

WSKAŹNIK TRWAŁOŚCI AGREGATÓW GLEBOWYCH

J. Niewczas, B. Witkowska-Walczak

Instytut Agrofizyki im. B. Dobrzańskiego PAN, Doświadczalna 4,20-290 Lublin 27
e-mail: niewczas@demeter.ipan.lublin.pl

Streszczenie. W pracy przedstawiono wskaźnik trwałości agregatów glebowych (ASI). Obliczanie wskaźnika sprowadza się do wyznaczenia wartości funkcji liniowej, której argumentami są elementy macierzy przejścia, a jej współczynnikami odpowiednio dobrane wagi. ASI może przyjmować wartości od 1 do 32. Pokazano przykłady obliczeń wskaźnika dla agregatów czarnoziemiu, czarnej ziemi i rędziny, których wodoodporność określono metodami: deszczowania, cykli nawilżania-osuszania i przesiewania na mokro.

Słowa kluczowe: agregacja gleby, wskaźnik trwałości

WSTĘP

Struktura gleby, czyli geometria fazy stałej gleby, decyduje o stosunkach wodno-powietrznych w glebie oraz o jej właściwościach mechanicznych. Tym samym warunkuje wzrost, rozwój i plonowanie roślin uprawnych. W naturalnych warunkach gleba charakteryzuje się określoną agregacją, tj. ilością agregatów powstałych w wyniku połączeń elementarnych cząstek glebowych. Jednocześnie następuje w niej ciągły proces rozpadu jednych agregatów i tworzenia się innych. Wielkość agregatów glebowych determinuje ich właściwości fizyczne. Stwierdzono, że 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 (< 0,25 mm), odporność na działanie wody [4]. Odporność agregatów glebowych na destrukcyjne działanie wody, nazywana wodoodpornością, jest jedną z ich najistotniejszych cech charakteryzujących stan fizyczny gleb, przyjmowaną za miarę jakości agregacji gleby [3,7,11]. Z tego też

powodu pomiary wodoodporności agregatów są najczęściej wykonywanymi pomiarami dotyczącymi struktury gleby, a trwałość elementów wchodzących w jej skład charakteryzowana jest przy pomocy różnego rodzaju wskaźników [2,15,18,], m.in. średniej geometrycznej średnicy [5], średniej arytmetycznej średnicy [5], średniej ważonej średnicy [6,16,17,19], wskaźnika zbrylenia [4,14], wskaźnika agregacji [9]. Wskaźniki dotychczas używane do opisywania agregacji gleb i jej zmian pod wpływem działania wody wykazują pewne niedoskonałości. Najważniejszym elementem, który nie jest uwzględniany w dotychczasowej ocenie wodoodporności jest fakt niezmienności pewnej grupy agregatów, rozpadu innych i ewentualnego sklejania się pozostałych, a przecież wartość wskaźnika wodoodporności agregatów powinna uwzględniać zróżnicowanie rozpadu agregatów. W związku z tym najprościej zdefiniować taki wskaźnik jako liczbę zależną od przeciętnego rozpadu agregatów wszystkich frakcji.

Celem niniejszej pracy było opracowanie nowego wskaźnika charakteryzującego odporność agregatów glebowych na działanie różnorodnych czynników zewnętrznych, np., wody, uprawy, nawożenia.

WSKAŹNIK TRWAŁOŚCI AGREGATÓW GLEBOWYCH (ASI), JEGO OBLICZANIE I WŁAŚCIWOŚCI

Opracowując nowy wskaźnik trwałości agregatów glebowych (ASI) założono, że powinien on:

- opisywać liczbowo destrukcję agregatów glebowych pod wpływem działania różnych czynników i procesów, zarówno losowych jak i celowych, np. woda, uprawa;
- umożliwiać wykorzystanie szerokiego wachlarza wyników badań agregacji uzyskiwanych różnymi metodami określającymi ich rozpad;
- bezpośrednio określać trwałość agregatów swoją wartością, tj. większej trwałości powinna odpowiadać wyższa wartość wskaźnika;
- nadawać się do określania trwałości każdej z frakcji agregatów oddzielnie, jak i wszystkich łącznie (całej próbki glebowej wg określonej klasyfikacji);
- być łatwym do obliczania.

