

## THE INFLUENCE OF LONG-TERM TILLAGE SIMPLIFICATIONS ON THE PROPERTIES OF ARABLE LAYER IN ARENOSOLS AND LUVISOLS

### Summary

The object of the research were soils in the Karolew Farm, which have been cultivated in crop rotation and tillage simplification system for over 10 years, as well as the neighbouring soils in individual farms, also cultivated in crop rotation, yet traditional tillage system. The main aim of the research was the initial assessment of physical properties and physical and mechanical parameters of soils and soil aggregates in the two tillage systems. The study was conducted on moulded soil aggregates, which had been thickened and formed in strictly controlled conditions of humidity, temperature and compaction. The study proved differences in physical and mechanical properties in soil aggregates of the same soil but under different tillage systems. Aggregates moulded from the soil material which had undergone tillage simplifications showed slightly lower water resistance but better secondary aggregation after both static and dynamic water actions. There were also differences in the water capacity of aggregates: the capillary water capacity of aggregates under a traditional tillage system was lower by about 1-4 % despite longer capillary rise. The ability to swelling of aggregates under simplified tillage system was higher by about 2-9% than the one of aggregates under a traditional tillage system.

## WPŁYW WIELOLETNIICH UPROSZCZEŃ UPRAWOWYCH NA WŁAŚCIWOŚCI POZIOMU UPRAWNEGO GLEBY RDZAWEJ I PŁOWEJ

### Streszczenie

Obiektem badań były gleby Gospodarstwa Rolnego Karolew, które od ponad 10 lat uprawiane są w płodozmianie w systemie uprawy uproszczonej oraz przyległe do nich gleby gospodarstw indywidualnych, na których jest również stosowany płodozmiian ale system uprawy tradycyjnej. Zasadniczym celem prowadzonych badań była wstępna ocena podstawowych właściwości fizycznych i parametrów fizykomechanicznych gleb i agregatów glebowych w wymienionych dwóch systemach uprawy. Badania przeprowadzono na modelowanych agregatach glebowych, zagęszczanych i formowanych w ściśle kontrolowanych warunkach wilgotności, temperatury i zagęszczenia. Przeprowadzone badania wykazały różnice we właściwościach fizykomechanicznych struktury agregatowej tych samych gleb w różnych systemach uprawy. Agregaty modelowane z materiału glebowego, który podlegał uproszczeniom uprawowym, cechowały się nieco mniejszą wodoodpornością, ale lepszą agregacją wtórną zarówno po statycznym, jak i dynamicznym działaniu wody. Zróżnicowane były również pojemności wodne agregatów; agregaty w systemie uprawy klasycznej wykazywały mniejszą o około 1-4% kapilarną pojemność wodną, pomimo znacznie dłuższego czasu podsiąku kapilarnego. Zdolność do pęcznienia agregatów w glebie będącej w uproszczeniu uprawowym była większa o około 2-9% od agregatów w systemie uprawy tradycyjnej.

### 1. Wstęp

Systemy uprawy roli w przeszłości dziejów ulegały licznym zmianom i modyfikacjom. Rozstrzygającym czynnikiem w tym zakresie był sposób spulchniania, jego głębokość i częstotliwość. W ujęciu historycznym zagadnienia te stanowiły treść wielu teorii uprawy [2]. We wszystkich systemach produkcji rolniczej, niezależnie od stopnia uprzemysłowienia rolnictwa w różnych obszarach geograficznych świata, najbardziej rozpowszechnionym sposobem przygotowania gleby do siewu nasion rolniczych jest uprawa płuzna [7]. Ma ona wiele zalet, z których należy wymienić: dobre spulchnienie, odwrócenie i rozdrobnienie warstwy ornej, łatwość wprowadzania resztek poźniwnych do głębszych warstw gleby, wyrównanie zawartości składników pokarmowych, a przede wszystkim stanowi system czystej, starannej uprawy roli [9].

