

problemy agrofizyki

POLSKA AKADEMIA NAUK • ZAKŁAD AGROFIZYKI



Ossolineum

zeszyt 19

rok 1976

**METODY BADANIA I SPOSOBY OPISYWANIA
AGREGACJI GLEBY**

**METODY BADANIA I SPOSOBY OPISYWANIA
AGREGACJI GLEBY**

P O L S K A A K A D E M I A N A U K
ZAKŁAD AGROFIZYKI W LUBLINIE

PROBLEMY AGROFIZYKI

19

WROCŁAW · WARSZAWA · KRAKÓW · GDAŃSK
ZAKŁAD NARODOWY IMIENIA OSSOLIŃSKICH
WYDAWNICTWO POLSKIEJ AKADEMII NAUK

PROBLEMY AGROFIZYKI

19

RYSZARD WALCZAK, BARBARA WITKOWSKA

METODY BADANIA I SPOSOBY OPISYWANIA AGREGACJI GLEBY

**WROCŁAW · WARSZAWA · KRAKÓW · GDAŃSK
ZAKŁAD NARODOWY IMIENIA OSSOLIŃSKICH
WYDAWNICTWO POLSKIEJ AKADEMII NAUK**

1976

Komitet Redakcyjny
BOHDAN DOBRZAŃSKI (przewodniczący)
JAN GLIŃSKI. BOGUSŁAW SZOT

Okladkę projektował ZYGMUNT ZIEMKA
Redaktor techniczny RYSZARD DĘBICKI

Wykonano z oryginałów tekstowych
dostarczonych przez Zakład Agrofizyki

Wszelkie prawa zastrzeżone. Printed in Poland

Zakład Narodowy im. Ossolińskich – Wydawnictwo. Wrocław 1976.
Nakład: 380 egz. Objętość: ark. wyd. 2,30, ark. druk. 3,50. Papier
offset. kl. III, 70 g, 61×86. Wykonano w lipcu 1976. Wrocławska
Drukarnia Naukowa. Zam. 2162/76 – L-11 Cena zł 20.–

W S T Ę P

Struktura gleby, czyli geometria układu fazy stałej decyduje o stosunkach powietrzno-wodnych w glebie oraz jej właściwościach mechanicznych. W warunkach naturalnych każda gleba charakteryzuje się określoną agregacją, czyli ilością agregatów powstałych w wyniku połączenia elementarnych cząstek glebowych (67,68). Naturalna zdolność do agregacji jest podstawową cechą gleby. W glebie następuje ciągły proces rozpadu jednych agregatów i tworzenia się innych. Ilościowy i jakościowy stopień zgrużlenia gleby zależy przede wszystkim od jej składu mineralnego i mechanicznego. Czynniki decydującymi o tworzeniu się struktury agregatowej (33,34) są:

1. Obecność koloidów organicznych i mineralnych. Koagulacja koloidów i tworzenia się agregatów może zachodzić w wyniku zmian właściwości koloidów pod wpływem niektórych kationów dwuwartościowych np. Ca^{++} , Mg^{++} ;
2. Działalność życiowa mikroorganizmów glebowych, roślin i wyższego świata zwierzęcego. Duży wpływ na tworzenie się struktury agregatowej wywierają mikroorganizmy glebowe, których wydzieliny - śluz sklejają cząstki gleby. Wydzieliny korzeniowe niektórych roślin wyższych, np. wieloletnich, bardzo korzystnie wpływają na tworzenie się agregatów. Poważną rolę w tworzeniu agregatów odgrywa życiowa działalność dżdżownic;
3. Działanie mrozu. Tworzące się w glebie kryształy lodu powo-

dują dehydratację koloidów, jednocześnie mechanicznie zgniatając cząstki glebowe. Szczególnie intensywnie i korzystnie przebiega ten proces, jeżeli wykonano głęboką orkę zimową;

4. Zabiegi agrotechniczne. Uprawa mechaniczna gleby może wpływać dodatnio na tworzenie się agregatów, gdy jest wykonywana przy optymalnej wilgotności (60–80% połowej pojemności wodnej). Proces tworzenia się agregatów można intensyfikować również poprzez stosowanie nawożenia. Wpływ mechaniczny obróbki gleby na agregację jest krótkotrwały, ponieważ skład koloidów glebowych, ich właściwości powierzchniowe oraz ilościowy i jakościowy skład roztworu glebowego warunkują naturalną skłonność gleby do tworzenia agregatów.

Wielkość agregatów glebowych determinuje ich właściwości fizyczne. Stwierdzono, że agregaty o średnicy mniejszej od 0,25 mm, nazywane mikroagregatami, charakteryzują się prostą budową i silnym scementowaniem przez lepiszcze, natomiast agregaty o średnicach od 0,25 do 10 mm, nazywane makroagregatami, wykazują skomplikowaną budowę wewnętrzną, niewielką odporność na działania mechaniczne i obniżoną, w stosunku do mikroagregatów, odporność na działanie wody (68).

Odporność agregatów glebowych na destrukcyjne działanie wody, nazywana wodoodpornością, jest jedną z najistotniejszych ich cech fizycznych, przyjmowaną za miarę jakości agregacji gleby. W literaturze rolniczej spotkać można określenie rzeczywistej i pozornej odporności agregatów. Trwałością rzeczywistą (bezwąrkową) charakteryzują się gruzelki powietrznie suche, które po zanurzeniu w wodzie nie tracą pierwotnej formy i nie rozpadają się na cząsteczki o średnicy mniejszej od 0,25 mm. Agregaty, które nie wykazują trwałości rzeczywistej, mogą mieć trwałość

pozorną (warunkową) w przypadku, gdy nie rozpadają się w stanie kapilarnie uwodnionym przed zanurzeniem w wodzie. Rzeczywista odporność agregatów jest zwykle mniejsza od pozornej.

W glebie równocześnie z procesami strukturotwórczymi zachodzą procesy powodujące niszczenie struktury gleby, a więc rozpadanie się agregatów oraz zbytne zagęszczenie układu glebowego. Niszczenie struktury gleby może mieć przyczyny bezpośrednie (mechaniczne) i pośrednie (fizykochemiczne i biologiczne):

1. mechaniczne - destrukcyjne oddziaływanie na agregaty deszczu, nieodpowiednia mechaniczna uprawa roli, oddziaływanie kół pojazdów napędzających i narzędzi rolniczych;
2. fizykochemiczne:
 - a) rozpuszczanie i wymywanie związków klejących; ługujące działanie wody opadowej, powodujące wymywanie z kompleksu sorpcyjnego koagulatorów,
 - b) zakwaszenie gleby,
 - c) zsołoncowanie gleby;
3. biologiczne - zbyt szybko przebiegająca, w warunkach nadmiernej aeracji, mineralizacja czynnej próchnicy oraz polisacharydów i poliurenidów, tj. lepiszcza, w dużym stopniu decydującego o trwałości struktury gleby.

Struktura gleby tworzy się w określonych warunkach klimatycznych i w zależności od nich różne jest działanie czynników strukturotwórczych oraz powodujących jej niszczenie. Czynniki klimatyczne oddziałujące stale na dużych powierzchniach i znacznej głębokości powodują wytworzenie się struktury gleby, o określonym typie ilościowych stosunków między mikro- i makroagregatami oraz charakterystycznym ich rozkładzie w profilu. W ścisłym związku z klimatem na glebę oddziałuje również flora

i fauna glebowa, dlatego też struktura gleby ulega dynamicznym zmianom.

Struktura gleby reguluje właściwości wodne, powietrzne i cieplne gleb, wpływa więc zdecydowanie na procesy biologiczne i uruchamianie trudno przyswajalnych składników pokarmowych w glebach. Równowaga pomiędzy procesami aerobowymi, decydującymi o mineralizacji substancji organicznej i tworzeniu się utlenianych, przyswajalnych dla roślin związków mineralnych, a procesami anaerobowymi, dzięki którym rozkład związków organicznych przebiega powoli i sprzyja gromadzeniu się próchnicy, może istnieć tylko w glebach strukturalnych, ponieważ w nich, nawet w okresach dużego uwilgotnienia, procesy anaerobowe przebiegają tylko wewnątrz agregatów, a na ich powierzchni i w większych niekapilarnych przestworach międzyagregatowych zachodzą procesy aerobowe.

Struktura agregatowa chroni warstwy orne gleb przed procesami erozyjnymi, jednocześnie zapewniając roślinom wykorzystanie opadów do 85%, podczas gdy wykorzystanie opadów w glebach pozbawionych agregatów nie przekracza 15% (cyt. za Dołgowem 24).

Struktura gleby ma znaczenie przede wszystkim jako regulator klimatu glebowego (64), od niego zaś uzależniony jest stan biologiczny, a co za tym i produktywność gleby.

METODY BADANIA AGREGACJI GLEBY

Metody bezpośrednie

Badania struktury gleby dotyczące określania kształtu i wymiaru agregatów glebowych oraz ich układu w profilu glebowym mogą być prowadzone na specjalnie preparowanych szlifach glebo-

wych. Badanie układu agregatów może być realizowane jedynie na szlifach o odpowiednio dużej powierzchni, np. około 10 cm^2 (60). Przygotowanie szlifu glebowego wymaga pobrania próbki glebowej w terenie w układzie naturalnym. Następnie próbka glebowa nasycona jest związkiem chemicznym o właściwościach utwardzających i szlifowana. Przygotowany w taki sposób szlif używany jest do badań pod mikroskopem. Właściwości mikromorfologiczne gleb w układzie naturalnym w szlifach oznaczane są w świetle zwykłym i spolaryzowanym. W celu ułatwienia badań i uzyskania możliwości porównywania wykonywane są fotogramy szlifów glebowych. Techniki przygotowywania szlifów glebowych i metodyka ich badań opracowane zostały m.in. przez Buola i Fadnessa (9), Day'a (15), Evansa i Buda (25), Harpera i Volka (29), Hillela i Derlinera (31), Kubię (41), Redlicha (55) i Sideriego (58). Badania przydatności żywic produkowanych w Polsce do utwardzania próbek glebowych i sporządzania z nich szlifów prowadzone były przez Kowalińskiego i Bogdę (40). Stosowanie techniki szlifów umożliwia opis mikromorfologii gleby w poziomach genetycznych profilu (60). Badania mikromorfologiczne ponadto pozwalają na wyjaśnienie morfogenezy różnych typów struktur glebowych.

Określanie struktury gleby w warunkach polowych ogranicza się zwykle do dokładnego opisu profilu glebowego i elementów strukturalnych wchodzących w skład gleby. W celu standaryzacji opisu opracowane zostały schematy do klasyfikacji struktury gleby, a także agregatów glebowych. Autorami ich są m.in. Gracani (28), Low (44), Nikiforoff (51).

Określanie składu agregatowego gleby wykonywane jest przy użyciu techniki przesiewania, polegającej na przesiewaniu pobranej próbki glebowej o określonym ciężarze przez zestaw sit

o różnych średnicach otworów (76). Najczęściej używane są sita o średnicach otworów 0,25; 0,5; 1; 3; 5; 7; 10 mm. Wynikiem analiz jest ilościowy udział agregatów różnych wymiarów w glebie. Dane uzyskiwane przy stosowaniu metod przesiewania mogą być obciążone błędami, ponieważ działające podczas przesiewania siły mechaniczne spowodować mogą rozpad agregatów lub też zmianę ich pierwotnych kształtów. Przy przygotowywaniu próbek szczególną uwagę należy zwracać na ich wilgotność w momencie pobierania, gdyż odporność mechaniczna agregatów determinowana jest wilgotnością. Dlatego też w celu uzyskiwania porównywalnych wyników badania składu agregatowego należy przeprowadzać - używając do analiz gleby o określonej wilgotności i rozdrobnionej w sposób zgodny z procedurą stosowanej metody. Metody przesiewania używane są powszechnie ze względu na fakt, że są jedyną bezpośrednią drogą wyznaczania zawartości agregatów różnych wymiarów w glebie.