Ponadto w niniejszej pracy założono, że agregaty poszczególnych frakcji nie ulegają procesowi sklejania, mogą jedynie pozostawać w tej samej klasie lub ulegać rozpadowi.

Wskaźnik o postulowanych własnościach można zdefiniować rejestrując w formie tablicy przejścia dane eksperymentalne dotyczące zmian rozkładu agregatów testowanej próbki glebowej w wyniku działania czynnika destrukcyjnego. Tablica przejścia, to odpowiednio zmodyfikowana postać macierzy przejścia używanej w teorii prawdopodobieństwa i w badaniach operacyjnych [10,12,13].

Niezbędnymi danymi do analizy trwałości agregatów testowanej próbki gleby są następujące częstości względne (równe procentowemu udziałowi poszczególnych frakcji agregatów podzielonemu przez 100):

$p_{\cdot i} = [p_{1\cdot}, p_{2\cdot}, \dots, p_{k\cdot}]$ - rozkład częstości agregatów na wejściu (przed działaniem czynnika destrukcyjnego),

$p_{\cdot j} = [p_{\cdot 1}, p_{\cdot 2}, \dots, p_{\cdot k}]$ - rozkład częstości agregatów na wyjściu (po działaniu czynnika destrukcyjnego),

$p_{ij} = [p_{ij}]$ ($i = 1, 2, \dots, k; j = i, i+1, \dots, k$) - dwuwymiarowy rozkład częstości agregatów.

Liczby p_{ij} wskazują, jakie części (wagowe) próbki gleby pod wpływem czynnika destrukcyjnego pozostały w tej samej klasie ($j=i$) lub rozpadły się ($j>i$), przechodząc z klasy i do którejś z klas następnych, j . Dane te otrzymuje się eksperymentalnie. Częstości $p_{\cdot i}$, $p_{\cdot j}$ oraz p_{ij} można traktować również jako prawdopodobieństwa empiryczne odpowiednich zdarzeń losowych.

Ogólną postać tablicy przejścia dla $k=6$ klas (frakcji) przedstawiono w Tabeli 1, gdyż taką liczbę klas (frakcji) agregatów przyjęto w przeprowadzonych badaniach [14,18]. Dla dwuwymiarowego rozkładu częstości rozkłady wejściowy i wyjściowy są rozkładami brzegowymi. Zatem wszystkie wiersze i kolumny tablicy przejścia muszą się bilansować, tj.:

- sumy elementów w kolumnach tablicy przejścia muszą być równe odpowiadającym im częstościom rozkładu wejściowego,
- sumy elementów w wierszach muszą być równe odpowiadającym im częstościom rozkładu wyjściowego,
- częstości rozkładów brzegowych powinny sumować się do 1.

Górną trójkąt tablicy przejścia jest pusty, gdyż zgodnie z założeniem, agregaty nie mogą przechodzić z klas niższych do wyższych. Każda pusta komórka w tablicy przejścia wskazuje niemożliwy kanał przejścia między określoną parą klas na wejściu i wyjściu.

Łatwo zauważyć, że suma częstości k elementów tablicy przejścia, które znajdują się na głównej przekątnej ($d_0 = p_{11} + \dots + p_{kk}$) jest częstością tych agregatów testowanej próbki glebowej, które przetrwały, czyli nie zmieniły swojej klasy pod wpływem czynnika destrukcji. Z kolei suma częstości $k-1$ elementów tablicy przejścia znajdujących się bezpośrednio pod główną przekątną

$(d_1=p_{12}+ \dots +p_{k-1,k})$ jest częstością tych agregatów, które wprowadzicie nie były trwałe, gdyż rozpadły się, lecz przeszły zaledwie o jedną klasę niżej. Jeszcze mniej trwałe agregaty to te, które rozpadły się, przechodząc o dwie klasy niżej. Ich częstość jest sumą $k-2$ elementów tablicy przejścia, które znajdują się o dwie komórki poniżej głównej przekątnej ($d_2=p_{13}+ \dots +p_{k-2,k}$). Sumując w podany sposób następne elementy przekątne tablicy przejścia jednakowo oddalone od głównej przekątnej i leżące coraz dalej od niej, otrzymuje się rozkład częstości elementów przekątnych tablicy przejścia $diag = [d_0, d_1, \dots, d_{k-1}]$, przy czym częstość $d_{k-1}=p_{1k}$.

Tabela 1. Tablica przejścia - względne częstości (p) i wagi (32,16,8, 4,2,1 – w).

