

WPLYW GŁĘBOSZOWANIA NA ZMIANY WŁAŚCIWOŚCI FIZYKO-WODNYCH GLEBY PŁOWEJ

INFLUENCE OF SUBSOILING ON CHANGES OF PHYSICAL AND WATER PROPERTIES OF SOIL LESSIVÉS

Andrzej Bogdał, Łukasz Borek, Krzysztof Ostrowski

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. Badania wpływu głęboszowania na właściwości fizyko-wodne zbitych gleb uprawnych wykonano na gruntach ornym w miejscowości Wojnowice, położonej na terenie powiatu raciborskiego w województwie śląskim. Podczas prac terenowych wykonano i opisano po jednej odkrywce glebowej na polu głęboszowanym i niegłęboszowanym. Z każdego poziomu genetycznego obu profili glebowych pobrano próby gleby o strukturze nienaruszonej i naruszonej. Przy obu odkrywkach w warstwie ornej i podornej pomierzono przepuszczalność gleby. W laboratorium oznaczono skład granulometryczny, wilgotność, zawartość próchnicy i charakterystyczne gęstości gleby oraz wyliczono porowatość ogólną. Analiza wyników badań wykazała, że głębokie spulchnianie gleb pługowych powoduje zmniejszenie ich gęstości objętościowej oraz zwiększenie infiltracji i porowatości ogólnej. Stwierdzono również poprawę stosunków powietrzno-wodnych w profilu głęboszowanym – zwiększyła się tam zawartość powietrza glebowego, a zmniejszyło uwilgotnienie. Badania wykazały, że nawet po 20 miesiącach od wykonania zabiegów agromelioracyjnych ich wpływ na wykorzystanie potencjalnych zdolności retencyjnych gleby jest zauważalny, co w konsekwencji może prowadzić do łagodzenia skutków zjawisk ekstremalnych – susz i powodzi.

Abstract. Research on the effect of deep tillage on physical and water properties of compacted arable soils were conducted on arable lands located in Wojnowice in the raciborski county of the Silesia province (Poland). Two pits were made during the field works (on the field with and without deep tillage), which were then described in detail. Soils of undisturbed and disturbed structure were sampled from individual soil horizons. Soil permeability tests were conducted by each of the two pits. Granulometric composition,

Adres do korespondencji – Corresponding authors: dr inż. Andrzej Bogdał, mgr inż. Łukasz Borek, prof. dr hab. inż. Krzysztof Ostrowski, Katedra Melioracji i Kształtowania Środowiska, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, al. Mickiewicza 24/28, 30–059 Kraków, e-mail: rmbogdal@cyf-kr.edu.pl, lborek1@onet.eu, rmostrow@cyf-kr.edu.pl.

moisture content, humus content and characteristic soil densities were assessed in a laboratory and total porosity was computed. Analysis of the research results allowed to state that the applied deep loosening of soil lessivés using a plough affected a decrease in bulk density and increase in total porosity and soil permeability. Also an improvement of air-water relationships occurred, the proportion of gaseous phase increased whereas the share of liquid phase diminished. Conducted research demonstrated that even 20 months after the application of agromelioration measures, a positive effect on the use of the soil retentive potential is noticeable, which may result in alleviating the outcomes of droughts or floods.

Słowa kluczowe: agromelioracje, głęboszowanie, zagęszczenie gleb, przepuszczalność gleb

