



czynników warunkujących porowatość gleb oraz zasoby i transport w glebie wody, powietrza, ciepła, a także składników pokarmowych [Oades 1984; Horn i in. 1994; Suwardji, Eberbach 1998]. Stwarza ona korzystne warunki dla różnorodnych gatunków flory i fauny glebowej oraz systemu korzeniowego roślin [Hassink i in. 1997]. Utrzymywanie się w okresie wegetacji korzystnych właściwości środowiska glebowego zależy w dużej mierze od stopnia odporności agregatów glebowych na destrukcyjne działanie czynników zewnętrznych, a zwłaszcza na rozmywające działanie wody. Mała podatność agregatów glebowych na dyspersyjne działanie wody ogranicza również występowanie erozji wodnej gleb, jednej z najważniejszych przyczyn degradacji gleb oraz zaburzeń w naturalnym obiegu niektórych pierwiastków w przyrodzie [Curtin i in. 1994; Rejman i in. 1994; Le Bissonnais 1996].

Wodoodporność agregatów glebowych zależy zarówno od naturalnych czynników, m.in. tworzywa glebowego i klimatu, jak też od zabiegów agrotechnicznych stosowanych przez rolnika. Zabiegi agrotechniczne szczególnie silnie wpływają na kształtowanie i wodoodporność makroagregatów glebowych, natomiast na ogół uważa się, że w znacznie mniejszym stopniu na te zabiegi podatna jest mikrostruktura gleby [Tisdall, Oades 1982; Tisdall 1994]. Celem opracowania było określenie dyspersyjności gleby na mikroagregaty w zależności od wieloletniego (40 lat) nawożenia organicznego i mineralnego oraz zmianowania z udziałem koniczyny i bez motylkowatych, a także od długotrwałej (20 lat) uprawy płuznej i siewu bezpośredniego. Założono, że długotrwałe stosowanie zróżnicowanych zabiegów agrotechnicznych w statycznych doświadczeniach polowych spowodowało istotne zmiany właściwości gleby i w efekcie zróżnicowanie procesów mikroagregacji gleby.

#### METODY

W badaniach wykorzystano trzy wieloletnie, statyczne doświadczenia polowe zlokalizowane w RZD Chylice, woj. mazowieckie, na glebie typu czarnej ziemi wytworzonej z gliny zwałowej lekkiej, pylastej, odgórnie spiaszczonej, wg FAO zaliczanej do typu Mollic Gleysols. W dwóch doświadczeniach nawozowych porównywano takie same systemy nawożenia: 1) mineralny (NPK), 2) organiczny, w którym pod okopowe stosowano po  $40 \text{ t ha}^{-1}$ , a pod zboża i rzepak po  $20 \text{ t ha}^{-1}$  obornika (OB), 3) mineralno-organiczny ( $1/2\text{NPK}+1/2\text{OB}$ ), 4) kontrola bez nawożenia ("0"). W jednym z tych doświadczeń (Zm-1) stosowano zmianowanie typu norfolckiego (okopowe, jęczmień jary+wsiewka, koniczyna czerwona, pszenica ozima), natomiast w drugim (Zm-2) – zmianowanie bez roślin motylkowatych: okopowe, jęczmień jary, rzepak ozimy, pszenica ozima. Dobór

roślin do zmianowania oraz dawki nawozów ulegały zmianom w okresie trwania doświadczeń, co przedstawiono szczegółowo w innym opracowaniu [Lenart 1999]. W okresie trwania doświadczeń nie wapnowano gleby.

W trzecim doświadczeniu badano dwa systemy uprawy roli: 1) uprawę płużną (tradycyjną), 2) uprawę zerową (siew bezpośredni). Na obiekcie z siewem bezpośrednim nie stosowano żadnej mechanicznej uprawy roli, a nasiona wysiewano specjalnym siewnikiem do siewu bezpośredniego firmy Rotaseeder. Przed założeniem doświadczenia zastosowano wapno tlenkowe w ilości  $2,5 \text{ t ha}^{-1}$ , a w latach 1983 i 1987 wapno węglanowe ( $2 \text{ t ha}^{-1}$ ) oraz kizeryt ( $60 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Uprawiane rośliny (zbożowe, strączkowe i rzepak) nawożono wyłącznie nawozami mineralnymi (NPK).

