

## WPLYW ZMIAN WILGOTNOŚCI GRUNTU NA JEGO STRUKTURĘ NA PRZYKŁADZIE BADAŃ JEZIORNICH GRUNTÓW SPOISTYCH

UKD 624.131.22:551.312.4:624.131.431.3:624.131.6

Świeże osady zbiorników jeziornych są określane w gruntoznawstwie jako muły, czyli osady niezdiagnozowane o bardzo małym zagęszczeniu. W miarę upływu czasu jeziora zanikają (2) lub zmniejszają swoją powierzchnię, bądź przekształcają się w niecki zatorfione albo zabagnione. Muły początkowo płynne, czy półpłynne breje, ulegają przeobrażeniom diagenetycznym już w zbiorniku wodnym, m. in. z powodu kompaktacji wywołanej ciężarem gromadzących się osadów. Jednak głównym przeobrażeniem podlegają one wówczas, gdy wskutek zmniejszenia się powierzchni jeziora znajdują się poza jego zasięgiem. Płynne, czy półpłynne stropowe osady, o których cechach decydowało zawodnienie, zmieniają swój stan, a więc i cechy fizyczne; wtedy w stosunku do roli wilgotności zwiększa się rola procentowej zawartości różnych frakcji i ich rozmieszczenie przestrzenne.

W spoistych gruntach drobnoziarnistych, jakimi są w przeważającej masie osady jeziorne, struktura gruntu zależy nie tylko od ilości i wielkości ziarn i cząstek, ale także od ich powiązań w agregaty w rezultacie fizycznego i chemicznego oddziaływania. Pojęcie „agregaty” jest różne w literaturze definiowane, różne się także podaje przyczyny ich powstawania, jak i właściwości. I. W. Rewut (8) agregatami nazywa grudki gruntu zachowujące swoje formy i rozmiary w wodzie, różniąc bezwarunkową i warunkową ich wodotrwałość. Bezwarunkowo wodotrwałe agregaty zachowują swą formę przy szybkim pogrążaniu grudek w wodzie, zaś warunkowo wodotrwałe zachowują kształt w wodzie tylko przy kapilarnym ich nasyceniu lub po usunięciu z nich powietrza. W Niemieckiej Akademii Nauk Rolniczych A. Kullmann (8) agregatami nazywa porowate lub wodoprzepuszczalne sferyczne grudki gruntu, które rozdziela na klasy na podstawie ich średnicy. W Instytucie Gleboznawstwa i Agrochemii Węgierskiej Akademii Nauk M. Dvoraček (8) wyróżnia agregaty rzeczywiste i pseudoagregaty. Za rzeczywiste uważa agregaty oznaczające się dużą porowatością i wysoką wodotrwałością, zaś za pseudoagregaty — grudki gruntu o małej porowatości i niewielkiej wodotrwałości. A. F. Wadiunina i Z. A. Korczagina (11) przedstawiają strukturę gleby jako całokształt oddzielnych elementów i agregatów różnych co do wielkości, kształtu, porowatości i trwałości, a połączonych w jeden system w rezultacie koagulacji koloidów i cementacji. Autorki te przeprowadzają klasyfikację struktury gleby na podstawie wielkości agregatów.

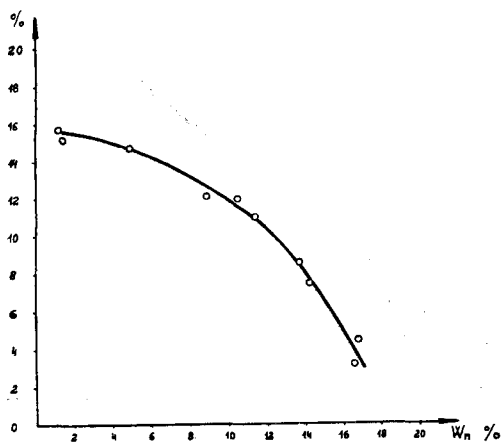
Według A. K. Łarionowa (5) podstawą struktury są agregaty, półagregaty i pojedyncze elementy rozmieszczone w gruncie w różnorodnych połączeniach, zwanych przez autora „systemami strukturalnymi”, statecznymi w danych warunkach, jak: nadkład, wilgotność, temperatura itp. Pod pojęciem „półagregat” definiuje on układ, w którym pojedyncze ziarno piaszczyste lub cząstka pylasta pokryta jest cząsteczkami występującymi w nieznacznej ilości. Jeżeli otoczką jest równa wielkości ziarna-jądra, to system przetwarza się w agregat. A. K. Łarionow przedstawia w swojej pracy klasyfikację agregatów z rozdzieleniem ich na podstawie rozmiarów, morfologii, skła-