Key words: agromelioration, deep tillage, soil compaction, soil permeability

WSTĘP

Intensyfikacja mechanizacji prac polowych na glebach zwięzłych powoduje, że poruszające się po powierzchni pól maszyny i narzędzia rolnicze oraz pojazdy do transportu płodów rolnych przyczyniają się do nadmiernego zagęszczania ich wierzchniej warstwy i podglebia. Ponadto wykonywanie orki stale na tą samą głębokość dodatkowo zagęszcza warstwę podorną, co prowadzi do powstawania podeszwy płużnej, utrudniającej przesiąkanie wody do głębszych warstw profilu glebowego. Te niekorzystne zjawiska, kumulując się z roku na rok, pogarszają parametry fizyko-wodne gleb zwięzłych. W wyniku tych zmian dochodzi do zmniejszenia objętości porów glebowych; ponadto ograniczeniu ulega ilość powietrza glebowego, niezbędnego do prawidłowego rozwoju strefy korzeniowej roślin. Dalszą konsekwencją tego procesu jest osłabienie podsiąku kapilarnego, ograniczenie wykorzystania potencjalnych zdolności retencyjnych profilu, co w końcu prowadzi do zmniejszenia urodzajności i produktywności tych gleb [Walczykova i Frankowicz 1996, Pabin 1999, Pabin i in. 2000, Szeptycki 2003, Bryk i in. 2007, Włodek i in. 2007, Badalíková 2010, Kozłowski i Komisarek 2011, Nawaz i in. 2013].

Bardzo często niedomagania przydatności rolniczej gleb wynikają z niedoborów lub nadmiarów wody w profilu, spowodowanych jego nadmiernym zagęszczeniem. Ograniczona dostępność wody uniemożliwia migrację roztworu składników pokarmowych i ich wykorzystanie przez rośliny. Natomiast nadmiary wody, przy małej przepuszczalności wierzchniej warstwy gleby, wywołuje zjawiska erozyjne, szczególnie na terenach silnie urzeźbionych [Bogdał i in. 2011, Stred'anská i Majtaníková 2011, Stred'anský i in. 2011].

Dodatkowo niezadowolające stosunki powietrzno-wodne w glebach zwięzłych potęguje ciągle pogarszający się stan infrastruktury wodno-melioracyjnej, wynikający z braku jej należytego utrzymania poprzez odpowiednią konserwację i renowację.

Dobrym uzupełnieniem urządzeń melioracji wodnych szczegółowych, poprawiających skuteczność ich działania, są zabiegi agromelioracyjne, które w wielu krajach od dawna cieszą się dużym uznaniem [Cieśliński 1997]. W Polsce również zyskują coraz większą popularność. Obecnie rolnicy częściej wykonują zabiegi agromelioracyjne, ponieważ mają większą świadomość, że przez to wpływają na poprawę właściwości fizyko-wodnych, biologicznych, chemicznych i cieplnych czynnej warstwy profilu glebowego i podglebia.

Do zabiegów agromelioracyjnych należy między innymi głębokie spulchnianie profilu gleb zwięzłych, zwane głęboszowaniem [Walczykowska 1986, Souch i in. 2004, Ragassi i in. 2012].

Celem pracy jest ocena wpływu głęboszowania na właściwości fizyko-wodne gleby pólowej po upływie 20 miesięcy od jego wykonania.

MATERIAŁ I METODY

Badania prowadzono na gruntach ornym z plantacją kukurydzy w miejscowości Wojnowice, położonej w gminie Krzanowice na terenie powiatu raciborskiego w województwie śląskim. Według regionalizacji fizycznogeograficznej Kondrackiego [2009] obszar ten leży na Płaskowyżu Głubczyckim (318.58), należącym do podprowincji Nizina Śląska (318.5). Występują tu przeważnie gleby brunatne i pólwe wytworzone najczęściej z lessopodobnych utworów pyłowych.

Na podstawie mapy glebowo-rolniczej w skali 1 : 5000 stwierdzono, że pod względem przydatności rolniczej gleby na objętym badaniami obiekcie tworzą kompleks pszenney dobry (2) oraz klasę bonitacyjną gruntów ornym dobrych (IIIa). Ze względu na typologię są to gleby pólwe, zbudowane z lessów i utworów lessowatych ilastych.