Próby glebowe do badań pobrano po zbiorze jęczmienia jarego z warstwy 0–20 cm w doświadczeniach nawozowych oraz z dwóch poziomów warstwy ornej, tj. 0–10 cm i 10–20 cm w doświadczeniu uprawowym.

Skład granulometryczny gleby oznaczono na wszystkich poletkach stosując metodę areometryczną w modyfikacji Prószyńskiego. Zgodnie z procedurą stosowaną przez Kačinskigo [Rewut 1980] skład mikroagregatowy oznaczono w próbkach gleby o masie 20 g uprzednio moczonej przez 24 h w 250 ml wody i następnie wytrząsanej przez dwie godziny przy 90 obrotach na minutę. Do wody nie dodawano substancji peptyzujących. Zawiesinę gleby przesiewano przez zestaw sit o średnicy oczek: 1,0; 0,5; 0,25; 0,1; 0,05 mm. Zawiesinę z cząstkami gleby  $<0,05 \text{ mm}$  uzupełniano wodą do 1 litra, z której metodami sedymentacyjnymi wydzielono mikroagregaty o średnicy 0,05–0,02 mm i  $<0,02 \text{ mm}$ .

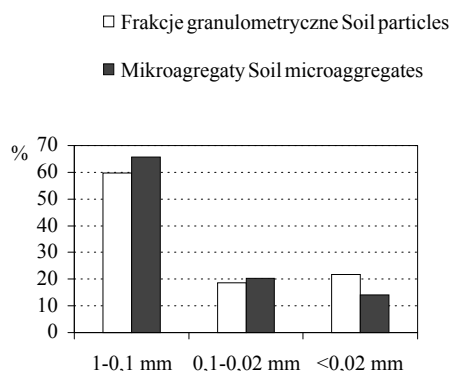
Ze względu na zróżnicowany w pewnym stopniu skład granulometryczny badanej gleby do oceny dyspersji gleby wykorzystano m.in. tzw. wskaźniki dyspersji gleby (Wd) na wybrane frakcje mikroagregatów, obliczone według wzoru:  $Wd = a_i/b_i$ , gdzie  $a_i$  – procentowa zawartość w glebie i-tej frakcji mikroagregatów glebowych;  $b_i$  – procentowa zawartość w glebie i-tej frakcji granulometrycznej (o tej samej średnicy, co frakcja mikroagregatów).

Uzyskane wyniki badań poddano dwuczynnikowej analizie wariancji. Do wydzielenia grup jednorodnych spośród średnich obiektowych zastosowano procedurę Tukeya. Średnie obiektowe włączone do jednej grupy jednorodnej oznaczono za pomocą tych samych liter. Badanie zależności mikrostruktury od innych cech gleby przeprowadzono za pomocą korelacji prostej.

#### WYNIKI

W doświadczeniu nawozowym prowadzonym w zmianowaniu z koniczyną (Zm-1), zawartość poszczególnych frakcji wahała się w następującym zakresie:

piasek (1–0,1 mm) – 53–60%, pył (0,1–0,02 mm) – 17–22%, części spławialne (<0,02 mm) – 21–27%, ił koloidalny (<0,002 mm) – 11–15%. W drugim doświadczeniu nawozowym, gdzie jest stosowane zmianowanie bez motylkowatych (Zm-2) oraz w doświadczeniu uprawowym gleba charakteryzowała się nieznacznie lżejszym składem granulometrycznym, a jego wartości były odpowiednio następujące: 58–66, 16–20, 18–23, 10–13% oraz 59–64, 17–19, 19–23, 9–11%. Układ doświadczeń polowych uwzględniał kierunek zmienności glebowej.



Rycina 1. Skład granulometryczny i mikroagregatowy gleby niezależnie od badanych czynników  
Figure 1. Soil particle and micro-aggregate size distribution independently of experimental treatments

