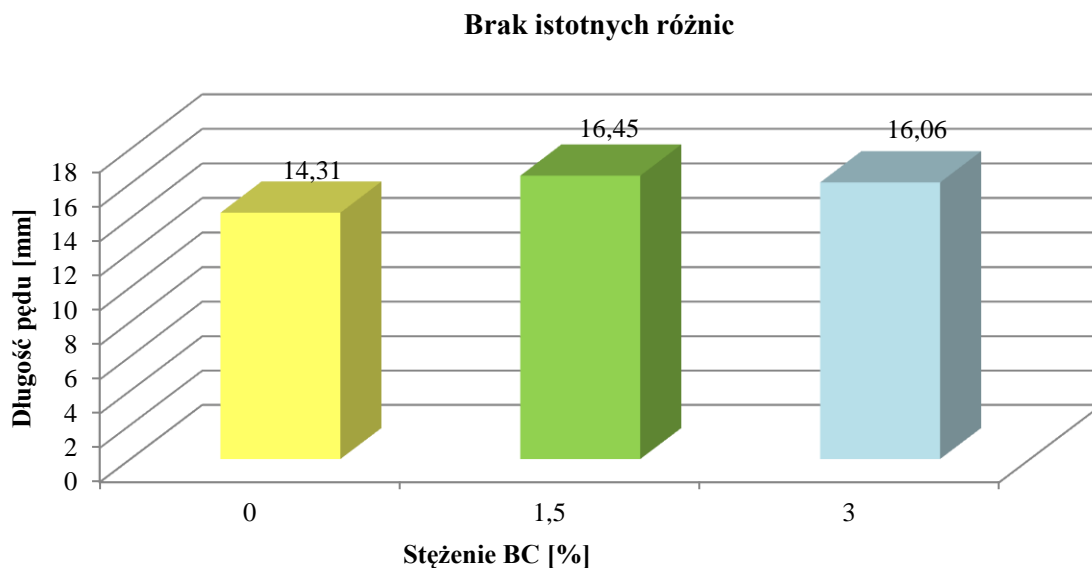
Długość korzeni i pędu pieprzycy nie była istotnie różnicowana przez zróżnicowane dawki nawożenia biowęgłem (wyk.2 i 3.). Stwierdzono jednak tendencję do wzrostu długości systemu korzeniowego wraz ze zwiększaniem ilości użytego biokarbonsu oraz zwiększaniem długości pędu w dawce 1,5% BC. Uzyskane dane mogą świadczyć o pozytywnej reakcji roślin testowych na zastosowany biowęgiel objawiającej się wzrostem ilości wytworzonej biomasy. Lehmann i in. [2011] podają że biowęgiel pozytywnie wpływa na wzrost korzeni.

Doświadczenie przeprowadzone przez Rondona i in. [2005] wykazuje, że rosnąca dawka użytego biowęgla zmienia strukturę plonu fasoli zwyczajnej (*Phaseolus vulgaris*). Autorzy stwierdzają, że ilość biomasy fasoli zwyczajnej rosła wraz z ilością aplikowanego biowęgla, lecz plon zmieniał się wraz z dawką. Do 60 t BC·ha<sup>-1</sup> ilość biomasy rosła, natomiast dawka 90 t BC·ha<sup>-1</sup> prowadziła do jej spadku do poziomu poletek kontrolnych przy jednoczesnym wzroście plonu nasion fasoli.



Wyk.2. Zróżnicowanie długości korzeni pieprzycy w zależności od użytej dawki biowęgla





**Wyk. 3. Zmiana długości pędów pieprzycy w zależności od zastosowanej dawki biowęgla**

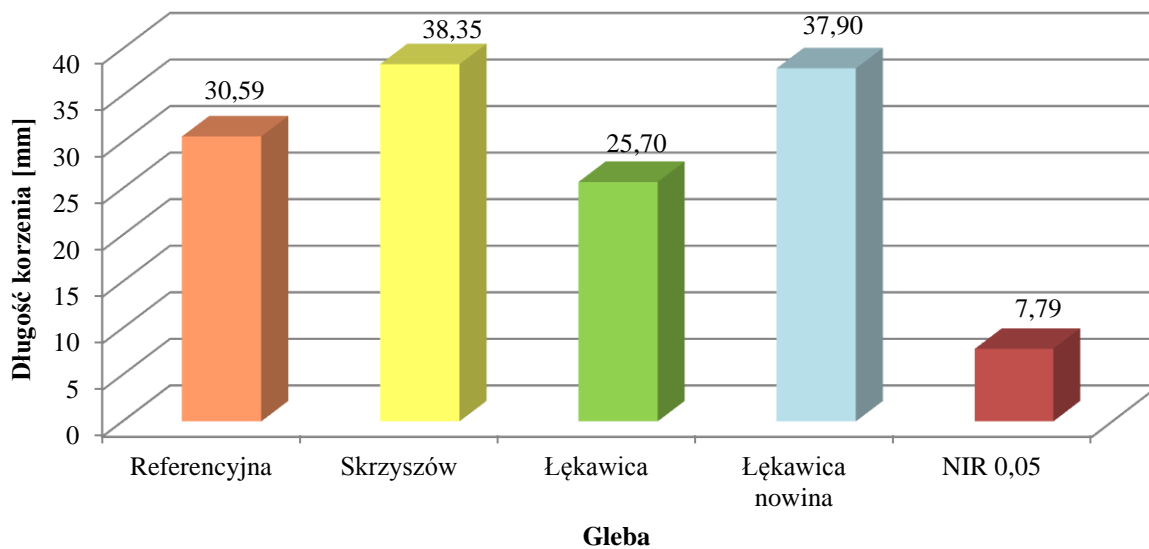
Długość korzeni i pędów pieprzycy była istotnie różnicowana przez testowane próbki gleby. Istotnie różniła się długość korzeni uzyskanych z próbki gleby pobranej w Łękawicy od próbki ze Skrzyszowa i Łękawicy nowiny (wyk.4.).

Korzenie roślin wyhodowanych na glebie ze Skrzyszowa były o 20% dłuższe niż te na glebie referencyjnej i o 33% dłuższe od korzeni uzyskanych na próbce z Łękawicy. Również korzenie siewek pieprzycy uzyskane na nowinie z Łękawicy były dłuższe od otrzymanych na glebie ze Łękawicy i glebie referencyjnej. Wszystkie w/w różnice były istotne.

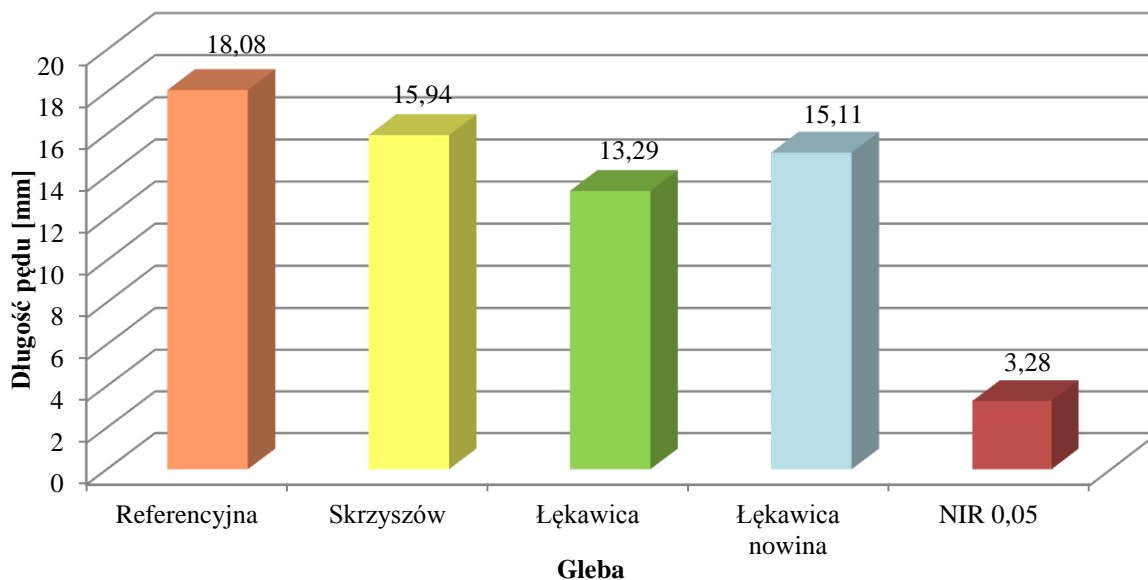
Natomiast w przypadku długości pędów najdłuższe w stosunku do pozostałych gleb uzyskano na glebie referencyjnej. Jednak tylko istotnie dłuższe w odniesieniu do uzyskanych z próbki gleby pochodzącej z Łękawicy (wyk.5).

Malisa i in. [2011] badając wpływ zróżnicowanego nawożenia mineralnego połączonego z użyźnianiem biowęgłem wykazali, że nawet tak słabe gleby jak BRIS (piaszczyste utwory powstałe na plażach) mogą wyżej plonować. Dodatek BC w dawce  $5 \text{ t BC} \cdot \text{ha}^{-1}$  z jednoczesnym nawożeniem azotowym skutkowało wzrostem plonu ketmii konopiowatej (*Hibiscus cannabinus*) o  $0,2 \text{ t biomasy} \cdot \text{ha}^{-1}$  w stosunku do poletka pozbawionego nawożenia biowęgłem. Jednocześnie analizując wpływ samego nawożenia biokarbonem okazało się, że kolejne dawki BC zwiększają plennosć ketmii. Z pola kontrolnego autorzy uzyskali plon  $0,79 \text{ t biomasy} \cdot \text{ha}^{-1}$ , wzrost dawki agrokarbonu do  $5 \text{ t BC} \cdot \text{ha}^{-1}$  skutkowało zwiększeniem plonu do  $1,14 \text{ t ketmii} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Kolejne dawki biowęgla

(10 i 15 t BC · ha<sup>-1</sup>) nadal zwiększały ilość uzyskiwanej biomasy (otrzymano kolejno 1,63 i 1,79 t biomasy · ha<sup>-1</sup>).



