

Wzór cytowania:

Żabiński A. 2022. Wpływ dawki i postaci biowęgla na rozwój systemu korzeniowego pszenicy ozimej uprawianej na glebie lekkiej. *Technika Rolnicza, Ogrodnicza, Leśna* 2: 39–48.



Lukasiewicz  
Poznań  
Institute of  
Technology

## Technika Rolnicza, Ogrodnicza, Leśna

Strona internetowa czasopisma: <https://tech-rol.eu/>

# Wpływ dawki i postaci biowęgla na rozwój systemu korzeniowego pszenicy ozimej uprawianej na glebie lekkiej

Andrzej Żabiński<sup>a</sup> \*

<sup>a</sup> Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Katedra Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych, Kraków

### Informacje o artykule

Data przyjęcia: 28.11.2022

Data akceptacji: 16.12.2022

### Słowa kluczowe

biowęgiel  
postać granulowana i pylista  
gleba  
dawka  
rozwój systemu korzeniowego  
pszenicy

W celu zbadania wpływu dawki biowęgla w postaci pylistej i granulowanej na rozwój systemu korzeniowego pszenicy ozimej przy uprawie na glebie lekkiej, przeprowadzono doświadczenie polowe. Biowęgiel drzewny każdej z dwóch postaci aplikowano do gleby w dawce 5 i 25 t·ha<sup>-1</sup>. W fazie dojrzałości wczesno woskowej ziarniaków pszenicy pobrano próbki korzeni, na podstawie których za pomocą systemu analizy obrazu, dokonano charakterystyki parametrów morfologicznych systemu korzeniowego pszenicy dla poszczególnych wariantów doświadczenia. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono m.in. że wskaźnik suchej masy korzeni maleje wraz ze wzrostem głębokości pobieranych próbek, najwyższe wartości osiąga w wierzchniej warstwie, czyli 0-5 cm dotyczy to wariantów uprawy z biowęgłem. Wraz ze wzrostem głębokości, wartości wskaźnika specyficznej długości korzeni rosną. Obecność biowęgla zwłaszcza w postaci pylistej ma pozytywny wpływ na ten parametr. Średnia średnica korzeni nie wykazuje zróżnicowania zależnego od zastosowanych dawek i postaci biowęgla, jej wartości zależą głównie od poziomu głębokości. Wskaźnik gęstości długości korzeni osiąga najwyższe wartości w warstwie 0-5 cm. Dotyczy to korzeni frakcji 0,1-0,2 mm i kombinacji, w których stosowano biowęgiel w dawce 5 i 25 t·ha<sup>-1</sup> w obu jego postaciach.

*To study the effect of biocarbon dosage in dusty and granular forms on the development of the root system of winter wheat when grown on light soil, a field experiment was conducted. Wood biocarbon of each form was applied to the soil at a dose of 5 and 25 t·ha<sup>-1</sup>. At the early wax maturity stage of wheat grains, root samples were taken, based on which, using an image analysis system, characterizations of the morphological parameters of the wheat root system were made for each variant of the experiment. Based on the results, it was found, among other things, that the root dry weight index decreases with increasing depth of sampling, the highest values are reached in the top layer, i.e. 0-5 cm. this applies to cultivation variants with biochar. As the depth increases, the values of the specific root length index increase. The presence of biocarbon especially in dusty form has a positive effect on this parameter. The average root diameter does not vary depending on the applied doses and the form of biochar, its values depend mainly on the level of depth. The root length density index reaches the highest values in the 0-5 cm layer. This is true for roots of the 0,1-0,2 mm fraction and for combinations in which biocarbon was applied at rates of 5 and 25 t·ha<sup>-1</sup> and both forms.*

Artykuł udostępniony na licencji CC BY 4.0:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>

\* Autor do korespondencji: Andrzej.Zabinski@ur.krakow.pl

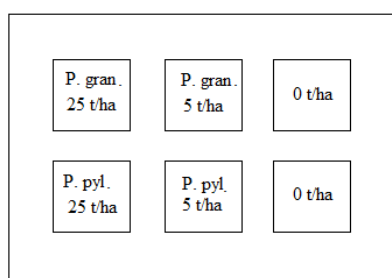
## 1. Wstęp

Jednym z efektów intensywnego użytkowania rolniczego gleb jest proces ich degradacji. Wpływa na to między innymi deficyt materii organicznej tworzącej próchnicę i stosowanie wysokich dawek nawozów mineralnych. Próchnica glebowa jest stosunkowo mało trwałą formą węgla, gdyż ulega postępującej mineralizacji. Ostatnimi czasy duże nadzieje na odbudowę potencjału plonotwórczego gleb wiąże się z biowęgłem. Jest on znacznie trwalszą formą węgla, mniej podatną na mineralizację i atak mikroorganizmów. Biowęgiel to materiał otrzymywany na drodze pirolizy biomasy roślinnej w temperaturze powyżej 300°C w warunkach ograniczonego dostępu tlenu [10, 21]. Posiada strukturę polimeru o wysokiej zawartości węgla, dzięki czemu charakteryzuje się dużą stabilnością biochemiczną i termiczną. Jest to materiał wykazujący wysoki stopień porowatości posiadający dużą powierzchnię właściwą i odznaczający się wysoką stabilnością i zdolnością adsorpcyjną [1, 20, 22]. Ze względu na wiele korzystnych właściwości biowęgla, w ostatnich latach poświęcono dużo uwagi badaniom nad wykorzystaniem tego materiału jako dodatku o dużym potencjale w kształtowaniu właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych gleb. Doniesienia literaturowe wykazują, że zastosowanie biowęgla w produkcji roślinnej może poprawić jakość gleby. Pozytywne skutki zastosowania dawki dogłębowej biowęgla obejmują poprawę właściwości gleby: zmniejszenie jej zagęszczenia,