Z porównania składu mikroagregatowego z granulometrycznym wynika (ryc. 1), że niezależnie od badanych czynników procentowa zawartość w glebie mikroagregatów o średnicy <0,02 mm była średnio o 35% mniejsza niż zawartość cząstek granulometrycznych o tej samej średnicy. Natomiast zawartość w glebie poszczególnych frakcji agregatów o średnicy 0,1–0,02 mm oraz 1,0–0,1 mm była odpowiednio o 9% i 10% większa. Tak więc mikroagregaty i cząstki glebowe o średnicy <0,02 mm brały udział w tworzeniu wodoodpornych agregatów o większej średnicy, tj. >0,02 mm. O znaczeniu najdrobniejszych cząstek glebowych, a zwłaszcza cząstek ilastych <0,002 mm, w kształtowaniu wodoodpornych mikroagregatów świadczą wyniki badań własnych, zamieszczone w tabeli 1. Wskazują one na występowanie dość ścisłego dodatniego związku, zwłaszcza między zawartością w glebie iłu koloidalnego a tworzeniem się mikroagregatów o średnicy <0,02 mm oraz 0,1–0,02 mm. Natomiast ujemna korelacja między zawartością cząstek gleby <0,02 i <0,002 mm a zawartością w glebie mikroagregatów o największej średnicy 1,0–0,1 mm może wskazywać na znaczny udział pojedynczych ziaren frakcji piasku w tej frakcji mikroagreg-

Tabela 1. Współczynniki korelacji między zawartością w glebie (w %) frakcji granulometrycznych <0,02 oraz <0,002 mm a zawartością w glebie wybranych frakcji mikroagregatów (n = 48,  $\alpha = 0,01$ )

Table 1. Correlation coefficients between the content of soil particles (<0.02; <0.002 mm) and fractions of soil micro-aggregates (n = 48,  $\alpha = 0.01$ )

Frakcje granulometryczne Soil particles	Zawartość w glebie (w %) mikroagregatów The content of soil micro-aggregates		
	1,0-0,1 mm	0,1-0,02 mm	<0,02 mm
<0,02 mm	-0,657	0,755	ni ns
<0,002 mm	-0,764	0,606	0,674

ni nieistotne ns not significant

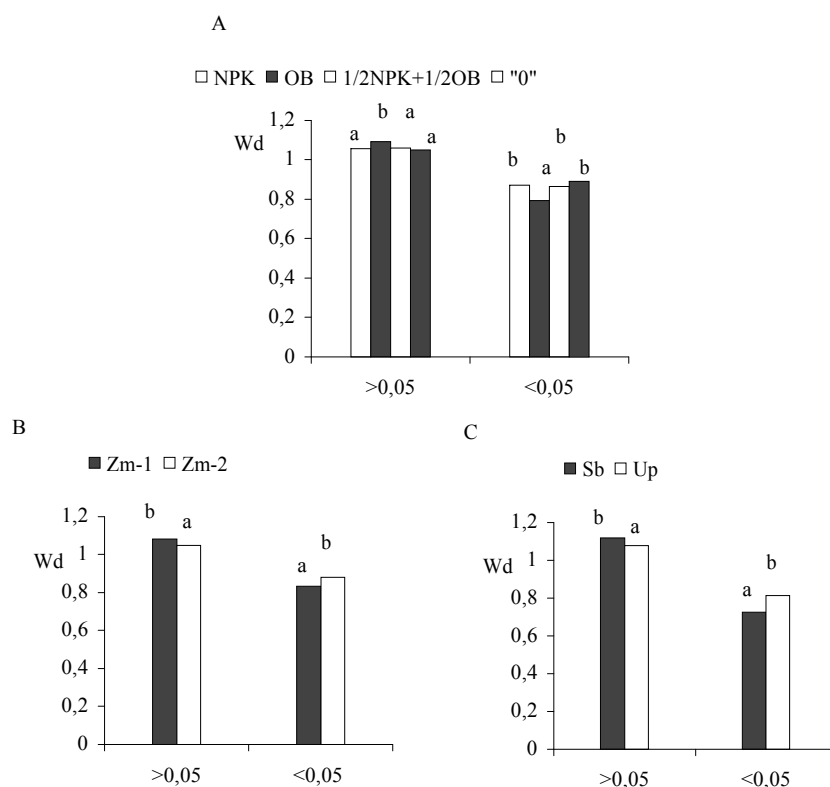
gatów. O istotnym związku między składem granulometrycznym a agregatowym gleby świadczą prace wielu autorów [Tisdall, Oades 1980; Domżał, Słowińska-Jurkiewicz 1988; Lipiec, Dębicki 1989; Owczarzak, Mocek 2000].