Wyk.4. Wpływ badanych gleb na długości korzeni pieprzycy ogrodowej



Wyk.5. Oddziaływanie różnych rodzajów gleb na rozwój pędów pieprzycy ogrodowej

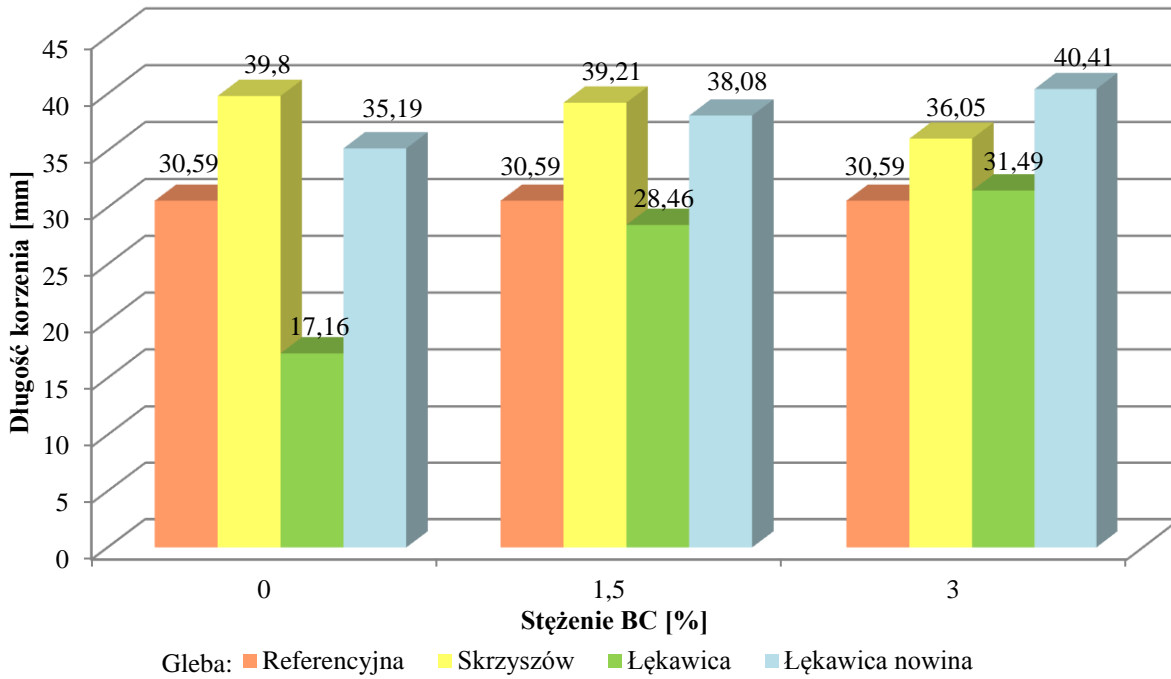
Przeprowadzone badanie nie wykazało interakcji między dawką zastosowanego nawożenia biowęgłem i różnymi rodzajami gleb, a długością korzeni (wyk.6) i pędów (wyk.7) pieprzycy.

W przypadku gleb pobranych w Łękawicy i z nowiny wraz ze wzrostem dawki nawożenia dochodziło do nieznacznego wzrostu długości korzeni siewek pieprzycy.

Podobnie do korzeni zachowywały się pędy roślin pieprzycy. Nieznaczne wahania wysokości siewek odnotowano w zależności od stężenia biowęgla na obiektach z glebą z Łękawicy. W pozostałych przypadkach wraz ze wzrostem nawożenia dochodziło do nieznacznego wzrostu długości pędów pieprzycy. Wyniki te dowodzą, że biowęgiel stymuluje rośliny do rozwoju. Jeffery i in. [2011] zwiększony efekt oddziaływania nawożenia biowęgłem na plon roślin stwierdzili na glebach kwaśnych. Wzrost plonowania roślin po aplikacji biowęgla może wynikać zarówno z poprawy struktury gleby [Lehman i Joseph, 2009] jak również ograniczenia wymywania składników pokarmowych [Yanai i in., 2007]. Ponadto zastosowanie biowęgla zwiększa retencję wody w glebie, co z kolei może korzystnie wpływać na wzrost i rozwój roślin w okresach niedoboru wody [Chan i in. 2007, 2008].

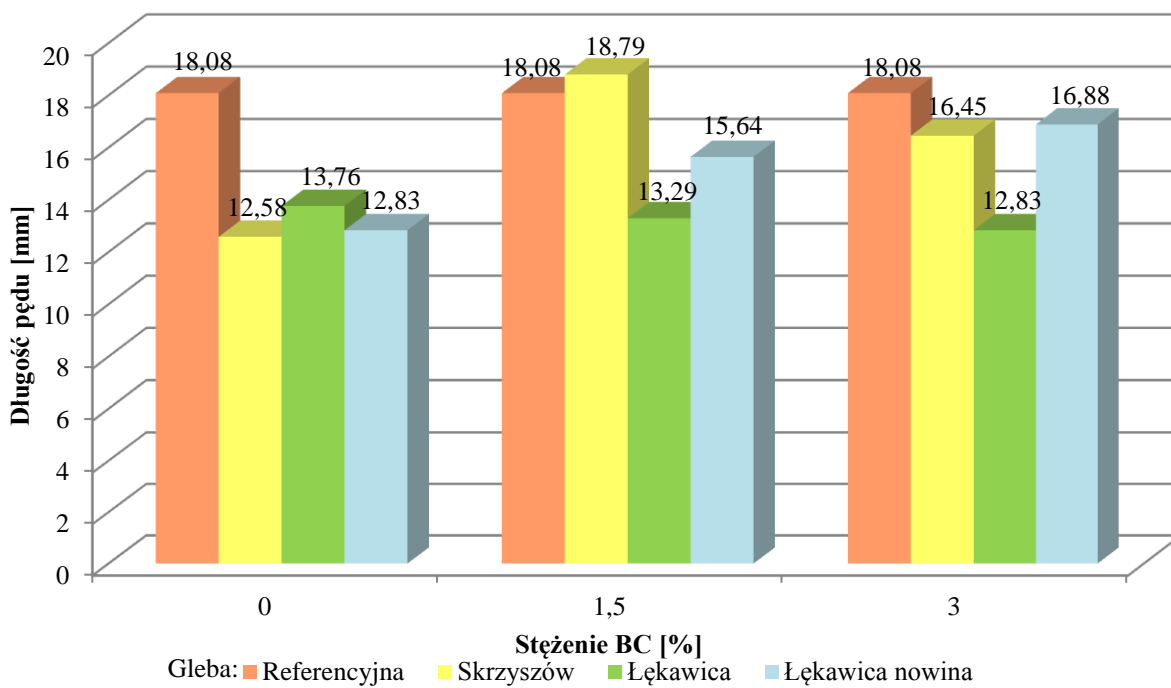
W swoich badaniach Oguntunde [2004] wykazał, że na terenach otrzymywania węgla drzewnego dochodziło do wzrostu plonowania kukurydzy (*Zea sp.*). W porównaniu do obiektu kontrolnego w miejscach tych otrzymał on o 44% więcej biomasy oraz 91% wyższe plony ziarna. Fakt ten dowodzi, że dodatek do gleby zwęglonej biomasy korzystnie wpływa na plony roślin.