Table 1. Transition table - relative frequencies (p) and weights (32,16,8,4,2,1 – w)

10-5 mm	5-3 mm	3-1 mm	1-0.5 mm	0.5-0.25 mm	<0.25 mm	Suma po klasach ($p_{..}=1$)
p_{11}	p_{21}	p_{31}	p_{41}	p_{51}	p_{61}	10-5 mm $p_{.1}$
32	—	—	—	—	—	
p_{12}	p_{22}	—	—	—	—	5-3 mm $p_{.2}$
16	32	—	—	—	—	
p_{13}	p_{23}	p_{33}	—	—	—	3-1 mm $p_{.3}$
8	16	32	—	—	—	
p_{14}	p_{24}	p_{34}	p_{44}	—	—	1-0.5 mm $p_{.4}$
4	8	16	32	—	—	
p_{15}	p_{25}	p_{35}	p_{45}	p_{55}	—	0.5-0.25 mm $p_{.5}$
2	4	8	16	32	—	
p_{16}	p_{26}	p_{36}	p_{46}	p_{56}	p_{66}	<0.25 mm $p_{.6}$
1	2	4	8	16	32	

Oznaczenia - częstości względne:

$p_{1.}, p_{2.}, \dots, p_{6.}$ - częstości agregatów w klasach na wejściu:

$$p_{1.} = \sum_{j=1}^6 p_{1j}, p_{2.} = \sum_{j=2}^6 p_{2j}, \dots, p_{5.} = \sum_{j=5}^6 p_{5j}, p_{6.} = p_{66};$$

$p_{.1}, p_{.2}, \dots, p_{.6}$ - częstości agregatów w klasach na wyjściu:

$$p_{.1} = p_{11}, p_{.2} = \sum_{i=1}^2 p_{i2}, \dots, p_{.5} = \sum_{i=1}^5 p_{i5}, p_{.6} = \sum_{i=1}^6 p_{i6};$$

$p_{..} = \sum_{i=1}^6 p_{i.} = \sum_{j=1}^6 p_{.j} = 1$ - suma częstości agregatów na wejściu lub na wyjściu (obie są równe 1):

$p_{11}, p_{12}, p_{22}, \dots, p_{56}, p_{66}$; p_{ij} ($i = 1, 2, \dots, 6; j = i, i+1, \dots, 6$ - częstości przejścia agregatów z klasy i do klasy j);

Niewątpliwie wartość d_0 w największym stopniu decyduje o trwałości testowanej próbki materiału poddanej działaniu czynnika destrukcyjnego. W pracy Niewczasa i innych [12] jako miary odporności ziaren pszenicy na pękanie pod wpływem obciążeń dynamicznych przyjęto wskaźnik $R = 100d_0$ [%]. Jednakże wskaźnik ten nie uwzględnia takich elementów próbki, które uległy wprawdzie destrukcji, ale przeszły zaledwie o jedną klasę jakości niżej, o dwie klasy, itd. Jest więc logiczne, że należy wprowadzić taką miarę trwałości próbki materiału, która uwzględnia wszystkie częstości rozkładu *diag* i różnicuje w odpowiedni sposób znaczenie jego kolejnych elementów. Najprostszym rozwiązaniem jest przydzielenie kolejnym elementom rozkładu diagonalnego *diag*, odpowiednio dobranych wag $w = [w_0, w_1, \dots, w_{k-1}]$. Jako miarę stabilności agregatów wchodzących w skład testowanej próbki gleby zaproponowano ASI, będący sumą iloczynów częstości rozkładu diagonalnego i wag :

$$ASI = d_0 w_0 + d_1 w_1 + \dots + d_{k-1} w_{k-1} \quad (1)$$

gdzie: częstości $d_i = \sum_{j=i+1}^k p_{i+1,j}$ ($i = 0, 1, \dots, k-1$) są liczbami z przedziału od

0 do 1. Dlatego najbardziej odpowiednim układem wag w_i wydają się wagi dwójkowe: $w_0 = 2^{k-1}$, $w_1 = 2^{k-2}$, ..., $w_{k-1} = 2^0$. Dla $k=6$ wagi te przyjmują wartości: 32, 16, 8, 4, 2, 1. Zatem skala wartości ASI jest przedziałem $\langle 1; 32 \rangle$, a wzrost wartości ASI może następować poprzez:

- rozpad o mniejszą liczbę klas tej samej ilości agregatów,
- rozpad większej ilości agregatów o tę samą liczbę klas.

