

Wojtasik Mieczysław, Szatten Dawid. Kategorie optymalnych dla roślin gęstości gleb = Categories of optimal bulk density of soils for plants. *Journal of Education, Health and Sport*. 2015;5(7):301-313. ISSN 2391-8306. DOI [10.5281/zenodo.20065](https://doi.org/10.5281/zenodo.20065)  
<http://ojs.ukw.edu.pl/index.php/johs/article/view/2015%3B5%287%29%3A271-300>  
<https://pbn.nauka.gov.pl/works/585098>  
<http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.20065>  
Formerly Journal of Health Sciences. ISSN 1429-9623 / 2300-665X. Archives 2011–2014  
<http://journal.rsw.edu.pl/index.php/JHS/issue/archive>

Deklaracja.

Specyfika i zawartość merytoryczna czasopisma nie ulega zmianie.

Zgodnie z informacją MNiSW z dnia 2 czerwca 2014 r., że w roku 2014 nie będzie przeprowadzana ocena czasopism naukowych; czasopismo o zmienionym tytule otrzymuje tyle samo punktów co na wykazie czasopism naukowych z dnia 31 grudnia 2014 r.

The journal has had 5 points in Ministry of Science and Higher Education of Poland parametric evaluation. Part B item 1089. (31.12.2014).

© The Author (s) 2015;

This article is published with open access at Licensee Open Journal Systems of Kazimierz Wielki University in Bydgoszcz, Poland and Radom University in Radom, Poland Open Access. This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Noncommercial License which permits any noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author(s) and source are credited. This is an open access article licensed under the terms of the Creative Commons Attribution Non Commercial License

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted, non commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the work is properly cited.

This is an open access article licensed under the terms of the Creative Commons Attribution Non Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted, non commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the work is properly cited.

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this paper.

Received: 15.06.2015. Revised 05.07.2015. Accepted: 12.07.2015.

## Kategorie optymalnych dla roślin gęstości gleb Categories of optimal bulk density of soils for plants

Mieczysław Wojtasik, Dawid Szatten

Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy, Wydział Kultury Fizycznej, Zdrowia i Turystyki, Instytut Geografii, 85-428 Bydgoszcz, ul. Mińska 15

### Streszczenie

Gęstość objętościowa gleby jest pierwszorzędnym wskaźnikiem jej fizycznego stanu i najważniejszym parametrem w ocenie efektów zabiegów uprawowych. W badaniach własnych dowiedziono, iż najbardziej miarodajną wielkością z zakresu zmian tej cechy jest wielkość tzw. gęstości naturalnej, do której gleba samoczynnie dąży ze stanu spulchnienia lub zagęszczenia. Problemem jest powszechna niezajomość reguł prowadzących do wyznaczenia tej wielkości. Wskutek tego prowadzone w wielu krajach świata eksperymenty w układzie: gęstość gleby – plon roślinny, nie przynoszą wyników układających się w rozpoznawalny i użyteczny w praktyce system.

**Słowa kluczowe:** optymalna gęstość gleby, gatunek rośliny, kategorie optymalnej dla roślin gęstości gleb, grupa granulometryczna utworu glebowego.

### Abstract

Bulk density of soil is a prime indicator of its physical state and the most important parameter in assessing the effects of the cultivation process. In our study it has been proved that the most accurate measurement of the range of changes of this feature is the value of so-called. natural density, to which the soil automatically tends form the state of disintegration or compaction. The problem is the universal ignorance of the rules leading to the determination of this value. As a result experiments conducted in many countries around the world in the system: the density of the soil - plant yield, do not provide the results arranged in a recognizable neither useful system.

**Key words:** optimal bulk density, plant species, categories of optimal bulk density of soils for plants, grain size groups of soils.