Zakres badań obejmował pomiary terenowe przeprowadzone w czerwcu 2012 r. oraz kilkutygodniowe oznaczenia laboratoryjne. Badania polowe polegały na wykonaniu dwóch odkrywek glebowych do głębokości 150 cm, w których opisano cechy morfologiczne poszczególnych poziomów genetycznych. Odkrywkę nr 1 wykonano na polu, które w październiku 2010 r. było głęboszowane do głębokości około 50 cm. Odkrywka nr 2 była usytuowana w bezpośrednim sąsiedztwie odkrywki nr 1, ale na polu, na którym prowadzono tylko tradycyjną orkę, bez głęboszowania. Z poszczególnych warstw profili pobrano w trzech powtórzeniach do woreczków foliowych próbki gleby o nienaruszonej strukturze do cylindereków o pojemności 100 cm³ oraz o naruszonej strukturze.

W celu określenia wpływu głęboszowania na właściwości fizyko-wodne gleby, bezpośrednio w terenie przy obu odkrywkach wykonano w trzech powtórzeniach metodą podwójnych pierścieni [Mocek i Drzymała 2010], pomiary infiltracji nieustalonej w warstwie ornej (na głębokości 10 cm) i podornej (na głębokości 40 cm). W laboratorium w pobranym materiale glebowym, oznaczono:

- skład granulometryczny metodą areometryczną Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego [PN-R-04032:1998], na podstawie którego określono gatunki gleb [PTG 2009],
- wilgotność masową i objętościową oraz gęstość objętościową naturalną i gęstość objętościową metodą suszarkowo-wagową [Mocek i Drzymała 2010],
- gęstość fazy stałej metodą piknometryczną [Mocek i Drzymała 2010],
- szacunkową zawartość próchnicy w glebie metodą strat prażenia w piecu muflowym w temperaturze 550°C [Bednarek i in. 2011].

Ponadto na podstawie wartości gęstości fazy stałej i objętościowej obliczono porowatość ogólną.

WYNIKI

W obu profilach glebowych wyodrębniono po 5 poziomów genetycznych, na podstawie których ustalono, że na polu głęboszowanym i niegłęboszowanym zalegają gleby płowe zaciekowe o podtypie opadowo-glejowym [wg PTG 2011]. Analizując profile, zaobserwowano nieznaczne różnice w miąższościach wierzchnich poziomów genetycznych badanych odkrywek glebowych. Miąższość poziomu próchnicznego (Ap) w odkrywce nr 1 była o dwa centymetry większa niż w odkrywce nr 2. Natomiast miąższość drugiego poziomu genetycznego w odkrywce nr 1 była o dwa centymetry mniejsza niż w odkrywce nr 2 (tab. 1). W obu odkrywkach granice przejścia poziomu Ap w poziom wymywania (E) były faliste zaciekowe.

Na podstawie składu granulometrycznego stwierdzono, że dwie pierwsze warstwy obu profili glebowych są zbudowane z pyłów gliniastych (pyg). Ze względu na średnią zawartość frakcji pyłowej 62–74%, frakcji piaskowej 16–29% oraz frakcji ilastej 9–13%, gleby na obiekcie Wojnowice zakwalifikowano do kategorii 6 – gleb średnio pyłowych [PTG 2009].

Wilgotności gleby pierwszych trzech warstw genetycznych w odkrywce nr 1 na polu głęboszowanym były od 0,7 do 6,2% mas. oraz od 1,9 do 8,0% obj. mniejsze od odpowiadających im wartości z odkrywki nr 2. Natomiast w przypadku dwóch dolnych poziomów genetycznych, większe wilgotności gleby stwierdzono w odkrywce nr 2 na polu niegłęboszowanym (tab. 1). Wyniki te potwierdzają pozytywny wpływ głęboszowania na warunki wodne gleb.

Miarą zagęszczenia gleb użytkowanych rolniczo jest między innymi wartość gęstości objętościowej, która zależy od szeregu czynników naturalnych, takich jak skład granulometryczny, struktura, zawartości próchnicy i minerałów budujących glebę (gęstość właściwa), oraz od zastosowanych zabiegów agrotechnicznych [Paluszek 2011].