Największą wartość $ASI = 32$, odpowiadającą całkowitej trwałości agregatów, wskaźnik przyjmuje wtedy, gdy po działaniu czynnika destrukcyjnego z agregatów glebowych nie rozpada się, tzn. wszystkie pozostają w tych samych klasach wymiarów średnic, w których znajdowały się początkowo. Oznacza to, że rozkład agregatów gleby na wejściu jest identyczny z rozkładem agregatowym na wyjściu. ASI może przyjąć największą wartość również wówczas, gdy próbka gleby składa się wyłącznie z agregatów najmniejszej frakcji ($< 0,25$ mm), wówczas produkty jej rozpadu pozostają również w tej samej klasie.

Najmniejszą wartość $ASI = 1$, odpowiadającą najmniejszej stabilności agregatów, wskaźnik przyjmuje wtedy, gdy próbka gleby składa się wyłącznie z agregatów o największych średnicach (5-10 mm) i gdy po działaniu czynnika destrukcyjnego wszystkie te agregaty rozpadły się na agregaty o najmniejszych średnicach ($< 0,25$ mm).

Zatem widać, że większej trwałości agregatów glebowych odpowiada wyższa wartość ASI. Zależy ona od rozkładu częstości p_{ij} w tablicy przejścia. Tablica przejścia zawiera więcej informacji o zachowaniu się agregatów pod wpływem działania czynnika destrukcji niż para rozkładów częstości na wejściu i wyjściu. Skala wartości ASI dla przyjętych wag zależy od liczby klas, lecz nie zależy od zakresu wymiarów klas. Jest jednak oczywiste, że wprowadzenie innego zakresu wymiarów klas, przy zachowaniu tej samej ich liczby, powoduje zmiany rozkładów częstości na wejściu i wyjściu, a zatem zmienia się również rozkład częstości p_{ij} w tablicy przejścia i nawet przy zastosowaniu tych samych wag zmienia się również wartość ASI.

W Tabeli 1 umieszczono zaproponowane wagi w prawych górnych rogach komórek tablicy przejścia. Łatwo zauważyć, że ASI można obliczyć dla każdej z klas agregatów z osobna. W tym celu należy zsumować iloczyny częstości i wag w każdej z kolumn tablicy przejścia oddzielnie. Ich suma jest wartością ASI dla całej testowanej próbki gleby. Zatem wskaźnik trwałości dla próbki gleby można zdefiniować również jako sumę wskaźników trwałości dla poszczególnych klas agregatów $ASI_1, ASI_2, \dots, ASI_k$:

$$ASI = ASI_1 + ASI_2 + \dots + ASI_k. \quad (2)$$

Stąd wniosek, że ASI jest addytywną miarą trwałości agregatów.

Najbardziej ogólną postać definicji ASI dla próby glebowej przedstawia następujący wzór:

$$ASI = \sum_{i,j} p_{ij} w_{ij}, \quad (3)$$

gdzie: - p_{ij} są względnymi częstościami tablicy przejścia,

- w_{ij} są wagami przypisanymi każdemu elementowi p_{ij} osobno.

Należy podkreślić, że wagi w_{ij} dla poszczególnych elementów przekątnych tablicy przejścia nie koniecznie muszą być równe. Zatem przy ustalonych wagach w_{ij} ASI jest liniową funkcją względnych częstości (prawdopodobieństw empirycznych) tablicy przejścia.

WYNIKI I DYSKUSJA

Zaproponowaną metodę obliczania ASI sprawdzono dla trzech gleb o zróżnicowanej agregacji, dla których wyznaczono wodoodporność. Uzyskano wyniki, umożliwiające porównanie jakości agregacji różnych gleb, jak i ocenę zastosowanych metod badania wodoodporności.