## Wprowadzenie

Od około 60 lat w wielu krajach prowadzi się liczne eksperymenty w układzie: gęstość gleby – plon roślinny. Otrzymano wiele czynników, których nie da się powiązać w rozpoznawalny i użyteczny w praktyce system. Zatem nie stanowią one odpowiedniej wykładni do kontroli, oceny i kształtowania gęstości wybranej gleby w celu otrzymania maksymalnego plonu określonego gatunku rośliny, przy zachowaniu innych prawidłowych reguł uprawy, nawożenia i pielęgnacji. Z danych literaturowych nie wynika dostatecznie jasno dlaczego gleby o podobnym charakterze uziarnienia wykazują wyraźnie różniące się wielkości optymalnych gęstości, na przykład u Ślusarczyka [11] dla glin piaszczystych i glin lekkich wynoszące 1,36 – 1,66 Mg m<sup>-3</sup>. Dla wszystkich zaś gleb mineralnych u tego autora rozbieżność między optymalnymi wielkościami w warstwie ornej o miąższości 25 cm wynosi od 1,20 do 1,66 Mg m<sup>-3</sup>. Nie wiadomo też czy optymalne gęstości wybranych gleb są takie same dla różnych gatunków roślin, czy raczej każdy gatunek, a nawet odmiana rośliny wykazuje swoistą wrażliwość na wielkość gęstości gleby. Według Baranowskiego i Pabina [2] zakres optymalnych gęstości gleb dla buraków cukrowych wynosi 1,00 – 1,47 Mg m<sup>-3</sup>. Czyż i Tomaszewska jako optymalną dla buraków cukrowych na glebach piaszczystych podają 1,30 Mg m<sup>-3</sup> [3], Święcicki i inni [13] 1,10 – 1,30 Mg m<sup>-3</sup>, ale także za Vimitalem 1,00 – 1,50 Mg m<sup>-3</sup>, Adams i inni [1] na glinie ciężkiej pylastej 1,06 – 1,07 Mg m<sup>-3</sup>. Ta ostatnia wielkość według wyżej wymienionych autorów jest optymalna również dla pszenicy ozimej, kukurydzy i ziemniaków, a dla pomidorów 1,02 – 1,06 Mg m<sup>-3</sup>. Drewery i inni [4] podają jeszcze niższe optima: 0,9 – 1,2 Mg m<sup>-3</sup>. Natomiast Śmierzchalski [12] dla pszenicy ozimej w glebach piaszczystych i gliniastych jako optymalną wskazuje gęstość 1,60 Mg m<sup>-3</sup>, a w lessach 1,45 Mg m<sup>-3</sup>. Dla jęczmienia jarego zaś optimum gęstości gleb na glebach piaszczystych i lessach zdaniem Śmierzchalskiego wynosi 1,30 Mg m<sup>-3</sup>, a na glebach gliniastych 1,45 Mg m<sup>-3</sup>. Zatem według Śmierzchalskiego jęczmień jary wymaga gęstości o

0,15 Mg m<sup>-3</sup> mniejszej niż pszenica ozima w uprawie na glebach gliniastych i lessach. Różnice w wielkościach optymalnej gęstości gleby w odpowiedzi na wymagania gatunkowe roślin stwierdził również Roszak i inni [9], którzy w glebie wytworzonej z gliny piaszczystej dla pszenicy ozimej otrzymali 1,50 – 1,60, dla zbóż jarych 1,40 – 1,50, a dla roślin strączkowych 1,15 – 1,30 Mg m<sup>-3</sup>. Szymankiewicz jako optymalne gęstości dla kukurydzy w warstwie 0-60 cm piasków słabogliniastych i gliniastych wymienia 1,68 i 1,69 Mg m<sup>-3</sup> [10]. W tym przypadku zwraca uwagę mało dokładne potraktowanie głębokości w pedonie, z której pobrano próbki do pomiaru gęstości gleby, jeśli zważy się, iż wpływ głębokości w pedonie na gęstość wynosi +0,021 Mg m<sup>-3</sup> na każdy 1 dm [16], a więc między 1,25 dm, a 6,0 dm jest różnica w gęstości gleby 0,100 Mg m<sup>-3</sup>.