Określenie składu agregatowego gleby pozwala na ocenę jej wartości rolniczej. Ocena wartości rolniczej gleby wykonywana jest zwykle przy użyciu specjalnie opracowanych klasyfikacji. Sawinow (57) jest autorem klasyfikacji agregatów wartościowych pod względem rolniczym, która jest używana powszechnie w ZSRR (tab. 1).

Metody pośrednie

Pomiary właściwości gleby, będących funkcją jej struktury, dotyczą przede wszystkim określania porowatości gleby, poprzez wyznaczenie stopnia jej zagęszczenia, badania procesów filtracji i infiltracji cieczy i gazów oraz analizy charakterystyk wodnych (6,11,69). W celu uzyskania kompleksowych informacji odnośnie

Tabela 1. Klasyfikacja agregatów glebowych wartościowych
rolniczo wg Sawinowa (57)

Frakcja agregatów	Wygląd	Wymiar (średnica w mm)
1. Bryłowata część gleby (cząstki o średnicy większej od 10 mm)	duże bryły	> 100
	średnie bryły	30 - 100
	małe bryły	10 - 30
2. Gruzelkowata część gleby (cząstki o średnicy od 0,25 do 10 mm)	duże gruzełki	3 - 10
	średnie gruzełki	1 - 3
	drobne gruzełki	0,5 - 1
	elementy ziarniste	0,25 - 0,5
3. Rozpylona część gleby (cząstki o średnicy mniej- szej od 0,25 mm)	elementy mikro- strukturalne	0,01 - 0,25
	cząstki pylasto- gliniaste	< 0,01

możliwości stworzenia najkorzystniejszych warunków dla wzrostu i rozwoju roślin w glebie należy uzyskać charakterystyki potencjałów wody - wilgotność, które są pełną statyczną charakterystyką właściwości wodnych gleby, ponadto należy określić zdolności filtracji wody i gazów w glebie. Wielkości wyżej wymienione są funkcją struktury gleby tzn. funkcją wielkości i przestrzennego układu porów w glebie. Metody oparte na interpretacji statycznych charakterystyk wodnych tzn. charakterystyk potencjałów wody-wilgotność są jednymi z najbardziej rozpowszechnionych i dokładnych pośrednich metod oceny jakości struktury gleby i uzyskania informacji o geometrii stałej fazy gleby.

Charakterystyki potencjałów wody-wilgotność uzyskiwane są przy użyciu bloków pyłowych lub gipsowych oraz komór ciśnieniowych (10,71). Można wykazać, że w przypadku posługiwania się blokami

lub komorami wyznaczona jest składowa macierzysta potencjału wody glebowej tzw. składowa kapilarno-sorpcyjna potencjału wody glebowej. Ponieważ wiązanie wody powodowane jest ssaniem kapilarnym można więc przypisać siłom ssącym kapilary o odpowiednich promieniach zgodnie ze wzorem:

$$p = \frac{2\sigma \cdot \cos a}{r}, \text{ gdzie:}$$

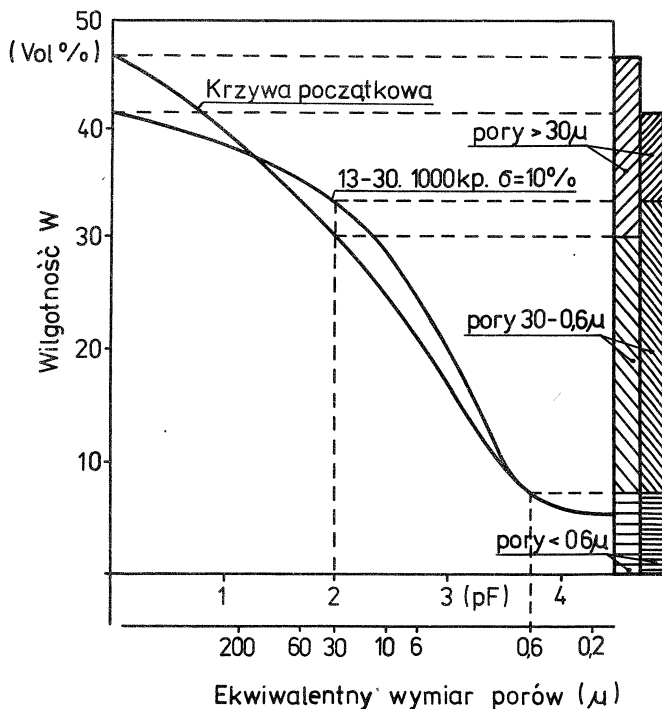
p - ciśnienie ssące, σ - napięcie powierzchniowe roztworu glebowego, a - kąt zwilżania, r - promień kapilary.

Przeliczenie jednostek obrazuje tab. 2.

Tabela 2. Potencjał wody glebowej i odpowiadające mu inne wielkości fizyczne

Potencjał wody glebowej $J \cdot m^{-3}$	$pF \log_{10}$	Ciśnienie at	Ekwiwalentna średnica porów $m \cdot 10^{-6}$
245	0,4	0,0025	1200
981	1,0	0,01	300
3100	1,5	0,0316	100
9810	2,0	0,1	30
15596	2,2	0,159	18,5
19620	2,3	0,2	15
49050	2,7	0,5	6
98100	3,0	1,0	3
245250	3,4	2,5	1,2
1471500	4,2	15,0	0,2

Analizując krzywe osuszania potencjał wody-wilgotność można wyliczyć rozkład porów wg wymiarów w glebie, zakładając regularność kształtów kapilar (61). Przykład takiej interpretacji przedstawiono na ryc. 1.

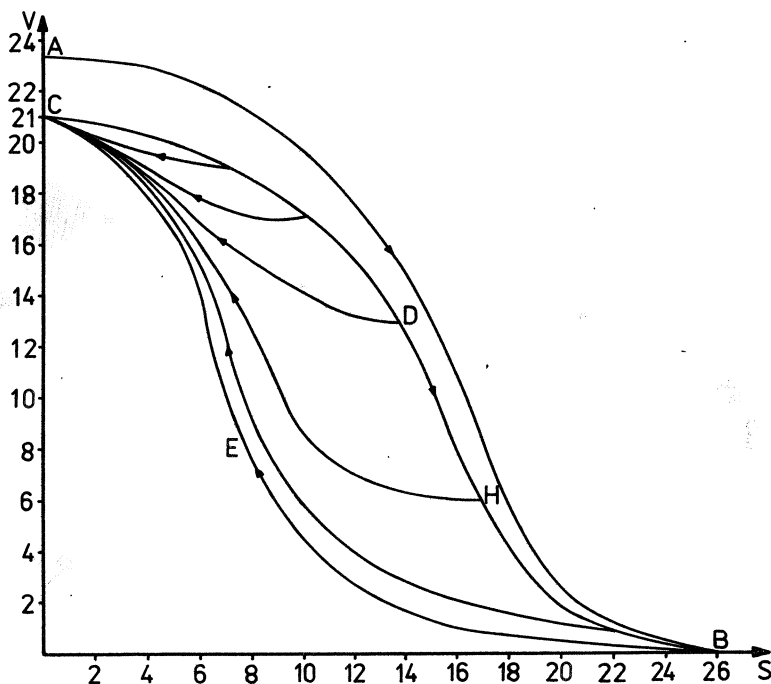


Ryc. 1. Krzywa osuszania pF - wilgotność, służąca do wyliczania rozkładu porów o różnych wymiarach w glebie wg Sommera, Stoinera i Altermüllera (61)

Taki model opisuje zachowanie się gleby w procesie osuszania. Jednak charakterystyki potencjał wody-wilgotność wykazują histerezę. Główną przyczyną tego efektu jest nieregularność kształtów porów glebowych, a zatem badanie charakterystyk potencjał wody-wilgotność z uwzględnieniem efektu histerezy daje możliwość określania rozkładu porów glebowych o nieregularnych kształtach.

Zastosowanie uniwersalnej teorii histerezy, opracowanej przez Everetta i Enderby'ego, umożliwia stosunkowo wierne odtwo-

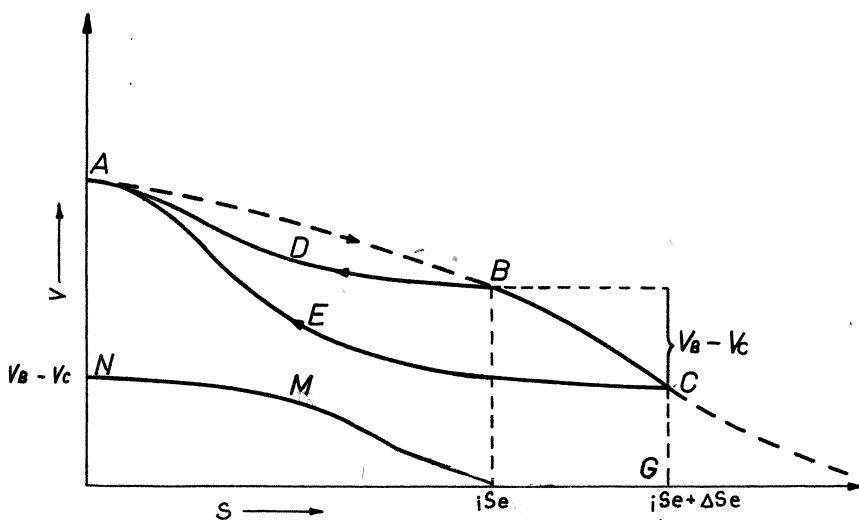
zenie rozkładu porów w glebie (21,37). Zgodnie z tą teorią rozkład porów glebowych opisywany jest trzema parametrami: objętością, wartością ciśnienia ssącego, przy którym ta objętość jest napełniana wodą i wartością ciśnienia ssącego, przy którym się opróżnia. Wartościom ciśnienia napełniania i opróżniania odpowiadają największe i najmniejsze promienie porów glebowych. W celu uzyskania danych eksperymentalnych do obliczeń należy wykonać następujące pomiary: 1. wychodząc od pełnego nasycenia (A - ryc. 2), przy zwiększaniu ssania osiągnąć stan osuszania (B - ryc. 2), 2. prowadząc proces w kierunku przeciwnym tzn.



Ryc. 2. Pętla histerezy i krzywe "scanning" zwilżania I rzędu wg Pouloussilisa (cyt. za 37)

zmniejszając ssanie, uzyskać krzywą BEC. Różnica objętości $V_A - V_C$ jest objętością zamkniętego powietrza, które nie pozwala na wypełnienie całej próbki wodą. Zamknięta pętla CDDE jest powtarzalną drogą, po której przechodzi układ przy tych zmianach ssania. Zatrzymując proces osuszania przy pewnym pośrednim ssaniu i zmniejszając od tego momentu ssanie, otrzymujemy krzywą, która przebiega wewnątrz pętli histerezy. W ten sposób możemy otrzymać tzw. krzywe "scanning" zwilżania I rzędu (ryc. 2).