wzrost wartości pH, zdolności zatrzymywania wody i zawartości składników odżywczych, wzrost aktywności mikroorganizmów [13, 14]. Biowęgiel może również zwiększyć obieg składników odżywczych w glebie i roślinach, zoptymalizować strukturę i stan rozwoju korzeni [17, 19]. Biowęgiel poprzez zmiany w dostępności składników odżywczych dla roślin (np. kumulacja w glebie w obrębie systemu korzeniowego składników pokarmowych, głównie makroelementów) i wpływ na inne właściwości fizykochemiczne gleby, może stymulować rozwój systemu korzeniowego [16]. Zastosowanie biowęgla w produkcji roślinnej może więc wywierać korzystny wpływ na morfologię systemu korzeniowego poprzez zwiększenie długości korzeni, zwiększenie masy systemu korzeniowego, a zwłaszcza wzrost udziału korzeni drobnych i włosnikowych [7, 15].

## 2. Materiał i metodyka

Doświadczenie przeprowadzono w latach 2018-2019 na glebie o składzie granulometrycznym piasku gliniastego mocnego, należącej do kompleksu żytniego dobrego. Teren, na którym zlokalizowano doświadczenie był w poprzednich dwóch latach odłogowany. Badaniem objęto pszenicę zwyczajną ozimą odmiany LG Jutta. Do siewu wykorzystano materiał kwalifikowany C/1 o zdolności kiełkowania 95%. Przyjęto obsadę 400 szt·m<sup>-2</sup>. Powierzchnia pól pod poszczególne obiekty wynosiła 4 m<sup>2</sup> (2×2 m).



Rys. 1. Schemat doświadczenia

W okresie 7 dni przed siewem pszenicy aplikowano biowęgiel drzewny wyprodukowany w temperaturze 650°C. Wykorzystano dwie jego postaci: pylistą i granulowaną (pelety o średnicy 6 mm), każda z nich stosowana była w dawce 5 i 25 t·ha<sup>-1</sup>. Punktem odniesienia były poletka, na których biowęgiel nie był stosowany. Biowęgiel mieszano z glebą za pomocą glebogryzarki ogrodniczej. W terminie aplikacji biowęgla stosowano również nawożenie fosforowo-potasowe w następujących dawkach czystego składnika: 80 kg·ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i 120 kg·ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O. Nawożenie azotowe

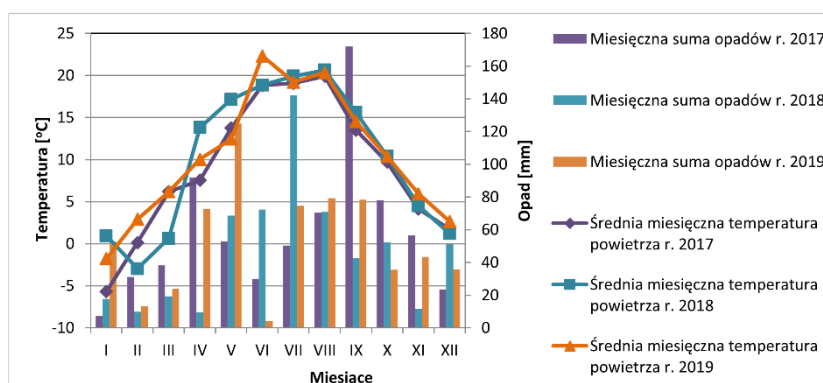
zastosowano wczesną wiosną po rozpoczęciu wegetacji, dawka azotu wynosiła 150 kg·ha<sup>-1</sup>. Próbkę gleby z korzeniami pobrano z rzędów w fazie dojrzałości wczesno-woskowej ziarniaków (BBCH 85), w 3 powtórzeniach w obrębie każdej kombinacji metodą glebowo-rdzeniową. Średnica rdzenia wynosiła 80 mm. Próbkę pobierano do głębokości 30 cm, a następnie rozdzielano na warstwy: 0-5cm, 5-10 cm, 10-15 cm, 15-20 cm, 20-25 cm i 25-30 cm. Korzenie oczyszczano metodą elutriacji hydropneumatycznej. Oddzielone i oczyszczone korzenie umieszczono następnie w skanerze.

Obrazy cyfrowe uzyskano za pomocą skanera Epson Perfection 4870 Photo, zapisując je w formacie TIFF w rozdzielczości 600 dpi. Obrazy korzeni poddano analizie za pomocą programu APHELION v3.2 zgodnie z metodologią opisaną przez Bauhus i Messiera. Zmierzoną długość korzenia podzielono na osiem klas średnic: 0-0,02 mm; 0,02-0,05 mm; 0,05-0,1 mm; 0,1-0,2 mm; 0,2-0,5 mm; 0,5-1,0 mm; 1,0-2,0 mm; >2,0 mm. Gęstość długości korzeni (RLD) obliczono, dzieląc całkowitą długość korzeni w próbce gleby przez objętość próbki. Specyficzną długość korzeni (SRL) obliczono dzieląc RLD przez suchą masę korzeni. Średnią średnicę korzeni (MD) obliczono jako średnią ważoną długości korzeni dla poszczególnych klas średnic. Po skanowaniu korzenie suszono w temperaturze 70°C w celu określenia ich suchej masy. Suchą masę korzeni (RDM) obliczono dzieląc masę wysuszonych korzeni z próbki gleby przez objętość próbki. Wyniki badań systemu korzeniowego pszenicy opracowano statystycznie przy użyciu programu Statistica 12. W celu oceny istotności różnic pomiędzy średnimi zastosowano test Duncana na poziomie istotności  $p = 0,05$ , wyróżniając grupy jednorodne.