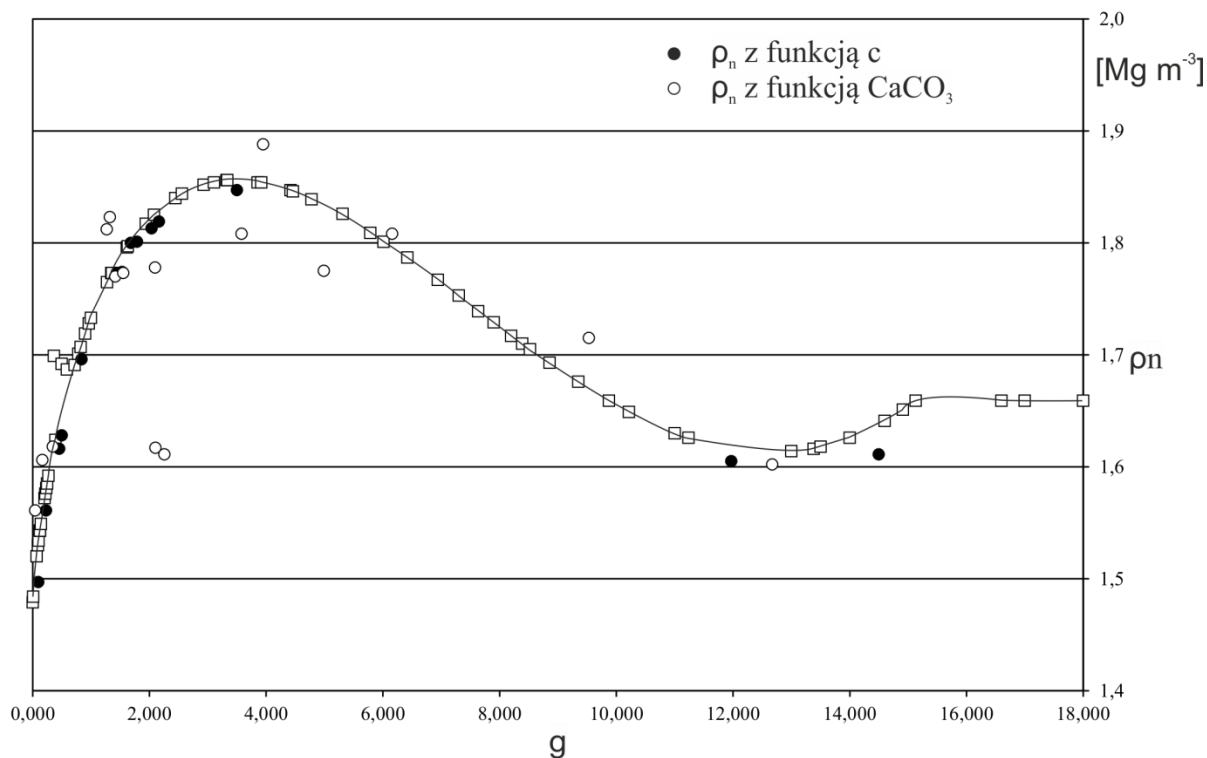
## **Cel**

Przegląd dotychczasowych badań w układzie: gęstość gleby – plon roślinny wyraźnie wskazuje, że istnieje pilna potrzeba wprowadzenia do literatury znacznie bardziej precyzyjnej metody wyznaczania optimum fizycznego każdej gleby dla roślin i w następstwie maksymalnego ich plonowania.

## **Metody**

Przegląd wyników badań w układzie: gęstość gleby – plon roślinny umożliwił ocenę wagi problemu, a w przypadkach lepiej opisanych – porównanie z wynikami ustalonymi według własnego systemu empiryczno – syntetycznego. Przypomniano najbardziej charakterystyczne fragmenty krzywej gęstości naturalnej  $\rho_n$  [20] według wielkości granulometrycznego wskaźnika  $g$ , z zastąpieniem obiektu przy  $g = 15,029$  na obiekt o wskaźniku  $g = 13,380$  (ze względu na niepewny zapis źródła) i uzupełnieniu o 2 obiekty, tj. przy  $g = 7,633$  oraz  $g = 18,00$ . Do obrazu tej krzywej (rys. 1) dodano 34 punkty badawcze

dające pogląd na to jak na wielkości  $\rho_n$  wpływają, oprócz wskaźnika  $g$ , funkcja zawartości węgla organicznego ( $c$ ) (tab. 1a) oraz funkcja zawartości węglanu wapnia ( $w$ ) (tab. 1b). Wyznaczono również, odpowiadające charakterystycznym fragmentom krzywej  $\rho_n$ , zakresy



Rys. 1. Zależność pomiędzy wartościami granulometrycznego wskaźnika  $\rho$ , a gęstością naturalną gleby obliczoną za pomocą formuły  $\rho_n$

optymalnych gęstości gleb na głębokości 1,25 dm, co stanowi środek warstwy ornej o miąższości 2,5 dm (tab. 2). Wielkości te podano w postaci skorygowanej o wpływ węgla organicznego w wymiarze 1,2%, co odpowiada średniej zawartości tego składnika w glebach brunatnych [7]. Z tymi wielkościami skonfrontowano własne wyniki z dwóch eksperymentów w układzie gęstość gleby – plon roślinny. Przedyskutowano również przytoczone we „wprowadzeniu” wyniki badań innych autorów, przy uwzględnieniu najbardziej prawdopodobnych stanów granulometrii (wskaźnika  $g$ ), zawartości węgla organicznego (funkcja  $c$ ) oraz zagłębienia (głębokości) w pedonie (funkcja  $z$ ).