du mineralnego, przyczyn agregacji, mechanicznej trwałości i pochodzenia. Jednoznacznie na temat roli agregatów w lessach wypowiada się J. Liszkowski (4). Lessy posiadają strukturę agregatową, tzn. podstawową jednostką struktury jest zróżnicowany pod względem rozmiarów polimineralny, wielocząsteczkowy agregat. W wyniku niszczenia, pod wpływem wody, międzyagregatowych i częściowo wewnątrzagregatowych wiązań strukturalnych zmieniają się własności fizyczno-mechaniczne lessów.

Strukturę gruntów ilowych, wzajemnego ułożenia cząstek i sił działających między nimi przedstawić można w postaci pewnych schematów. Według schematu podanego za C. C. Laddem przez E. Paszyc-Stępkowską (10) w wyniku przyciągania sieci jonowej powstają tzw. „domeny”, tj. skupienia równoległe ułożonych cząstek. Zespoły domen w wyniku różnych ładunków na powierzchniach płaskich i krawędziach układają się do siebie pod różnymi kątami, tworząc tzw. „klastry”. Układ klastrów w pierścienie nazwany jest „flokulantem”, jeżeli zaś pierścienie wypełnione są klastrami, to taki zespół o wymiarach 0,—1,0  $\mu$  nazwany został agregatem.

Skład granulometryczny traktowany jest jako jedna z podstawowych cech charakteryzujących grunt. Istnieje wiele metod mających na celu rozdzielenie osadu na pojedyncze ziarna i cząstki, aby uzyskać ilościowe określenie poszczególnych frakcji (1, 5, 6, 7, 8, 10, 11). W gruntach sypkich o wielkości ziarn powyżej 0,06 mm stosowane metody badań dają wyniki wystarczająco dokładne, natomiast wynik badań składu granulometrycznego gruntu, w którym znajduje się powyżej 2—3% frakcji ilowej zależy od zastosowanej metody badań (5). Dla tego typu gruntów pomimo wieloletnich doświadczeń nie ma metody, która dawałaby dokładne określenie składu ilościowego poszczególnych frakcji. Nie można dokładnie wyznaczyć granicy, kiedy burzy się wiązania międzycząsteczkowe agregatów i gdy zniszczeniu ulegają ziarna oraz cząstki. Ponadto stosowanie różnego rodzaju stabilizatorów, przeciwdziałających koagulacji frakcji ilowej (szczególnie z jednoczesnym gotowaniem), może doprowadzić do przemiany natury substancji ilastej i w tym przypadku otrzymane wyniki dotyczyć będą osadu o innym składzie mineralnym i innym uziarnieniu (3).

Każda ze stosowanych metod ma zalety i wady, od których zależy wynik analizy. Można założyć, iż wynik badania odtwarza tylko skłonność danego gruntu do rozdrobnienia w wyniku przyjęcia takiej bądź innej metody, natomiast nie daje pełnej i jednoznacznej ilościowej charakterystyki poszczególnych frakcji. Ze względu na to, że cząstki wysokiej dyspersji łączą się w większe zespoły w zbiorniku wodnym, jeszcze przed osiągnięciem dna i bezpośrednio po ich osadzeniu w procesie sedymentogenezy, należy się zastanowić, czy celowe jest dążenie do maksymalnego rozdrobnienia gruntu, aby określić jego ilościowy skład. Cząstki koloidalne i ilowe z reguły łączą się w agregaty wielkości cząstek i ziarn pyłu, a nawet drobnoziarnistego piasku. Jeżeli są to połą-



Ryc. 1. Zależność między procentową różnicą zawartości frakcji 0,001 mm i mniejszej, określoną metodą analizy granulometrycznej i agregatowej a wilgotnością gruntu.