### 3. Wyniki badań

#### 3.1. Dane meteorologiczne

Warunki klimatyczne terenu, na którym prowadzono badania charakteryzują średnie miesięczne sumy opadów oraz średnie miesięczne temperatury w okresie wegetacji w 2019 roku, przedstawiono je na rys. 1. Prezentowane dane pochodzą ze stacji meteorologicznej, oddalonej od terenu badań o około 3 km. Klimat miejsca eksperymentu jest umiarkowany kontynentalny. Charakteryzuje się częstymi zmianami pogody, gdyż nad Polską ścierają się suche masy powietrza znad kontynentu euroazjatyckiego i wilgotne znad Atlantyku. Rozkład temperatur w okresie wegetacji w 2019 r. nie odbiegał znacząco od zarejestrowanego w dwóch poprzednich latach (rys. 2). Tylko w czerwcu średnia temperatura powietrza kształtowała się na wyraźnie wyższym poziomie, w stosunku do lat poprzednich a średnia suma opadów w tym miesiącu była najniższa od notowanej dla tego obszaru w ciągu całego trzyletniego okresu.



Rys. 2. Rozkład temperatury i sumy opadów w latach 2017-2019 dla terenu prowadzonych badań (źródło: dane meteo z obszaru Polski uzyskane na podstawie danych udostępnionych przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy)

#### 3.2. Wskaźnik RDM

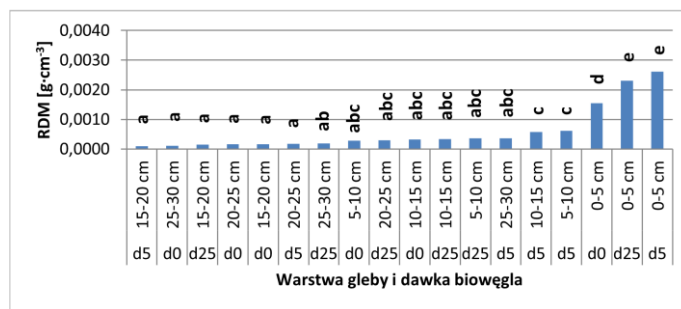
Wskaźnik suchej masy korzeni *root dry mass* (RDM) jest jednym z parametrów opisujących stan systemu korzeniowego.

Wartości wskaźnika RDM dla kombinacji zerowej oraz gleby z dodatkiem biowęgla w postaci pylistej wykazywały statystycznie istotne zróżnicowanie. Najwyższą wartość wskaźnika RDM wynoszącą średnio  $0,002457 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  stwierdzono w glebie z dodatkiem biowęgla, w warstwie 0-5 cm. Dawka biowęgla nie wpłynęła na zróżnicowanie wartości tego wskaźnika na tej głębokości. Najniższą wartość wskaźnika wynoszącą

średnio  $0,000143 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  zarejestrowano dla kombinacji zerowej w warstwie 15-20, 20-25 i 25-30 cm, ale również dla dawki biowęgla  $5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  dla poziomów 10-15, 15-20 i 20-25 cm, a także dawki  $25 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  i warstwy 15-20 cm (rys. 3).

Na wykresach zastosowano następujące oznaczenia dawek i postaci biowęgla:

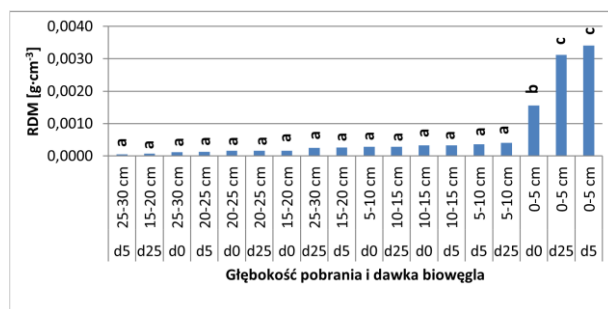
- $d0$  – dawka  $0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  (kontrola),
- $d5$  – dawka  $5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,
- $d25$  – dawka  $25 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,
- $G$  – postać granulowana biowęgla,
- $P$  – postać pylista biowęgla.



Rys.3. Średnie wartości wskaźnika RDM dla kombinacji zerowej i poszczególnych dawek biowęgla w postaci pylistej w zależności od głębokości pobrania (a, b, c, d, e – grupy jednorodne według testu Duncana)

Porównując wartości wskaźnika RDM korzeni pszenicy przy uprawie na stanowisku bez dodatku biowęgla oraz jego obecności w postaci granulowanej, stwierdzić można, że jest on najwyższy w glebie z dodatkiem biowęgla na głębokości 0-5 cm. Średnia jego wartość to 0,00326 g·cm<sup>-3</sup>. Podobnie jak dla postaci pylistej biowęgla, także w tym przypadku dawka nie miała

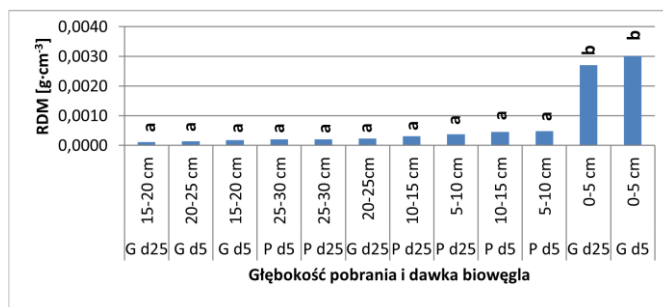
istotnego wpływu na wartości analizowanego wskaźnika w tej warstwie. Najniższą średnią wartość omawianego wskaźnika wynoszącą 0,00022g·cm<sup>-3</sup> zarejestrowano z wyjątkiem kombinacji zerowej i warstwy 0-5 cm, na wszystkich pozostałych głębokościach, gdzie przyjmował on zbliżone wartości (rys. 4).