Nie uwzględniono w zaproponowanych optymalnych wielkościach gęstości (tab. 2) poprawek z tytułu oddziaływania węgla wapnia. Obecność tego składnika w warstwach ornych gleb wytworzonych z różnego rodzaju piasków, utworów pyłowych, glin oraz łąw

Tab. 1. Gęstość naturalna różnych gleb ( $\rho_n$ ) na głębokości 9,0 – 11,0 dm

a. W zależności od granulometrycznego wskaźnika (g) oraz zawartości węgla organicznego (c),

b. W zależności od granulometrycznego wskaźnika (g) oraz zawartości węglanu wapnia (w).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
a.											
1	Janiszewo, dr.g., 75 r.	17.	2,3/17,0/55,0	i	0,042	1,97	-	9,75	1,390	1,390	0
2	Łęgnowo 4.89 r., Ł.	17.	2,8/34,0/29,0	ip	0,097	0,60	-	9,00	1,524	1,497	+1,8
3	Janiszewo IIIB, 73 r.	17.	6,3/21,0/41,0	i	0,154	1,77	-	9,75	1,413	1,451	-2,6
4	Pojezierze Starogardz. - Cierzpice	19.	11,0/8,0/48,0	gbc	0,229	0,32	-	9,75	1,510	1,561	-3,3
5	Korabniki 8	17.	24,0/48,0/11,0	płg	0,458*	0,40	-	9,00	1,560	1,616	-3,5
6	Dorposz Chełm. 45	17.	10,5/49,0/21,0	płi	0,500	0,35	-	11,00	1,578	1,628	-3,1
7	Wichorze 51	17.	18,5/26,0/22,0	gpc	0,839	0,23	-	9,25	1,690	1,696	-0,3
8	Trzęmiętowo 87	17.	37,1/27,0/27,0	gsp	1,441	0,13	-	10,50	1,769	1,773	-0,2
9	Narkowy	17.	33,0/30,0/21,5	glp	1,535	0,25	-	9,75	1,765	1,774	-0,5
10	Radziejów – Przemystka	17.	32,0/27,0/19,0	glp	1,684	0,34	-	10,00	1,780	1,800	-1,1
11	Minikowo 2	17.	32,0/33,0/18,0	glp	1,788	0,11	-	10,00	1,812	1,801	+0,6
12	Wierzchucinek 106	17.	32,6/34,0/16,0	glp	2,038	0,17	-	9,00	1,773	1,813	-2,2
13	Dyblin 31	17.	30,3/32,0/14,0	glp	2,164	0,17	-	10,50	1,800	1,819	-1,0
14	Trzęmiętowo 72	17.	42,0/27,0/12,0	gpp	3,500	0,16	-	10,50	1,820	1,847	-1,5
15	Korabniki 7	17.	41,9/49,0/3,5	płg	11,971	0,18	-	10,00	1,606	1,605	+0,1
16	Korabniki 11	17.	58,0/37,0/4,0	plp	14,500	0,45	-	9,00	1,564	1,611	-2,9
17	Łęgnowo - las	17.	89,2/1,0/1,0	pl	>45,0	0,16	-	10,00	1,664	1,650	-0,8
b.											
1	Zakł. Dośw. Świerklaniec 17	8.	2,1/14,0/47,0	i	0,045	-	8,30	10,25	1,570	1,561	+0,6
2	Parchatka 35a	17.	2,0/70,8/12,0	płg	0,167	-	6,30	9,25	1,610	1,606	+0,2
3	Jaszcz – park	17.	28,8/41,0/10,0	płg	0,347*	-	15,30	9,25	1,610	1,618	-0,5
4	Mysłów 20	6.	30,5/18,0/24,0	gs	1,271	-	6,32	10,00	1,870	1,812	+3,2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5	Wielowieś 60	17.	21,2/35,0/16,0	gsp	1,325	-	8,40	10,00	1,850	1,823	+1,5
6	Gnojno 4	17.	24,1/35,0/17,0	gsp	1,418	-	16,40	10,50	1,793	1,770	+1,3
7	Gnojno B	17.	26,4/33,0/17,0	gsp	1,553	-	17,20	10,50	1,769	1,773	-0,2
8	Grochowiska 40	17.	42,0/20,0/20,0	gl	2,100	-	śl.	9,00	1,815	1,778	+2,1
9	Wierzbiczany 15	17.	29,5/29,0/14,0	gsp	2,107	-	31,24	11,00	1,705	1,617	+5,4
10	Pojez. Kujawskie – Babiak 1	5.	44,3/22,1/19,6	gp	2,260	-	34,20	9,00	1,580	1,611	-1,9
11	Trzęmiętowo 74	17.	35,8/31,0/10,0	glp	3,580	-	śl.	10,50	1,800	1,808	-0,4
12	Połajewo	17.	47,4/19,0/12,0	gl	3,950	-	12,43	9,60	1,890	1,888	+0,1
13	Kruśliwiec 1 (87 r.)	17.	49,9/30,0/10,0	pgmp	4,990	-	19,90	10,00	1,773	1,775	-0,1
14	Gliszcz 62	17.	49,3/27,0/8,0	pgmp	6,160	-	2,99	10,50	1,778	1,808	-1,7
15	Gliszcz 65	17.	57,2/21,0/6,0	pgl	9,533	-	5,85	10,50	1,770	1,715	+3,2
16	Radziejów – las	17.	31,7/64,0/2,5	plp	12,672	-	1,60	10,00	1,594	1,602	-0,5
17	Trzęmiętowo 89	17.	54,0/13,0/2,0	pl	27,00	-	2,66	11,00	1,638	1,668	-1,8