Mówiąc o uprawie płuznej zwraca się jednak uwagę na dużą pracochłonność i energochłonność mechanicznych zabiegów uprawowych [1, 3, 9, 10]. Stąd też w ostatnich latach obserwuje się coraz powszechniejsze stosowanie różnych sposobów uproszczeń uprawy roli. W latach 80-tych ubiegłego stulecia w rolnictwie krajów zachodnich nasiliły się tendencje do eliminowania orki i zastępowania jej bardziej wydajną uprawą realizowaną przy użyciu

agregatów uprawowych, uprawowo-siewnych, kultywatorów o sztywnych łapach czy też przez stosowanie siewu bezpośredniego [14]. Deficyt i wzrost energii oraz względy ochrony środowiska przyrodniczego zmuszają do promowania innych proekologicznych i opłacalnych ekonomicznie technologii uprawy roli [2, 5]. Pomimo iż w Polsce nadal jeszcze dominuje uprawa tradycyjna, powoli jednak sytuacja ta zaczyna się zmieniać. Takim dobrym przykładem stosowania od ponad 10 lat uproszczeń uprawy roli na szeroką skalę jest Gospodarstwo Rolne Karolew będące obiektem badań Katedry Gleboznawstwa UP w Poznaniu. Zasadniczym celem prowadzonych badań była wstępna ocena podstawowych właściwości fizycznych i parametrów fizykomechanicznych gleb i modelowanych z nich agregatów glebowych w dwóch systemach uprawy; uprawie tradycyjnej (klasycznej, konwencjonalnej) i uprawie uproszczonej.

### 2. Obiekt i metodyka badań

Obiektem badań były gleby Gospodarstwa Rolnego Karolew, zlokalizowane w obrębie wsi Bruczków w gminie Borek Wielkopolski, które od ponad 10 lat uprawiane są w płodozmianie w systemie uprawy uproszczonej oraz przyległe do nich gleby gospodarstw indywidualnych, na

których stosowany jest również płodozmian, ale system uprawy tradycyjnej.

Pod względem typologicznym [8] są to gleby płowe (3 pary gleb) i gleby rdzawe (1 para gleb). Pod względem bonitacji, jakości i przydatności rolniczej (w skali 100 pkt) gleby w gminie Borek Wielkopolski ocenione zostały na 64,8 pkt, natomiast w bonitacji agroklimatu (w skali 15 pkt.) – na 12,0 pkt. [4]. Warunki wodne są na ogół korzystne – 7,4 pkt. (w skali 10 pkt.), co w waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej (w skali 100 pkt.) sytuuje gminę Borek Wielkopolski bardzo wysoko bowiem w przedziale 80-90 pkt. (85,7 pkt.).

W ramach wstępnych badań rozpoznawczych wykonano 20 wierceń do głębokości około 1,5 m, dokonując opisów przekrojów glebowych ze szczególnym uwzględnieniem miąższości odpowiednich poziomów genetycznych i ich uziarnienia. Po porównawczej analizie cech fizyczno-chemicznych wytypowano cztery obszary o zbliżonych lub identycznych cechach profilowych w bliskim sąsiedztwie systemów uprawy konwencjonalnej i uproszczonej. W obszarach tych wykonano 8 profili glebowych o następującej sekwencji doboru systemu uprawy: profile o numerach nieparzystych (1, 3, 5 i 7) – w uprawie tradycyjnej, profile o numerach parzystych (2, 4, 6, 8) - w uprawie uproszczonej. Z poziomów wierzchnich (próchnicznych) pobrano materiał glebowy do modelowanych badań właściwości strukturotwórczych w ściśle kontrolowanych warunkach temperatury, wilgotności i zagęszczenia masy glebowej, a następnie modelowanych z niej foremnych agregatów glebowych o objętości 1 cm<sup>3</sup>.