Badania własne wykazały, że wieloletnie stosowanie zróżnicowanych zabiegów agrotechnicznych istotnie wpłynęło na wodoodporność agregatów glebowych na poziomie mikrostruktury (ryc. 2). Najmniejszą dyspersyjnością na najdrobniejsze frakcje mikroagregatów, tj. <0,05 mm, wykazywała się gleba od 20 lat pozbawiona mechanicznej uprawy, jak również gleba od 40 lat nawożona wyłącznie obornikiem (średnio 22,5 t ha<sup>-1</sup> rocznie) lub na której stosowano zmianowanie norfolkskie. Jednocześnie pod wpływem tych zabiegów agrotechnicznych powstało najwięcej mikroagregatów >0,05 mm, w relacji do cząstek granulometrycznych o tej samej średnicy, odpornych na destrukcyjne działanie wody. Zróżnicowanie wartości wskaźników dyspersji gleby na poszczególne frakcje mikroagregatów wynosiło między skrajnymi obiektami w ramach badanych czynników od 3% do 11% (wszystkie różnice udowodnione statystycznie).

Poza nawożeniem obornikiem wśród pozostałych obiektów nawozowych zróżnicowanie struktury mikroagregatowej było nieznaczne, jednakże z tendencją do najbardziej negatywnego oddziaływania na mikroagregację gleby obiektu w ogóle nienawożonego.

Wpływ warstwy gleby na mikrostrukturę wyrażoną w postaci wskaźników dyspersji był nieistotny, dlatego też wyników tych nie przedstawiono.

Uzyskane wyniki badań własnych świadczą o tym, że wpływ zabiegów agrotechnicznych na agregację cząstek glebowych odbywał się już na poziomie mikrostruktury. Wyniki te znajdują potwierdzenie w stosunkowo nielicznej literaturze dotyczącej tego zagadnienia. Weill i in. [1989] stwierdzili mniejszą dyspersję gleby na mikroagregaty <0,25 mm w warunkach corocznego nawożenia gleby obornikiem (40 t ha<sup>-1</sup>) niż NPK oraz gdy stosowano siew bezpośredni w porównaniu z uprawą płużną. Cambardella i Elliott [1993] również wykazali



NPK nawożenie mineralne mineral fertilization; OB nawożenie obornikiem farmyard manure fertilization; 1/2NPK+1/2OB nawożenie mineralno-obornikowe mineral and farmyard manure fertilization; "0" bez nawożenia without fertilization; Zm-1 zmianowanie z koniczyną crop rotation with red clover; Zm-2 zmianowanie bez motylkowatych crop rotation without legumes; Sb siew bezpośredni direct drilling; Up uprawa płużna mouldboard plowing

Rycina 2. Dyspersja gleby w zależności od nawożenia (A), zmianowania (B) oraz uprawy gleby (C) wyrażona za pomocą wskaźników dyspersji gleby (Wd) na frakcje mikroagregatów o średnicy >0,05 mm i <0,05 mm

Figure 2. Dispersion of soil depending on fertilization (A), crop rotation (B) and soil tillage (C) expressed as a ratio (Wd) of the content of soil microaggregates >0.05 and <0.05 mm to the soil particles content of the same size

dodatni wpływ uprawy zerowej w porównaniu z uprawą płużną na zdolność dyspersyjną gleby. Uprawa płużna szczególnie sprzyjała dyspersji gleby na frakcje o średnicy <0,053 mm oraz 0,053–0,25 mm, ograniczając udział w zdyspergowanej glebie agregatów frakcji >0,25 mm. W badaniach tych najmniej podatną na dyspersję okazała się gleba spod wieloletnich traw. O korzystnym wpływie roślin wieloletnich pastewnych polegającym na ograniczaniu dyspersji gleby na cząstki ilaste, świadczą także badania Kaya, Dexter [1990], Perfecta i in. [1990].

Jak wynika z danych literatury i badań własnych, bezpośrednią przyczyną zróżnicowanej trwałości agregatów na poziomie mikrostruktury są, obok składu granulometrycznego, także zmiany w zawartości organicznych i mineralnych składników gleby, wywołane działalnością rolnika. Zagadnienia te będą przedmiotem oddzielnego artykułu.

#### WNIOSKI

1. Wieloletnie zróżnicowane nawożenie i zmianowanie roślin oraz uprawa gleby wywierają istotny wpływ na mikrostrukturę gleby.