Objaśnienia: 1 – liczba porządkowa; 2 – Region – miejscowość, cechy gleby, nr profilu; 3 – pozycja literatury według spisu; 4 – skład

granulometryczny gleby: % części 0,5-0,1/0,1-0,02/<0,002 mm; 5 – skrót nazwy grupy gleby wg BN-78/9180-11; 6 – 9 wyznaczniki  $\rho_n$ : 6 – g,

przy  $g^*$  - funkcja  $ag + b\frac{1}{g}$ ; 7 – c, 8 –  $\text{CaCO}_3$ , 9 – z; 10 –  $\rho_t$ ; 11 –  $\rho_n$ ; 12 –  $\Delta\rho = \frac{\rho_t - \rho_n}{\rho_n} 100\%$

Tab. 2. Kategorie gleb według wielkości ich gęstości naturalnej ( $\rho_n$ )

Numer kategorii	Przedział wskaźnika g	$\rho_n$ w $\text{Mg m}^{-3}$		Nazwa kategorii gleby
		na głębokości 1,25 dm*	na głębokości 10,0 dm	
I	0,000 – 0,336	1,221 – 1,355	1,476 – 1,610	I – o małej gęstości; IIa, IIb, IIc, IId – o umiarkowanej gęstości; IIIa, IIIb – o dużej gęstości; IVa, IVb – o bardzo dużej gęstości
IIa	0,336 – 0,839	1,355 – 1,455	1,610 – 1,710	
IIIa	0,839 – 1,619	1,455 – 1,541	1,710 – 1,796	
IVa	1,619 – 3,480	1,541 – 1,601	1,796 – 1,856	
IVb	3,480 – 6,160	1,601 – 1,541	1,856 – 1,796	
IIIb	6,160 – 8,390	1,541 – 1,455	1,796 – 1,710	
IIb	8,390 – 12,67	1,455 – 1,358	1,710 – 1,613	
IIc	12,67 – 15,13	1,358 – 1,404	1,613 – 1,659	
IId	> 15,13	1,404	1,659	

\*przy uwzględnieniu zawartości węgla organicznego  $c = 1,2\%$

stwierdzano nie częściej niż 1 do 3 razy na 100 zbadanych pedonów i to najczęściej w stosunkowo niedużych ilościach: od śladowych do około 4%, co odpowiadałoby wartościom  $\rho_n$  od -0,048 (przy śladowym udziale  $\text{CaCO}_3$ ), poprzez 0 (dla 2,2%  $\text{CaCO}_3$ ) do +0,028  $\text{Mg m}^{-3}$  (przy zawartości 4%  $\text{CaCO}_3$ ) [17].