W pobranym materiale glebowym oznaczono skład granulometryczny i zawartość węgla organicznego, a w próbkach o strukturze nienaruszonej gęstość gleby w układzie naturalnym [6]. Ocenę właściwości strukturotwórczych dokonano w wyniku oznaczeń następujących parametrów fizykomechanicznych modelowanych agregatów glebowych: wytrzymałość na ścislenie, dynamiczną i statyczną wodoodporność, agregację wtórną po dynamicznym i statycznym działaniu wody oraz prędkość przemieszczania się wody w agregacie i związaną z tym kapilarną pojemność wodną. Ten zakres oznaczeń przeprowadzono specjalistycznymi metodami opracowanymi w Katedrze Gleboznawstwa UP w Poznaniu [11, 12] przy tak zwanej wilgotności standardowej zagęszczania i formowania agregatów glebowych, to jest przy takiej wilgotności, przy której każda gleba osiąga swoje dla siebie maksymalne zagęszczenie, maksymalną gęstość objętościową. Przy takim bowiem stanie trójfazowego ośrodka glebowego możliwa jest właściwa, precyzyjna analiza i ocena wpływu różnych czynników na kształtowanie się i zmiany parametrów struktury gleb bądź tworzących się z nich różnych form strukturalnych, w tym szczególnie zmiennej w czasie i przestrzeni struktury agregatowej.

Poniżej, z konieczności w skróconej formie, przedstawiono istotę oznaczeń wymienionych wyżej parametrów fizykomechanicznych w chronologii zgodnej z ich uszeregowaniem w tab.2.:

- wytrzymałość na ścislenie (Rc) agregatów glebowych – oznaczono aparatem wytrzymałościowym typu LRu, gdzie przyłożona siła działa na powierzchnię kolistą agregatu o przekroju 1 cm<sup>2</sup>,
- dynamiczna wodoodporność (DW) – polega na rozbijaniu agregatu kroplami wody o masie 0,05 g,

spadającymi z wysokości 1 m, a więc z energią kinetyczną  $E = 4,905 \cdot 10^{-4} \text{ J}$ ,

- statyczna wodoodporność (SW) – mierzona jest czasem rozpadu agregatu zanurzonego w wodzie w pojemniku z plexi na żyłkach nylonowych o rozstawie 6 mm,
- agregacja wtórna – polega na separacji na zestawie sit o wymiarach 7, 5,3,1,05 i 0,25 mm frakcji agregatu pierwotnego, który uległ rozpadowi w wyniku dynamicznego i statycznego działania wody,
- prędkość podsiąku kapilarnego ( $T_k$ ) – polega na pomiarze czasu potrzebnego do frontalnego zwilżenia górnej powierzchni agregatu ( $T_{kmin}$ ) lub całkowitego wysycenia całej objętości agregatu ( $T_{kmax}$ ); oznaczenie przeprowadza się na odpowiednim zestawie filtracyjnym w płytce Petriego,
- pojemność kapilarna ( $V_k$ ) – odpowiada ilości wody (% obj.) wchłoniętej przez agregat w czasie  $T_{kmin}$  ( $V_{kmin}$ ) lub ilości wody (% obj.) wypełniającej wolne pory agregatu w czasie  $T_{kmax}$  ( $V_{kmax}$ ).

Wymienione wyżej właściwości oznaczono na seriach po 10 agregatów, doprowadzonych z wilgotności standardowej zagęszczania do stanu powietrznie suchego (pojemności higroskopowej), a zatem wyniki zamieszczone w tab.2 są wartościami średnimi z 10 pomiarów.

### 3. Rezultaty badań

Stan struktury gleby, zwłaszcza w warstwie uprawnej, determinowany jest przede wszystkim uziarnieniem fazy mineralnej i zawartości materii organicznej [13]. Stąd też te dwie cechy w różnych glebach muszą być odpowiednio względnie równe, bądź zbliżone, aby możliwa była jakakolwiek analiza porównawcza innych właściwości. Pomimo iż skład granulometryczny i zawartość węgla organicznego w przyjętym materiale glebowym są w ogólności wyraźnie zróżnicowane, to w porównywalnych parach gleb uprawianych tradycyjnie i w systemie uproszczonym te dwa zasadnicze parametry nie odbiegają od siebie w sposób znaczący (tab.1). Znamiennej jednak cechą jest zawsze większa zawartość węgla organicznego w glebach, na których stosowany jest system uprawy uproszczonej.