**Brak istotnych różnic**

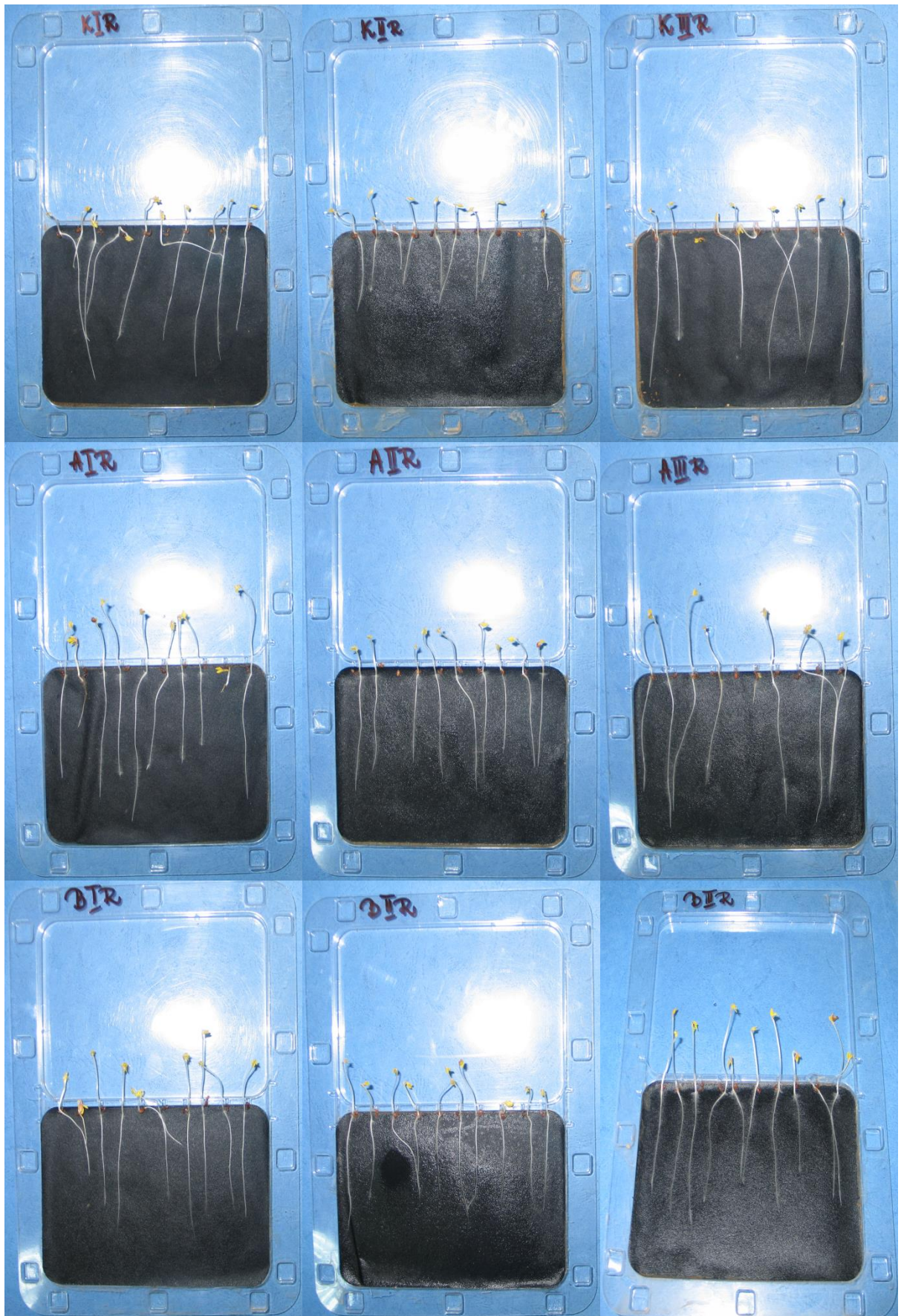


**Wyk.6. Zróżnicowanie długości korzeni pieprzycy w zależności od analizowanej gleby i wniesionej dawki biowęgla**

**Brak istotnych różnic**



**Wyk.7. Wpływ różnych dawek biowęgla i analizowanych gleb na długość pędów pieprzycy**



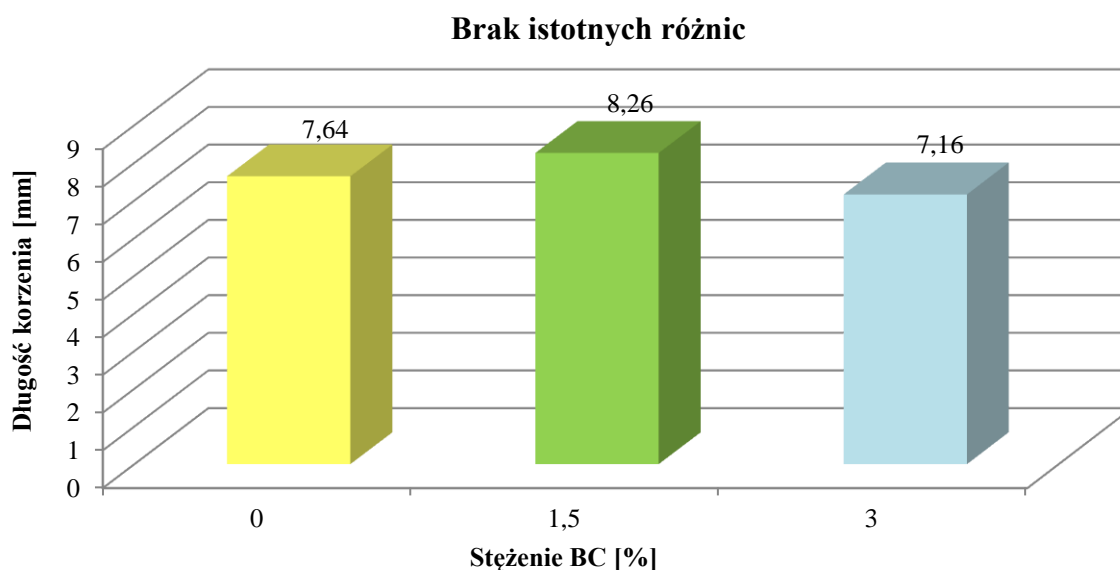
Fot. 6. Obrazy pieprzycy (R) zarejestrowane po 3 dniach doświadczenia.  
K-kontrola, A-Stęż. 1,5% BC, B-Stęż. 3% BC; I-gleba ze Skrzyszowa, II-nowina, III-gleba z Łękawicy

Zastosowane zróżnicowane dawki biowęglu różnorodnie wpływały na rozwój korzeni i pędów sorga.

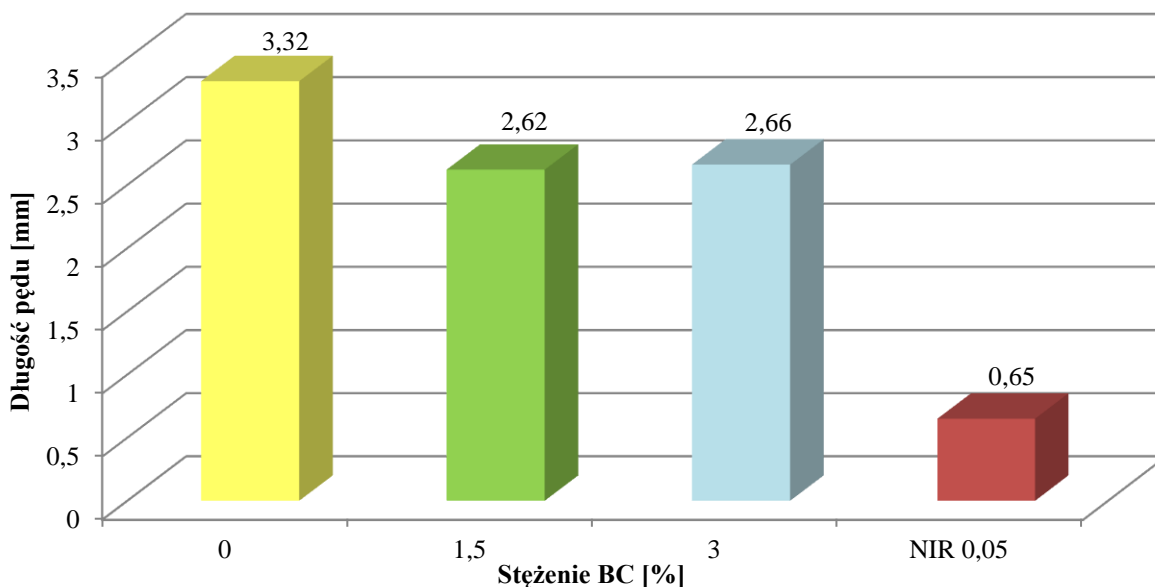
W przypadku korzeni nie wykazano istotnych różnic między ich długością a zróżnicowaną dawką nawożenia. Nieznacznie dłuższe korzenie otrzymano na glebie, gdzie zastosowano 1,5 g biowęglu na 100 g ocenianej gleby, natomiast nieco krótsze w obiekcie, gdzie wniesiono 3 g biocharu na 100 g gleby (wyk.8).

Z kolei pędy sorga uległy istotnemu skróceniu w przypadku próbek nawożonych biowęglem. Pędy z testu bez nawożenia były dłuższe niż z próbki, gdzie wniesiono 1,5% BC (o 21%) i 3% biowęglu (o 20%) (wyk.9).

Wyniki innych autorów wykazują, że dodatek biowęglu pozytywnie wpływa na rozwój roślin. Lehmann [2007] wskazuje, że dodatki o charakterze biokarbonu stymulują rośliny do zwiększenia ilości produkowanej biomasy o 38-45%. Również Iswaran i inni [1980] badając plonowanie grochu (*Pisum sp.*) i fasoli mung (*Vigna radiata*) wykazali zwiększanie plenności badanych gatunków pod wpływem dodatku biowęglu. Po zastosowaniu dawki 0,5 t BC · ha<sup>-1</sup> otrzymali wzrost ilości otrzymywanej biomasy grochu o 160%, a fasoli o 122%.



Wyk.8. Różnicowanie długości korzeni sorga przez testowane dawki biowęglu

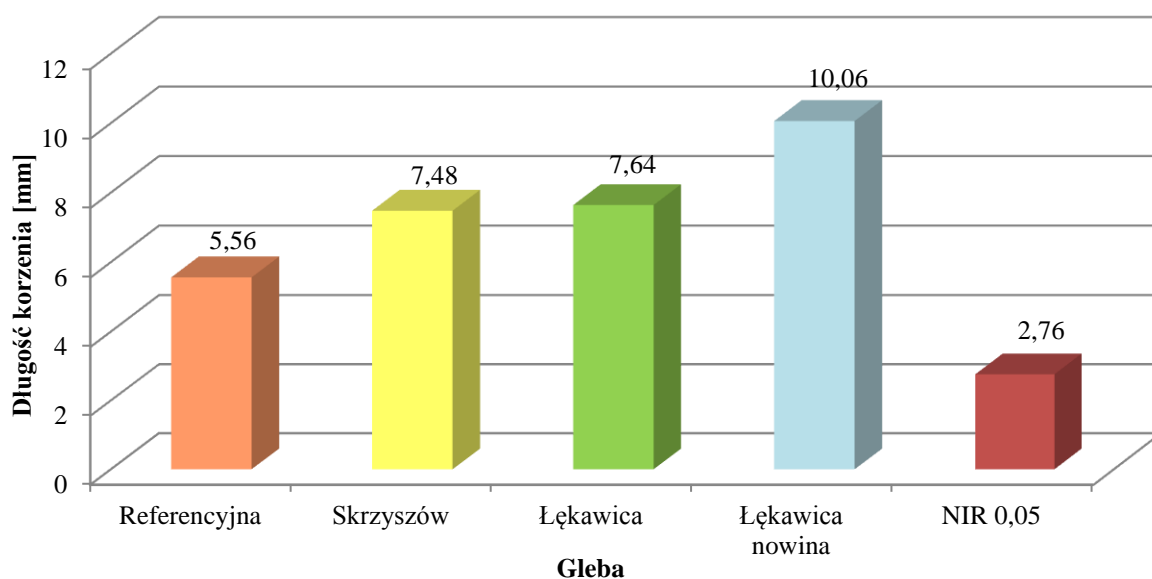


Wyk. 9. Różnicowanie długości pędów sorgo przez zmienne nawożenie BC

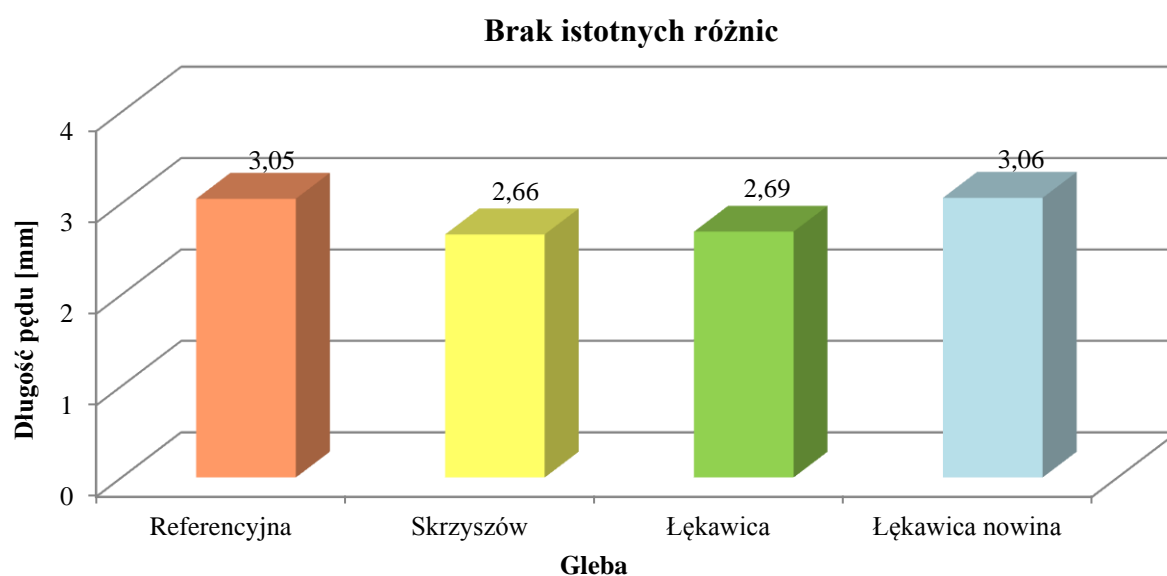
W zależności od próbki gleby sorgo reaguje zróżnicowanym rozwojem korzeni i pędów.

Długość korzeni sorga była istotnie różnicowana przez poszczególne gleby (wyk.10). Rośliny kielkujące na nowinie z Łękawicy wytworzyły korzenie dłuższe niż w pozostałych przypadkach. Były one dłuższe o 44,7% od korzeni z gleby referencyjnej, 25,6% od korzeni z próby z glebą ze Skrzyszowa i 24% dłuższe od uzyskanych z próbki z Łękawicy. Jednak tylko w odniesieniu do gleby referencyjnej różnice okazały się istotne statystycznie.