## Wyniki i dyskusja

Z przeglądu rezultatów badań w układzie: gęstość gleby – plon rośliny wynika, iż nie dopracowano się logicznego i sprawdzalnego w praktyce systemu umożliwiającego w indywidualnych przypadkach kontrolę, ocenę i odpowiednie do wymogów roślin ukształtowanie gęstości gleby. Niemniej jednak wszystkie przytoczone liczby dają się uzasadnić w symulacjach z udziałem najbardziej prawdopodobnych wielkości czynników wpływu wyszczególnionych we własnej formule obliczeniach gęstości naturalnej gleby [17]. Szczególnie interesujący jest eksperyment Adamsa i współpracowników [1], z uwagi na bardzo niskie wielkości optymalnych gęstości gleb, wykraczające znacznie *in minus* poza zakres liczb przedstawionych w tab. 2 niniejszej pracy. Otóż podane w tab. 2 wielkości optymalnych gęstości gleb w środku warstwy ornej o miąższości 2,5 dm, przy zawartości



węgla organicznego  $c = 1,2 \%$ , wymagają korekty w stosunku do rzeczywistych danych. Adams i inni [1] podają, że ich gleba o składzie gliny ciężkiej pylastej zawierała 8,5% próchnicy, co odpowiadałoby zawartości węgla organicznego  $c = 4,93\%$ . Znając ustalony wymiar funkcji  $c$  [15, 17], iż każdy 1% zawartości węgla organicznego ( $c$ ) obniża gęstość gleby o  $0,059 \text{ Mg m}^{-3}$ , otrzymamy zmniejszenie optymalnej gęstości, w stosunku do gleby bezpróchniczej o  $0,291 \text{ Mg m}^{-3}$ . Z praktyki własnej wiadomo, iż charakterystyczny dla gliny ciężkiej pylastej wskaźnik  $g$  może przybierać wartości odpowiadające środkowej partii przedziału  $0,000 - 0,336$  (tab. 2) i większe. Przyjmując zatem średnią wartość  $\rho_{\text{opt}}$  z wymienionego przedziału równą  $1,288$  i odejmując wpływ różnicy w zawartości węgla organicznego:  $(4,93-1,20) \times 0,059 = 0,220$  otrzymamy ostatecznie  $\rho_{\text{opt}}$  równe  $1,068 \text{ Mg m}^{-3}$ , czyli tożsame z wynikiem wyżej wymienionych badaczy.

W eksperymentach własnych przeprowadzonych w Połajewie na Pojezierzu Kujawskim, na glebie brunatnej o uziarnieniu piasku gliniastego mocnego i wskaźniku  $g = 6,222$ , zawartości  $c = 0,88\%$  i głębokości  $z = 0,55 \text{ dm}$ , otrzymano najwyższy plon pszenicy jarej odmiany „Alfa” dla gęstości  $1,539 \text{ Mg m}^{-3}$ , przy ustalonej gęstości naturalnej dla tego obiektu  $\rho_n = 1,536 \text{ Mg m}^{-3}$ . Odchylenie  $\rho_{\text{opt}}$  od  $\rho_n$  wynosiło zatem  $+0,2\%$  [17]. Na tej samej glebie [dane niepublikowane] żyto na zielonkę najlepiej plonowało przy gęstości  $1,538 \text{ Mg m}^{-3}$ , a więc odchylenie od  $\rho_n$  wynosiło tylko  $0,1\%$ . Po uwzględnieniu poprawek na różnicę zagłębień ( $+0,015$ ) i zawartości węgla ( $-0,019$ ) w odniesieniu do kategorii IIIb w tab. 2 adekwatne dla obiektu w Połajewie  $\rho_n$  wyniosą  $1,535$  oraz  $1,534 \text{ Mg m}^{-3}$ .

Podane przez Ślusarczyka [11] optymalne gęstości dla różnych podgrup granulometrycznych nie implikują istotnych różnic w porównaniu do własnego systemu. Najwyższa wartość  $1,66 \text{ Mg m}^{-3}$ , przypisana glinom piaszczystym i glinom lekkim, po uwzględnieniu najmniejszej z wyszczególnionych przez tego autora zawartości węgla  $c = 0,8\%$ , i odniesieniu do liczb dla kategorii IVa i IVb w tab. 2, wyniosłaby  $1,625 \text{ Mg m}^{-3}$ .