Większe zróżnicowanie wartości miało miejsce w przypadku gęstości gleby, a w konsekwencji w porowatości (tab. 1). Gęstość objętościowa poziomów wierzchnich badanych gleb kształtowała się w szerokim przedziale 1,48-1,67 Mg·m<sup>-3</sup>, co wynikało z różnego, aktualnego w czasie pobierania próbek, zagospodarowania poszczególnych pól (różne systemy uprawy, zmienne uwilgotnienie, różne rośliny, pola po zbiorze płodów, już obsiane zbożami ozimymi). Wyrażna zatem była również zróżnicowana porowatość bo w przedziale 36,0-43,3%. Gęstość i porowatość gleby są właściwościami bardzo ważnymi, gdyż określają one stosunki powietrzno-wodne w glebie i dlatego naturalne wartości tych parametrów są istotne przy analizowaniu stanu struktury nienaruszonej. Natomiast są one mało przydatne w warunkach badania struktur modelowanych, podczas którego zróżnicowane zagęszczenie układu glebowego jest eliminowane ściśle kontrolowanymi stanami wilgotności zagęszczania, a przede wszystkim poprzez wyeliminowanie innych czynników zewnętrznych.

Tab. 1. Skład granulometryczny i niektóre właściwości fizyczno-chemiczne poziomów wierzchnich gleb w uprawie tradycyjnej (T) i uproszczonej (U)  
 Table 1. Texture and some physical and chemical properties of arable layers in soils under the traditional tillage system (T) and under the simplified tillage system (U)

Nr gleby, uprawa (T, U) Soil No., tillage	Szkielet Skeleton >2 mm	Procentowa zawartość frakcji [mm] Percentage content of fraction [mm]					Grupa granulometryczna wg. Texture group acc. to		Gęstość gleby Bulk density Mg·m <sup>-3</sup>	Porowatość Porosity %	Zawartość Content C org. %
		2,0-0,1	0,1-0,05	0,05-0,02	0,02-0,002	<0,002	PTG	PN-R-04033			
1 T (P)	3,24	63	13	6	14	4	pgm	pg	1,48	43,3	0,84
2 U (P)	2,96	55	15	8	13	9	gl	gp	1,54	41,0	1,25
3 T (A)	2,24	80	8	3	7	2	ps	p	1,64	37,2	0,82
4 U (A)	1,86	86	4	1	8	1	ps	p	1,61	38,3	0,95
5 T (P)	2,43	62	12	6	14	6	pgm	gp	1,56	40,2	1,27
6 U (P)	2,84	65	12	7	13	3	pgm	pg	1,53	41,4	1,52
7 T (P)	1,82	54	16	7	15	8	gl	gp	1,63	37,5	1,11
8 U (P)	2,16	55	14	5	15	11	gl	gp	1,67	36,0	1,41

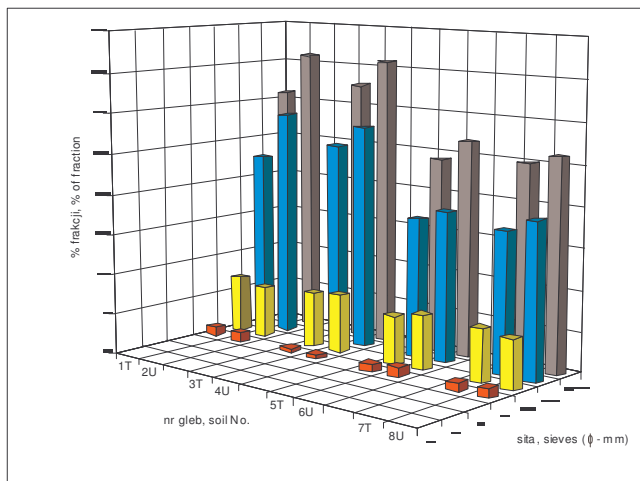
P – gleba płowa / Luvisols ; A – gleba rdzawa / Arenosols

Tab. 2. Wytrzymałość na ściskanie (Rc), dynamiczna (DW) i statyczna (SW) wodoodporność, czas podsiąku kapilarnego (T<sub>kmin</sub>, T<sub>kmax</sub>), kapilarna pojemność wodna (V<sub>kmin</sub>, V<sub>kmax</sub>) oraz porowatość (p<sub>min</sub>, p<sub>max</sub>) agregatów formowanych z materiału glebowego w systemie uprawy tradycyjnej (T) i uproszczonej (U)

