

JACEK MALICKI

Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie

FIZYCZNE WŁAŚCIWOŚCI GLEB, A ICH MIKROBIOLOGICZNA ANALIZA

Od czasu Schlösinga i Müntza prowadzone są mikrobiologiczne badania gleb. „Metody mikrobiologiczne mogą mieć duże zastosowanie przy analizie stopnia żyzności gleb, zawartości w nich składników pokarmowych dla roślin, a szczególnie dla zorientowania się w zawartości mikroelementów i ciał wzrostowych oraz ciał hamujących rozwój różnych organizmów” [50].

Badania obejmują zazwyczaj: ogólną liczebność (lub biomasę) bakterii, grzybów i promieniowców, liczebność grup fizjologicznych, aktywność enzymów itp. Uzyskiwane wyniki prezentowane są jako liczebność lub biomasa (w przypadku enzymów aktywność) w „gramie gleby”, częściej w „gramie suchej masy” gleby [2, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 22, 30, 31, 38, 42, 45, 51]. Niekiedy wyniki odnoszone są do jednostek masy składników gleby np. „grama substancji organicznej”. Rzadko przy prezentacji stosuje się jednostki objętości np. „centymetr sześcienny gleby” [25]. W przypadku zasiedlania korzeni roślin, lub cząstek gleby, liczba mikroorganizmów, a dla grzybów długość strzępki przeliczana jest w stosunku do powierzchni [21, 32, 37]. Na podstawie tak uzyskiwanych charakterystyk porównuje się badane gleby pomiędzy sobą, lub ocenia się efekty stosowanych zabiegów.

Niniejszy artykuł jest próbą przedstawienia wpływu jaki na interpretację uzyskiwanych wyników wywiera przyjęty sposób ich prezentacji.

Użycie dla prezentacji wyników mikrobiologicznej analizy gleb jednostek masy

Burges [4] w „Biologii gleby” na 2 stronie pisze: „Jest rzeczą zrozumiałą, że aby badać rozwój organizmów w glebie, trzeba znać przynajmniej ogólnie zarówno strukturę, jak i inne właściwości gleby, gdyż określają one charakter środowiska, w którym żyją te organizmy”.

Jakie konsekwencje wynikają z wprowadzenia tego postulatu do mikrobiologicznej analizy gleby? Glebę można traktować jako układ trójfazowy składający się z fazy stałej, ciekłej i gazowej.

Zastanówmy się co wynika z uwzględnienia takiej cechy fazy stałej jaką jest jej ciężar (niektórzy uważają, że lepszym terminem jest gęstość). W gleboznawstwie stosuje się kilka sposobów wyrażania tej właściwości gleby, między innymi wyróżniany jest na 25 stronie „Pięciojęzycznego słownika gleboznawczego” [35]: „ciężar objętościowy (ciężar właściwy pozorny) — stosunek ciężaru gleby wysuszonej w 105°C do objętości tej samej próbki pobranej w stanie świeżym z zachowaniem naturalnego układu (faza stała wraz z porami) — podaje się w $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$; c.o. maleje wraz ze wzrostem porowatości gleby i zależnie od układu cząstek może się wahać w granicach od 1,0 (1,1) do 1,7 (1,8) $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (gleb mineralnych).” Gleby organiczne charakteryzują się c.o. mniejszym niż gleby mineralne.

Równie często stosuje się do charakterystyki gęstości gleb „ciężar właściwy (ciężar właściwy rzeczywisty) — stosunek ciężaru części stałych gleby do ich objętości, czyli c.w. suchej fazy stałej gleby, której objętość jest mierzona bez uwzględniania wolnych przestrzeni (wypełnionych w naturze fazą ciekłą i gazową). Zależnie od składu mineralnego waha się około 2,4—2,7 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (w glebach organicznych mniej).”

Przygotowując próbkę gleby do badań mikrobiologicznych wg metod zalecanych przez Winogradskiego [48], Krasilnikowa [21], Parkinsona [32], czy Fiedlera [7], odważamy określoną porcję świeżej, lub powietrznie suchej gleby i sporządzamy z niej zawiesiny wodne o wymaganym rozcieńczeniu. Liczbę komórek bakterii w badanych glebach określamy posługując się wzorem [21]:

$$X = \frac{a \cdot b \cdot c}{y} \quad (1)$$

gdzie: X — liczba komórek bakterii w „gramie świeżej”, lub „powietrznie suchej” gleby, a — liczba wyrosłych na pożywkę kolonii, b — użyte do zaszczepienia pożywki rozcieńczenie, c — objętość w ml zawiesiny glebowej służąca do zaszczepienia pożywki, y — masa naważki gleby użytej do sporządzenia zawiesiny.