Rozpiętość wyników dla wyżej wymienionych podgrup wynosząca zdaniem Ślusarczyka  $0,3 \text{ Mg m}^{-3}$ , według własnych spostrzeżeń wynosząca  $0,238 \text{ Mg m}^{-3}$  (dla utworów bezpróchnicznych odpowiadających  $g = 0,364$  do  $g = 3,500$ ) jest z zasadzie równorzędna, jeśli się uwzględni różniące się wpływy węgla organicznego (c).

Ustosunkowania wymagają podane przez niektórych autorów  $\rho_{\text{opt}}$  wynoszące  $1,0 \text{ Mg m}^{-3}$  [2, 13], a także  $0,9 \text{ Mg m}^{-3}$  [4]. Otóż wielkości te są realistyczne dla przypadków uziarnień gleb o wskaźniku  $g = 0,0 - 0,2$  oraz bardzo dużej zawartości węgla organicznego, przynajmniej w granicach  $4,5 - 6,5 \%$ .

Wyniki badań Adamsa i innych [1] świadczą o tym, że optima fizyczne określonej gleby są takie same dla wszystkich gatunków roślin. Niewielka różnica  $\rho_{\text{opt}}$  dla pomidorów mogła zostać spowodowana odmienną morfologią plonu i stąd też inną strukturą danych liczbowych do obróbki statystycznej, a także drobnym i nierozpoznawalnym w środowisku przyrodniczym wpływem czynnika zewnętrznego. Tezę tę potwierdzają własne wyniki z obiektu w Połajewie oraz liczne rezultaty z innych własnych badań dowodzące, iż w przedziale gęstości naturalnej  $\rho_n \pm 0,05 \text{ Mg m}^{-3}$  i odpowiadającym mu wielkościom  $\rho_{\text{opt}}$ , gleby wykazują największą retencję wody użytecznej [17, 18], optymalną mikrodyfuzję tlenu do korzeni roślin (ODR) [17], a także charakterystyczne stany innych cech stymulujących plonowanie roślin [14].

Natomiast wyniki uzyskane przez Śmierzchalskiego [12] oraz Roszaka i innych [9] dowodzą, że optymalne dla roślin wielkości gęstości gleby uwarunkowane są również gatunkiem uprawianej rośliny. Według Śmierzchalskiego dla jęczmienia jarego najbardziej odpowiednia gęstość gleb jest o  $0,15 \text{ Mg m}^{-3}$  mniejsza niż dla pszenicy ozimej. Według Roszaka i innych [9]  $\rho_{\text{opt}}$  gleby wytworzonej z gliny piaszczystej dla wymienionych gatunków różni się o  $0,10 \text{ Mg m}^{-3}$ , a dla roślin strączkowych w stosunku do pszenicy ozimej  $\rho_{\text{opt}}$  jest mniejsze aż o  $0,30-0,35 \text{ Mg m}^{-3}$ . Wyniki te nie przeczyłyby tezie pierwszej, gdyby było

wiadomo, iż wymienione rośliny rosły na glebach przynależnych do tej samej podgrupy granulometrycznej, ale wykazujących różne wielkości wskaźnika  $g$  i prawdopodobnie też różne zawartości węgla organicznego ( $c$ ).

Podane w tabelach 1 i 2 wielkości i ich uwarunkowania powinny umożliwiać łatwiejsze i dokładniejsze wybory optymalnych gęstości gleb ( $\rho_{opt}$ ) dla pól uprawnych skupiających kilka i więcej pedonów o zbliżonych charakterystykach. W indywidualnych przypadkach optymalne gęstości gleb należy odpowiednio zwiększać lub zmniejszać, ze względu na różniącą się od stanu  $c = 1,2\%$  zawartość węgla organicznego.

## **Wnioski**

1. Przytoczone w przeglądzie literatury wyniki eksperymentów w układzie: gęstość gleby – plon rośliny nie łączą się w logiczny i użyteczny w praktyce system kontroli, ocen i kształtowania optymalnych dla roślin gęstości gleb.
2. Dane literaturowe, nierzadko rozbieżne, nabierają zasadności po zinterpretowaniu ich według reguł funkcjonowania formuły gęstości naturalnej gleby ( $\rho_n$ ).
3. Za tezę, iż wyznaczone eksperymentalnie wielkości optymalnych gęstości odnoszą się do wszystkich roślin i nie różnią się istotnie w zależności od uprawianego gatunku przemawia więcej dowodów rzeczowych, niż za tezę uzależniania wyników od gatunku rośliny.
4. Podane w tab. 1 oraz w tab. 2 wielkości i ich uwarunkowania powinny umożliwiać zainteresowanym łatwiejsze i dokładniejsze wybory optymalnych gęstości gleb ( $\rho_{opt}$ ) dla pól uprawnych skupiających kilka lub więcej pedonów o zbliżonych charakterystykach.