Ze zbioru krzywych "scanning" możemy otrzymać funkcję rozkładu, które umożliwiają dokładne określenie ilości wody wchodzącej i opuszczającej glebę przy dowolnych zmianach siły ssącej. Ilustruje to krzywa NMG na ryc. 3. Z krzywej tej otrzymujemy kolumnę diagramu rozkładu (tab. 3). Liczby w kwadratach diagramu reprezentują objętości wody, które wychodzą z gleby przy ssaniu



Ryc. 3. Rozkład objętości wody $V_B - V_C$ podczas zmiany ssania S_{ewg} Poulouvasilisa (cyt. za 37)

procesu osuszania S_e , a wchodzi przy ssaniu S_f w procesie nawilżania. Z diagramu tego możemy odczytać, jaka będzie ilość wody w układzie po dowolnych kolejnych zmianach ssania (71).

Wielkościom pF można przypisać średnicę porów, wartości S_e - najmniejszą średnicę porów, decydującą o osuszaniu, wartości S_f - największą średnicę porów decydującą o zwilżaniu. Diagram daje więc rozkład porów z uwzględnieniem ich nieregularnych kształtów. Diagramy rozkładu ze względu na to, że zawierają dużą ilość liczb, dokładnie opisujących rozkład porów z uwzględnieniem nieregularności ich kształtów, są trudne do porównywania. Porównanie diagramów można przeprowadzić drogą syntetyzowania wyników, jednak prowadzi to do zrezygnowania z zalety opisu rozkładu porów przy pomocy diagramów. Różnica między opisaną metodą a określaniem rozkładu porów glebowych wg wymiarów za pomocą jednej krzywej osuszania polega na tym, że pory występujące w jednej kolumnie diagramu uważane są za identyczne. Dokładny opis zastosowania domenowej teorii histerezy do określania rozkładu wymiarów porów w glebie jest zawarty w Problemach Agrofizyki (37).

Do określania funkcji rozkładu wielkości średnic porów materiału glebowego wykorzystywany jest również porozymetr rtęciowy. Porozymetr rtęciowy do wyznaczania porowatości różniczkowej materiału glebowego zasugerował Waskburn w 1921 roku, a jako pierwsi zastosowali go Ritter i Drake. Przy pomocy tego przyrządu można zmierzyć promień porów, wykorzystując zachowanie się niezwilżających cieczy w kapilarach. Ciśnienie potrzebne do wprowadzenia rtęci w kapilarę jest funkcją promienia tej kapilary (38).

Jednym z podstawowych parametrów opisujących stan fizyczny

Tabela 3. Diagram rozkładu domen wodnych w glebie:

$d_{\max} 10^{-6}$ m pF zwilżania

6 2,7

1.41

15 2,3

.13

.26

18,5 2,2

.70

.59

30 2,0

3.05

.00

.92

100 1,5

.93

.00

.00

300 1,0

2.52

3.15

.00

.00

1200 0,4

1.81

3.54

.95

.53

.57

.14

1.62

.75

1.26

.93

.22

.25

1.14

0

0,4

1,0

1,5

2,0

2,2

2,3

2,7 pF osuszenia

1200

300

100

30

18,5

15

6 $d_{\min} 10^{-6}$ m

17

gleby jest jej powierzchnia właściwa (20). Stosując różne metody pomiaru powierzchni właściwej można mierzyć powierzchnię właściwą całkowitą zewnętrzną, wewnętrzną i międzypakietową. Wielkość tych powierzchni właściwych pozwala na określenie stopnia rozdrobnienia gleby oraz jej mikrostruktury, składu mineralogicznego frakcji ilastej, pojemności sorpcyjnej i zawartości substancji organicznej. Najbardziej rozpowszechnionymi metodami mierzenia powierzchni właściwej są metody: geometryczna - oparta na znajomości składu mechanicznego gleby; metody oparte na pomiarach filtracji cieczy i gazów; metody oparte na badaniu adsorpcji substancji polarnych i apolarnych (22,62). Metody oparte na badaniu filtracji gazów, które pozwalają na określenie geometrii porów glebowych, zostały opracowane przez Currie'go (11,12). W oparciu o prace doświadczalne zaproponował on, aby współczynnik dyfuzji tlenu w glebie opisywać wzorem:

$$Dg/Do = \gamma \cdot E_g^{\mu}, \text{ gdzie:}$$

Dg - dyfuzyjność gazu w częściowo nasyconym środowisku przy porowatości gazowej E_g wyrażonej w cm^3/cm^3 , Do - dyfuzyjność gazu w powietrzu, γ - współczynnik zależny od ogólnej porowatości gleby, μ - współczynnik zależny od E_g oraz ciągłości i krętości układu porów aeracji.

Zbadanie zależności zmian Dg/Do w zależności od wilgotności gleby i siły ssącej daje bezpośrednią informację o właściwościach aeracyjnych oraz pośrednio określa geometrię układu porów glebowych.

Metody badania powierzchni właściwej, rozkładu porów, składu mechanicznego, filtracji gazów i cieczy są metodami pośrednimi badania struktury gleby, tzn. przy ich pomocy nie możemy dokład-

nie opisać geometrii układu fazy stałej gleby, a tylko ocenić właściwości fizyczne gleby, istotne dla rozwoju roślin. Znajomość tych właściwości umożliwia zatem ocenę wartości rolniczej struktury badanej gleby.

METODY OKREŚLANIA WODOODPORNOŚCI AGREGATÓW GLEBOWYCH

Jakość agregacji gleby jest warunkowana trwałością agregatów, a przede wszystkim ich odpornością na działanie wody. Z tego powodu pomiary wodoodporności agregatów są najczęściej wykonywanymi pomiarami dotyczącymi struktury gleby.

Metody używane do określania wodoodporności agregatów glebowych można podzielić na następujące grupy:

1. metody sedymentacyjne,
2. metody nawilżania,
3. metody przepływu,
4. metody deszczowania,
5. metody przesiewania.

Metody sedymentacyjne

Metody sedymentacyjne wykorzystują zjawisko zmiennej prędkości opadania cząstek różnych wymiarów w cieczy. Wykonywanie analiz metodą sedymentacyjną polega na umieszczeniu próbki gleby w zamkniętym naczyniu z wodą, dokładnym wymieszaniu i pomiarze gęstości zawiesiny areometrem w określonych odstępach czasowych. Wyniki podawane są analogicznie do wyników analiz składu mechanicznego gleby. Technika sedymentacji, opracowana przez Kopecky'ego (39), stosowana jest przeważnie w formach zmodyfikowanych, m.in. przez Alderfera i Merkle'a (2), Olmsteada i innych (52) i Yodera (76).

Stosując metody sedymentacyjne do określania wodoodporności agregatów zajmowano się wpływem kształtu agregatów i charakteru ich powierzchni na prędkość opadania (35). Stwierdzono, że metodami sedymentacyjnymi mogą być frakcjonowane agregaty, których średnica nie przekracza 0,5 mm (35,53). Badania gęstości agregatów wykazały, że jest ona różna nie tylko dla agregatów różnych wymiarów, ale również dla agregatów tej samej frakcji, dlatego też prędkość opadania agregatów tego samego wymiaru w wodzie może być różna. Z opisanych wyżej spostrzeżeń wynika, że stosowanie metod sedymentacyjnych opartych na prawie Stokesa do określania składu agregatowego może prowadzić do uzyskiwania rezultatów obarczonych znacznymi błędami. Dlatego też obecnie metody sedymentacyjne nie są stosowane.

Metody nawilżania

Metody te polegają na kapilarnym nasyceniu agregatów glebowych wodą, a następnie określeniu stopnia ich rozpadu (rozpad może być zupełny lub częściowy). W przypadku stosowania metod nawilżania wyeliminowane jest mechaniczne niszczące działanie powietrza, natomiast oceniana jest wodoodporność substancji cementującej. Metody nawilżania są stosowane zwykle jako wstępny etap dalszych badań wodoodporności agregatów.

Najczęściej stosowaną metodą określania warunkowej (pozornej) wodoodporności agregatów jest metoda opracowana przez Andrianowa (4), polegająca na nawilżaniu określonej ilości agregatów wybranej frakcji (zwykle 50 lub 100 sztuk) na płytce Petriego i czterokrotnej obserwacji stopnia ich rozpadu w przeciągu 10 minut. Stopień wodoodporności określany jest dla każdego przedziału czasowego oddzielnie i wyrażany stosunkiem ilości

rozmytych agregatów do iloczynu wziętych do analiz agregatów i czasu liczonego od rozpoczęcia analizy. Ogólny stopień wodoodporności (E) równy jest sumie stopni wodoodporności dla poszczególnych przedziałów czasowych.

$$E = E_{2,5} + E_5 + E_{7,5} + E_{10}.$$

Rozmycie (G) jest wprost proporcjonalne do tej sumy i odwrotnie proporcjonalne do czasu trwania doświadczenia:

$$G = E \cdot \frac{1}{t}, \text{ gdzie:}$$

t - czas (równy 10 min).

Wodoodporność ogólna agregatów jest odwrotnie proporcjonalna do rozmycia:

$$W = \frac{1}{G}.$$

Metoda opracowana przez Andrianowa została zmodyfikowana m.in. przez Kaczyńskiego (34) i w badaniach jest zwykle używana w formie zmodyfikowanej. Wg Kaczyńskiego rozmyte agregaty należy zliczać w jednodominutowych odstępach czasu, a ogólną wodoodporność (K) wyliczyć wg wzoru:

$$K = \frac{(a_1 k_1) + (a_2 k_2) + \dots + (a_n k_n)}{A}, \text{ gdzie:}$$

$a_1 \dots a_n$ - ilość rozmytych agregatów w kolejnej minucie analizy, $k_1 \dots k_n$ - współczynniki poprawkowe, A - ilość badanych agregatów (50 sztuk).

Współczynniki poprawkowe (k) wynoszą odpowiednio dla 1 minuty: 5-2-15%; 3-25%; 4-35%; 5-45%; 6-55%; 6-65%; 7-65%; 8-75%; 9-85%; i 10-95%. Wielkość wskaźnika wodoodporności (K) zależy od czasu

rozpadu agregatów - im są one bardziej odporne, tym wartość K jest większa.

W przypadku gdy wszystkie badane agregaty nie rozpadają się w wodzie w czasie trwania analizy, współczynnik poprawkowy $k = 100\%$, natomiast ogólna wodoodporność wyliczana jest wg wzoru:

$$K = \frac{A \cdot 100\%}{A} = 100\% .$$

Metodę nawilżania agregatów mieszaninami wody i cieczy o małym napięciu powierzchniowym (alkohol, aceton), nie wykazujących zdolności solwacyjnych w stosunku do koloidów glebowych, opracował Miczyński (48). Zasadą tej metody jest ocena wodoodporności gruzełków glebowych na podstawie stopnia ich rozpadu przy nawilżaniu mieszaniną o różnym stopniu zawartości wody i acetonu. Stosowanie mieszanin o wzrastającym udziale wody zwiększa ich zdolność niszczenia agregatów, dlatego też można je uważać za pomiarową skalę wodoodporności. Miczyński zaproponował nawilżanie powietrznie suchych agregatów wybranej frakcji wodą destylowaną, mieszaniną wody destylowanej i acetonu w proporcji 50:50 oraz mieszaniną wody destylowanej i acetonu w proporcji 25:75. Po upływie 3 minut od momentu nawilżenia zliczane były trwałe agregaty (a), agregaty częściowo rozmyte (b) i agregaty, które uległy zupełnemu zniszczeniu (c). Następnie wyliczany był wskaźnik wodoodporności (t) wg schematu:

H_2O	$H_2O-C_2H_5OH$ (50 : 50)	$H_2O-C_2H_5OH$ (25 : 75)	Suma punktów	Wskaźnik wodoodpor- ności (t)
ax4 bx2	ax2 bx1	ax1 bx0,5	x	$t = x/7$

Wielkość wskaźnika wodoodporności (t) wzrasta wraz ze wzrostem wodoodporności agregatów w granicach od 0 do 10.