Długość pędów roślin sorga nie była istotnie różnicowana przez użyte w eksperymencie gleby. Najdłuższe pędy wytworzyły siewki, które wyrosły na glebie referencyjnej i nowinie (wyk.11).



Wyk.10. Wpływ badanych gleb na długość korzeni sorga



Wyk. 11. Różnicowanie długości pędów sorga przez zastosowane gleby

Przeprowadzony test nie wykazał zależności między długością korzeni siewek sorga a zastosowaną dawką biowęgla i rodzajem gleb (wyk.12).

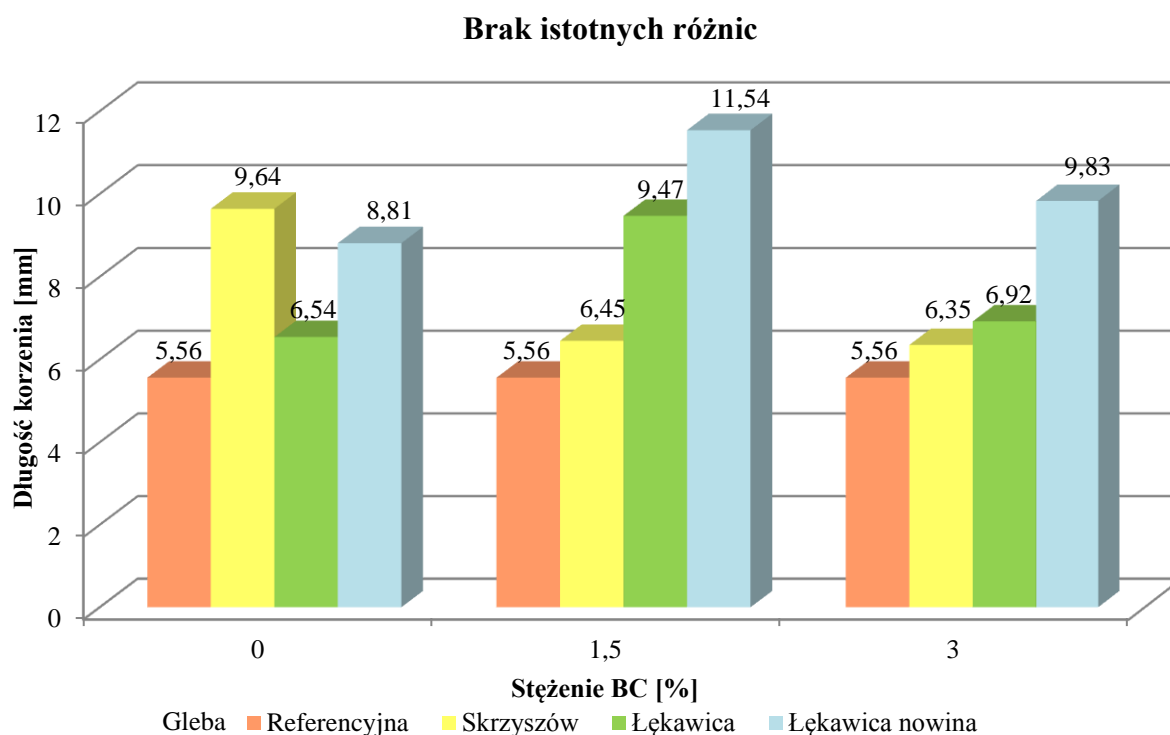
Na próbkach gleb pobranych w Skrzyszowie wraz ze wzrostem dawki dochodziło do nieznacznego zmniejszenia długości korzeni w odniesieniu do próby kontrolnej. W przypadku dawki 1,5% BC doszło do wydłużenia korzeni roślin otrzymanych na glebie z Łękawicy i Łękawicy nowiny w porównaniu do korzeni siewek z gleby kontrolnej i obiektu



o nawożeniu 3% biowęgla. Jednak weryfikacja statystyczna nie potwierdziła istotności tych różnic.

Także Kishimoto i Sugiura [1985] analizując wpływ biowęgla na plony soi (*Glycine sp.*) uprawianej na glinie wulkanicznej wykazali, że dawka różnicuje plenność roślin. Dodatek 0,5 t BC · ha<sup>-1</sup> najkorzystniej kształtował wielkość plonów, zwiększając je o 151%. Natomiast dawki 5 oraz 15 t BC · ha<sup>-1</sup> obniżały ilość biomasy o 63 i 29%.

Ponadto ci sami autorzy badając działanie biowęgla otrzymywanego z drewna, kory oraz węgla aktywnego wykazali, że również rodzaj zastosowanego karbonatu w niejednakowy sposób wpływa na plony. Wszystkie rodzaje biokarbonu zastosowane w tej samej dawce zwiększały ilość biomasy, lecz w zróżnicowany sposób kształtowały rozwój roślin. Biowęgiel otrzymany z drewna zwiększał ilość biomasy o 249%, a z kory o 324%, zaś węgiel aktywny o 244%.

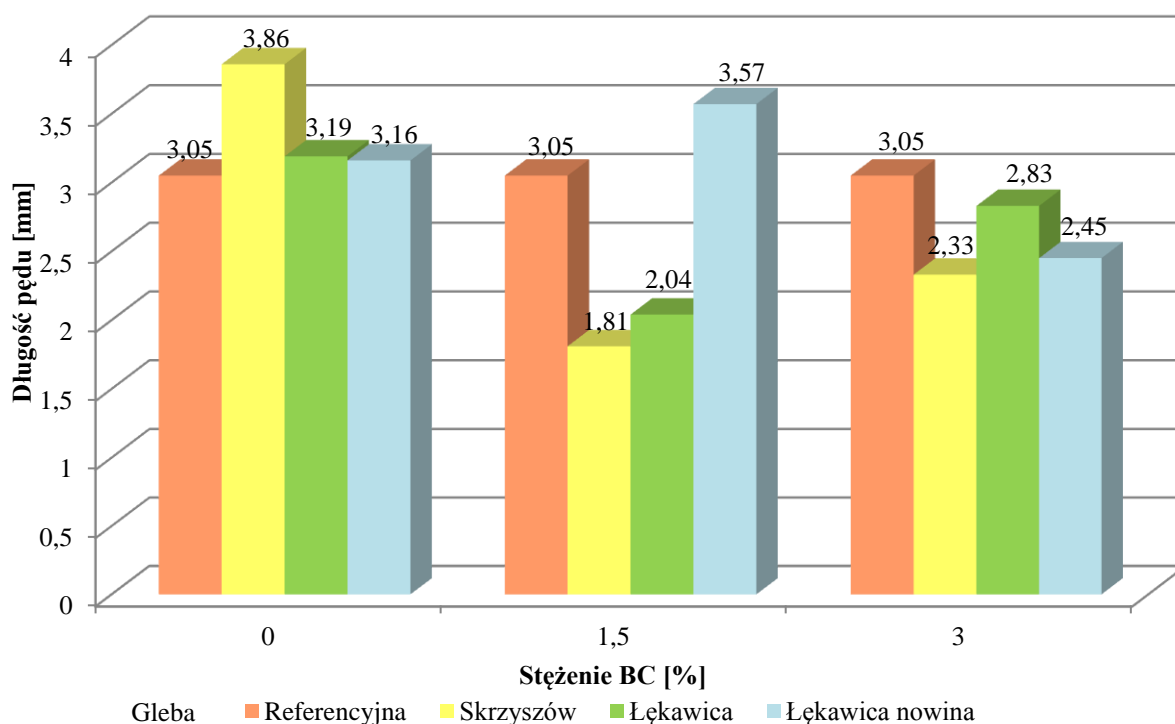


**Wyk.12. Różnicowanie długości korzeni sorga w zależności od rodzaju gleby i zastosowanego nawożenia biowęgłem.**

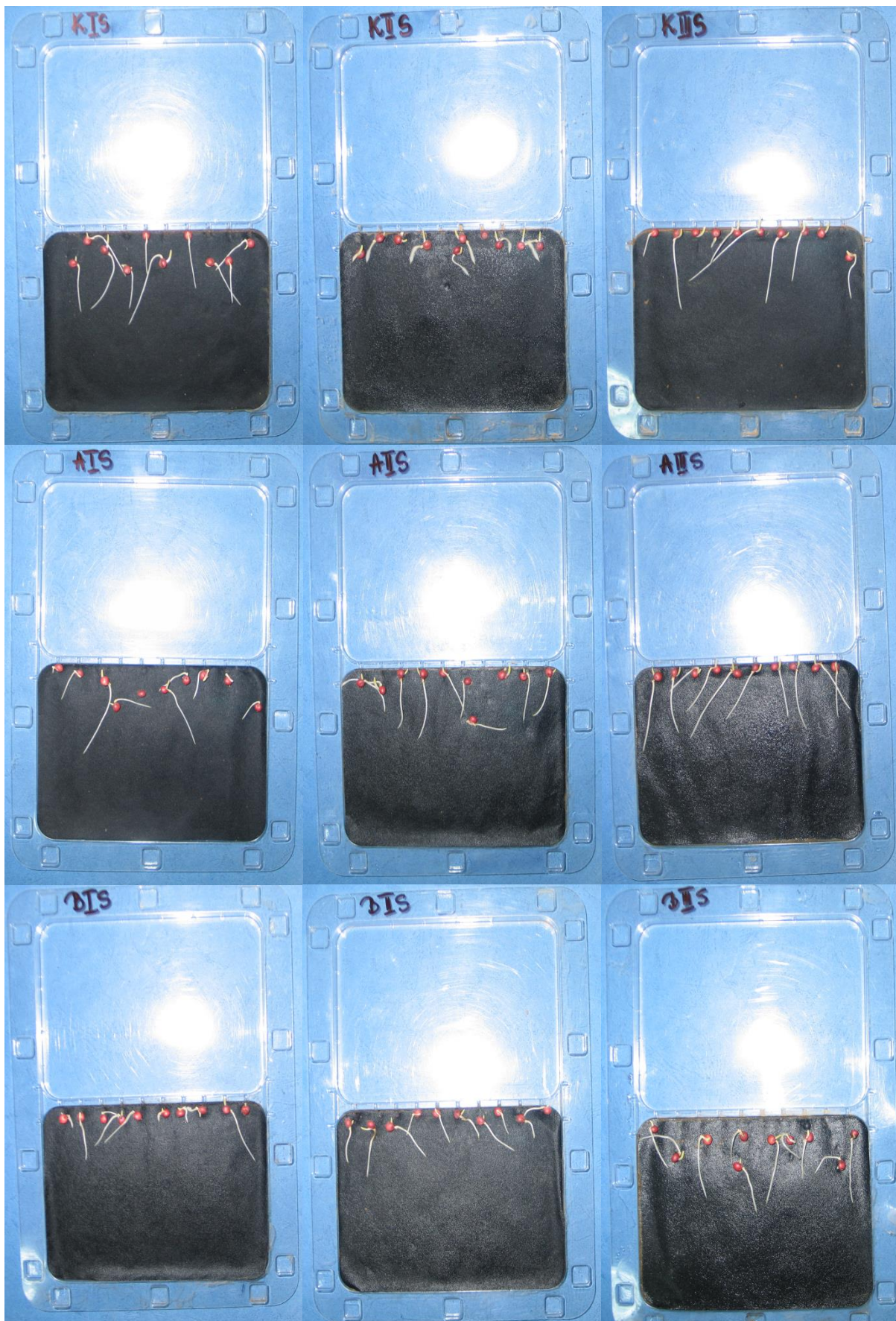
Długość pędów sorga określona na glebie pobranej ze Skrzyszowa nawożona 1,5% dawką biowęgla była istotnie krótsza niż uzyskana na glebie bez nawożenia (wyk.13).