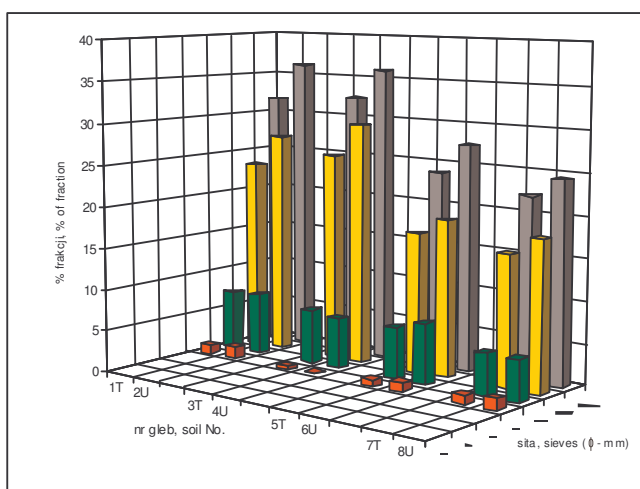
Table 2. Compressive strength (Rc), the dynamic (DW) and the static (SW) water resistance, time of capillary rise (T<sub>kmin</sub>, T<sub>kmax</sub>), capillary capacity (V<sub>kmin</sub>, V<sub>kmax</sub>) and swelling (p<sub>min</sub>, p<sub>max</sub>) of soil aggregates formed from soil material under the traditional tillage system (T) and under the simplified tillage system (U)

Nr gleby, uprawa (T, U) Soil No., tillage (T, U)	Wsz <sup>1/</sup> % wag. % m/m	ζ <sub>o</sub> Mg·m <sup>-3</sup>	P %	Rc MPa	DW J·[10 <sup>-2</sup> ]	SW (s)	T <sub>kmin</sub> (s)	T <sub>kmax</sub> (s)	V <sub>kmin</sub> % obj. % v/v	V <sub>kmax</sub> % obj. % v/v	P <sub>min</sub> %	P <sub>max</sub> %
1 T (P)	16,0	1,67	36,0	1,33	2,84	53	221	7200	42,56	66,52	5,93	29,89
2 U (P)	15,5	1,66	36,4	1,25	2,26	40	34	7200	44,98	71,36	7,19	35,57
3 T (A)	15,0	1,72	34,1	0,27	1,42	16	28	7200	48,26	58,18	11,62	21,23
4 U (A)	16,0	1,65	36,8	0,14	1,17	6	20	7200	49,15	58,50	12,12	21,47
5 T (P)	16,5	1,76	32,6	0,90	5,39	142	258	7200	45,10	56,85	10,98	22,73
6 U (P)	18,0	1,70	34,9	0,59	2,25	34	68	7200	49,53	66,35	12,89	29,71
7 T (P)	18,0	1,68	35,6	1,86	8,73	223	170	7200	41,59	59,86	3,67	21,94
8 U (P)	16,5	1,66	36,4	1,70	6,13	112	108	7200	44,13	66,12	8,51	30,50

1/ standardowa wilgotność zagęszczania, standard compaction moisture



Rys. 1. Agregacja wtórna po dynamicznym działaniu wody  
Fig. 1. Secondary aggregation after dynamic water action



Rys. 2. Agregacja wtórna po statycznym działaniu wody  
Fig. 2. Secondary aggregation after static water action

Wyrażony wyżej pogląd potwierdzają mało zróżnicowane wartości gęstości i porowatości agregatów formowanych z gleby zagęszczanej przy wilgotności standardowej zagęszczania masy glebowej (tab. 2). Gęstość agregatów zawierała się jedynie w szerszym przedziale 1,65-1,76 Mg·m<sup>-3</sup>, w przypadku gleb piaszczystych 3 i 4. Pozostałe pary gleb wykazywały bardzo zbliżone zagęszczenie, a tym samym charakteryzowały się w ogólności podobną porowatością w granicach 33-36%, przy czym w poszczególnych parach gleb, niezależnie od systemu uprawy, różnice w porowatości nie przekraczały 1,5%.