Rys. 4. Średnie wartości wskaźnika RDM dla kombinacji zerowej i poszczególnych dawek biowęgla postaci granulowanej w zależności od głębokości pobrania (a, b, c – grupy jednorodne według testu Duncana)

Analiza wartości wskaźnika suchej masy korzeni pszenicy uprawianej na glebie z dodatkiem biowęgla w postaci pylistej i granulowanej, wykazała, że przyjmuje on najwyższą wartość w warstwie 0-5 cm, dla każdej z zastosowanych dawek biowęgla w postaci

granulowanej, a jego wartość średnia wynosi 0,00285 g·cm<sup>-3</sup>. Niższe wartości wskaźnika RDM nie wykazujące statystycznie istotnych różnic, stwierdzono dla wszystkich pozostałych analizowanych kombinacji, a średnia jego wartość, to 0,000272 g·cm<sup>-3</sup> (rys. 5).



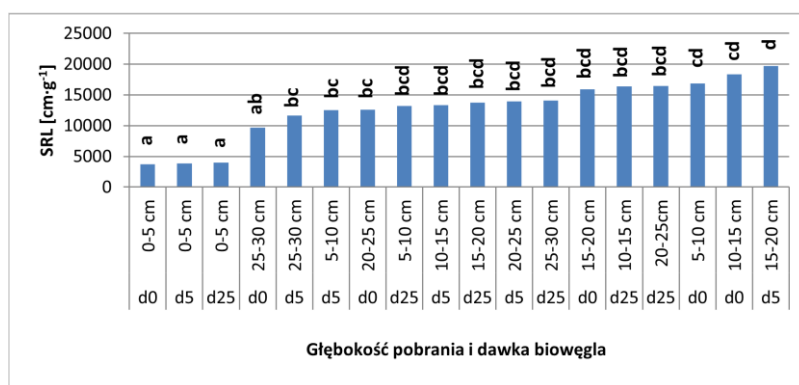
Rys. 5. Średnie wartości wskaźnika RDM dla poszczególnych dawek postaci pylistej i granulowanej biowęgla w zależności od głębokości pobrania (a, b – grupy jednorodne według testu Duncana)

### 3.3. Wskaźnik SRL

Wskaźnik specyficznej długości korzeni *specific root length* (SRL) jest stosunkiem gęstości długości korzeni do suchej masy korzeni. Wskaźnik ten jest jednym z częściowo oznaczanych parametrów morfologicznych drobnych korzeni. Charakteryzuje ekonomiczne aspekty systemu korzeniowego, związane ze zdolnością pobierania wody i składników odżywczych. Wskaźnik SRL jest ujemnie skorelowany z grubością korzeni. Większa wartość wskaźnika SRL oznacza cieńsze korzenie a tym samym większą ich powierzchnię. Systemy korzeniowe z wysoką wartością wskaźnika SRL, mają zapewniony lepszy kontakt z glebą a przez to

zwiększa się ich potencjał absorpcyjny [5, 12]. Przy suboptymalnych stężeniach składników odżywczych w glebie, duża powierzchnia korzeni jest korzystna ponieważ ułatwia pochłanianie szczególnie mniej mobilnych składników, takich jak fosfor (P) [8].

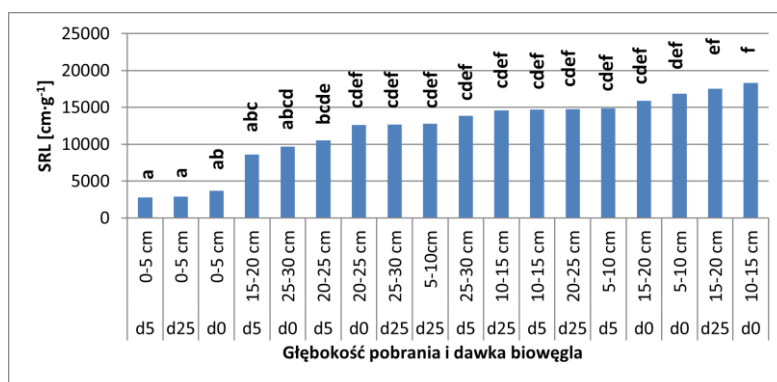
Wynik analizy statystycznej wartości wskaźnika specyficznej długości korzeni, w glebie z dawką pylistą biowęgla oraz kombinacji kontrolnej przedstawiono na rys. 6. Na jej podstawie stwierdzić można, że najwyższą wartość ( $19715 \text{ cm}\cdot\text{g}^{-1}$ ) omawiany wskaźnik osiąga na głębokości 15-20 cm w glebie z dodatkiem biowęgla w ilości  $5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Najniższe jego wartości, średnio  $3834 \text{ cm}\cdot\text{g}^{-1}$ , zanotowano na głębokości 0-5 cm zarówno w glebie z biowęglem, jak i bez jego udziału.



Rys. 6. Średnie wartości wskaźnika SRL dla kombinacji zerowej i poszczególnych dawek biowęgla postaci pylistej w zależności od głębokości pobrania (a, b, c, d – grupy jednorodnie według testu Duncana)

Analiza wartości wskaźnika SRL korzeni pszenicy w glebie bez udziału biowęgla oraz z jego dodatkiem w postaci granulowanej, wykazała największą jego wartość ( $18348 \text{ cm}\cdot\text{g}^{-1}$ ) dla kombinacji zerowej w warstwie 10-15 cm. Wskaźnik SRL był natomiast najmniejszy na

głębokości od 0 do 5 cm w glebie z biowęglem przy obu zastosowanych dawkach (rys. 7). W pozostałych przypadkach wartości omawianego wskaźnika wykazywały niewielkie, lecz istotne statystycznie różnice.