Uzyskane dane wskazują na tendencję do skracania długości pędów siewek sorga wyhodowanych na próbkach gleby pobranej w Łękawicy i Skrzyszowa pod wpływem nawożenia biowęgłem. Krótsze pędy uzyskano w obiektach nawożonych obiema dawkami biowęgla w odniesieniu do próby pozbawionej dodatku biowęgla. Jednak weryfikacja statystyczna nie potwierdziła istotności tych różnic.

Odmienne wyniki otrzymał Chidumayo [1994]. Badając jak dodatek agrokarbonu wpływa na ilość biomasy i wysokość drzew storczykowych (*Bauhinia sp.*) wykazał on, wzrost obu tych parametrów na skutek nawożenia BC. W przypadku biomasy stwierdził jej wzrost o 13%, natomiast wysokość zwiększyła się o 24%.



Wyk.13. Wpływ różnych gleb i zróżnicowanego nawożenia biowęgłem na długość pędów sorga



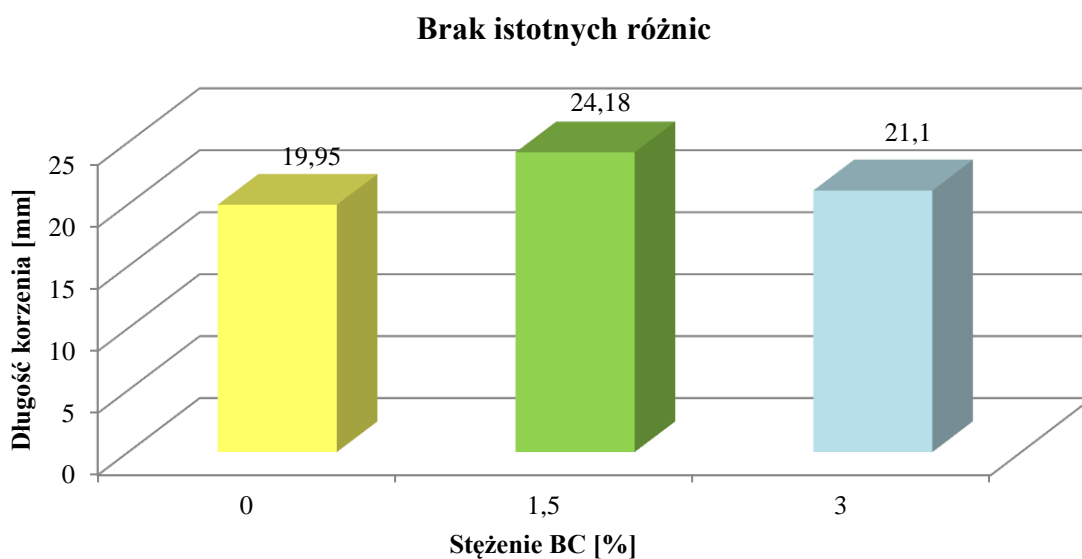
Fot. 7. Cyfrowy zapis siewek sorgo (S) wykonany po 3 dniach inkubacji.  
K-kontrola, A-stęż. 1,5% BC, B-stęż. 3% BC; I-gleba ze Skrzyszowa, II-nowina, III- gleba z Łękawicy

Zróżnicowane nawożenie biowęgłem nie wpłynęło istotnie na długość korzeni i pędów siewek gorczycy.

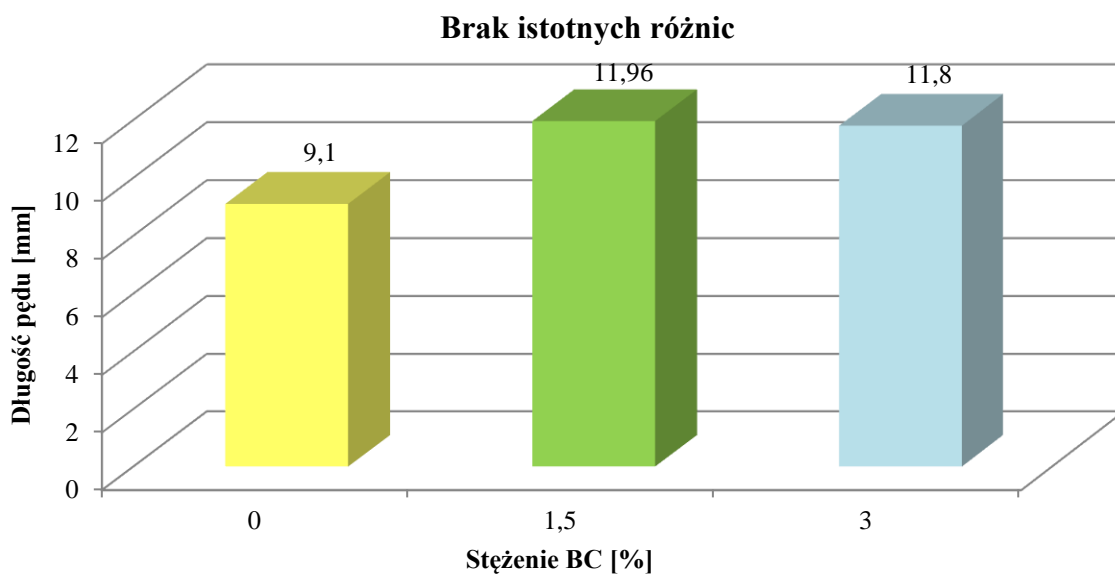
Najdłuższe korzenie otrzymano z obiektów nawożonych 1,5% dawką BC, natomiast najkrótsze w próbie bez nawożenia, jednak weryfikacja statystyczna nie wykazała istotności tych różnic (wyk.14).

W odniesieniu do kontroli w próbkach nawożonych biowęgłem uzyskano tendencję występowania dłuższych pędów siewek gorczycy (wyk.15).

Wyniki te potwierdzają dane uzyskane przez innych autorów. Glaser i in. [2002] odnotowali wzrost plonowania wspanięgi wężowatej (*Vigna unguiculata*). Nawożenie w dawce  $67 \text{ t BC} \cdot \text{ha}^{-1}$  korzystnie wpłynęło na plony, zwiększając je o 150%. Również dawka  $135 \text{ t BC} \cdot \text{ha}^{-1}$  zwiększyła plenność, która wskutek nawożenia wzrosła o dwukrotnie.



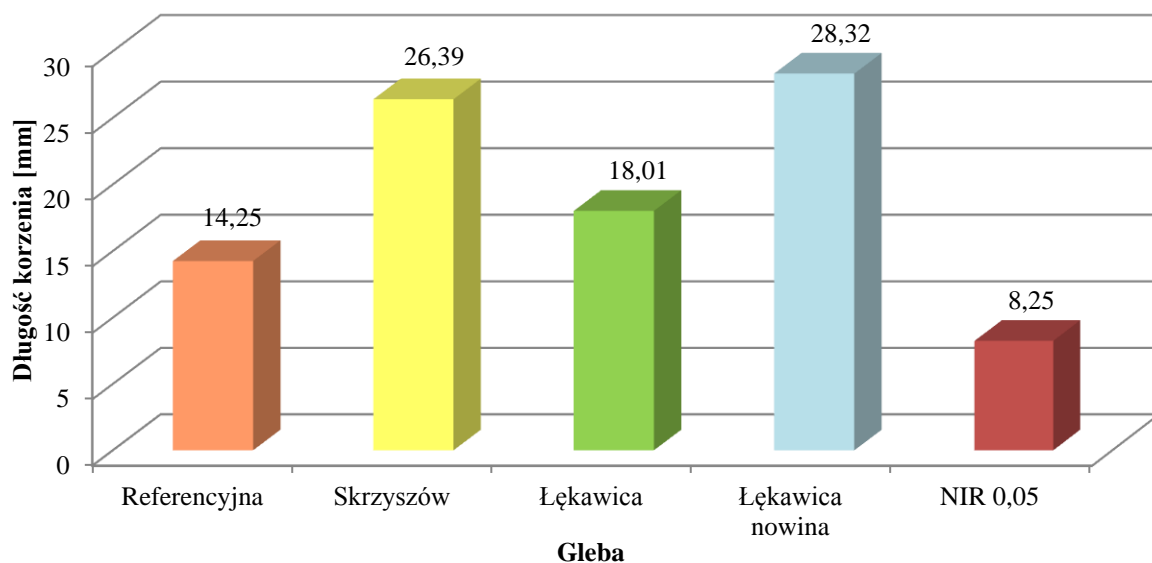
Wyk.14. Różnicowanie długości korzeni gorczycy przez zróżnicowane nawożenie biowęgłem



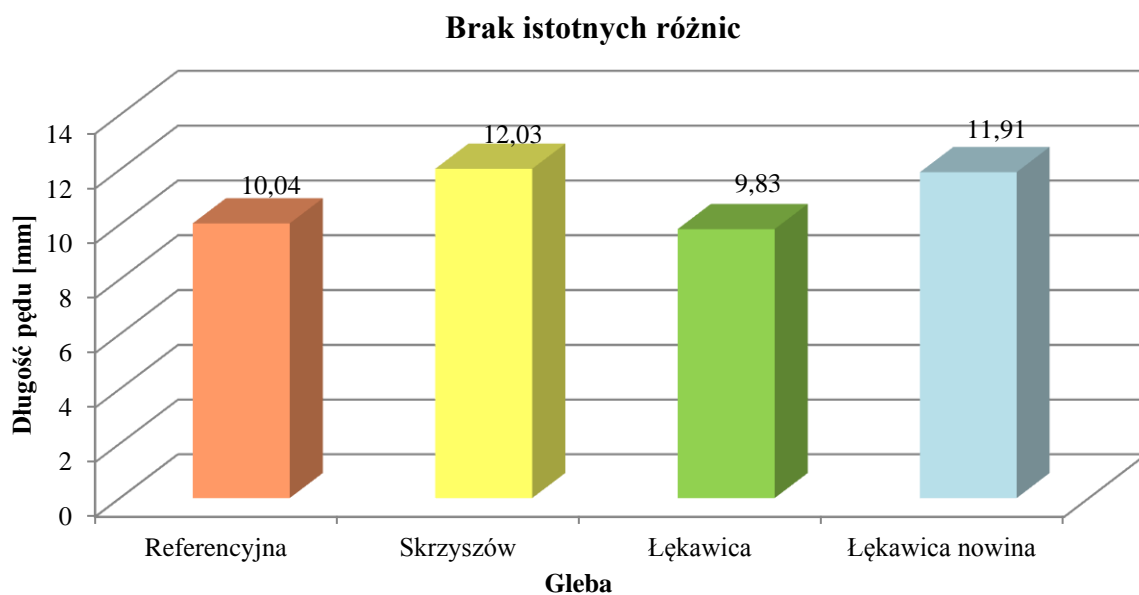
Wyk. 15. Wpływ zmiennego nawożenia biowęgłem na długość pędów gorczycy.