Możliwość stworzenia w warunkach laboratoryjnych stanu przestrzeni glebowej o prawie identycznym złożeniu fazy stałej stanowi doskonały, modelowy obiekt do analizowania wszelkich zmian w innych parametrach ujawniających się pod wpływem działania różnych czynników zewnętrznych [12, 13]. Wartości parametrów charakteryzujących stan struktury, a więc budowy wewnętrznej agregatów, zamieszczono w tab. 2. Ze względu na fakt, iż pomiędzy niektórymi właściwościami agregatów formowanych z materiału glebowego będącego w uprawie tradycyjnej i w systemie uprawy uproszczonej zachodzą w parach porównywanych gleb zawsze takie same prawidłowości (tendencje wzrostu lub spadku

wartości), ich analizę przedstawiono w formie następujących ogólnień.

Właściwości agregatów zaliczane do tzw. parametrów wytrzymałościowych, a więc wytrzymałość na ściskanie (kruszenie) – Rc, odporność na działanie wody (wodoodporność dynamiczna – DW i statyczna – SW) wykazują zawsze wartości mniejsze dla agregatów z systemu uprawy uproszczonej. Rząd wielkości tego spadku wartości jest zróżnicowany w zależności od gleby. Największe spadki wartości z wymienionych parametrów, wyrażane nawet krotnością, wystąpiły przy statycznej wodoodporności. Podobne tendencje zaobserwowano przy prędkości przemieszczania się wody w agregatach, wyrażanej czasem podsiąku kapilarnego ( $T_{kmin}$ ); w agregatach z uprawy uproszczonej czas ich zwilżania był bardzo krótki, niekiedy nawet 4- i 6-krotnie krótszy od prędkości podsiąku kapilarnego w agregatach z uprawy tradycyjnej.

Efektom działania podsiąku kapilarnego jest ilość zmagazynowanej wody w agregacie, a więc kapilarna minimalna i maksymalna pojemność wodna. Pomimo zróżnicowania minimalnego czasu podsiąku ( $T_{kmin}$ ) agregaty osiągnęły względnie wysoką minimalną pojemność kapilarną ( $V_{kmin}$ ) w przedziale od około 42 do około 50% obj., a więc znacznie przekraczając pierwotną porowatość agregatów. Skutkiem tego było tzw. swobodne pęcznienie agregatów, które w zależności od uziarnienia gleby wynosiło od około 4% do prawie 13%. Jeszcze większy wzrost objętości agregatów (21-35%) nastąpił przy całkowitym wypełnieniu porów wodą, które zachodzi podczas podsiąku kapilarnego maksymalnego ( $T_{kmax}$ ), zachodzącego zazwyczaj w ciągu około 2 godz. (7200 s) [13]. Wówczas pojawiają się na powierzchni agregatu wypukłe meniski wody, a agregat osiąga maksymalną pojemność kapilarną ( $V_{kmax}$ ), która w badanych agregatach kształtowała się na bardzo wysokim poziomie od około 58 do około 71% obj., przekraczając zdecydowanie pierwotną porowatość agregatów.

W odróżnieniu od wcześniej opisanych parametrów wytrzymałościowych, pojemność kapilarna zarówno minimalna, jak i maksymalna, a tym samym również pęcznienie były zawsze większe w agregatach formowanych z gleby będącej w uproszczeniu uprawowym. Z rolniczego punktu widzenia najistotniejszy jest jednak stopień zgruzlenia gleby, a więc tzw. zdolność gleby do tworzenia agregatów wtórnych. W przeprowadzonym doświadczeniu agregacja wtórna, będąca efektem dynamicznego bądź statycznego działania wody, była zróżnicowana w poszczególnych glebach i zawierała się w przedziale od około 25% do około 36% sumy agregatów > 0,25 mm (rys. 1, 2). Niezależnie od rodzaju gleby i sposobu działania wody, agregaty pierwotne rozpadały się zawsze na trzy frakcje agregatów wtórnych o wymiarach 0,25, 0,5 i 1 mm, przy czym frakcją dominującą (około 15-28%) była frakcja najmniejsza. Analogicznie jak w charakteryzowanych już wyżej właściwościach wytrzymałościowych i pojemnościach wodnych, również w przypadku agregacji wtórnej, pojawiła się następująca prawidłowość: ilość powstających agregatów wtórnych była zawsze mniejsza w glebie uprawianej tradycyjnie. Ta korzystniejsza „agregatowość”, wynikająca z systemu uprawy uproszczonej, kształtowała się w granicach 2-5%.