Rys. 7. Średnie wartości wskaźnika SRL dla kombinacji zerowej i poszczególnych dawek biowęgla postaci granulowanej w zależności od głębokości pobrania (a, b, c, d, e, f – grupy jednorodnie według testu Duncana)

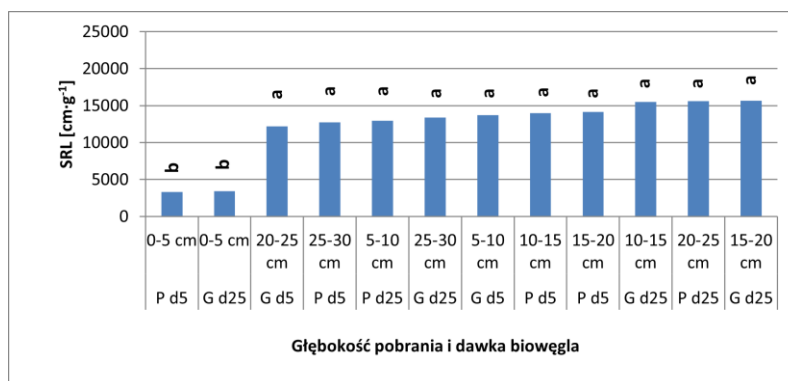
Biorąc pod uwagę tylko glebę z dodatkiem biowęgla w obu postaciach i dawkach, najniższą wartość

omawianego wskaźnika zarejestrowano przy dawce 5 i  $25 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  biowęgla postaci pylistej i granulowanej na



głębokości 0-5 cm. Wyniósł on średnio 3379  $\text{cm}\cdot\text{g}^{-1}$  (rys. 8), a jego wartości znalazły się w jednej grupie homogenicznej. Na pozostałych poziomach głębokości

wartości wskaźnika SRL są zbliżone, a różnice między nimi są statystycznie nieistotne.



Rys. 8. Średnie wartości wskaźnika SRL dla poszczególnych dawek postaci pylistej i granulowanej biowęgla, w zależności od głębokości pobrania (a, b – grupy jednorodne według testu Duncana)

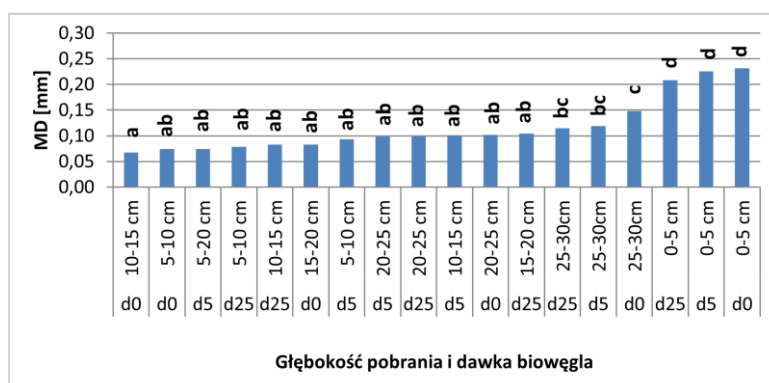
### 3.4. Wskaźnik MD

Wskaźnik średniej średnicy korzeni *mean root diameter* (MD) jest obliczony jako średnia ważona średnica korzeni, z wagami przypisanymi do długości odcinków korzeni, przypadającymi na poszczególne przedziały średnic korzeni.

Wskaźnik MD wiąże się bezpośrednio ze stopniem kumulacji przez roślinę biomasy w korzeniach [4]. Średnica wpływa na możliwą długość i liczbę korzeni w systemie [2]. Systemy korzeniowe z dużą ilością bardzo drobnych i drobnych korzeni, wykształcane przez wiele gatunków roślin, zwłaszcza jednoliściennych są wynikiem optymalizacji stosunku długości korzeni, decydującej o powierzchni absorpcyjnej do ich masy jako „zbiornika” substancji zapasowych. Cienkie

korzenie mają ograniczoną zdolność penetracji gleby ze względu na mniejszą ich długość [3]. Średnica korzeni ma zapewne również wpływ na wydajność transportu wody do pędu przez system naczyniowy. W cienkich korzeniach rosną podłużne opory przepływu.

Wartości wskaźnika MD, czyli średniej średnicy korzeni wykazują zróżnicowanie ze względu na dawkę zastosowanego biowęgla oraz poziom głębokości. W glebie bez dodatku biowęgla w warstwie 10-15 cm był on najmniejszy, średnio 0,068 mm. Najwyższą jego wartość stwierdzono na głębokości 0-5 cm, zarówno na obiekcie kontrolnym, jak i w glebie z dodatkiem biowęgla w postaci pylistej w obu zastosowanych dawkach. Dla wymienionych kombinacji nie wykazywał on zróżnicowania i wyniósł średnio 0,222 mm (rys. 9).



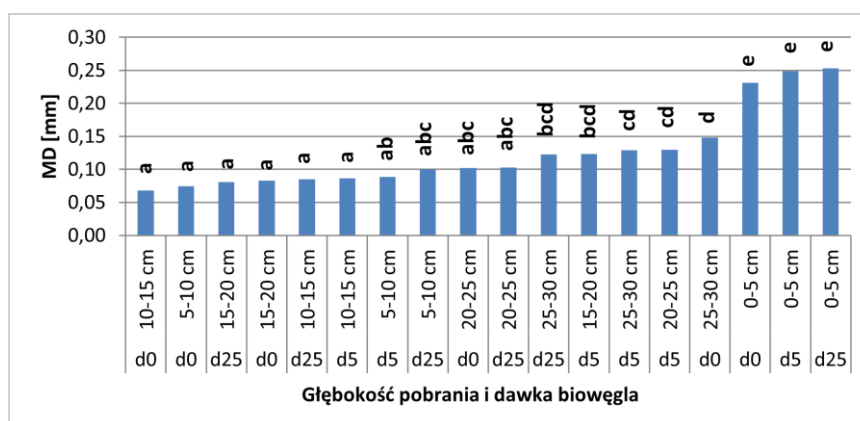
Rys. 9. Średnie wartości wskaźnika MD dla kombinacji zerowej i poszczególnych dawek biowęgla w postaci pylistej w zależności od głębokości pobrania (a, b, c, d – grupy jednorodne według testu Duncana)