Rodzaj gleby istotnie różnicował długość korzeni gorczycy. Korzenie uzyskane na glebie z Łękawicy nowina były istotnie dłuższe od tych z gleby referencyjnej (o 50%) oraz dłuższe od korzeni otrzymanych na glebie z Łękawicy (o 36%). Również korzenie roślin otrzymanych na glebie pobranej w Skrzyszowie były istotnie dłuższe od korzeni z gleby referencyjnej (wyk.16).

Długość pędów siewek gorczycy nie była istotnie zróżnicowana w zależności od rodzaju gleby użytej do testu kiełkowania. Otrzymane wyniki długości pędów były do siebie zbliżone i wahały się od 9,83 (Łękawica) do 12,03 mm (Skrzyszów) (wyk.17).



Wyk.16. Wpływ analizowanych gleb na długość korzeni siewek gorczycy



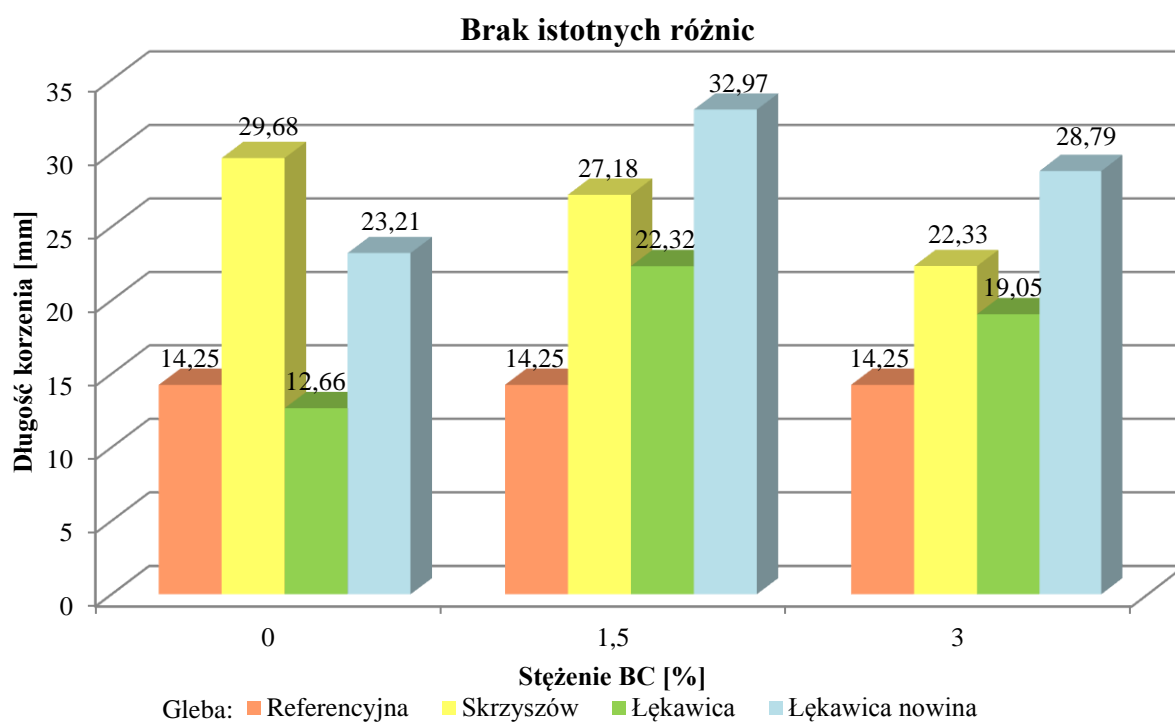
Wyk.17. Zróżnicowanie długości pędów gorczycy na skutek zastosowania różnych gleb

Przeprowadzone doświadczenie nie wykazało istotnych zmian długości korzeni gorczycy w zależności od zastosowanej gleby i dawki biowęgla.

W obiektach nawożonych najwyższą dawką biowęgla i pozbawionych dodatku BC dostrzegalna jest tendencja do skracania korzeni w próbkach pobranych w Łękawicy i Skrzyszowie (wyk.18).

W przypadku gleb pobranych z Łękawicy i z nowiny zaobserwowano tendencję do wzrostu długości korzeni w kombinacji z dawką 1,5% biowęgla w odniesieniu do próby kontrolnej oraz obiektu, gdzie wniesiono 3% BC. Najwyższa dawka biokarbonu skutkowała jednakże lepszym rozwojem korzeni niż próby w/w gleb pozbawione nawożenia.

Także inni autorzy [Steiner, 2006; Yamato, 2006] wskazują na korzystny wpływ biowęgla na rozwój biomasy. Yamato wykazał wzrost biomasy kukurydzy (*Zea sp.*), wspanię wężowatej (*Vigna unguiculata*) oraz orzechów arachidowych (*Arachis hypogaea*) na glebach o małej żyzności pod wpływem dodatku biowęgla. Steiner [2006] natomiast doszedł do podobnych wniosków badając plenność ryżu (*Oryza sp.*) oraz sorgo (*Sorghum sp.*).



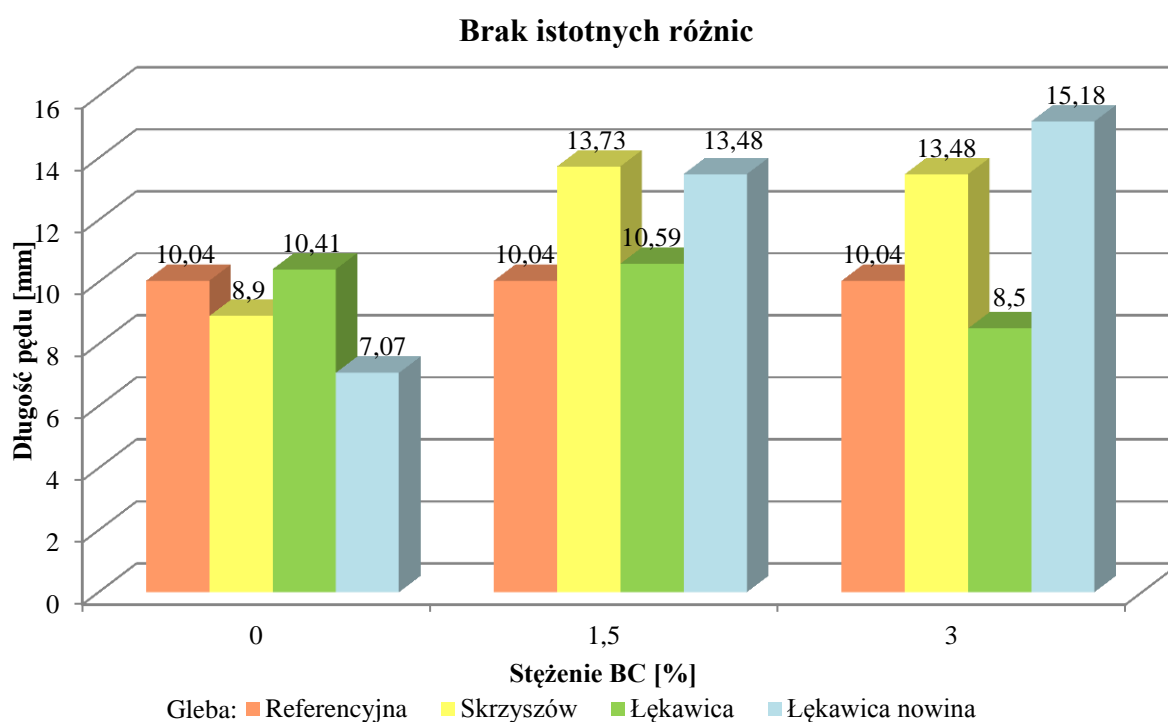
**Wyk.18. Zmiany długości korzeni gorczycy wskutek zastosowania różnych gleb i zróżnicowanego nawożenia biowęgłem**

Także w przypadku długości pędów siewek gorczycy nie stwierdzono znaczącej interakcji między zastosowanym nawożeniem biokarbonem a zróżnicowanymi glebami (wyk.19).

Tendencję do zmiany długości pędów wraz ze zmianą dawki biowęgla zaobserwowano w przypadku gleby ze Skrzyszowa. W odniesieniu do obiektu kontrolnego na próbkach nawożonych otrzymano wyższe rośliny. Podobnie zachowywały się siewki z próbki z glebą