W badaniach warunkowej (pozornej) wodoodporności agregatów używane są również metody: Andrianowa w modyfikacji Nikolskiego (cyt. za Rewutem 56) oraz Zellera i Flunta (78), jednak ze względu na znaczną czasochłonność nie znajdują szerokiego zastosowania.

Metody deszczowania

Metody deszczowania polegają na badaniu działania spadających kropli wody, symulujących deszcz, na agregaty glebowe. Z tego powodu zwykle stosowane są krople wody o masie około 0,1 g spadające z wysokości 1 m, których energia kinetyczna przy uderzeniu wynosi około $9,8 \times 10^{-3}$ erg. Działanie takich kropeł odpowiada działaniu naturalnego deszczu w klimacie umiarkowanym. Miarą odporności agregatu glebowego na działanie kropeł wody jest zwykle ich liczba, konieczna do zupełnego zniszczenia agregatu. Niekiedy jednak oceniany jest również stopień zniszczenia agregatu, spowodowany uderzeniami określonej liczby kropeł wody. Sposób określania wodoodporności agregatów przez działanie na nie kropeł wody został opracowany przez Wileńskiego (75) i MC Calla'ę (46), a następnie zmodyfikowany m.in. przez Koepfa (36) oraz Smitha i Cernudę (59). Używany jest zwykle w formach zmodyfikowanych.

Metody przepływu

Są to metody pośrednie określania wodoodporności struktury gleby. Stosowanie ich umożliwia ocenę przepuszczalności wodnej gleby; pośrednio natomiast ocenę wodoodporności agregatów glebowych. Miarą przepuszczalności wodnej badanej gleby jest ilość

wody przepływającej przez jednostkę powierzchni próbki w jednostce czasu. Ilość przepływającej wody jest proporcjonalna do wodoodporności agregatów tj. prędkość filtracji wody zmniejsza się wraz ze zmniejszeniem się wodoodporności agregatów. Prędkość filtracji wody jest zwykle określanaw warunkach laboratoryjnych dla gleby o nienaruszonej strukturze lub dla sztucznie przygotowanych monoagregatowych próbek glebowych. Dodatkową uzupełniającą informacją, mówiącą o wodoodporności agregatów glebowych, jest stopień mętności odpływającej wody. Wyniki uzyskiwane przy użyciu różnych metod przepływowych są zwykle nieporównywalne, ze względu na fakt, że stosowane są różne wielkości ciśnienia wody doprowadzanej do próbki oraz różne grubości warstwy gleby poddawanej analizom.

Klasyczna technika pomiaru prędkości filtracji wody w glebie została opracowana przez Williama (cyt. za Czudnowskim i innymi 14), a następnie zmodyfikowana m.in. przez Pustowojtowa (54), Kaczyńskiego i Nikolskiego (cyt. za Rewutem i innymi 56). Autorami metod przepływowych powszechnie stosowanych w krajach zachodnich są Bendixen i Slater (5), Bloodworth i Cowley (6), Henin i inni (30), Ebert i Gliemerath (cyt. za Kullmannem 42), Kullmann (43), Marshall i Stirk (45), Musgrave (50) oraz Uhland i O'Neal (69).

Metody przesiewania

Metody przesiewania agregatów glebowych w wodzie należą do bezpośrednich metod wyznaczania ich wodoodporności. Zasadą tych metod jest przesiewanie próbki glebowej o określonym składzie agregatowym w wodzie i wyznaczaniu jej składu agregatowego po przesianiu. Zasada metod przesiewania agregatów glebowych w wo-

dzie opracowana została przez Tiulina (65,66) i Yodera (76). Technika wykonywania oznaczeń wodoodporności wymaga przygotowania powietrznie suchej próbki glebowej, określenia jej składu agregatowego, następnie umieszczenia jej w odpowiednim zestawie sit (zwykle używane są sita o średnicach otworów 10; 7; 3; 1; 0,5 i 0,25 mm) i przesiania po zanurzeniu w wodzie. Po upływie określonego czasu pozostałe na sitach agregaty są suszone i ważone, a następnie wyznaczany jest rozkład wodoodpornych agregatów wg wymiarów. Liczni autorzy, wprowadzając dodatkowe elementy do procedury, modyfikowali klasyczną metodykę przesiewania. Metody przesiewania agregatów w wodzie, ze względu na relację między sitami z próbką glebową a wodą, można podzielić na trzy typy. Do pierwszego typu zaliczane są te metody, w których sita stanowią element nieruchomy, natomiast woda znajduje się w ruchu; do drugiego - te, w których sita znajdują się w ruchu, a woda stanowi element nieruchomy; trzeci typ metod reprezentowany jest przez metody, w których zarówno sita jak i woda są elementami ruchomymi. Pierwszy z wymienionych typów metod reprezentowany jest przez metody opracowane m.in. przez Kullmanna, Meyera i Rennenkampfa oraz Wierszynina i Rewuta. Kullmann (43) proponuje umieszczenie kapilarnie nawilżonej próbki glebowej w specjalnie skonstruowanym aparacie, w skład którego wchodzi wibrator wprawiający wodę w ruch. Meyer i Rennenkampff (47) określają natomiast wodoodporność powietrznie suchych agregatów glebowych stosując przyrząd, w którym przez zestaw sit przepływa woda ze stałą, określoną prędkością. Wierszynin i Rewut (73,74) uzyskiwali informacje o wodoodporności agregatów uprzednio nawilżonych, poprzez umieszczenie ich w zestawie sit, poprzez który przepuszczana była woda z prędkością równą współczynni-

kowi filtracji badanej gleby. Do drugiego typu metod przesiewania należą metody opracowane m.in. przez Sawinowa i Cyganowa. Sawinow (57) proponuje przed przystąpieniem do zasadniczych badań wodoodporności wsypanie próbki glebowej do cylindra wypełnionego wodą i dokładne jej wymieszanie. Zawiesina glebowa umieszczana jest następnie w pojemniku z zestawem sit, a przesiewanie realizowane jest poprzez pionowy ruch zestawu sit wwozdzie. Natomiast Cyganow (13) kapilarnie nawilżone agregaty glebowe umieszczał w przyrządzie z zestawem sit poruszającym się pionowo z równoczesnym obrotem wokół osi. Trzeci typ metod reprezentowany jest przez metodę opracowaną przez Bakszejewa. Bakszejew (cyt. za Dołgowem 24) powietrznie suchą próbkę glebową umieszczał w zestawie sit przyrządu, którego konstrukcja umożliwia równoczesny ruch wody i zestawu sit.

Autorami aparatów, których konstrukcja umożliwia seryjne wykonywanie analiz metodami przesiewania są Hedrich i Sekera oraz Pigulewski (cyt. za Dołgowem 24 i za Rewutem 56).

Metody przesiewania wykazują jednak poważne wady (72), a mianowicie:

- przy kompleksowym badaniu próbki gleby niektóre frakcje reprezentowane są przez znikome ilości, co jest szczególnie istotne dla frakcji o dużych średnicach, np. 10-7 mm, gdzie kilka, a czasem nawet jeden agregat trudno uznać za przedstawiciela charakteryzującego frakcję;
- analizując wyniki otrzymywane metodami przesiewania obserwujemy przyrost ilości agregatów o małych średnicach, nie potrafimy określić jednak, rozmycie jakich frakcji spowodowało ten przyrost i czy agregaty o małych średnicach są wodoodporne.

- określenie trwałości poszczególnych frakcji agregatów glebowych i wyznaczenie procentowego udziału agregatów o różnych wymiarach, będących produktem rozpadu gruzełków o większych średnicach,
- uzyskanie dokładnych wyników przeciętnych, dzięki stosowaniu większej ilości gleby do analiz.

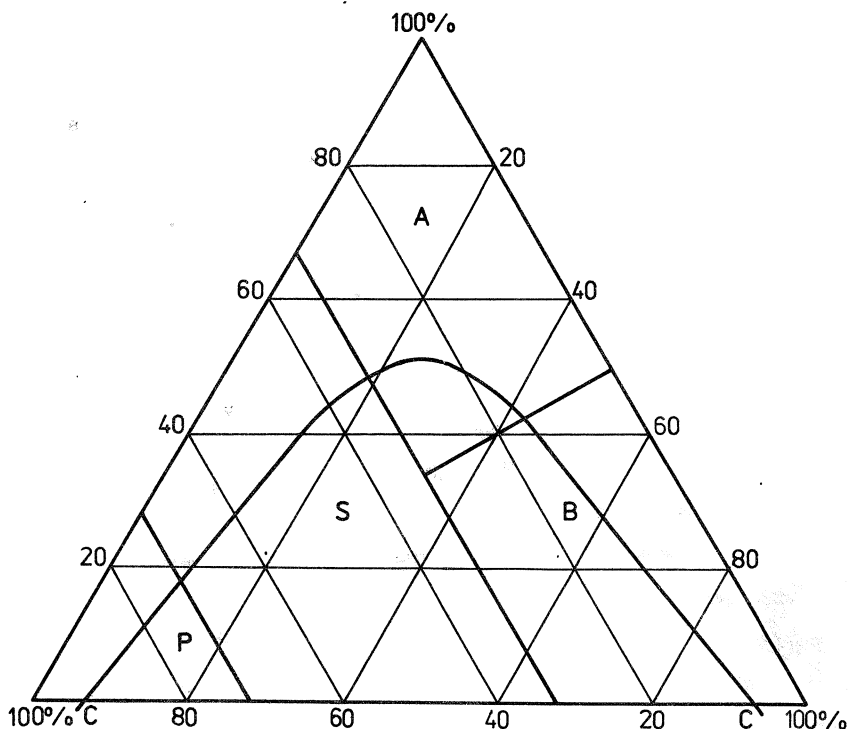
Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że opisana powyżej metoda ma szczególne zastosowanie w badaniach efektów działania substancji strukturotwórczych, mikroorganizmów i zabiegów agrotechnicznych (16,18,19). Dodatkową zaletą analitycznej metody określania wodoodporności agregatów glebowych jest możliwość przeliczania uzyskanych wyników, co pozwala na porównanie ich z wynikami otrzymanymi klasycznymi metodami przesiewania.

WSKAŹNIKI OPISUJĄCE AGREGACJE GLEBY I TRWAŁOŚĆ JEJ ELEMENTÓW

Agregacja gleby i trwałość elementów wchodzących w jej skład charakteryzowana jest przy pomocy wskaźników. Większość wskaźników charakteryzujących agregację gleby, oparta jest na wynikach uzyskiwanych przy stosowaniu metod przesiewania, tj. procentowym rozkładzie agregatów wg wymiarów.

Określanie składu agregatowego z uwzględnieniem jego przydatności rolniczej wykonywane było pierwotnie przy pomocy tzw. trójkąta strukturalności gleby, tj. metodyki opracowanej przez Williamsa (cyt. za Rewutem 56). Williams przyjął, że elementy gleby, których średnica nie przekracza 0,25 mm uważać należy za pylaste; 0,25-10 mm - agregatowe; natomiast te, których średnica

jest większa od 10 mm - bryłowatymi. Na tej podstawie podał on następującą gradację strukturalności składu gleby: przy zawartości w glebie elementów pylastych mniejszej niż 35% - gleba może być agregatowa (A) lub bryłowata (B), w zależności od ilości zawartych w niej agregatów lub brył. Gleba zawierająca od 35% do 75% elementów pylastych jest glebą rozpyloną (S), natomiast przy zawartości elementów pylastych większej od 75% - jest glebą silnie rozpyloną (P). Klasyfikację tą można przedstawić graficznie w postaci tzw. trójkąta strukturalności gleby (ryc.5).