Analizując wartości średniej średnicy korzeni dla kombinacji kontrolnej oraz wariantu z biowęgłem

w postaci granulowanej, stwierdzić można, że jest ona największa w warstwie 0-5 cm niezależnie od obecności

i dawki biowęgla w glebie. Najmniejsze wartości wskaźnika MD, średnio 0,080 mm, odnotowano w pięciu przypadkach, które nie wykazały statystycznie istotnych

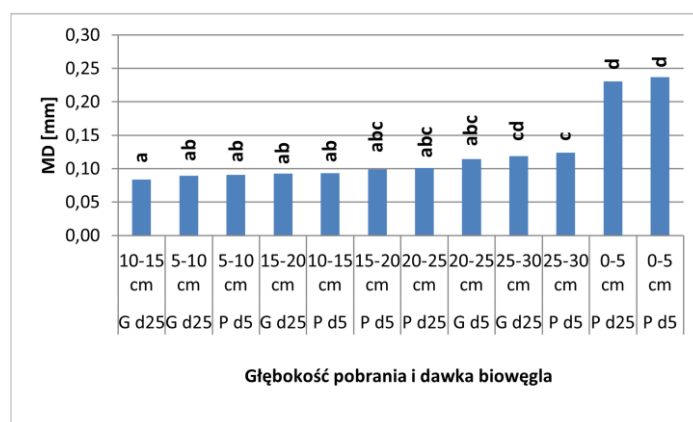
różnic i przyporządkowane zostały do jednej grupy homogenicznej (rys. 10).



Rys. 10. Średnie wartości wskaźnika MD dla kombinacji zerowej i poszczególnych dawek biowęgla postaci granulowanej w zależności od głębokości pobrania (a, b, c, d, e – grupy jednorodnie według testu Duncana)

Analiza wartości wskaźnika MD w glebie z dodatkiem biowęgla, wykazała, że jest on najmniejszy w warstwie 10-15 cm, przy dawce 25 t·ha<sup>-1</sup> biowęgla w postaci granulowanej i wynosi 0,084 mm. Największe

natomiast wartości, średnio 0,234 mm przyjmuje on w warstwie 0-5 cm dla dawki 5 i 25 t·ha<sup>-1</sup> biowęgla w postaci pylistej (rys. 11).



Rys. 11. Średnie wartości wskaźnika MD dla poszczególnych dawek postaci pylistej i granulowanej biowęgla, w zależności od głębokości pobrania (a, b, c, d – Grupy jednorodnie według testu Duncana)

### 3.5. Wskaźnik RLD

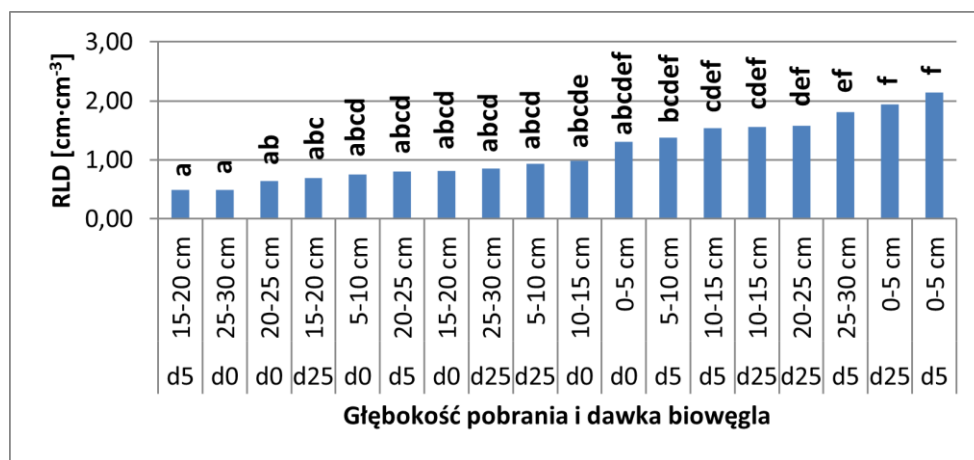
Jednym z parametrów opisujących stan systemu korzeniowego jest gęstość długości korzeni *root length density* (RLD). Jest to stosunek całkowitej długości korzeni do objętości gleby, z której te korzenie pochodzą [6]. Parametr ten jest pośrednim wskaźnikiem wielkości ryzosfery, tj. strefy oddziaływania korzeni na glebę. RLD jest szczególnie ważny dla oceny zdolności pobierania przez roślinę jonów mało mobilnych w roztworze

glebowym jak np. jony fosforu [11, 18], a w mniejszym stopniu wody i jonów mobilnych (np. NO<sub>3</sub>) [9].