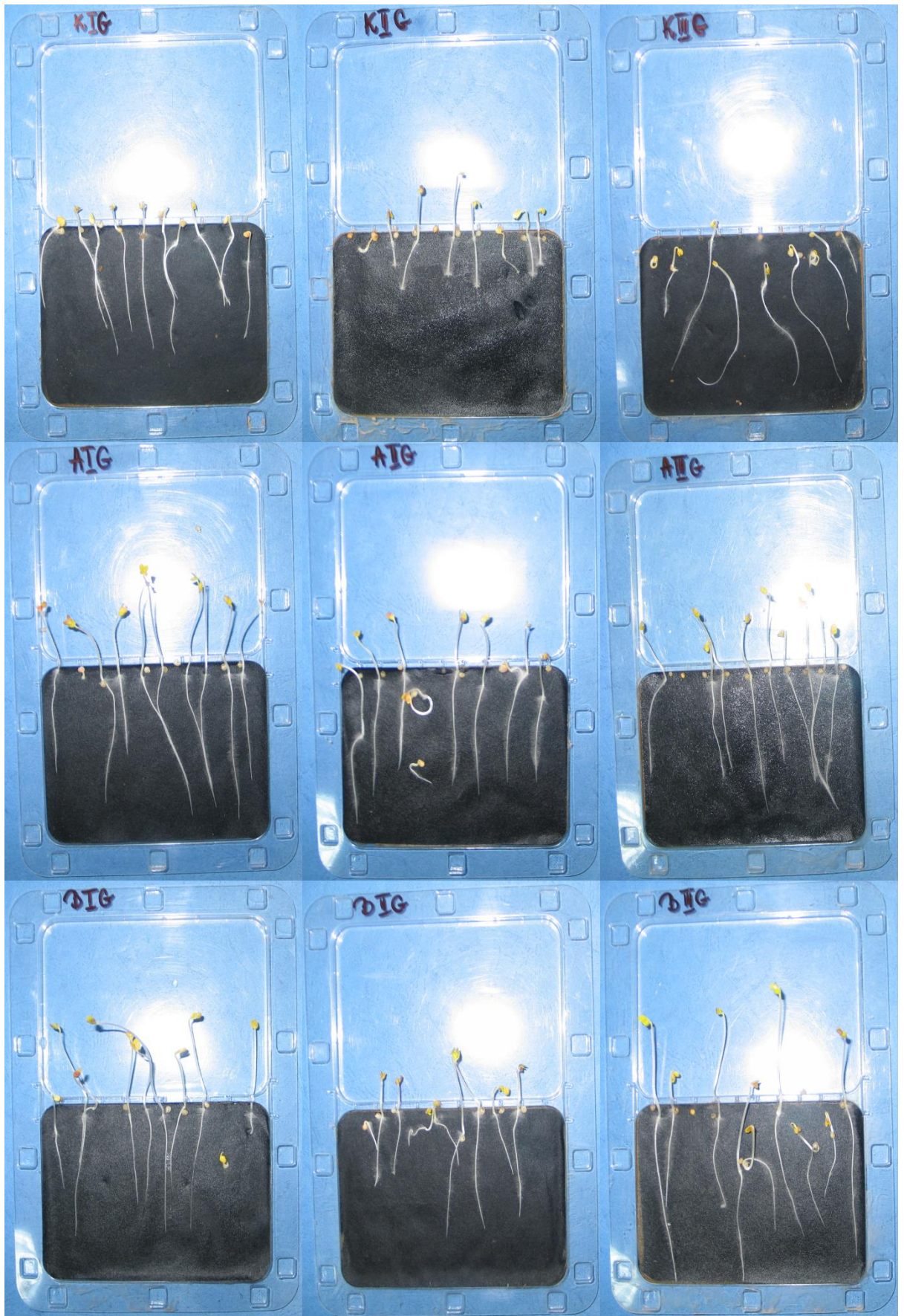
pobraną na nowinie w Łękawicy. W próbce gleby pobranej w Łękawicy zanotowano obniżenie wysokości siewek w obiekcie o najwyższym nawożeniu.

Lal [2008] stwierdza, że zwiększanie ilości węgla w glebie poprzez dodatek biokarbonsu poprawia jej jakość i zwiększa produkcję rolniczą. Jednakże doświadczenie polowe przeprowadzone w Brazylii wykazało, że dopiero równoczesne nawożenie mineralne (N, P, K) i biowęgłem powala na uzyskanie dwa razy większych plonów zbóż.



**Wyk.19. Różnicowanie długości pędu w zależności od rodzaju zastosowanej gleby i dawki biowęgla**





Fot. 8. Siewki gorczycy (G) 3 dnia doświadczenia.  
 K-kontrola, A-sięż. 1,5% BC, B-sięż. 3% BC; I-gleba ze Skrzyszowa. II-nowina, III-gleba z Łękawicy

## 5. Stwierdzenia i wnioski

**A.** Badane rośliny w zróżnicowany sposób reagowały na zmienne warunki doświadczenia. Najgorszym rozwojem cechowało się sorgo.

**B.** Stwierdzono tendencję do tworzenia dłuższych korzeni i pędów pieprzycy oraz gorczycy po zastosowaniu dawki 1,5% BC. Również korzenie sorga były najdłuższe po zastosowaniu 1,5 % dawki BC. Z kolei siewki sorga ulegały skróceniu wraz ze wzrostem ilości zaaplikowanego biowęgla.

**C.** We wszystkich przypadkach roślin testowych rodzaj zastosowanej gleby wpływał na rozwój pędów i korzeni. Na glebie ze Skrzyszowa pieprzycy wytworzyła najdłuższe korzenie, natomiast najdłuższe pędy uzyskano na glebie referencyjnej. Dla gorczycy znacząco lepsze warunki do rozwoju stwarzała nowina z Łękawicy w porównaniu do próbki referencyjnej i gleby z Łękawicy. Istotnie dłuższe korzenie sorgo wykształciło na glebie Łękawica nowina, natomiast lepszemu rozwojowi pędów sprzyjała gleba referencyjna.

**D.** Nie wykazano interakcji między dawką zastosowanego nawożenia biowęgłem i użytą w doświadczeniu glebą a zmianą długości korzeni i siewek pieprzycy, gorczycy i sorga.

Analiza uzyskanych wyników odnoszących się do długości korzeni i pędów testowanych roślin wskazuje, że istnieje możliwość wykorzystania testu Phytotoxkit F<sup>TM</sup> do oceny wpływu biowęgla na jakość wybranych gleb. Najlepszymi roślinami testowymi okazały się pieprzycy siewna (*Lepidium sativum* L.) i gorczyca biała (*Sinapis alba* L.). Wniesione do testowanych gleb dawki biowęgla korzystnie wpływały na wzrost korzeni i pędów roślin dwuliściennych. Zaistniałe różnice uzależnione były od rodzaju użytej gleby.

## 6. Piśmiennictwo

1. **Anderson C. R., Condon L. M., Clough T. J., Fiers M., Steward A., Hill R. A., Sherlock R. R., 2011**, „Biochar induced soil microbial community change: implications for biogeochemical cycling of carbon, nitrogen and phosphorus”, *Pedobiologia* 54, 309–320.
2. **Bauer A., Black A. L., 1982**, „Soil carbon, nitrogen and bulk density comparison in two cropland tillage system after 25 years and virgin grassland”, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45, 1160-1170.
3. **Bird M. I., Wurster C. M., de Paula Silva P. H., Bass A. M., de Nys R., 2011**, „Algal biochar – production and properties”, *Bioresource Technology*, 102, 1886-1891.
4. **Chan K. Y., Van Zwieten L., Meszaros I., Downie A., Joseph S., 2007**, „Agronomic values of green waste biochar as a soil amendment”, *Australian Journal of Soil Research* 45(8): 629-634.
5. **Chan, K. Y., Van Zwieten L., Meszaros I., Downie A., Joseph S., 2008**, „Using poultry litter biochars as soil amendments”, *Australian Journal of Soil Research* 46(5): 437-444.
6. **Ciećko Z., Wyszowski M., Krajewski W., Zabielska J., 2001**, „Effect of organic matter and liming on the reduction of cadmium uptake from soil by triticale and spring oilseed rape”, *The Science of the Total Environment* 281, 37-45.
7. **Cornet A., Escadafal R., 2009**, „Is biochar “green?””, IRD researchdirectors, CSFD.
8. **Cudzik A., Białczyk W., Czarnecki J., Brennenstul M., Kaus A., 2011**, „Analiza wybranych właściwości gleby w różnych technologiach uprawy”, *Inżynieria Rolnicza* 4 (129), 33-40.
9. **Domagała-Świątkiewicz I., 2005**, „Wpływ działalności rolniczej na środowisko naturalne”, w „Ochrona środowiska naturalnego w XXI wieku. Nowe wyzwania i zagrożenia”, Fundacja na rzecz wspierania badań naukowych Wydziału Ogrodniczego AR im. H. Kołłątaja w Krakowie, 57-71.
10. **Filipek T., Skowrońska M., 2013**, „Aktualnie dominujące przyczyny oraz skutki zakwaszenia gleb użytkowanych rolniczo w Polsce”, *Acta Agrophysica*, 20(2), 283-294.
11. **Freddo A., Cai C., Reid B. J., 2012**, „Environmental contextualisation of potential toxic elements and polycyclic aromatic hydrocarbons in biochar”, *Environ. Pollut.* 171, 18–24.

12. **Glaser B, Lehmann J, Steiner C, Nehls T, Yousaf M, Zech W., 2002**, „Potential of pyrolyzed organic matter in soil amelioration”, in: People’s Republic of China Ministry of Water Resources (ed) 12th International Soil Conservation Organization Conference, Beijing, China. Ministry of Water Resources, Beijing.
13. **Gliński J, Turski R., 2002**, „Ewolucja zasoby i główne zagrożenia gleb. Monografia”, IA PAN, Lublin 34-57.
14. **Gosek S., 2008**, „Substancje organiczne tak samo ważne jak składniki pokarmowe (część I)”, Wiadomości rolnicze - Polska, 09/2008 (49), IUNG-PIB, s. 7.
15. **Granatstein D., Kruger Ch., Collins H., Garcia-Perez M., Yoder J., 2009**, „Use of Biochar from the Pyrolysis of Waste Organic Material as a Soil Amendment”, Volume 09-07-062, Wenatchee, 151-153.
16. **Hua L., Wu W., Liu Y., McBride M. B., Chen Y., 2009**, „Reduction of nitrogen loss and Cu and Zn mobility during sludge composting with bamboo charcoal amendment, Environmental Science and Pollution Research”, Volume 16(1), 1-9.
17. **Ibarrola R., Shackely S., Hammond J., 2012**, „Pyrolysis biochar systems for recovering biodegradable materials: a life cycle carbon assessment”, Waste Management, 32, 859-868.
18. **International Biochar Initiative, 2009**, „Biochar misconceptions and the science”, 1-12.
19. **International Biochar Initiative**, <http://www.biochar-international.org/biochar> (10.05.2015).
20. **Iswaran V, Jauhri KS, Sen A., 1980**, „Effect of charcoal, coal and peat on the yield of moong, soybean and pea”, Soil Biol Biochem 12:191–192.
21. **Jeffery S., Verheijena F. G. A., van der Veldea M., Bastose A. C., 2011**, „A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis”, Agriculture, Ecosystems and Environment, 144, 175–187. doi:10.1016/j.agee.2011.08.015.
22. **Józefaciuk G., Szatanik-Kloc A., 2002**, „Kwasowość gleby i jej wpływ na rośliny. Monografia”, IA PAN, Lublin.
23. **Karczewska A., Spiak Z., Kabala C., Galka B., Szopka K., Jezierski P., Kocan K., 2008**, „Ocena możliwości zastosowania metody wspomaganiej fitoekstrakcji do rekultywacji gleb zanieczyszczonych emisjami hutnictwa i miedzi”, Wydawnictwo Zante, Wrocław, 45.