#### 4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały, iż stosowany wieloletni system uproszczeń uprawy roli wywarł korzystne skutki na szereg parametrów fizykomechanicznych gleby, szczególnie struktury agregatowej. Pomimo obniżenia się wodoodporności oraz wytrzymałości na ścislenie agregatów glebowych, zwiększyła się agregacja wtórna oraz uległy poprawie właściwości wodne. Wprawdzie zmiany niektórych parametrów są stosunkowo niewielkie, ale suma ich pozytywnych oddziaływań na glebę dowodzi o korzystnych uwarunkowaniach, jakie stwarza system uproszczeń uprawowych. Na obecnym etapie badań należy przypuszczać, iż podstawowym warunkiem sprzyjającym tworzeniu się lepszej struktury gleby jest wzrost zawartości materii organicznej w poziomach uprawnych tych gleb. Potwierdzona zatem została wcześniej wysuwana teza, iż o właściwościach strukturotwórczych gleby decyduje przede wszystkim ich uziarnienie, natomiast istotny, niekiedy silnie modyfikujący wpływ ma również zawartość substancji organicznej. To udokumentowane wynikami badań stwierdzenie jednoznacznie wytycza kierunek dalszych badań w zakresie właściwości biologicznych gleby, szczególnie w aspekcie aktywności mikroorganizmów.

#### 5. Literatura

- [1] Droese H., Radecki A., Śmierzchalski L.: Siew bezpośredni. *Fragmenta Agronomia* nr 2 (10), 1986.
- [2] Dzienia S.: Siew bezpośredni technologia alternatywną. Siew bezpośredni w teorii i praktyce. Materiały konferencyjne. Szczecin-Barzkowice: 9-19, 1995.
- [3] Dzienia S., Sosnowski A.: Uproszczenia w podstawowej uprawie roli a wysokość nakładów energii. *Fragmenta Agronomia* VII nr 3 (27), 1990.
- [4] IUNG: Warunki przyrodnicze produkcji rolnej, woj. leszczyńskie. A63 (21), Puławy 1987.
- [5] Malicki L., Ochał M., Podstawka-Chmielewska E.: Wstępna ocena efektywności energetycznej wybranych sposobów uprawy roli na różnych glebach. „Siew bezpośredni w teorii i praktyce.” Materiały konferencyjne. Szczecin-Barzkowice: 63-69, 1995.
- [6] Mocek A., Drzymała S., Maszner P.: *Geneza, analiza i klasyfikacja gleb*. Wyd. AR Poznań, ss.404, 2004.
- [7] Ponikiewski A.: Historia bezorkowych upraw. *Postępy Nauk Rolniczych* nr 5: 91-103, 1995.
- [8] PTG: *Roczniki Gleboznawcze*. Tom XL, 3/4, 1989.
- [9] Radecki A., Opic J.: Metoda siewu bezpośredniego w świetle literatury krajowej i zagranicznej. *Rocz. Nauk Rol.*, seria A, t. 109, z. 2: 119-114, 1991.
- [10] Roszak W., Radecki A., Opic J.: Możliwości zastosowania siewu bezpośredniego w warunkach Polski Centralnej. Materiały konferencyjne. Szczecin-Barzkowice 1995.
- [11] Rząsa S., Owczarzak W.: Modelling of soil structure and examination methods of water resistance, capillary rise and mechanical strength of soil aggregates. *Ann. Pozn. Agric. Univ. Sci. Diss.* 135, 1983.
- [12] Rząsa S., Owczarzak W.: Maximum compaction and maximum loosening of soil – methods of investigations and interpretation of results. *Rocz. AR Poznań, Rozprawy Naukowe* z. 202, ss.20, 1990.
- [13] Rząsa S., Owczarzak W.: *Struktura gleb mineralnych*, Wydanie I. Wydawnictwo AR Poznań, ss.394, 2004.
- [14] Włodek S., Kukuła S., Pabin J., Biskupski A., Kaus A.: Zmiany gęstości, zwięzłości i wilgotności gleby powodowanymi różnymi sposobami uprawy roli. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.* 460: 413-420, 1998.