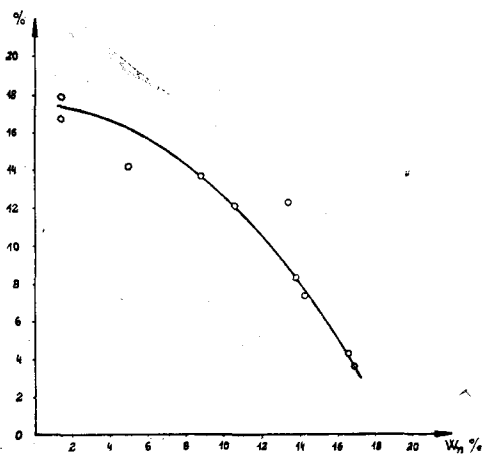
Fig. 1. Dependence between soil moisture and percentage remainder of content of fraction 0.001 mm and finer, established by means of granulometric and aggregate analyses.

czenia wodoodporne, to wywierają one istotny wpływ na własności gruntu, stąd określenie ilościowego składu agregatowego może mieć w porównaniu ze składem granulometrycznym równoznaczne lub większe znaczenie dla charakterystyki gruntu.

Badania agregatów wykonywane są różnorodnymi metodami i to nie tylko ze względu na odmienny cel badań, dla oceny ich ilości stosowane są różne metody, jak: przesiewanie na sitach próbki gruntu na sucho i pod wodą, szlamowanie, rozdrabnianie specjalnym wałkiem o skoku 8 mm, zrzucanie próbki z wysokości 1 m na sito o wielkości oczek 10 mm, rozcieranie, wstrząsanie próbką zalaną wodą w czasie od kilku minut do kilku godzin, obserwacje po zalaniu wodą lub po powolnym kapilarnym nasyceniu wodą, obserwacje po zalaniu próbki wodą i acetonem i in. (5—9). Do badań najczęściej bierze się próbki powietrzno-suche. Poza badaniami ilościowymi, w czasie których wykorzystuje się oddziaływanie mechaniczne i wpływ wody, stosowane są metody oceny rozmiarów i budowy agregatów oraz ich porowatości. Są one prowadzone za pomocą mikroskopu elektronowego, a także w elektronowym mikroskopie analizującym.

Istotnych trudności przy badaniach agregatów narzeka znalezienie takiego sposobu badań, który pozwoliłby na określenie ich ilości, wielkości i rodzaju bez burzenia naturalnej struktury gruntu. Jak dotychczas każda z metod w przybliżonym stopniu określa jeden lub dwa z wymienionych parametrów, jednak zwykle z częściowym niszczeniem naturalnego układu cząstek, tu także metodyka badań ma wpływ na uzyskiwane wyniki.

Jednym z ważnych zagadnień przy agregatowej charakterystyce gruntu jest ocena ilości agregatów odpornych na wpływ wody, w Polsce najczęściej stosowana jest metoda Kaczyńskiego (6, 11). Powietrzno-suchą próbkę gruntu rozciera się, przesiewa przez sito o otworach 1 mm i zalewa wodą na 24 godz.; następnie w szczelnie zamkniętej butelce poddaje się wstrząsom poziomym z intensywnością 180—200 wstrząsów na minutę przez 2 godz. Po zakończeniu wstrząsania próbkę przepłukuje się na sicie o wymiarach oczek 0,25 mm. Otrzymaną zawieszynę poddaje się badaniom metodą pipetową. Uzyskane wyniki porównywane są z wynikami analizy granulometrycznej. Metoda ta wprowadza jednak wiele czynników



Ryc. 2. Zależność między procentową różnicą zawartości frakcji 0,002 mm i mniejszej, określoną metodą analizy granulometrycznej i agregatowej a wilgotnością gruntu.