Ryc. 5. Diagram do określania składu agregatowego gleby wg Sawinowa i Dołgowa (cyt. za 24)

W trójkącie strukturalności gleby, podstawa odpowiada zawartości pyłu w glebie ($< 0,25$ mm) (P), jedno ramię - zawartości agregatów (0,25- 10 mm) (A), natomiast drugie - zawartości brył (> 10 mm) (B). Zaznaczone w trójkącie pogrubionymi liniami proste dzielią jego powierzchnię na części odpowiadające bryłowatym (B), agregatowym (A), rozpylonym (S) i silnie rozpylonym (P) glebom.

Praktycznie, jak wykazały zestawienia licznych badań, większość gleb wg składu strukturalnego charakteryzowana jest częścią pola trójkąta, znajdującą się ponad zaznaczoną na rycinie krzywą CC. Na podstawie trójkąta strukturalności określono agregację gleby i jej wodoodporność wg poniższej skali (w nawiasach pierwsza litera odnosi się do wyników analiz suchego przesiewania, druga - mokrego przesiewania):

1. gleba silnie rozpylona (P-P),
2. " rozpylona rozplywająca się (S-P),
3. " agregatowa silnie rozplywająca się (A-P),
4. " bryłowata silnie rozplywająca się (B-P),
5. " rozpylona wodoodporna (S-S),
6. " agregatowa rozplywająca się (A-S),
7. " bryłowata rozpylająca się (B-S),
8. " bryłowata wodoodporna (B-B),
9. " bryłowata krusząca się (B-A),
10. " agregatowa wodoodporna (A-A).

Ocena agregatowego składu gleby może być wykonywana również na podstawie sumarycznej powierzchni zewnętrznej agregatów (cyt. za Rewutem 56). Sumaryczna zewnętrzna powierzchnia agregatów wyliczana jest wg wzoru:

$$S = 0,6 \frac{m}{D} \left(\text{cm}^2 \text{g}^{-1} \right), \text{ gdzie:}$$

S - sumaryczna powierzchnia zewnętrzna agregatów (cm^2g^{-1}),
 D - średnia średnica badanych agregatów w mm, m - procentowy udział badanej frakcji agregatów w glebie.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że gleby bryłowe mają sumaryczną zewnętrzną powierzchnię od 0 do $6\text{ cm}^2\text{g}^{-1}$; natomiast sumaryczna zewnętrzna powierzchnia agregatów gleby pylastej jest większa od $240\text{ cm}^2\text{g}^{-1}$. Sumaryczna powierzchnia zewnętrzna od 6 do $240\text{ cm}^2\text{g}^{-1}$ jest charakterystyczna dla gleby agregatowej, przy czym dla gleb o agregatach dużych wymiarów S wynosi od 6 do $9\text{ cm}^2\text{g}^{-1}$; średnioagregatowych S zawarte jest w granicach od 9 do $20\text{ cm}^2\text{g}^{-1}$; drobnoagregatowych - od 20 do $64\text{ cm}^2\text{g}^{-1}$ i bardzo drobnoagregatowych - od 64 do $240\text{ cm}^2\text{g}^{-1}$.

Wielkości sumarycznej zewnętrznej powierzchni agregatów są używane przy ocenie składu agregatowej gleby przed i po działaniu na nią wody. O wodoodporności agregatów glebowych świadczy wielkość stosunku sumarycznej powierzchni zewnętrznej powietrznie suchych agregatów do ich powierzchni po przesianiu w wodzie. Jeśli wielkość stosunku przekracza wartość 0,8 - wodoodporność agregatów jest uważana za wysoką; jeśli zawarta jest pomiędzy 0,8-0,6 - średnią; 0,6-0,4 - zaniżoną; 0,4-0,2 - niską; jeżeli natomiast nie przekracza 0,2 - bardzo niską.

Odrębną grupę tworzą wskaźniki charakteryzujące wybraną frakcję elementów strukturalnych gleby.

Wskaźnik rozpylenia gleby (stopień strukturalności gleby (cyt. za Czudnowskim 14) jest stosunkiem udziału agregatów o średnicy większej od 0,25 mm do udziału agregatów o średnicy mniejszej od 0,25 mm w glebie wyrażonego w %.

$$S = \frac{\text{ilość agregatów o } \phi > 0,25 \text{ mm}}{\text{ilość agregatów o } \phi < 0,25 \text{ mm}} .$$

Stopień rozpylenia (strukturalności) gleby jest tym mniejszy, im większe wartości przyjmuje wskaźnik S. Porównywanie wielkości wskaźników rozpylenia (strukturalności) gleby przed i po działaniu na nią wody pozwala na określenie stopnia rozmycia agregatów.

Wskaźnik bryłowatości gleby (cyt. za Rewutem 56) informuje natomiast o stopniu zbrylenia gleby. Wskaźnik ten jest stosunkiem ilości agregatów o średnicy większej od 10 mm do ilości agregatów o średnicy mniejszej od 10 mm, wchodzących w skład gleby, wyrażonym w %.

$$B = \frac{\text{ilość agregatów o } \phi > 10 \text{ mm}}{\text{ilość agregatów o } \phi < 10 \text{ mm}} .$$

Zbrylenie gleby jest wprost proporcjonalne do wartości wskaźnika.

Współczynnik strukturalności gleby (cyt. za Dołgowem 24), opracowany w Instytucie Agrofizycznym w Leningradzie, używany jest do oceny wartości rolniczej agregacji gleby. Wyliczanie współczynnika strukturalności oparte jest na założeniu, że najkorzystniejszą strukturę gleby tworzą wodoodporne agregaty o średnicach 0,25-7 mm; natomiast udział elementów o średnicach mniejszych od 0,25 mm i większych od 7 mm jest niekorzystny.

$$WS = \frac{\% \text{ udział wodoodpornych agregatów o } \phi 0,25 - 7 \text{ mm}}{\% \text{ udział agregatów o } \phi < 0,25 \text{ mm i } \phi > 7 \text{ mm}} .$$

Agregacja gleby jest tym bardziej wartościowa rolniczo, im większe wartości osiąga współczynnik WS.

Jakość agregacji gleby w praktyce często jest charakteryzowana wskaźnikiem strukturalności, opracowanym przez Wierszynina

i Rewuta (73). Wg tych autorów o jakości agregacji gleby świadczy stosunek ilości agregatów o średnicach 1-10 mm do sumy ilości agregatów o średnicach większych od 10 mm i elementów strukturalnych o wymiarach mniejszych od 0,25 mm:

$$W = \frac{\% \text{ udział agregatów o } \phi \text{ 1 - 10 mm}}{\% \text{ udział agregatów o } \phi > 10 \text{ mm i } \phi < 0,25 \text{ mm}}.$$

Jakość agregacji gleby jest tym lepsza, im większa wartość osiąga wskaźnik.

Meyer i Rennenkampf (47) charakteryzowali wodoodporność agregacji gleby używając wskaźnika tzw. stałej wodoodporności. Wyliczanie stałej wodoodporności (K) wykonywali wg wzoru:

$$K = \frac{b \cdot 100}{a}, \text{ gdzie:}$$

K - stała wodoodporności, a - procentowy udział agregatów o średnicy większej od 1 mm w glebie przed działaniem na nią wody, b - procentowy udział agregatów o średnicy większej od 1 mm w glebie po działaniu na nią wody.

Wielkość stałej wodoodporności (K) może przyjmować wartości od 0 do 100. Większe wartości stałej wodoodporności K świadczą o większej wodoodporności agregatów glebowych.

Wskaźnik wykształcenia agregatów (32,55) wyrażany jest jako:

$$I = \frac{CS}{100}, \text{ gdzie:}$$

I - wskaźnik wykształcenia agregatów, C - procentowa zawartość agregatów o średnicy 0,25 - 10 mm w badanej glebie, S - procentowa zawartość wodoodpornych agregatów o średnicy 0,25 - 10 mm w badanej glebie.

Jeśli wartość wskaźnika wykształcenia agregatów (I) jest zbliżona do 100, wówczas gleba charakteryzuje się najkorzystniejszą agregacją.

Wskaźnik wodoodpornych agregatów opracowany został przez Cyganowa (13). Wyliczanie wskaźnika oparte jest na znajomości składu agregatowego absolutnie suchej gleby i oddzielnie wyznaczonej jej higroskopijności:

$$X = A \cdot k, \text{ gdzie:}$$

X - wskaźnik wodoodpornych agregatów (procentowy udział wodoodpornych agregatów badanej frakcji w glebie), A - waga suchych agregatów badanej frakcji, wyrażana w g, k - współczynnik higroskopijności.

Współczynnik higroskopijności k wyliczany jest wg wzoru:

$$k = \frac{100}{100 - a}, \text{ gdzie:}$$

a - higroskopowa wilgotność gleby w %.

Ostatecznie więc wskaźnik wodoodpornych agregatów (X) wyliczany jest wg wzoru:

$$X = \frac{A \cdot 100}{100 \cdot a}.$$

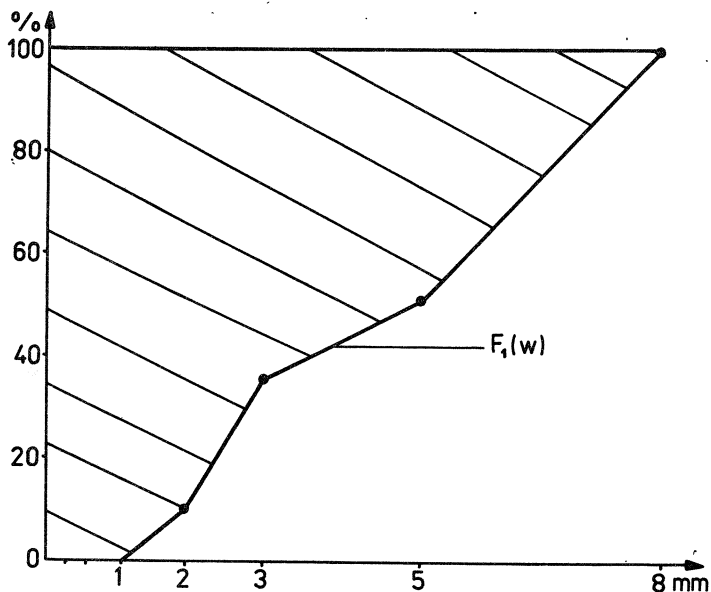
Równocześnie Cyganow (13) zaproponował posługiwanie się współczynnikiem wodoodporności, który wyliczany jest wg wzoru:

$$K = \frac{(a + b + c + \dots)}{(A + B + C + \dots)} \cdot 100\%, \text{ gdzie:}$$

K - współczynnik wodoodporności, a.b.c... - zawartość wodoodpornych agregatów badanych frakcji (bez frakcji < 0,25 mm), A,B,C... - zawartość agregatów badanych frakcji w powietrznie suchej glebie (bez frakcji < 0,25 mm).