Wartości gęstości objętościowej dwóch górnych warstw w profilu gleby głęboszowanej były o 0,3 i 0,4 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ mniejsze niż w profilu gleby niegłęboszowanej. Jednak w przypadku obu odkrywek układ gleby w górnych warstwach profili kwalifikuje się do zbitego. Głębsze warstwy genetyczne obu odkrywek pod względem gęstości objętościowej są silniej zróżnicowane, a układ gleby kwalifikuje się od zbitego do bardzo silnie zbitego (tab. 1). Gęstości właściwe oscylowały w przedziale od 2,62 do 2,69 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$, co jest typowe dla gleb mineralnych (tab. 1). Najzasobniejszy w substancję organiczną był wierzchni poziom genetyczny gleb. W głębszych poziomach zawartości próchnicy były od około 2 do 3 razy mniejsze (tab. 1).

Porowatość ogólna dwóch górnych warstw gleby głęboszowanej była odpowiednio o 1,2 i 1,5% większa niż niegłęboszowanej (tab. 1). Głębsze warstwy genetyczne obu odkrywek nie wykazywały wyraźnej tendencji zmian porowatości wraz z głębokością. W odkrywce nr 1 jej wartości kształtowały się od 30,1 do 36,1% i były wyraźnie mniejsze od porowatości warstw będących w zasięgu oddziaływania głębosza. Natomiast w odkrywce nr 2 takiej prawidłowości nie stwierdzono; porowatość warstwy trzeciej w tej odkrywce była nawet większa niż górnej (tab. 1). Wyniki te potwierdzają pozytywny wpływ głęboszowania na właściwości fizyczne czynnej warstwy profilu glebowego.

Gęstość właściwa i objętościowa oraz porowatość i zawartość próchnicy (< 5%), pozwoliła zakwalifikować badane gleby do mineralnych właściwych [Zawadzki 2002].

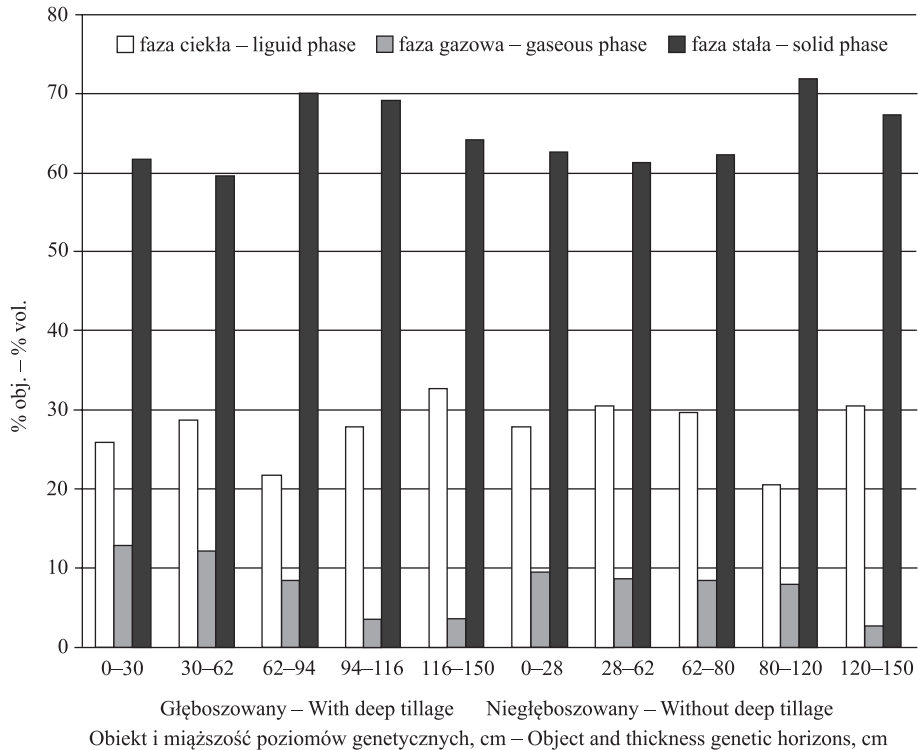
Tabela 1. Wybrane właściwości fizyczne i wodne gleb na obiekcie Wojnowice
 Table 1. Selected physical and water properties of soils on the Wojnowice object