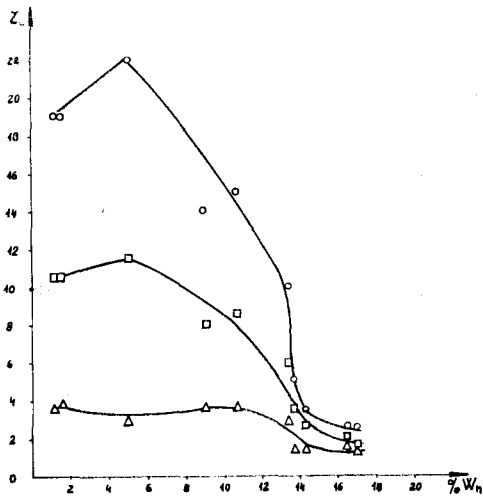
Fig. 2. Dependence between soil moisture and percentage remainder of content of fraction 0.002 mm and finer, established by means of granulometric and aggregate analyses.

niszczących strukturę — jak rozcieranie oraz poddawanie gruntu silnym uderzeniom w czasie poziomego wstrząsania próbką.

Przy określaniu ilości wodoodpornych agregatów starano się dobrać i wypracować taką metodę badań, która wprowadzałaby jak najmniejszą ilość energii w próbkę gruntu, aby niszczenie agregatów następowało tylko pod wpływem wody. Badania oparto na metodzie cytowanej przez A. Łarionowa (6), wprowadzając do niej pewne modyfikacje polegające na określaniu ilości frakcji na sitach powyżej 0,05 mm.

Do badań wzięto jedną dużą próbkę gruntu o naturalnej wilgotności i nienaruszonej strukturze, pobranej z holceńskich osadów jeziornych z głębokości 0,8 m. Miejsce pobrania próbki znajduje się w odległości 75 m od obecnego brzegu jeziora, 0,5 m powyżej zwierciadła wód podziemnych i 1,5 m ponad zwierciadłem wody w jeziorze. Próbka została lekko rozdrobniona na mniejsze części. W pewnych odstępach czasu w miarę wysychania gruntu brano próbkę do badań, za każdym razem przeprowadzając jednocześnie analizę granulometryczną i agregatową. Jedną i drugą próbkę zalewano wodą destylowaną na 24 godz. przed przystąpieniem do badań. Do próbki przeznaczony na analizę granulometryczną dodawano przy rozmakaniu 5 ml pirofosforanu sodu. Po 24 godz. dodawano jeszcze 20 ml pirofosforanu sodu i poddawano bejtaniu w mikserze przez 20 min., następnie przelewano do cylindra miarowego i po dokładnym wymieszaniu rozpoczynano analizę pipetową. Próbkę do badań na zawartość agregatów po 24 godz. rozmakania poddawano w ciągu minuty mieszanii przez przechylenie cylindra o 180°, aby doprowadzić do równomiernego rozproszenia zawiesziny w całej objętości naczynia i wykonywano analizę pipetową. Wielkość frakcji lub agregatów powyżej 0,05 mm określano po zakończeniu pobierania próbek pipetą, przelewając zawieszynę przez zestaw sit  $\phi$  0,06, 0,1, 0,3 i 0,5 mm. Wyniki przedstawiono na ryc. 1—4.

Z badań wynika, że w miarę wysychania gruntu wzrasta ilość agregatów odpornych na działanie wody. Daje się to zauważyć w zawartości frakcji o średnicy 0,001 mm i mniejszych (ryc. 1), której różnica przy wilgotności 16,9% wyniosła 3,2%, a dla stanu powietrzno-suchego wzrosła do 15,7%. Wyraźnie zmniejsza się ilość cząstek 0,002 mm i mniejszych od 3,7% do 17,9% w zakresie wilgotności jak wyżej (ryc. 2).