W badaniach agregacji gleby jednym z najpowszechniej używanych wskaźników są tzw. procenty wagowe agregatów (7,8,27). Wskaźnik ten wyraża procentowy udział agregatów glebowych w dowolnym przedziale wielkości ich średnic jest używany do określania agregacji gleby przed i po działaniu na nią wody. W praktyce najczęściej używanymi przedziałami wielkości i średnic są: $\phi > 0,5 \text{ mm}$; $\phi > 1 \text{ mm}$; $\phi > 2 \text{ mm}$ i $\phi > 3 \text{ mm}$. Niekiedy stosowany jest również wskaźnik procentów wagowych agregatów w przedziałach wielkości średnic 0,5-1 mm i 1-2 mm z tzw. poprawką piaskową. Procedura otrzymywania wskaźnika polega na wyznaczeniu procentowego układu agregatów w wymienionych przedziałach wielkości ich średnic za pomocą analiz przesiewania, a następnie określeniu ilości cząstek piaskowych w glebie, tzn. wykonaniu analiz składu mechanicznego gleby. Wskaźnik procentów wagowych wodoodpornych agregatów z poprawką piaskową jest różnicą między ilością wodoodpornych agregatów o średnicach zawartych w wymienionych przedziałach wielkości, a ilością cząstek piaszczystych zawartych w glebie. Używanie agregatów o różnych średnicach uzależnione jest od składu mechanicznego badanej gleby (7).

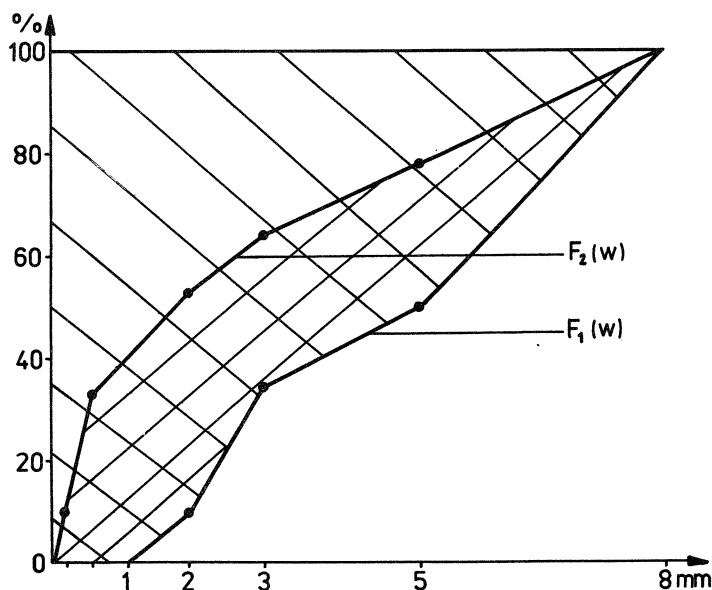
Ocena agregacji gleby najczęściej jednak jest wykonywana poprzez używanie statystycznego wskaźnika agregacji gleby, jakim jest średnia ważona średnica agregatów (70). Podstawą wyliczania tego wskaźnika jest procentowy rozkład agregatów wg wymiarów, otrzymywany w wyniku przeprowadzenia analiz metodami przesiewania. W celu uzyskania średniej ważonej średnicy należy w układzie współrzędnych, w którym na osi Oy zaznaczone są procenty, a na osi Ox - wielkości średnic agregatów, zaznaczyć kumulacyjne procenty wagowe w klasach wymiarowych. Po połączeniu



Ryc. 6. Krzywa całkowita procentowego udziału agregatów o różnych wymiarach w glebie wg Van Bavela (70)

zaznaczonych punktów otrzymuje się krzywą całkowłą procentowego udziału agregatów wg wymiarów w badanej glebie (ryc. 6).

Kolejnym etapem pracy jest określenie wielkości powierzchni zawartej pomiędzy krzywą $F_1(w)$ a osią Oy . Pomiar ten zwykle w praktyce wykonywany jest planimetrem. Następnie przez podzielenie uzyskanej wielkości powierzchni przez długość odcinka osi Oy , odpowiadającej 100%, otrzymana jest wartość, będąca średnią ważoną średnicą agregatów badanej gleby (70). Jeżeli w tym samym układzie współrzędnych wykreślimy krzywą całkowłą procentowego udziału agregatów dla tej samej gleby po przesianiu jej w wodzie $F_2(w)$ (ryc. 7), wówczas powierzchnia zawarta między krzywymi $F_1(w)$ i $F_2(w)$ będzie charakteryzować zmianę wielkości



Ryc. 7. Krzywe całkowite procentowego udziału agregatów w glebie na podstawie ich wymiarów dla wyników suchego i mokrego przesiewania wg De Leenheera i De Boodta (21)

średniej ważonej średnicy agregatów, wynikłą na skutek działania wody (17,21,70).

Wielkość powierzchni zawartej pomiędzy krzywymi $F_1(w)$ i $F_2(w)$ świadczy o wodoodporności agregatów; im powierzchnia jest większa, tym wodoodporność agregatów glebowych jest mniejsza. Wielkość powierzchni jest równa:

$$P = \int_{W_0}^{W_{100}} [F_1(w) - F_2(w)] dw, \text{ gdzie:}$$

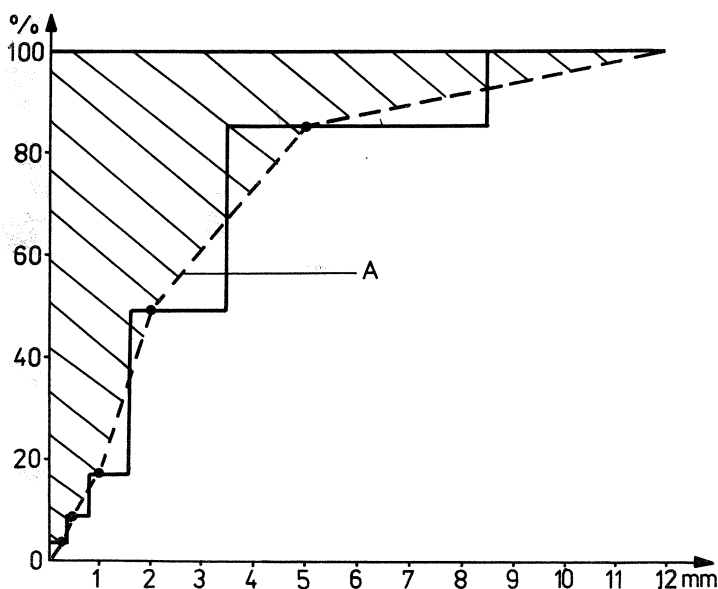
$W_0 \dots W_{100}$ - granice całkowania, $F_1(w)$ - krzywa całkowata rozkładu agregatów przed działaniem wody, $F_2(w)$ - krzywa całkowata rozkładu agregatów po działaniu wody.

Youker i Mc Guinness (77) charakteryzowali agregację gleby wprowadzając arytmetyczną średnią ważoną średnicę, wyrażoną jako:

$$\bar{r} = \frac{\sum r f / r}{\sum f / r} \quad , \text{ gdzie:}$$

$\sum f / r = N$, całkowita ilość agregatów, wyrażona w %.

Arytmetyczna średnia ważona średnica agregatów jest używana jako najprostsza charakterystyka rozkładu agregatów glebowych (ryc. 8).



Ryc. 8. Związek pomiędzy arytmetyczną średnią ważoną średnicą i średnią ważoną średnicą agregatów glebowych wg Youkera i Mc Guinnessa (77)

Średnia ważona średnica agregatów odpowiada powierzchni ponad krzywą A, przy założeniu, że rozkład agregatów w przedziałach klasowych odpowiada generalnemu kształtowi krzywej. Natomiast arytmetycznej średniej ważonej średnicy odpowiada powierzchnia histogramu, gdzie rozkład agregatów w każdym przedziale wymiarowym przyjmowany jest jako stały. Różnica pomiędzy dwoma wymienionymi ocenami może ulec zmniejszeniu poprzez zmniejszanie zakresu klas wymiarowych.

Gardner (27) zaproponował charakteryzowanie agregacji gleby przez stosowanie średniej geometrycznej średnicy. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdził on, że większość rozkładów agregatów glebowych wg wymiarów ma typ rozkładu normalnego (1,3, 26,27,63). Jeżeli w funkcji gęstości rozkładu normalnego - średnicę agregatów x , zastąpimy przez $\log x$, wówczas rozkład opisywany będzie równaniem:

$$n = \frac{N}{\delta g \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ \frac{-\log x - \log M_g/2}{2 \delta g^2} \right\} d/\log x/, \text{ gdzie:}$$

$$M_g - \text{średnia geometryczna średnica } /M_g = \sqrt[n]{x_1 \dots x_n},$$

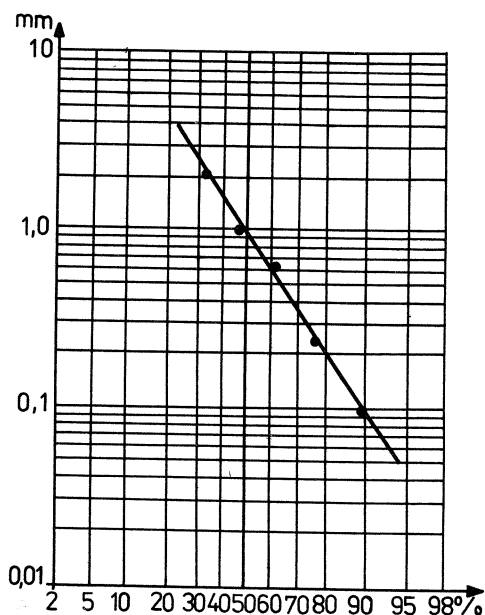
$$\delta g - \text{geometryczne odchylenie standardowe } / \delta g = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}} /$$

Jeżeli w układzie współrzędnych, gdzie na osi Oy wyrażono wielkości średnic w skali logarytmicznej, na osi Ox - procentowy rozkład agregatów wg wymiarów, naniesiemy punkty eksperymentalne, to po ich połączeniu uzyskamy prostą. Punkt przecięcia tej prostej z prostą odpowiadającą 50% udziału agregatów jest równy

wartości log średniej geometrycznej średnicy badanej próbki gleby, natomiast geometryczne standardowe odchylenie określone jest stosunkiem:

$$\delta_g = \frac{x \text{ przy } 84,13\%}{x \text{ przy } 50\%} = \frac{x \text{ przy } 50\%}{x \text{ przy } 15,87\%}$$

W tab. 4 podano konieczne dane do uzyskania średniej geometrycznej średnicy dla badanej gleby, którą w tym przypadku była gleba wytworzona z pyłu. W oparciu o przedstawione dane uzyskano wykres (ryc. 9), na podstawie którego odczytać można log średniej geometrycznej średnicy i wyliczyć geometryczne odchylenie standardowe.



Ryc. 9. Schematyczny wykres uzyskiwania średniej geometrycznej średnicy agregatów wg Gardnera (27)

Tabela 4. Charakterystyki gleby konieczne do uzyskania średniej geometrycznej średnicy agregatów wg Gardnera (27)

Klasy wymiarowe agregatów w mm	Procentowy udział agregatów	Średnica w mm	Skumulowany % wagowy
8,0 - 2,0	31,1	2,0	31,1
2,0 - 1,0	15,7	1,0	46,8
1,0 - 0,5	14,0	0,5	60,8
0,5 - 0,25	15,9	0,25	76,7
0,25- 0,10	12,8	0,10	89,5
0,10- 0,00	10,5	0,00	100,0

W podanym przypadku log geometrycznej średniej średnicy równy jest 0,860 mm, natomiast geometryczne standardowe odchylenie - 0,180.