Analizując wartości wskaźnika RLD korzeni pszenicy o średnicy z przedziału 0,1-0,2 mm w glebie bez udziału biowęgla oraz z jego dodatkiem w postaci pylistej, stwierdzić można duże zróżnicowanie, zależne od głębokości i dawki biowęgla. Największą jego wartość (średnio 2,0455 cm·cm<sup>-3</sup>) zarejestrowano w warstwie 0-5 cm tylko dla kombinacji z biowęgłem, niezależnie od zastosowanej dawki (rys. 12). Najniższe

wartości wskaźnika odnotowano w warstwie 15-20 cm przy dawce biowęgla 5 t·ha<sup>-1</sup> oraz na kombinacji kontrolnej i głębokości 25-30 cm. W porównaniu do wcześniej

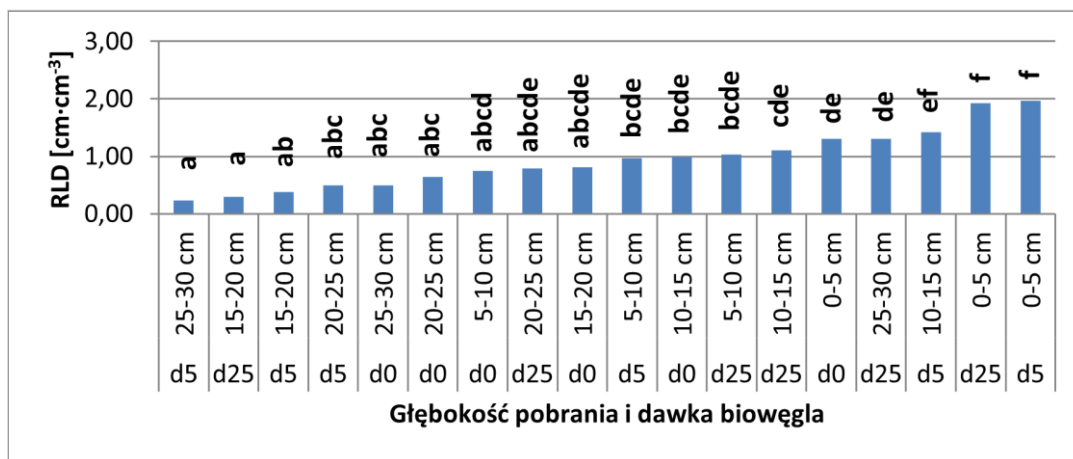
analizowanych frakcji, gęstość długości korzeni rozpatrywanej frakcji przyjmuje wyższe wartości, dotyczy to całej miąższości warstwy ornej 0-30 cm (rys 12).



Rys. 12. Średnie wartości wskaźnika RLD dla kombinacji zerowej i poszczególnych dawek biowęgla w postaci pylistej dla korzeni frakcji 0,1-0,2 mm (a, b, c, d, e, f – grupy jednorodne według testu Duncana)

Analiza wartości wskaźnika RLD korzeni pszenicy frakcji 0,1-0,2 na poletku kontrolnym oraz kombinacji z dodatkiem biowęgla w postaci granulowanej, wykazała zróżnicowanie zależne od głębokości i dawki biowęgla. Największa jego wartość (średnio 1,9439 cm·cm<sup>-3</sup>) dotyczyła warstwy 0-5 cm, niezależnie od zastosowanej

dawki biowęgla (rys. 13). Wskaźnik RLD był natomiast najmniejszy dla dawki 5 t·ha<sup>-1</sup> i głębokości 25-30 cm, oraz kombinacji z biowęgłem w dawce 25 t·ha<sup>-1</sup> i poziomie 15-20 cm. Odbiega to więc od opisanego wcześniej rozkładu wartości wskaźnika dla postaci pylistej biowęgla.

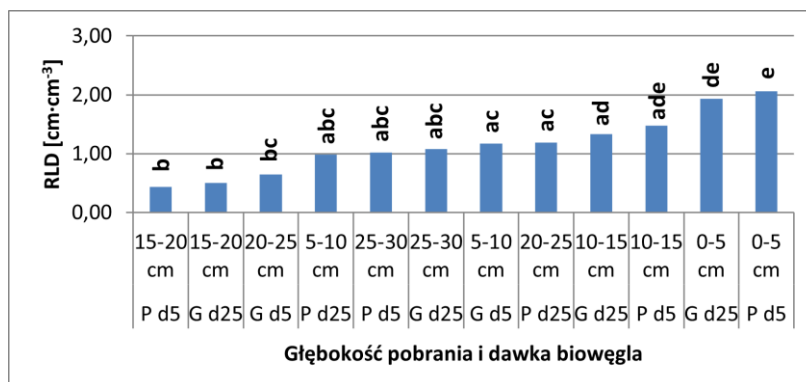


Rys. 13. Średnie wartości wskaźnika RLD dla kombinacji zerowej i poszczególnych dawek biowęgla w postaci granulowanej dla korzeni frakcji 0,1-0,2 mm (a, b, c, d, e, f – Gupy jednorodne według testu Duncana)

Dokonując porównania wartości wskaźnika RLD dla korzeni frakcji 0,1-0,2 mm w glebie z dodatkiem biowęgla w postaci pylistej i granulowanej z pominięciem „zerówki”, największą jego wartość (2,0563 cm·cm<sup>-3</sup>) odnotowano dla kombinacji z biowęgłem pylistym

w dawce 5 t·ha<sup>-1</sup> na głębokości 0-5 cm (rys. 14). Najmniejsze jego wartości zarejestrowano natomiast w warstwie 15-20 cm. Dotyczyło to kombinacji z biowęgłem pylistym w dawce 5 t·ha<sup>-1</sup> oraz granulowanym w dawce 25 t·ha<sup>-1</sup> (rys. 14).





Rys. 14. Średnie wartości wskaźnika RLD dla poszczególnych dawek postaci pylistej i granulowanej biowęgla dla korzeni frakcji 0,1-0,2 mm (a, b, c, d, e– grupy jednorodnie według testu Duncana)

#### 4. Wnioski

Badania przeprowadzono w celu określenia wpływu dwóch dawek biowęgla (5 i 25 t·ha<sup>-1</sup>) zastosowanych w dwóch postaciach (pylistej i granulowanej) na glebie lekkiej, na cechy morfometryczne systemu korzeniowego roślin pszenicy ozimej.