Ryc. 3. Zależność między strukturalnym wskaźnikiem zmian wysychania a wilgotnością gruntu.

o —  $\phi$  0,001 mm, □ —  $\phi$  0,002 mm,  $\Delta$  —  $\phi$  0,01 mm.

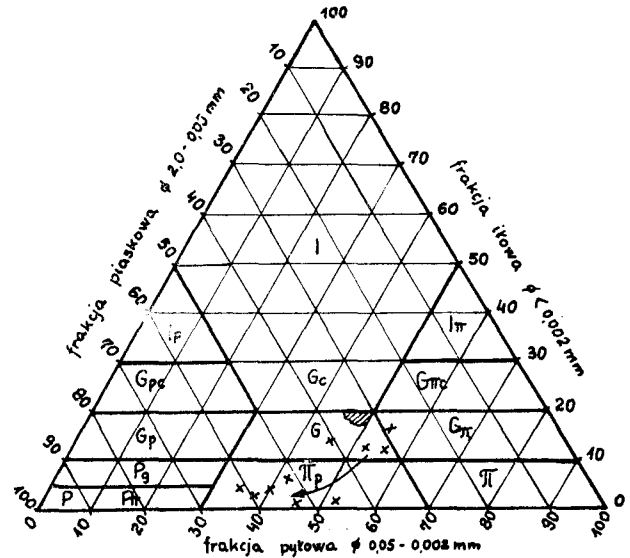
Fig. 3. Dependence between structural index of changes from drying and soil moisture.

o —  $\phi$  0.001, □ —  $\phi$  0.002 mm,  $\Delta$  —  $\phi$  0.01 mm.

Cząstki gruntu łączą się w agregaty wielkości frakcji pyłowych, a nawet ziarn piaszczystych, których zawartość odpowiednio wzrasta. Porównanie średnicy agregatu  $d_a$  do średnicy cząstki  $d_g$ , przy określonej procentowej ich zawartości (ryc. 3) na podstawie analizy agregatowej i granulometrycznej, pozwoliło na wyznaczenie strukturalnego wskaźnika zmian wysychania  $Z_w$ ; zatem  $Z_w = \frac{d_a}{d_g}$ . Porównanie wykonano dla cząstek  $\phi$  0,001, 0,002, 0,01 mm. Największą wartość osiągnął wskaźnik dla cząstek 0,001 mm: od 2,5 do 22 odpowiednio dla wilgotności 16,9% i 5%. W tym przypadku agregat składał się z elementów  $\phi$  0,022 mm i mniejszych. Dla frakcji 0,002 mm wskaźnik  $Z_w$  wyniósł 11,5, natomiast dla 0,01 mm nie przekraczał 3,7.

Istnieją granice wielkości agregatów w środowisku wodnym dla tego typu gruntów. Przy wilgotności 5% uzyskano największy strukturalny wskaźnik zmian wysychania. Po doprowadzeniu gruntu do stanu powietrzno-suchego ilość agregatów jest większa, zaś wskaźnik  $Z_w$  odpowiada około 7% wilgotności naturalnej gruntu. Zestawione wyniki analiz granulometrycznych na trójkącie Fereta (ryc. 4) wskazują, iż rozrzut składu ilościowego frakcji jest niewielki, wynikający z niejednorodności gruntu. Zakres ilości frakcji piaszkowej wahał się od 27–34%, pyłowej 45–50%, ilowej 17–20%, a więc obejmował grunty znajdujące się w polu glin przy linii stykowej z glinami ciężkimi. Rodzaj gruntu na podstawie analiz agregatowych, w miarę wysychania próbki, zmieniał się od glin pylastych, następnie przechodził w gliny o większej zawartości frakcji pyłowej i piaszkowej, a poniżej 13% wilgotności nawet w pył piaszczysty o zawartości frakcji piaszkowej do około 60%.