Mukhtar i inni (49) zaproponowali używanie opracowanego na podstawie własnych badań wskaźnika struktury. Wskaźnik jest stosunkiem procentowego udziału wodoodpornych agregatów frakcji 1,0-0,5 i 0,5-0,25 mm do procentowego udziału wodoodpornych agregatów frakcji $\phi < 0,1$ mm i procentowej zawartości wodoodpornego materiału glebowego o $\phi > 2$ mm w badanej glebie tj.:

$$I = \frac{x_3 + x_4}{x_1 + x_6} \cdot 100, \text{ gdzie:}$$

x_3 - procentowy udział wodoodpornych agregatów frakcji 1-0,5 mm, x_4 - procentowy udział wodoodpornych agregatów frakcji 0,5-0,25 mm, x_1 - procentowy udział wodoodpornego materiału glebowego o $\phi > 2$ mm, x_6 - procentowy udział wodoodpornych agregatów o $\phi < 0,1$ mm.

Wyższe wartości wskaźnika struktury wskazują większą trwałość struktury glebowej. Autorzy podają przykładowo wyliczone wskaźniki struktury dla dwóch gleb (a i b) o różnym udziale wodoodpornych agregatów (tab. 5).

Tabela 5. Przykładowe wyniki analiz przesiewania konieczne do wyliczania wskaźnika struktury wg Mukhtara i in. (49)

Wymiary agregatów w mm	Procentowy udział wodoodpornych agregatów w badanych glebach	
	a	b
> 2 (x_1)	0,08	15,88
2-1 (x_2)	0,40	9,02
1-0,5 (x_3)	10,88	14,70
0,5-0,25 (x_4)	1,24	12,74
0,25-0,1 (x_5)	2,04	19,40
< 0,1 (x_6)	95,36	28,26
Wskaźnik struktury (I)	1,9	70,9

Stwierdzono, że wartości wskaźnika struktury zadawalająco charakteryzują trwałość agregacji gleb.

Przedstawione w pracy wskaźniki można podzielić na dwie zasadnicze grupy. Do pierwszej grupy zaliczone są wskaźniki charakteryzujące wyrywkowo agregację gleby, tzn. takie, które uwzględniają wybrane frakcje gruzełków glebowych, np. wskaźniki bryłowatości, rozpylenia. Drugą grupę wskaźników tworzą wskaźniki kompleksowo opisujące agregację gleby, np. średnia ważona średnica agregatów, jej zmiana i inne. Obie grupy wskaźników wykazują poważne wady, a mianowicie jedno z nich wyrywkowo charakteryzuje glebę, drugie natomiast wymagają skomplikowanych

obliczeń, a w związku z tym uzyskiwanie ich jest pracochłonne. Ponadto żadne z opisanych wskaźników nie dają informacji o jakości agregacji gleby. Dlatego też w Zakładzie Agrofizyki PAN, podjęto próbę wyznaczania prostego wskaźnika charakteryzującego jakość agregacji gleby (23). Podstawą do wyliczenia takiego wskaźnika jest procentowy rozkład agregatów różnych wymiarów, uzyskany w wyniku przesiania powietrznie suchej próbki glebowej przez zestaw sit, zgodnie z procedurą standardowej metody Tiulina lub Yodera. Natomiast procentowy rozkład agregatów poszczególnych frakcji agregatów po przesianiu w wodzie uzyskiwano w wyniku przeprowadzenia analiz metodą opracowaną w Zakładzie Agrofizyki PAN (72).

Zasadniczym punktem obliczania wskaźnika agregacji gleby jest podporządkowanie konkretnym frakcjom agregatów liczb odpowiadających ich rolniczemu znaczeniu.

Wielkości wag przypisywanych frakcjom agregatów powinny odpowiadać najlepszym stosunkom mikro- i makroporów w glebie tzn. mówić, jaki skład agregatowy zapewnia optymalne warunki powietrzno-wodne w glebie. Wskaźnik agregacji ostatecznie jest sumą iloczynów procentowych udziałów agregatów badanych frakcji i przyporządkowanym im wagom. Ustalenie wielkości wag w pełni odzwierciedlających przydatność rolniczą poszczególnych frakcji agregatów wymaga przeprowadzenia badań na szerokim materiale glebowym, również może być zrealizowane poprzez przeprowadzenie laboratoryjnych oznaczeń mających na celu określenie porowatości agregatów różnych wymiarów i ogólnej porowatości gleby o różnym składzie agregatowym. Ponadto właściwe opracowanie wskaźnika agregacji wymaga przeprowadzenia badań mechanicznej odporności agregatów glebowych o różnym uwilgotnieniu.

Wyliczany w opisany sposób wskaźnik agregacji gleby w odróżnieniu do innych powszechnie używanych wskaźników kompleksowo charakteryzuje agregację gleby uwzględniając jej wartość rolniczą. Jest on szczególnie przydatny do badania zmian agregacji w obrębie jednego typu gleb, ale może też służyć do porównywania różnych jednostek glebowych.

P O D S U M O W A N I E

Omówione w pracy metody badania agregacji gleby można podzielić na dwie grupy: metody bezpośrednie (szlifu i przesiewania) i metody pośrednie, umożliwiające ocenę agregacji gleby drogą pomiarów właściwości fizycznych będących jej funkcją. Metody szlifu pozwalają na opis szkieletu glebowego w nienaruszonej strukturze, co jest ich niewątpliwą zaletą, natomiast posługiwanie się metodami przesiewania wymaga naruszenie struktury gleby, a zatem uzyskany takim sposobem skład agregatowy gleby opisuje jedynie tendencję gleby do tworzenia określonego układu strukturalnego podczas jej mechanicznej uprawy. Metody pośrednie, nie dające dokładnego opisu geometrii stałych składników glebowych, umożliwiają uzyskanie informacji, które z praktycznego punktu widzenia są cenne, ponieważ określają fizyczne właściwości gleby istotne dla wzrostu i rozwoju roślin.

Metody badania wodoodporności agregatów glebowych również można podzielić na dwie grupy: 1) metody, gdzie na agregaty działa woda w postaci kropli posiadających energię kinetyczną oraz 2) metody, gdzie agregaty nawilżane są wodą innymi sposobami. Metodami zaliczonymi do pierwszej grupy należy posługiwać się przy badaniu odporności powierzchniowej warstwy gleby na działanie deszczu. W przypadku, gdy na glebę oddziałuje woda

bez dodatkowych efektów energetycznych należy posługiwać się metodami zaliczonymi do drugiej grupy.

Ze względu na trudności porównywania składu agregatowego i jego zmian opisywanych za pomocą procentowego udziału poszczególnych frakcji agregatów glebowych w pracy przedstawiono metody wyliczania tzw. wskaźników agregacji gleby. Z praktycznego punktu widzenia najbardziej wartościowymi są metody opisujące jakość agregacji gleby, uwzględniające przydatność rolniczą poszczególnych frakcji agregatów z punktu widzenia użytkowania gleby. Niektóre z metod umożliwiają precyzyjne obliczenie wartości wskaźników, jednak o praktycznym ich zastosowaniu decyduje poprawna i wiarygodna ocena przydatności rolniczej poszczególnych frakcji agregatów glebowych. Informacje takie można uzyskać tylko poprzez prowadzenie długoletnich doświadczeń uprawowych lub kompleksowe pomiary właściwości fizycznych gleb o zróżnicowanej agregacji, które dotychczas nie były prowadzone w szerokim zakresie.

P I Ś M I E N N I C T W O

1. Affleck C.: Application of the theory of probability to the size distribution of soil aggregates. Soil Sci. 1934, 38, 113.
2. Alderfer R.B., Merkle F.G.: The measurement of structural stability and permeability and the influence of soil treatments upon these properties. Soil Sci. 1941, 51, 201.
3. Allison L.E.: A study of synthetic aggregate breakdown using logarithmic-normal distribution analysis. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 1956, 20, 3, 314.
4. Andrianow P.I.: Oпрочности почвенного комка и методах его оприеделиения. Почвов. 1947, 2, 38.

5. Bendixen T.W., Slater C.S.: Effect of the time of drainage on the measurement of soil pore space and its relation to permeability. *Soil Sci.Soc.Amer.Proc.* 1946, 11, 35.
6. Bloodworth M.E., Cowley W.R.: The use of undisturbed soil cores for permeability and infiltration determinations. *Agron.* 1951, 43, 4.
7. Browning C.M., Russell M.B., McHenry J.R.: A comparison of methods for determining and expressing soil aggregation data. *Soil Sci.Soc.Amer.Proc.* 1943, 8, 91.
8. Bryan R.B.: The efficiency of aggregation indices in the comparison of some English and Canadian soils. *Jour.Soil Sci.* 1971, 22, 2.
9. Buol S.W., Fadness D.M.: New method of impregnating fragile material for thin sectioning. *Soil Sci.Amer.Soc.Proc.* 1961, 25, 253.
10. Childs E.C.: The use of soil moisture characteristics in soil studies. *Soil Sci.* 1940, 50, 239.
11. Currie J.A.: Diffusion within soil microstructure a structural parameter for soils. *Jour.Soil Sci.* 1956, 16, 2.
12. Currie J.A.: Gaseous diffusion in porous media. *Brit.J.Appl. Phys.* 1960, 11, 314.
13. Cyganow M.S.: Pribor dla awtomatycznego kupanija poczwu pri mokrom agregatnom analizie. *Poczwow.* 1957, 3, 14.
14. Czudnowski A.F. i inni: Podstawy agrofizyki. *PWRiL. Warszawa* 1967.
15. Day R.P.: Experiments in the use of the microscope for the study of soil structure. *Soil Sci.Soc.Amer.Proc.* 1948, 13, 43.
16. Dąbek-Szreniawska M.: Mikrobiologiczne aspekty tworzenia się agregatów glebowych. *Problemy Agrofizyki* 1972, 4.

17. De Boodt M., De Leenheer L., Don Kirrham: Soil aggregate stability indexes and crop yields. *Soil Sci.* 1961, 91, 2.
18. Dechnik I., Lipiec J.: Dynamika wilgotności i wodoodporności agregacji gleb uprawianych narzędziami aktywnymi. *Polish Jour. Soil Sci.* (w druku).
19. Dechnik I., Tarkiewicz S.: Zmiany właściwości agrofizycznych gleb pod wpływem działania narzędzi aktywnych. *Problemy Agrofizyki*, 1975, 18.
20. Dechnik I., Stawiński J.: Powierzchnia właściwa w badaniach fizykochemicznych i fizycznych właściwości gleb. *Problemy Agrofizyki*. 1972, 6.
21. De Leenheer L., De Boodt M.: Determination of aggregate stability by the change in mean weight diameter, *Inter.Symp. Soil Structure. Meded.Landbouwhogeschool, Ghent, Belgium.* 1958, 24, 290.
22. Dobrzański B., Michałowska K., Walczak R.: Znaczenie fizyki wody glebowej w gleboznawstwie i melioracjach wodnych. *Problemy Agrofizyki*, 1973, 10.
23. Dobrzański B., Witkowska B., Walczak R.: Wskaźnik agregacji gleby i jej wodoodporności. *Polish Journal Soil Sci.* 1975, 1.
24. Dołgow S.J. i inni: *Agrofiziczeskije metody issledowania poczw.* Izd.Nauka. Moskwa. 1966.
25. Evans D.D., Buol W.: Micromorphological study of soil crusts. *Soil Sci.Soc.Amer.Proc.* 1968, 32, 19.
26. Evans P.: Theory of probability and size distribution of soil aggregates. *Soil Sci.* 1951, 3, 245.
27. Gardner W.R.: Representation of soil aggregate-size distribution by a logarithmic-normal distribution. *Soil Sci.Amer. Soc.Proc.* 1956, 20, 2, 151.