Parametry korzeni jakie wyznaczono to: sucha masa korzeni (RDM), specyficzna długość korzeni (SRL), średnia średnica korzeni (MD), a także gęstość długości korzeni (RLD).

Na podstawie analizy wyników badań sformułowano następujące wnioski:

1. Wpływ biowęgla na cechy morfologiczne systemu korzeniowego pszenicy jest zróżnicowany i zależy od zastosowanej dawki i postaci.
2. Wskaźnik suchej masy korzeni osiąga najwyższe wartości w wierzchniej warstwie (0-5 cm), dla wariantów

z biowęgłem, dotyczy to obu zastosowanych jego dawek i postaci.

3. Wraz ze wzrostem głębokości wartości wskaźnika specyficznej długości korzeni rosną. Zastosowanie biowęgla pozytywnie wpłynęło na ten parametr, zwłaszcza w postaci pylistej, gdzie odnotowano najwyższą wartość wskaźnika.
4. Wartości średnich średnic korzeni nie wykazują zróżnicowania, zależnego od zastosowanych dawek i postaci biowęgla a czynnikiem różnicującym ten parametr jest głównie poziom głębokości
5. Wskaźnik gęstości długości korzeni osiąga najwyższe wartości w warstwie 0-5 cm. Dotyczy to korzeni frakcji 0,1-0,2 mm i kombinacji, w których stosowano biowęgiel w dawce 5 i 25 t·ha<sup>-1</sup> w obu jego postaciach.

#### Literatura

- [1] Atkinson, C. J., Fitzgerald, J. D. & Hips, N. A. (2010). Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from bio. Char application to temperate soils: A review. *Plant and Soil*, 337 (1/2), 1–18.
- [2] Bidal L. P. R., Pagès L., Rivière L. M., Pelloux G., Lorendeau J. Y. (2000). *Ann Bot-London* 85.
- [3] Clark L. J., Price A. H., Steele K. A., Whalley W. R. (2008). *Funct. Plant. Biol.* 35.
- [4] Eissenstat D. M. (1992) *J Plant Nutr.* 15: 763–782.
- [5] Eissenstat D. M., Wells C. E., Yanai R. D., Whitbeck J. L. (2000). *New Phytol.* (147).
- [6] Fageria N.K. (2013). The role of plant roots in crop production (1-44). Fageria, N. K., *The role of plant root in crop production*. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, USA.
- [7] Feng, L., Xu, W., Tang, G. *et al.* (2021). Biochar induced improvement in root system architecture enhances nutrient assimilation by cotton plant seedlings. *BMC Plant Biol* 21, 269.
- [8] Fitter A. (2002). Characteristics and functions of root systems. In: Y. Waisel *et al.* (Eds.), *Plant Roots: The Hidden Half*, 3rd edn. Marcel Dekker, New York.
- [9] Gao Y., Duan A., Qiu X., Liu Z., Sun J., Zhang J., Wang H. (2010). Distribution of roots and root length density in a maize/ soybean strip intercropping system. *Agricultural Water Management*, 98:199-212.
- [10] Jefferya S., Verheijena F.G.A., Veldea M., Bastos A.C. (2011). A quantitative review of the effects of biochar application to soil on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 144 (1), 175–187.
- [11] Jing J.Y., Zhang F.S., Rengel Z., Shen J.B. (2012). Localized fertilization with P plus N elicits an ammonium-dependent enhancement of maize root growth and nutrient uptake. *Field Crop Research*, (133: 176-185)
- [12] Larcher W. (1995). *Physiological plant ecology*, 3rd edn. Springer. (Berlin 1995).

- [13] Lehmann, J. et al. (2006). Biochar sequestra-Timerrestrialecosystems: Areview. Mitigation and Adaptaion Strategies for Global Change, 11(1):403–427.
- [14] Lehmann, J. et al. (2011). Biochar effects on soil biota - a review. Soil Biol. Biochem. 43, 1812–1836.
- [15] Martínez-Gómez Á., Poveda J., Escobar C. (2022). Overview of the use of biochar from main cereals to stimulate plant growth. Front. Plant Sci., Sec. Crop and Product Physiology.
- [16] Mitchell, K. et al. (2018). Biochar alters the root systems of large crabgrass. HortScience, 53, 354–359.
- [17] Olmo, M., Villar, R., Salazar, P. & Albuquerque, J. A. (2016). Changes in soil nutrient availability explain biochar's impact on wheat root development. Plant Soil, 399, 333–343.
- [18] Peng Y., Yu P., Zhang Y., Sun G., Ning P., Li X., Li C. (2012). Temporal and spatial dynamics in root length density of field-grown maize and NPK in the soil profile, (131: 9-16) Field Crops Research.
- [19] Prendergast-Miller, M. T., Duvall, M. & Sohi, S. P. (2014). Biochar–root interactions are mediated by biochar nutrient content and impacts on soil nutrient availability. Blackwell Publishing Ltd. 65(1).
- [20] Renner R. (2007). Rethinking biochar. Environmental Sci-Enceand Technology. 41 (17), 5932–5933.
- [21] Wang, H. H. et al. (2017). Effects of Biochar on Root Development and Leaf Photosynthetic Chromatics of Flue-cured Integrity Technology. Johnal of Sol and Watter Conservation, 31 (02), 287–292.
- [22] Zhengyang, N., Shen, Y., Kuanxin, G. Q., Xianyi, X. & Diansan, L. Liu Guoshun. (2017). Effects of biochar on two typical tobacco-growing soil nutrients, carbon pool and flue-cured tobacco yield and quality. Soil Bulletin, 48(01):155–161.