Osady jeziorne mają krótką historię geologiczną. Zmiana ich stanu, następująca wskutek utraty wody (bez wpływu innych czynników), spowodowała zmianę układu wiązań między ziarnami i cząstkami. Skład granulometryczny nie odzwierciedla tych zmian zachodzących w gruncie. Ze względu na to, iż w spoistych gruntach drobnoziarnistej struktura uzależniona jest nie tylko od ilości i wielkości ziarn oraz cząstek, ale także od ilości i wielkości zespołów



Ryc. 4. Oznaczenie rodzaju gruntu.

/// wynik badań metodą analiz granulometrycznych, x — wynik badań metodą analiz agregatowych.

Fig. 4. Identification of types of soil.

/// results of granulometric analyses, x — results of aggregate analyses.

z nich powstałych, pożądane jest w celu scharakteryzowania gruntu (poza badaniami granulometrycznymi) wykonywanie analiz agregatowych. Zaobserwowany związek między wilgotnością gruntu a ilością wodoodpornych agregatów wskazuje, że struktura gruntów spoistych jest cechą zmienną, zależną od różnych stopni wilgotności gruntu.

#### LITERATURA

1. Edwards A. P., Bremner J. M. — Microaggregates in soils. Journ. of Soil Sci. 1967, nr 1.
2. Kalinowska K. — Zanikanie jezior polodowcowych Prz. geogr. 1961, z. 3.
3. Langier-Kuźniarowa A. — Wpływ stabilizatorów na substancję ilastą w analizie granulometrycznej. Kwart. geol. 1961, nr 1.
4. Liszkowski J. — Filtracyjne deformacje utworów lessowych. Biul. geol. Wyd. Geol. UW. 1971, T. 13.
5. Łarionow A. K. — Inżyniero-geołogiczkoje izuczenije struktury rychlych osadocznych porod. Niedra, Moskwa, 1966.
6. Łarionow A. K. — Metody issledowanija struktury gruntow. Niedra, Moskwa, 1971.
7. Metodiczeskije posobije po inżyniero-geołogiczkeskomu izuczeniju gornych porod pod redakcej: E. M. Siergiejewa, S. N. Maksimowa, G. M. Bierieznikoj. Izd. Mosk. Uniw. 1968, T. 1.
8. Metodiczeskije rukowodstvo po izuczeniju poczwiennoj struktury pod riedakcej: I. W. Rewuta i A. A. Rode. Kołos. Kolos, Leningrad, 1969.
9. Micyński J. — Proste metody określenia wodotrwałości agregatów glebowych. Ann. UMCS vol. 12, 4 Sectio E, 1957.
10. Paszyc-Stępkowska E. — Próba fizyko-chemicznej interpretacji procesu ścinania nasycyonych gruntów ilowych. Arch. Hydrotech., 1966, z. 3–4.
11. Wadiunina A. F., Korczagina Z. A. — Metody issledowanija fizycznych swojstw poczw i gruntow. Wysszaja szkoła, Moskwa, 1961.

## S U M M A R Y

A comparison of granulometric and aggregate composition of soils is made on the example of studies of lacustrine deposits. Studies made on a sample with unchanged structure show that soil drying process does not affect granulometric composition but it leads to some changes in aggregate composition. Moisture decrease is accompanied by growth of waterproof aggregates; their size, by the same fraction content, also increases to some extent. This phenomenon has been defined as structural index of drying changes.

## Р Е З Ю М Е

Автор проводит сопоставление гранулометрического состава с агрегатным сложением грунта на примере изучения озерных осадков. Опыты на образцах с ненарушенной структурой показали, что по мере высыхания гранулометрический состав грунта почти не изменяется, но преобразуется агрегатное состояние. С потерей влажности возрастает количество водостойких агрегатов, а также в некоторой степени возрастает их величина при одинаковом содержании фракции. Это явление принято в качестве структурного показателя изменений высыхания.