Lokalizacja – nr odkrywki Location – number of pit	Objekt – Object	Miąższość warstw Thickness of layers	Wilgotność masowa Mass moisture	Wilgotność objętościowa Bulk moisture	Gęstość objętościowa gleby wilgotnej Actual bulk density	Gęstość objętościowa Bulk density	Gęstość fazy stałej Specific density	Zawartość próchnicy Humus content	Porowatość ogólna Total porosity	Gatunki gleb [wg PTG 2009] Soils types [according PTG 2009] ¹	Stan zagęszczenia gleb State of soil compaction ²
		<i>h</i>	<i>W_m</i>	<i>W_v</i>	ρ_{ov}	ρ_o	ρ_s	<i>S_p</i>	<i>P_o</i>		
		cm	% mas. % mass	% obj. % vol.	g · cm ⁻³			%			
Wojnowice – 1	Głęboszowany With deep tillage	0–30	16,1	25,8	1,86	1,61	2,62	3,2	38,6	pyg	z
		30–62	18,0	28,4	1,86	1,58	2,65	1,5	40,4	pyg	z
		62–94	11,7	21,7	2,08	1,86	2,66	1,1	30,1	gp	sz
		94–116	15,0	27,6	2,12	1,85	2,68	1,6	31,3	gz	sz
		116–150	19,0	32,6	2,05	1,72	2,69	1,6	36,1	pyi	sz
Wojnowice – 2	Niegłęboszowany Without deep tillage	0–28	16,9	27,7	1,92	1,64	2,62	3,4	37,4	pyg	z
		28–62	18,7	30,3	1,92	1,62	2,65	1,6	38,9	pyg	z
		62–80	17,9	29,7	1,96	1,66	2,67	2,2	37,8	pyi	z
		80–120	10,7	20,2	2,11	1,90	2,66	1,3	28,6	gz	bsz
		120–150	16,8	30,3	2,10	1,80	2,68	1,6	32,8	pyi	sz

¹ Gatunki gleb – Soils types: pyg – pył gliniasty – loamy silt; pyi – pył ilasty – clayey silt; gp – glina piaszczysta – sandy loam; gz – glina zwykła – ordinary loam

² Stan zagęszczenia gleb – State of soil compaction: z – zbity – compacted; sz – silnie zbity – heavily compacted; bsz – bardzo silnie zbity – very heavily compaction