2. Spośród badanych systemów nawożenia najkorzystniejszy wpływ na mikrostrukturę wywierało nawożenie obornikiem. Również korzystniej na mikrostrukturę gleby wpłynęła uprawa zerowa niż uprawa płużna oraz zmianowanie norfolskie z udziałem koniczyny niż zmianowanie bez motylkowatych.

3. Dodatni wpływ badanych obiektów na mikrostrukturę polegał na zmniejszeniu dyspersyjności gleby na najdrobniejsze frakcje mikroagregatów o średnicy  $<0,05$  mm przy jednoczesnym zwiększeniu udziału w zdyspergowanej glebie agregatów o średnicy  $>0,05$  mm.

#### PIŚMIENICTWO

- Cambardella C.A., Elliott E.T. 1993. Carbon and Nitrogen Distribution in Aggregates from Cultivated and Native Grassland Soils. *Soil Sci. Am. J.* 57, 1071–1076.
- Dexter A.R. 1988. Advances in the characterization of soil structure. *Soil Till. Res.* 11, 199–238.
- Domżał H., Słowińska-Jurkiewicz A. 1988. Wpływ składu granulometrycznego i próchnicy na ilość agregatów glebowych i ich odporność na działanie wody. *Rocz. Gleb.* 39, 3, 5–19.
- Hassink J, Matus F.J., Chenu C., Dalenberg J. W. 1997. Interactions Between Soil Biota, Soil Organic Matter, and Soil Structure. *Soil Ecology in Sustainable Agricultural Systems. Proceedings of a symposium held at the 15<sup>th</sup> International Congress of Soil Science, Acapulco, Mexico, 1994*, 15–35.
- Horn R., Taubner H., Wuttke M., Baumgartl T. 1994. Soil physical properties related to soil structure. *Soil Till. Res.* 30, 187–216.
- Kay B.D., Dexter A.R. 1990. Influence of aggregate diameter, surface area and antecedent water content on the dispersibility of clay. *Can. J. Soil Sci.* 70, 655–671.
- Le Bissonnais Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European J. Soil Sci.* 47, 425–437.
- Lenart S. 1999. Materia organiczna gleby a wodoodporność agregatów glebowych w warunkach wieloletniego nawożenia i zmianowania. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 465, 286–302.
- Lipiec J., Dębicki R. 1989. Zależność między strukturą gleb a ich właściwościami. *Rocz. Gleb.* 40, 2, 5–19.

- Oades J.M. 1984. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant and Soil* 76, 319–337.
- Oades J.M., Waters A.G. 1991. Aggregate Hierarchy in Soils. *Aust. J. Soil Res.* 29, 815–825.
- Owczarzak W., Mocek A. 2000. Koncepcja i metody badań modelowanych struktur glebowych w kontekście możliwości ich wykorzystania przy wzbogacaniu gleb różnymi komponentami organicznymi i mineralnymi. *Fol. Univ. Agric. Stetin.* 211, *Agricultura* 84, 373–386.
- Perfect E., Kay B.D., Van Loon W.K.P., Sheard R.W., Pojasok T. 1990. Factors Influencing Soil Structural Stability within a Growing Season. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54, 173–179.
- Rejman J., Pawłowski M., Dębicki R., Link M. 1994. Stability of aggregates and erodibility of loess soil. *Polish J. Soil Sci.* 27, 2, 87–91.
- Rewut I. B. 1980. *Fizyka gleby*. PWRiL, Warszawa, 46–51.
- Suwardji P., Eberbach P.L. 1998. Seasonal changes of physical properties of an Oxic Paleustalf (red Kandosol) after 16 years of direct drilling or conventional cultivation. *Soil Till. Res.* 49, 65–77.
- Tisdall J.M. 1994. Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. *Plant and Soil* 159, 115–121.
- Tisdall J.M., Oades J.M. 1980. The Effect of Crop Rotation on Aggregation in a Red-brown Earth. *Aust. J. Soil Res.* 18, 423–433.
- Tisdall J.M., Oades J.M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33, 141–163.
- Weill A.N., De Kimpe C.R., Mckyes E. 1988. Effect of tillage reduction and fertilizer on soil macro- and microaggregation. *Can. J. Soil Sci.* 69, 489–500.