## Literatura

1. Adams E. P., Blake G. R., Martin P. W., Boetler D. H., 1960, Influences of soil compaction of crop growth development. Trans. of the 7-th Congr. of Soil Sci. Madison, Wisc. 1, 607-615.
2. Baranowski R., Pabin J., 1980, Wpływ gęstości gleby lekkiej na plony buraków cukrowych. Zesz. Probl. Port. Nauk. Roln. 227, 61-67.
3. Czyż E., Tomaszewska J., 1993, Changes of aeration conditions and the yield of sugar beet on sandy soil different density. Pol. J. Soil Sci. 26, 1, 1-9.
4. Drewery J. J., Cameron K. C., Buchan G. D., 2008, Pasture yield and soil physical property responses to soil compaction from treading and grazing – a review. Aust. J. Soil Res. 46, 237-256.
5. Dzieciolowski W., 1966, Gleby grądów Wielkopolski. Roczniki WSR w Poznaniu XXXI, 149-207.
6. Konecka-Betley K., Borek S., Czarnowska K., Kęпка M., Królowa H., Łakomic J., Kobylińska J., 1970, Wpływ procesu odgórnego oglejenia na kształtowanie się gleb wytworzonych z glin zwałowych. Roczn. Glebozn. XXI, 1, 21-46.
7. Mocek A. (red.), 2015, Gleboznawstwo. Wyd. Nauk. PWN S.A., ss.571.
8. Puł W., Szerszeń L., Borkowski J., 1960, Gleby Zakładu Doświadczalnego Świerklaniec. Zesz. Nauk. WSR Wrocław, 29, 137-151.
9. Roszak W., Radecki A., Opic J., Witkowski F., 1990, Próba określenia optymalnego zagęszczenia gleby gliniastej dla wzrostu i plonowania roślin uprawnych. Modelowanie i optymalizacja parametrów żyzności gleb. Mat. Międzyn. Semin. RWPG, IUNG Puławy, K/2, 106-115.
10. Szymankiewicz K., 1983, Wpływ uproszczonej uprawy na niektóre fizyczne właściwości gleby lekkiej. Mat. Konf. PAN, Wrocław, 23-24.

11. Ślusarczyk E., 1985, Optymalny model gleby dla potrzeb roślin uprawnych (pierwsze przybliżenie). *Rocz. Glebozn.* XXXVI, 1, 185-190.
12. Śmierchalski L, 1972, Wpływ zagęszczenia gleby na plonowanie niektórych roślin zbożowych i okopowych. *Międzyn. Konf. Nauk. Warszawa-Olsztyn-Puławy*, 22-28.
13. Święcicki C., Siuta J., Sienkiewicz J., Trzecki S., Kiersnowski J., 1972, Ważniejsze właściwości gleb wpływające na warunki rozwoju mechanizacji. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Roln.*, 135, 55-61.
14. Wojtasik M., Pawluczuk Z., 1988, Wpływ gęstości gleb na ich efektywność enzymatyczną. *Zesz. Nauk. ATR*, 148, Rol. 35, 5-12.
15. Wojtasik M., 1989, Węgiel organiczny jako wyznacznik naturalnej gęstości gleby. *Fragm. Agron.* 3/23, 93-98.
16. Wojtasik M., 1990, Głębokość w profilu glebowym jako wyznacznik naturalnej gęstości gleby. *Fragm. Agron.* 1/25, 36-43.
17. Wojtasik M., 1995, Gęstość gleb mineralnych. *Wyd. Uczel. WSP w Bydgoszczy*, ss.120.
18. Wojtasik M., Wegner W., 1995, Aproksymacja niektórych właściwości powietrznych i wodnych gleb. *Problemy Matematyczne*, 14, 149-174.
19. Wojtasik M., Miatkowski Z., 1996, Skład granulometryczny a gęstość gleb ciężkich. *Studia Przyrodnicze, Zesz. Nauk. WSP w Bydgoszczy*, 12, 87-94.
20. Wojtasik M., Szatten D., 2015, Granulometryczny wskaźnik gęstości naturalnej gleb. *Journal of Education, Health and Sport.* 5(5), 76-85.