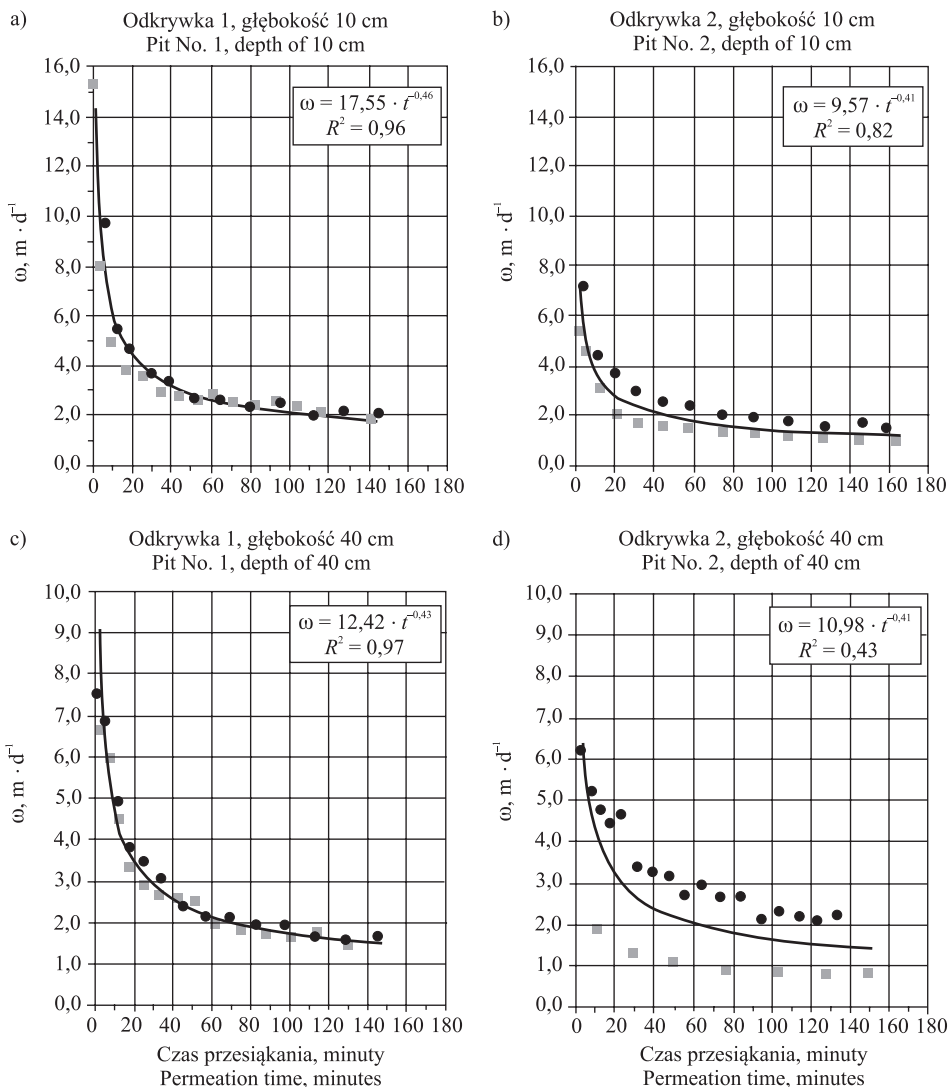
Gleba jest dynamicznym układem trójfazowym, złożonym z faz: stałej, ciekłej i gazowej [Hillel 2012]. W poziomie próchnicznym i warstwie podornej, będących w zasięgu oddziaływania zębów głębosza, wzrósł procentowy udział fazy gazowej, a zmniejszył się udział fazy ciekłej (ryc. 1).



Ryc. 1. Procentowy udział trzech faz w glebie obiektu Wojnowice
Fig. 1. Proportions of three phases in the soil in Wojnowice object

Połowe badania przepuszczalności wodnej warstwy ornej i podornej gleb wykonano w trzech powtórzeniach, ale do analizy przyjęto tylko wyniki z dwóch pomiarów o najbardziej zbliżonych wartościach. Dla każdej warstwy wykonano wykresy zmian przepuszczalności wodnej w czasie. Ponadto dodano linie trendu oraz odpowiadające im równania (ω) i współczynniki determinacji (R^2) (ryc. 2).

Na polu głęboszowanym w warstwie ornej na głębokości 10 cm przewodnictwo wodne w warunkach ustalonych po 140 minutach wynosiło $\omega_{ust.} = 1,81 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$ (ryc. 2a), co wg Mocka i Drzymały [2010] odpowiada średnio dużej klasie infiltracji. Przepuszczalność ta była o 44% większa niż na obiekcie niegłęboszowanym, gdzie wartość $\omega_{ust.} = 1,26 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$, co odpowiada średniej klasie infiltracji (ryc. 2b). W warstwie podornej na głębokości 40 cm infiltracja ustalona po 140 minutach była tylko o 2% większa na polu głęboszowanym ($\omega_{ust.} = 1,48 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$) niż na niegłęboszowanym ($\omega_{ust.} = 1,45 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$) (ryc. 2c i 2d) i w obu przypadkach odpowiadała klasie średniej. W odkrywce nr 2 przepuszczalność



Ryc. 2. Zmiany przepuszczalności gleb w czasie: a) i c) – gleba głęboszowana, b) i d) – gleba niegłęboszowana; kolor szary – pierwsze powtórzenie, kolor czarny – drugie powtórzenie

Fig. 2. Changes of soil permeability in time: a) and c) – soil with deep tillage, b) i d) – soil without deep tillage; grey color – first repetition, black color – second repetition

w warstwie podornej była o 15% większa w stosunku do warstwy ornej, a w odkrywce nr 1 większą o 22% infiltrację ustaloną stwierdzono w wierzchniej warstwie gleby.