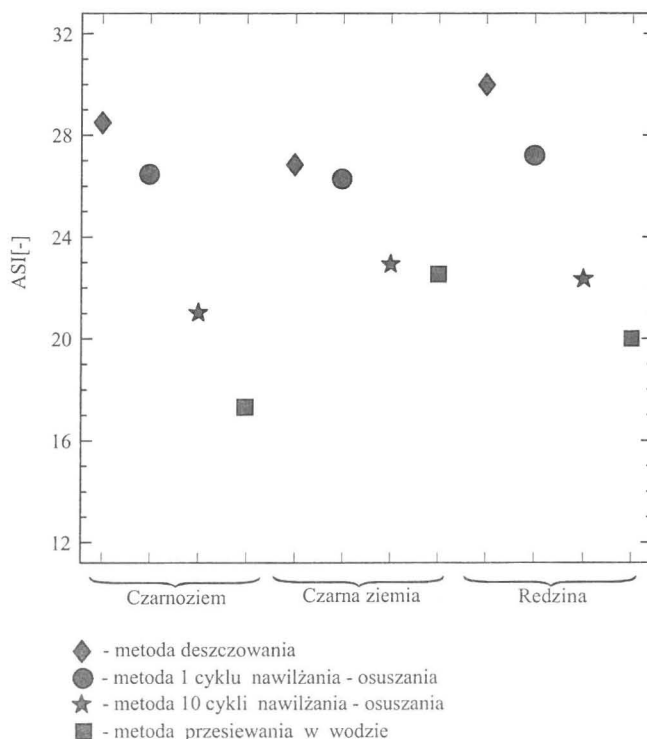
Do badań wybrano następujące gleby: czarnoziem wytworzony z lessu, czarną ziemię wytworzoną z gliny piaszczystej lekkiej oraz rędzinę właściwą wytworzona z kredy piszącej. Wodoodporność agregatów badanych gleb określono następującymi metodami: deszczowania [8], 1 i 10 cykli nawilżania-osuszania [18] oraz przesiewania w wodzie [14]. Wyniki badań wyrażono przy pomocy częstości względnych i zapisano w tablicach przejścia. Przykładowe wyniki dla czarnoziem przedstawiono w Tabeli 2, podkreślając w niej częstości wodoodpornych agregatów. Liczby w kolumnach umieszczone pod nimi są częstościami produktów rozpadu agregatów nieodpornych na działanie wody. Po pomnożeniu wszystkich częstości przez odpowiednie wagi i zsumowaniu ich w kolumnach otrzymano wskaźniki wodoodporności dla każdej frakcji agregatów. Z kolei sumując te ostatnie otrzymano wskaźnik trwałości agregacji (ASI) czarnoziem.

Tabela 2. Rozkład agregatowy czarnoziem (wyrażony względnymi częstościami) przed i po działaniu wody, ilości wodoodpornych agregatów i produktów rozpadu nieodpornych agregatów (metoda deszczowania)

Table 2. Aggregate size distribution (described by relative frequencies) before and after water impact, quantities of water resistant aggregates and destruction products for Haplic Phaeozem (rainfall method)

przed działaniem wody						Fracja (klasa) agregatów		
10-5	5-3	3-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25 mm			
0,18	0,10	0,28	0,16	0,10	0,18	$\Sigma=1,00$		
<u>0,10</u>						0,10	10-5 mm	po działaniu wody
0,04	<u>0,07</u>					0,11	5-3	
0,01	0,01	<u>0,25</u>				0,27	3-1	
0,01	0,01	0,01	<u>0,15</u>			0,18	1-0,5	
0,01	0	0	0	<u>0,10</u>		0,11	0,5-0,25	
0,01	0,01	0,02	0,01	0	<u>0,18</u>	0,23	<0,25	

Korzystając z tablic przejścia i wag zaproponowanych w Tabeli 1, przy użyciu wzoru (2), wyliczono wskaźniki stabilności agregatów (ASI) dla trzech badanych gleb, dla agregatów których wodoodporność wyznaczono różnymi metodami (Rys.1) Wartości ASI dla wszystkich kombinacji przeprowadzonych eksperymentów można analizować z punktu widzenia: gleb – w obrębie każdej metody oddzielnie oraz metod – w obrębie każdej gleby oddzielnie.



Rys. 1. Wskaźniki trwałości agregatów (ASI) badanych gleb.

Fig. 1. Indices of soil aggregates stability (ASI) of investigated soils.

Uzyskane wyniki pokazują, że wodoodporność agregatów każdej badanej gleby maleje w następującej kolejności metod: deszczowanie < 1 cykl nawilżania-osuszania < 10 cykli nawilżania-osuszania < przesiewanie w wodzie.