24. **Karhu K., Mattila T., Bergstrom I., Regina K., 2011**, „Biochar addition to agricultural soil increased CH<sub>4</sub> uptake and water holding capacity - Results from a short-term pilot field study”, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 140, 309-313.
25. **Kishimoto S, Sugiura G., 1985**, „Charcoal as a soil conditioner”, *Int. Achieve Future* 5:12–23.
26. **Kookana, R. S., 2010**, „The role of biochar in modifying the environmental fate, bioavailability and efficacy of pesticides in soils: a review”, *Aust. J. Soil Res.* 48, 627-637.
27. **Księżopolska A., 2010**, „Wpływ komponentów mineralnych i organicznych na właściwości gleby i rozkład materii organicznej”, *Wydawnictwo Adam Marszałek, Toruń*, 5-17.
28. **Kurth V. J., MacKenzie M. D., DeLuca T. H., 2006**, „Estimating charcoal content in forest mineral soils“, *Geoderma*, Volume 137(1-2), 135-139.
29. **Kwapinski W., Byrne C. M. P., Kryachko E., Wolfram P., Adley C., Leahy J. J., Novotny E. H., Hayes M. H. B., 2010**, „Waste Biomass Valorization”, 1, 177-189.
30. **Kwiatkowska-Malina J., Maciejewska A., 2009**, „Wpływ materii organicznej na pobieranie metali ciężkich przez rzodkiewkę i facelię”, *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* (40), 217-223.
31. **Laine J., 2012**, „Perspective of the preparation of agrichars using fossil hydrocarbon coke”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 5597-5602.
32. **Laird, D. A., 2008**, „The charcoal vision: a win-win-win scenario for simultaneously producing bioenergy, permanently sequestering carbon, while improving soil and water quality”, *Agronomy Journal* 100, 178-181.
33. **Lal R., 2000**, „Physical management of soils of the tropics: priorities for the 21st century”, *Soil Sci.* 165, 191-207.
34. **Lal R., 2008**, „Soils and food sufficiency. A review”, *Agronomy for Sustainable Development*, Volume 29(1), 113-133.
35. **Lehman J., 2007**, „Bio-energy in the black” *Frontiers in Ecology and Environment*, 5 (7), 381-387.
36. **Lehmann, J., Joseph S., 2009**, „Biochar for Environmental Management: Science and Technology”, *Earthscan, London & Sterling, VA.* 416p. (ISBN 978-1-84407-658-1).
37. **Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday W. C., Crowley D., 2011**, „Biochar effects on soil biota — a review”, *Soil Biol. Biochem.* 43, 1812–1836.

38. **Leifeld J., Fenner S., Muller M., 2007**, „Mobility of black carbon in drained peatland soils”, *Biogeosciences*, Volume 4(3), 425-432.
39. **Łabętowicz J., Kuszelewski L., Korc M., Szulc W., 1999**, „Znaczenie nawożenia organicznego dla trwałości plonów i równowagi jonowej gleby lekkiej”, *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 465, 123-134.
40. **Malińska K., 2012**, „Biowęgiel odpowiedzią na aktualne problemy ochrony środowiska”, *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 15, 4, 387-403.
41. **Malisa M. N., Hamdan J. and. Husni M. H. A, 2011**, „Yield Response of Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) to Different Rates of Charcoal and Nitrogen Fertilizer on Bris Soils in Malaysia”, *Middle-East Journal of Scientific Research* 10 (1), 54-59.
42. **Mazur T., Mazur Z., 2010**, „Współczesne problem zrównoważonego nawożenia”, *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 556, 873-878.
43. **MGGP S. A., 2011**, „Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Gminy Skrzyszów”.
44. **Namgay T., Singh B., Bhupinder P. S., 2010**, „Plant availability of arsenic and cadmium as influenced by biochar application to soil”, 78-81.
45. **Nigussie A., Kissi E., Misganaw M., Ambaw G., 2012**, „Effect of Biochar Application on Soil Properties and Nutrient Uptake of Lettuces (*Lactuca sativa*) Grown in Chromium Polluted Soils”, *American-Eurasian J. Agric. and Environ. Sci.*, 12 (3), 369-376.
46. **Novotny E. H., de Azevedo E. R., de Souza A. A., Song G., Nogueira Ch. M., Mangrich A. S., Hayes M. H. B., Madari B. E., Bonagamba T. J., 2009**, „Lessons from the Terra Preta de Indios of the Amazon Region for the Utilisation of Charcoal for Soil Amendment”, *Journal of the Brazilian Chemical Society*, Volume 20, Number 6, 1003 – 1010.
47. **OECD, 1984**, „Guideline for Testing of Chemicals 208. Terrestrial Plants, Growth Test”, *Organisation for Economic Co-operation and Development*.
48. **Oguntunde, P. G., Abiodun, B. J., Ajayi, A. E., van de Giesen N., 2008**, „Effects of charcoal production on soil physical properties in Ghana”, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 171, 591-596.
49. **Okręgowa Stacja Chemiczno-Rolnicza w Białymstoku, 2013**, „Ocena zawartości próchnicy w glebie”.

50. **Oleszczuk P., Joško J., Futa B., Pasieczna- Patkowska S., Pałys E., Kraska P., 2014**, „Effect of pesticides on microorganisms, enzymatic activity and plant in biochar-amended soil”, *Geoderma*, 10-18.
51. **Pałosz T., 2009**, „Rolnicze i środowiskowe znaczenie próchnicy glebowej i metodyka jej bilansu”, *Środkowo-Pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska*, t. 11, 329-338.
52. **Phytotoxkit F™, 2004**, „Seed Germination and Early Growth Microbiotest With Higher Plants, Standard Operation Procedure”, *MicroBioTests Inc., Nazareth, Belgium*.
53. **Rondon M., Ramirez J. A., Lehmann J., 2005**, „Charcoal additions reduce net emissions of greenhouse gases to the atmosphere”, in *Proceedings of the 3rd USDA Symposium on Greenhouse Gases and Carbon Sequestration, Baltimore, USA, March 21–24 2005*, p. 208.
54. **Rutkowska B., Szulc W., Twardowska A., 2010**, „Wpływ niezrównoważonego nawożenia na zmiany odczynu oraz zawartości glinu wymiennego w glebie lekkiej”, *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 556, 923-928.
55. **Sánchez M. E., Lindao E., Margaleff D., Martínez O., Morán A., 2009**, „Pyrolysis of agricultural residues from rape and sunflower: production and characterization of bio-fuels and biochar soil management”, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 85, 142-144.
56. **Siebielec G., Smreczak B., Klimkowicz-Pawlas A., Maliszewska-Kodybach B., Terelak H., Koza P., Hryńczuk B., Łysiak M., Miturski T., Gałazka R., Suszek B., 2012**, „Monitoring chemizmu gleb ornych w Polsce w latach 2010-2012”, *IUNG-PIB Puławy*.
57. **Sienkiewicz S., Krzebietke S., Panak H., Czapla J., 2005**, „Plony jęczmienia jarego i pszenicy jarej w zależności nawożenia w wieloletnim doświadczeniu polowym”, *Fragmenta Agronomica (XXII) nr 1 (85)*, 244-253.
58. **Sohi S., Lopez-Capel E., Krull E., Bol R., 2009**, „Biochar, climate and soil: A review to guide future research”, *CSIRO Land and Water Science Report 05/09*, 1-56.
59. **Sokołowski P., Bielska A., 2009**, „Właściwości i urodzajność gleb Polski- podstawą kształtowania relacji rolno-środowiskowych”, *Woda-Środowisko-Obszary wiejskie*, 9, 4 (28), 203-214.
60. **Song W., Guo M., 2012**, „Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures”, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 94, 138-145.

61. **Sopena F., Bending G. D., 2013**, „Impact of biochar on bioavailability of the fungicide azoxystrobin: a comparison of the effect on biodegradation rate and toxicity to the fungal community”, *Chemosphere* 91, 1525-1533.
62. **Spiak Z., Radola J., 2010**, „Zawartość różnych form azotu i węgla organicznego w glebach gospodarstw ekologicznych i konwencjonalnych”, *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 556, 965-974.
63. **Steiner C., Teixeira W. G., Lehmann J., Nehls T., MacêDo J. L. V., Blum W. E. H., Zech W., 2007**, „Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil”, *Plant and Soil* 291, 275-290.
64. „**Strategia rozwoju Gminy Skrzyszów na lata 2014-2020**”, Załącznik do uchwały Nr XXXI/339/14 Rady Gminy Skrzyszówz dnia 28 marca 2014 r.
65. **Szafrańska B., 2012**, „Przestrzenne aspekty struktury agrarnej w Małopolsce”, *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*, PAN oddział w Krakowie, 2/I/2012, 109-117.
66. **Tatarkova V., Hiller E., Vaculik M., 2013**, „Impact of wheat straw biochar addition to soil on the sorption, leaching, dissipation of the herbicide (4-chloro-2-methylphenoxy) acetic acid and the growth of sunflower (*Helianthus annuus* L.)”, *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 92, 215-221.
67. **Verheije F. G. A., Jeffery S., Bastos A. C., van der Velde M., Diafas I., 2010**, „Biochar Application to Soils - A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties”, *Processes and Functions. EUR 24099 EN*, Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
68. **Whitman T., Lehmann J., 2009**, „Biochar—One way forward for soil carbon in offset mechanisms in Africa?”, *Environmental Science & Policy* 12, 1024 - 1027. doi:10.1016/j.envsci.2009.07.013.
69. **Wołoszyk C., Krzywy E., Iżewska A., 2005**, „Ocena właściwości nawozowej kompostów sporządzonych z komunalnego osadu ściekowego w trzyletnim zmianowaniu roślin”, *Fragmenta Agronomica (XXII)* nr 1 (85), 631-642.
70. **Woolf D., 2008**, „Biochar as a soil amendment: A review of the environmental implications”, *Organic eprints*, 1-25.



71. **Woolf D., Amonette J. E., Street-Perrott F. A., Lehmann J., Joseph S., 2010**, „Sustainable biochar to mitigate global climate change”, *Nature Communications* 1 (56), doi:10.1038/ncomms1053.
72. **Wrzaszcz W., 2010**, „Szacunkowe saldo bilansu azotu, fosforu i potasu w gospodarstwach indywidualnych w 2007 r. (Część I), *Zagadnienia Doradztwa Rolniczego* 3/2010, 60-77.
73. **Wrzaszcz W., 2010**, „Szacunkowy bilans substancji organicznej w gospodarstwach indywidualnych w 2007 r. (Część I)”, *Zagadnienia Doradztwa Rolniczego* 3/2010, 44-59.
74. **Yamato M., Okimori Y., Wibowo I.F., Anshori S., Ogawa M., 2006**, „Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia”, *Soil Science and Plant Nutrition* 52, 489 - 495.
75. **Yanai Y., Toyota K., Okazaki M. 2007**, „Effects of charcoal addition on N<sub>2</sub>O emissions from soil resulting from rewetting air-dried soil in short-term laboratory experiment”, *Soil Sc. Plant Nutr.*, 53, 181-188.
76. **„Zaktualizowany program ochrony środowiska dla Gminy Skrzyszów na lata 2004-2015”**, Załącznik Nr 1 do uchwały Nr XXIII/221/09 Rady Gminy Skrzyszów z dnia 30 kwietnia 2009 r.