28. Gracanian M.: To the problem of evaluation of soil structure. *Soil Sci.* 1950, 1, 40.
29. Harper H.J., Volk G.W.: A method for the microscopic examination of the natural structure and pores space in soils. *Soil Sci.Soc.Amer.Proc.* 1936, 1, 39.
30. Henin S., Monnier G., Combeau A.: Methode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. *Ann.Agron.* 1958, 173.
31. Hillel D., Berliner P.: Waterproofing surface-zone soil aggregates for water conservation. *Soil Sci.* 1974, 118, 2, 131.
32. Ionescu-Sisesti G., Staiku Ir.: *Agrotehnika*. Vol. 1. Bucuresti, Edit.Agrosilvica de Stat. 1958.
33. Kaczyński N.A.: Powstanie i sztuczne tworzenie struktury gleby. *Roczn.Gleb.* 1962, t. XII, 79.
34. Kaczyński N.A.: *Struktura poczw.* Izd.MGU, 1963.
35. Keen B.A.: The physical properties of soil. Rothamstead Monograph Longmans, Green and Co. 1931.
36. Koepf H.: Determination of aggregate stability using artificial raindrop impacts. *Z. Pflanzenernähr, Dung. Bodenkunde*, 1956, 74, 144.
37. Konstankiewicz K., Pukos A., Walczak R.: Domenowa teoria histerezy dla termodynamicznych procesów w glebie. *Problemy Agrofizyki*, 1974, 13.
38. Konstankiewicz K., Stawiński J.: Zastosowanie porografu rtęciowego do badań materiału glebowego. *Polish Jour. Soil Sci.* (w druku).
39. Kopecky J.: Beitrag zur neuen Anleitung der Kornproducte bei mechanischer Analyse. *Prag.* 1901, *Inter.Mitt. für Bodenkunde*. IV. 1914, 2/3.
40. Kowaliński S., Bogda A.: Przydatność polskich żywic syntetycznych do badania struktury gleby.

tycznych do sporządzenia mikroskopowych szlifów glebowych.

Roczn. Glebozn. 1966, t. XVI, 327.

41. Kubiena W.L.: Micropedology. Coll.Press.Iowa. 1938.
42. Kullmann A.: Problemy określania trwałości gruzełków glebowych i tworzenia struktury gruzełkowej. Międzynarodowe Czasopismo Rolnicze. 1958, 2, 189.
43. Kullmann A.: Über die Wasserbeständigkeit der Bodenkrumel, besonders in Abhangogkeit von Zeit und Bodenfeuchtigkeit. Berlin, Humbolt Univ. Habilitationsschrif. 1962.
44. Low A.J.: The study of soil structure in the field and the laboratory. Jour.Soil Sci. 1954, 5, 1, 57.
45. Marshall T.J., Stirk G.B.: The effect of lateral movement of water in soil on infiltration measurements. Austr.Jour. Agric.Res. 1950, 1, 253.
46. Mc Calla T.M.: Water drop method of determining stability of soil structure. Soil Sci. 1944, 58, 117.
47. Meyer L., Rennenkampf U.V.: Neuer Apparat und Methode zur automatischen Durchführung der Krumelanalyse nach Tjulin und Vorschlage zur Bestim mung des Krumelanteils, der Krumelgrosse und der Krumelfahigkeit des Bodens.Zeitschrift.f. Pflanzenernahr.Dung.Bodenkunde. 1936, H. 5/6. 43.
48. Miczyński J.: Proste metody określania wodoodporności agregatów glebowych. Annales UMCS.s.E. 1957, 12, 151.
49. Mukhtar O.M., Swoboda A.R., Godfrey C.L.: The effect of sodium and calcium chlorides on structure stability of two Vertisols: Gezira Clay from Sudan, Africa and Houston Black Clay from Texas, USA.Soil Sci. 1974, 118, 2, 109.
50. Musgrave G.W.: The ifiltration capacity of soils in relation to the control of surface runoff and erosion.J.Amer. Soc.Agr. 1935, 27, 336.

51. Nikiforoff C.C.: Morphological classification of soil structure, Soil Sci. 1941, 52, 193.
52. Olmstead L.B., Alexander L.T., Middleton H.E.: A pipette method of mechanical analysis of soils based on improved dispersion procedure. U.S.D.A.Techn.Bul. 1930, 170.
53. Puri A., Keen B.A.: The dispersion of soil in water. Jour. Agric.Sci. 1925, 15, 147.
54. Pustowojtow N.D.: Pribor dla opriedienija struktury. Pocz-wow. 1956, 7, 27.
55. Redlich G.C.: Determination of soil structure by microscopical investigation, Soil Sci. 1940, 50, 3.
56. Rewut I.B. i inni: Metodiczieskoje rukowodstwo po izuczeniu poczwiennoj struktury. Izd.Kołos.Leningrad. 1969.
57. Sawinow N.I.: Struktura poczw i jejo procznost na cielinie, pieriełogie i staropachotnych uczestkach. Sielskozgiz. Moskwa, 1951.
58. Sideri D.J.: On the formation of structure in soil. VI. Method of microscopic investigation of soil structure in reflected light. Soil Sci. 1938, 46, 337.
59. Smith R.M., Cernuda C.F.: Some Applications of water-drop stability testing to tropical soils of Puerto Rico. Soil Sci. 1951, 71, 337.
60. Soil Micromorphology. Proceedings of the Third International Working Meeting on Soil Micromorphology. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych 1972, 123.
61. Sommer E., Stoiner K., Altermüller H.J.: Das Verhalten vier verschiedener Modellböden unter vertikaler Belastung. Landbauf. Volkenrade, 1972, 22, 15.

62. Stawiński J.: Współzależność powierzchni właściwej z niektórymi fizykochemicznymi właściwościami gleb. Praca doktorska, Akademia Rolnicza w Lublinie, 1973.
63. Stirk G.B.: Expression of soil aggregate distributions. Soil Sci. 1958, 3, 133.
64. Terlikowski F.K., Filutowicz A.: O możliwości stosowania krótkotrwałych doświadczeń wegetacyjnych jako metody oznaczania żywności gleb. Roczn.Nauk Roln. i Leśn. T.L., 1950.
65. Tiulin A.F.: Questions on soil structure.II. Aggregate analyses as a method for determination soil structure. Perm. Agr.Exp.Sta.Div.Agr.Chem. 1928, 77.
66. Tiulin A.F.: Certain considerations on the genesis of soil structure and methods for its determination.Soviet.Sec.Int. Soc.Soil Sci. 1933, A, 111.
67. Tokaj J.: O niektórych właściwościach fizycznych agregatów gleb górskich. Roczn.Glebozn. 1961, t. X, 2, 435.
68. Tokaj J.: Ilościowe badania mikroskopowo-chemiczne agregatów glebowych jako elementów strukturalnych. Cz. I. Skład agregatowy, właściwości morfologiczne i skład mechaniczny. Roczn.Glebozn. 1967, t. XVII, 283.
69. Uhland R.E., O'Neal A.M.: Soil permeability determinations for use in soil and water conservation U.S.D.A. Soil Conservation Service. 1951.
70. Van Bavel C.H.M.: Mean weight diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. Soil Sci.Soc.Amer. Proc. 1949, 14, 20.
71. Walczak R.: Modelowe badania energii wiązania wody w glebie o różnym zagęszczeniu. Praca doktorska, Akademia Rolnicza w Lublinie 1974.

72. Walczak R., Witkowska B.: Określanie wodoodporności różnych frakcji agregatów glebowych. Roczn.Glebozn. 1974, t. XXV, 2, 275.
73. Wierszynin P.W., Rewut I.B.: O metodice opriedielenija wodoprocznosti poczw. Zb. trudow po agronomiczieskoj fiziki. Sielschozgiz. 1952, 5.
74. Wierszynin P.W., Rewut I.B.: Metodika analiza poczwiennoj struktury. Bjuulletien nauczno-tiechniczieskoj informacii po agronomiczieskoj fiziki. Wyp. 3, L, Agrofizyczieskij Institut, 1957.
75. Wileński D.G.: Borba s eroziej poczw. SSSR. Materiały Wsiesojuznogo sowieszczanija po borbie s eroziej poczw. Izd. AN SSSR. 1938.
76. Yoder R.E.: A direct method of aggregate analysys of soils and study of the physical nature of erosion losses. Jour. Amer.Soc.Agron. 1936, 28, 5, 338.
77. Youker R.E., McGuinness J.L.: A short method of obtaining mean weight diameter values of aggregate analyses of soils, Soil Sci. 1957, 83, 291.
78. Zeller A., Flunt O.: Zur methodik der Stabilitat von Bodenumkrumeln II. Eine Schalenmethode, Veroffentl. Bundesantalt Alpine Landw. H. 5, Admont. 1951.

S P I S T R E Ś C I

	Str.
W S T Ą P	5
1. METODY BADANIA AGREGACJI GLEBY	8
Metody bezpośrednie	8
Metody pośrednie	10
2. METODY OKREŚLANIA WODOODPORNOŚCI AGREGATÓW	
GLEBOWYCH	19
Metody sedymentacyjne	19
Metody nawilżania	20
Metody deszczowania	23
Metody przepływu	23
Metody przesiewania	24
3. WSKAŹNIKI OPISUJĄCE AGREGACJE GLEBY I TRWAŁOŚĆ	
JEJ ELEMENTÓW	28
PODSUMOWANIE	44
PIŚMIENNICTWO	45

Dotychczas ukazały się następujące numery

PROBLEMÓW AGROFIZYKI

1. Jan Gliński, Witold Stępniewski - Zastosowanie chromatografii gazowej w badaniach gleboznawczych.
2. Piotr Kowalik - Podstawy teoretyczne pomiarów potencjału wody glebowej.
3. Jan Gliński, Jerzy Duliban - Potencjał oksydoreducyjny w glebach.
4. Małgorzata Dąbek-Szreniawska - Mikrobiologiczne aspekty tworzenia się agregatów glebowych.
5. Bogusław Szot - Rozwój badań właściwości fizycznych materiałów rolniczych.
6. Ignacy Dechnik, Janusz Stawiński - Powierzchnia właściwa w badaniach fizykochemicznych i fizycznych właściwości gleb.
7. Adam Pukos, Ryszard Walczak - Podstawy teoretyczne badania właściwości mechanicznych gleb.
8. Bogusław Szot, Grażyna Kolemba - Metody oceny wylegania zbóż.
9. Janusz Haman, Bogusław Szot, Wanda Woźniak - Zagadnienie wymiany ciepła i masy w materiałach roślinnych.
10. Materiały seminarium poświęconego fizyce wody glebowej. Praca zbiorowa.
11. Henryk Czachor, Ryszard Walczak - Zamknięte źródła radioizotopowe w badaniach fizycznych właściwości gleb.
12. Zastosowanie analizy spektralnej w badaniach rolniczych. Praca zbiorowa.
13. Krystyna Konstankiewicz, Adam Pukos, Ryszard Walczak - Domenowa teoria histerezy dla termodynamicznych procesów w glebie.

14. Jerzy Szczypa, Zofia Sokołowska - Zastosowanie radioizotopów do badania fizykochemicznych właściwości gleb.
15. Janusz Haman, Adam Pukos - Aktualne zagadnienia mechaniki gleb.
16. Jan Gliński, Zofia Stępniewska - Zastosowanie elektrod selektywnych w badaniach gleboznawczych.
17. Ignacy Dechnik, Jerzy Lipiec - Zwięzłość gleby jako czynnik środowiska rozwoju roślin.
18. Ignacy Dechnik, Stanisław Tarkiewicz - Zmiany właściwości agrofizycznych gleb pod wpływem działania narzędzi aktywnych.

Problemy Agrofizyki można nabyć w księgarni OR PAN
Pałac Kultury i Nauki, 00-901 Warszawa