W przypadku czarnoziemiu wartości ASI wahają się od 17,5 (przesiewanie w wodzie) do 28,6 (deszczowanie), dla czarnej ziemi - od 22,4 do 27,1 oraz dla rędziny - od 19,9 do 30,2. Z powyższego wynika, że największe zróżnicowanie odporności na działanie wody, zależne od zastosowanej metody, odnotowano dla czarnoziemiu, a najmniejsze dla czarnej ziemi. Z Rys. 1 wynika także, że najwyższe wartości ASI (27,1 – 30,2) uzyskano stosując metodę deszczowania, a najniższe (17,5 – 22,4) – przesiewania w wodzie.

Przytoczone wyniki potwierdzają fakt, że istnieje ścisła zależność pomiędzy trwałością agregatów a metodą jej oznaczania. W badanych przypadkach zależność pomiędzy wodoodpornością agregatów a typem gleb była mniej wyraźna. Jest również znamienne, że największe zróżnicowanie wartości ASI pomiędzy glebami

wystąpiło przy stosowaniu przesiewania w wodzie (zakres zmienności ASI – 4,9), podczas gdy przy stosowaniu innych metod zakres zmienności ASI nie przekraczał 3. Zatem z punktu widzenia zastosowanej miary trwałości agregatów najlepszą metodą analityczną do oznaczania wodoodporności agregatów wydaje się być przesiewanie w wodzie.

Jak widać z przedstawionych powyżej wyników badań, zastosowanie macierzy przejścia oraz odpowiednio dobranych wag do określenia miary trwałości agregatów glebowych otwiera nowe, bardzo szerokie możliwości metodyczne. Przede wszystkim, macierz przejścia niesie w sobie znacznie więcej informacji o zmianach agregatów glebowych pod wpływem działania badanego czynnika destrukcyjnego, aniżeli para rozkładów na wejściu i wyjściu. Zawiera bowiem informacje o tym, w jaki sposób rozpadły się poszczególne agregaty, które znajdowały się na wejściu i skąd pochodzą agregaty znajdujące się w poszczególnych klasach na wyjściu. Przy takim podejściu, macierz przejścia stanowi tablicę wielodzielczą, której rozkładami brzegowymi są rozkłady agregatów na wejściu i na wyjściu. Ponadto, elementy macierzy przejścia można traktować jako empiryczne prawdopodobieństwa pewnych zdarzeń losowych. Pozwala to traktować problem zmian agregatów glebowych w terminach procesów stochastycznych [10], co otwiera kolejne możliwości analizy tych zmian.

Proponowana miara trwałości, jako wartość funkcji liniowej elementów macierzy przejścia o współczynnikach będących odpowiednio dobranymi wagami, jest bardzo wygodna, zarówno z punktu widzenia jej własności, jak i prostoty rachunków. Zagwarantowana jest również addytywność tej miary. Pozwala to analizować w razie potrzeby wskaźniki trwałości każdej frakcji agregatów oddzielnie, a ich suma jest wskaźnikiem trwałości całej próbki glebowej.

Osobną zaletą proponowanego sposobu wyliczania wskaźnika jest wykorzystanie zdefiniowanego w pracy rozkładu diagonalnego, szczególnie przydatnego dla jednakowych wag na kolejnych przekątnych tablicy przejścia. Na jego podstawie bowiem można porównywać próbki gleby pod względem stabilności, a przy okazji uwiidacznia się prawdopodobieństwo przetrwania agregatów (d_0) [1].

WNIOSKI

1. Wskaźnik trwałości agregatów glebowych (ASI) odzwierciedla swą wartością zmiany agregacji pod wpływem różnorodnych czynników destrukcyjnych.
2. Zaproponowana formuła obliczania ASI zapewnia prostotę obliczeń i możliwość jego wyznaczenia dla każdej frakcji agregatów oddzielnie.

3. ASI nie zależy od granic wymiarowych frakcji (klas) agregatów, lecz jedynie od ich liczby. Jest on zatem obiektywną miarą trwałości agregatów w odróżnieniu od wskaźników, które wykorzystują subiektywnie dobrane wagi dla frakcji agregatów, wynikające z domniemanego lub prawdziwego ich znaczenia.
4. Zastosowanie macierzy przejścia jako bazy do określania ASI pozwala wykorzystać więcej informacji o zmianach agregacji gleby pod wpływem analizowanego czynnika destrukcyjnego, aniżeli para rozkładów przed i po jego działaniu.
5. Zaproponowany w pracy rozkład diagonalny zawiera w sobie bezpośrednie informacje o rozpadzie agregatów o określoną liczbę klas i również stanowi narzędzie do porównywania trwałości agregatów glebowych pod wpływem analizowanego czynnika destrukcyjnego.