W odkrywce nr 1 na głębokości 10 cm w początkowej fazie pomiaru infiltracja niestabilna była bardzo duża. Po 20 minutach zmalała do dużej, a po około 50 minutach do średnio dużej (ryc. 2a). Na głębokości 40 cm na początku pomiaru infiltracja niestabilna zmieniła

się również od bardzo dużej do dużej po około 10 minutach, średnio dużej po 20 minutach, by po 130 minutach osiągnąć klasę infiltracji średniej (ryc. 2c). Natomiast w odkrywcę nr 2 na głębokości 10 cm infiltracja nieustalona na początku pomiaru była bardzo duża, po 20 minutach zmalała do średnio dużej, a po 160 minutach osiągnęła klasę średnią (ryc. 2b). W warstwie podornej infiltracja nieustalona na początku pomiaru była również bardzo duża, po około 5 minutach zmalała do dużej, po 22 minutach do średnio dużej, a po około 90 minutach zaczęła stabilizować się na poziomie klasy średniej (ryc. 2d). Przyczyny tak szybkiego zmniejszenia się przepuszczalności należy upatrywać w dużej zawartości frakcji pylastej, powodującej pęcznienie gleby, które zmniejsza porowatość i spowolnia infiltrację wody w głąb profilu oraz wpływa na stosunki powietrzno-wodne [Kuźnicki i in. 1979].

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Podjęcie problemu badawczego dotyczącego określenia wpływu głębokiego spulchniania gleb nadmiernie zagęszczonych wynika z jego aktualności i przydatności w kontekście często występujących zjawisk ekstremalnych, tj. susz i powodzi. Usprawnienie odpływu nadmiernej ilości wody z profilu glebowego oraz polepszenie struktury i wykorzystania retencyjności gleb uprawnych o nadmiernie zagęszczonym podłożu, charakteryzujących się niestabilnymi warunkami powietrzno-wodnymi, przyczyni się do lepszego gospodarowania zasobami wodnymi w ośrodku glebowym zarówno w latach mokrych, jak i suchych.

Postępu technicznego, dążącego do ciągłego usprawniania mechanizacji prac polowych w rolnictwie, nie powstrzyma się, dlatego należy szukać takich rozwiązań, które przy właściwie dobranych i wykonanych zabiegach agromelioracyjnych pozwolą w pełni wykorzystać potencjał produkcyjny gleb.

Na podstawie analizy wyników przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski oraz stwierdzenia poznawcze i praktyczne:

- gleby płowe na obiekcie Wojnowice podlegają degradacji, wynikającej z ich podatności na zagęszczanie przez ciężkie maszyny rolnicze;
- w strefie zasięgu głębosza zmniejszeniu uległa gęstość objętościowa i jednocześnie zwiększyła się porowatość gleb,
- zabieg głęboszowania przyczynił się do zmian warunków powietrzno-wodnych w badanej glebie – nastąpił przyrost zawartości powietrza glebowego, a zmniejszyło się uwilgotnienie w zruszonej głęboszem warstwie profilu,
- głęboszowanie wierzchniej warstwy profilu glebowego zwiększyło jej infiltrację,
- po 20 miesiącach od przeprowadzenia zabiegów agromelioracyjnych, gleba głęboszowana nadal posiada lepsze właściwości fizyko-wodne od gleby nieobjętej tym zabiegiem.

PIŚMIENNICTWO

- Badalíková B., 2010. Influence of Soil Tillage on Soil Compaction. *Soil Engineering – Soil Biology* 20, 19–30.
- Bednarek R., Dziadowic H., Pokojska U., Prusinkiewicz Z., 2011. *Badania ekologiczno-gleboznawcze*. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa.

- Bogdał A., Kowalik T., Ostrowski K., Żarnowiec W., 2011. Właściwości fizyko-wodne gleb zlewni potoku Korzeń w aspekcie zamulania planowanego zbiornika wodnego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 561, 25–36.
- Bryk M., Kołodziej B., Serzysko T., 2007. Wpływ procesów mrozowych na właściwości powietrzne ugniatanej rędziny. Acta Agrophys. 9(3), 571–582.
- Cieśliński Z., 1997. Agromelioracje w kształtowaniu środowiska rolniczego. Wydawnictwo AR Poznań.
- Hillel D., 2012. Gleba w środowisku. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa.
- Kondracki J., 2009. Geografia regionalna Polski. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa.
- Kozłowski M., Komisarek J., 2011. Dynamika uwilgotnienia w wybranych glebach płowych i czarnych ziemiach na Pojezierzu Poznańskim. Roczn. Glebozn. 62(2), 226–239.
- Kuźnicki F., Białousz St., Skłodowski P., 1979. Podstawy gleboznawstwa z elementami kartografii i ochrony gleb. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa.
- Mocek A., Drzymała S., 2010. Geneza, analiza i klasyfikacja gleb. Wydawnictwo UP Poznań.
- Nawaz M.F., Bourrié G., Trolard F., 2013. Soil compaction impact and modelling. Agron. Sustain. Dev. 33, 291–309.
- Pabin J., 1999. Wpływ stanu fizycznego gleby w warstwie ornej i podornej na wegetację i plonowanie roślin. Acta Agrophys. 23, 217–233.
- Pabin J., Włodek S., Biskupski A., Runowska-Hryńczuk B., Kaus A., 2000. Ocena właściwości fizycznych gleby i plonowania roślin przy stosowaniu uproszczeń uprawowych. Inż. Rol. 6(17), 213–219.
- Paluszek J., 2011. Kryteria oceny jakości fizycznej gleb uprawnych Polski. Acta Agrophys. 191, Rozprawy i Monografie 2011(2).
- PN–R–04032. 1998. Gleby i utwory mineralne. Pobieranie próbek i oznaczanie składu granulometrycznego. PKN.
- PTG, 2009. Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych – PTG 2008. Roczn. Glebozn. 60(2), 5–16.
- PTG. 2011. Systematyka gleb Polski. Roczn. Glebozn. 62(3), 5–142.
- Ragassi C.F., Lopes C.A., Guedes Í.M.R., 2012. Effect of soil compaction alleviation on quality and yield of potato. [W:] Sustainable Potato Production: Global Case Studies. Springer Dordrecht, 403–418.
- Souch C.A., Martin P.J., Stephens W., Spoor G., 2004. Effects of soil compaction and mechanical damage at harvest on growth and biomass production of short rotation coppice willow. Plant and Soil 263(1), 173–182.
- Stred'anská A., Majtaníková J., 2011. Productive potential of soils and its utilization at the observance of nitrate directive policy. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 561, 171–179.
- Stred'anský J., Halva J., Grešová L., 2011. Precise estimation of the water erosion intensity. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 561, 181–188.
- Szeptycki A., 2003. Wpływ ciężkich maszyn rolniczych na fizykochemiczne właściwości gleby. J. Res. Applic. Agric. Engin. 48(2), 38–42.
- Walczykowska M., 1986. Gęboszowanie jako sposób na usuwanie nadmiernego zagęszczenia podglebia. Masz. Ciągn. Rol. 10/11, 6, 16–19.
- Walczykowska M., Frankowicz R., 1996. Wpływ wybranych wilgotności i obciążeń na zagęszczenie gleby piaszczystej i gliniastej. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 425, 275–280.
- Włodek S., Biskupin A., Pabin J., 2007. Plonowanie roślin oraz zmiany retencji wodnej gleby w różnych systemach uprawy roli. Inż. Rol. 3(91), 195–200.
- Zawadzki S., 2002. Podstawy gleboznawstwa. PWRiL Warszawa.

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 12.12.2014