PIŚMIENNICTWO

1. **Bouma J.:** Micro-structure and stability of two sandy loam soils with different soil management. Research Report No 724, Pudoc, Wageningen, 1969.
2. **Bryan R. B.:** The efficiency of aggregation indices in the comparison of some English and Canadian soils. *J. Soil Sci.*, 22(2), 167-178, 1971.
3. **Chaney K., Swift R.S.:** Studies on aggregate stability. *J. Soil Sci.*, 37, 329-335, 1986.
4. **Czudnowski A.F.:** Podstawy Agrofizyki. PWR i L, Warszawa, 1967
5. **De Boodt M. (Ed.):** West European Methods for Determination of Soil Structure. Ghent, Belgium, Part VI, 24-90; Part VII, 55-69, 1967.
6. **De Boodt M., De Leenheer L., Kirkham D.:** Soil aggregate stability indexes and crop yields. *Soil Sci.*, 91(2), 138-146, 1961.
7. **Dexter A.R.:** Advances in characterization of soil structure. *Soil Till. Res.*, 11, 199-238, 1988.
8. **Dębicki R., Pawłowski M., Rejman J., Link M.:** A new approach to the design of a nozzle-type rainfall simulator. *Int. Agrophysics*, 7, 197-201, 1993.
9. **Dobrzański B., Witkowska B., Walczak R.:** Soil aggregation and water stability index. *Polish J. Soil Sci.*, VIII/1, 3-8, 1975.
10. **Hillier F.S., Lieberman G.J.:** Introduction to stochastic models in operation research. McGraw-Hill, New York, 1990.
11. **Matkin E.A., Smart P.:** A comparison of test of soil structural stability. *J. Soil Sci.*, 38, 123-135, 1987.
12. **Niewczas J., Grundas S., Ślipek Z.:** The analysis of increments of internal damage to wheat grain affected by dynamic loading. *Int. Agrophysics*, 8, 283-287, 1994.
13. **Niewczas J., Witkowska-Walczak B.:** The assessment of soil aggregates water resistance using optimisation method. *Proc. Int. Conf. „Physical Methods in Agriculture”*. Prague, Czech Republic, 27-30.08.2001, 169, 2001.

14. **Rewut I. B.:** Methodical Guide for Estimation of Soil Structure. 'Kolos' Press, Leningrad, 1969.
15. **Stirk G. B.:** Expression of soil aggregate distribution. *Soil Sci.*, 86(3), 133-135, 1958.
16. **Van Bavel C. H. M.:** Mean weight diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 14, 20-23, 1949.
17. **Wagner L.E., Ding D.:** Representing aggregate size distributions as modified lognormal distributions. *Trans. ASAE*, 37 (3), 815-821, 1994.
18. **Walczak R., Witkowska B.:** Methods of investigations and description of soil aggregation (in Polish). *Problemy Agrofizyki* 19, 5-52, 1976.
19. **Youker R. E., McGuinness J. L.:** A short method of obtaining mean weight diameter values of aggregate analyses of soil. *Soil Sci.*, 83, 291-299, 1957.

INDEX OF SOIL AGGREGATES STABILITY

J. Niewczas, B. Witkowska-Walczak

Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27
e-mail: niewczas@demeter.ipan.lublin.pl

S u m m a r y. The paper presents a new index which is an innovative tool for the analysis of the soil aggregates stability. The soil aggregates stability index (*ASI*) is based on a linear function value of the transition matrix elements with coefficients being properly chosen weights. Each element of the transition matrix is a relative frequency (empirical probability) of aggregates transition from one class of values to another or staying in the same class. The proposed weights give an *ASI* scale of values from 1 to 32 and are constructed this way that a higher *ASI* value corresponds with a higher aggregates stability. The usefulness of the proposed index is presented by way of an example of three soils (Haplic Phaeozem, Mollic Gleysol and Orthic Rendzina) for which aggregate water stability was determined by different methods.

K e y w o r d s: soil aggregation, stability index.