Przypuśćmy, że w doświadczeniu lizymetrycznym mamy zinterpretować wpływ przeprowadzanych zabiegów na liczebność bakterii. Z zawartych w lizymetrach 10-litrowych objętości gleb (np. organicznej — o ciężarze objętościowym 1,1 g/cm^3 i ciężarze właściwym 1,8 g/cm^3 i mineralnej c.o. 1,7 g/cm^3 i c.w. 2,7 g/cm^3) do których co dzień dodajemy takie same porcje wody (np. po 1,1 dm^3 — dla uproszczenia woda ta nie wyparowuje) pobieramy próbki i określamy w nich liczbę bakterii na „gram” świeżej masy gleby. Przypuśćmy, że z obydwu badanych gleb z naważek 1-gramowych uzyskujemy na szalkach z rozlanym 1 ml dziesięciokrotnego rozcieńczenia za każdym razem po 100 kolonii (tab. 1). Prawdę mówiąc

wszystko jedno jakie wyniki doświadczenia założymy, interesować nas będą jedynie skutki przyjętego sposobu ich prezentacji.

Tabela 1

Wyniki badania liczby bakterii wyrażone w stosunku do „grama świeżej gleby” w abstrakcyjnym doświadczeniu lizymetrycznym

Dzień od zalania	Gleba organiczna		Gleba mineralna	
	liczba kol. na szalce	liczba kom. w g gleby	liczba kol. na szalce	liczba kom. w g gleby
1	100	1000 *)	100	1000
2	100	1000	100	1000
3	100	1000	100	1000
4	100	1000	100	1000
5	100	1000	100	1000

$$*) X = \frac{100 \cdot 10 \cdot 1}{1} = 1000$$

Uzyskane rezultaty wskazują na: 1) brak jakiegokolwiek efektu przeprowadzonego zabiegu, 2) identyczną zasobność w komórki bakteryjne obydwu porównywanych gleb. Jeżeli zatem zależy nam na dużej biomacie mikroorganizmów to do ich hodowli możemy wybrać zarówno pierwszą jak i drugą glebę.

Spróbujmy teraz te same (i tak samo uzyskane) wyniki wzorem niektórych prac z zakresu mikrobiologii glebowej, przedstawić w stosunku do „grama suchej masy” gleby. Rezultaty opisanego wyżej doświadczenia można przeliczyć na „gram suchej masy” gleby posługując się wzorem polecanym przez Fiedlera [7]

$$X_{gsm} = \frac{\text{liczba kolonii (100 + wilgotność \%)} }{100} \cdot \text{rozcieńczenie} \quad (2)$$

gdzie X_{gsm} — liczba bakterii w „gramie suchej masy” gleby, wilgotność — w tym przypadku jest „wilgotnością bezwzględną” wyrażaną w procentach wagowych (g H₂O/100 g gleby).

Po zastosowaniu powyższego wzoru uzyskujemy rezultaty przedstawione w tabeli 2.

Wynika zatem, że gleba organiczna zawiera przez cały czas więcej komórek bakterii od gleby mineralnej, a także że w obydwu badanych glebach wzrasta pod wpływem dolewania wody liczba mikroorganizmów.

Tabela 2

Wyniki badania liczebności bakterii wyrażone w stosunku do „grama suchej masy” gleby

Dzień od zala- nia	Gleba organiczna			Gleba mineralna		
	liczba kolonii	wilg. ‰	liczba kom. w g.s.m.	liczba kolonii	wilg. ‰	liczba kom. w g.s.m.
1	100	10	1100	100	6,5 *)	1065
2	100	20	1200	100	12,9	1129
3	100	30	1300	100	19,4	1194
4	100	40	1400	100	25,8	1258
5	100	50	1500	100	32,3	1323

*) c.o. gleby mineralnej 1,7 g/cm³

Jeśli zależy nam na dużej biomacie mikroorganizmów to do ich hodowli wybierzemy jedną z dwu badanych gleb, tą lepszą. Z tabeli 2 wynika, że więcej bakterii znajduje się w glebie organicznej, a naprawdę w lizymetrze z glebą organiczną żyje — $10 \text{ dm}^3 \times 1,1 \text{ g/cm}^3 = 11000 \text{ g}$; $11000 \text{ g} \times 1000 \text{ bakt/g} = 11\,000\,000$ bakterii; a w glebie mineralnej żyje ich w tym czasie $10 \text{ dm}^3 \times 1,79/\text{cm}^3 = 17000 \text{ g}$; $17000 \text{ g} \times 1000 \text{ bakt/g} = 17\,000\,000$ bakterii, więc o ponad 50% więcej.

Tak więc ponieważ wiemy że w lizymetrze z glebą mineralną jest ich więcej, wybierzemy nie jak by się wydawało lepszą bo zasobniejszą w bakterie w „gramie suchej masy” glebę organiczną, lecz właśnie gorszą glebę mineralną. Kłopoty wyboru wynikają dlatego, że prezentacja w stosunku do grama „suchej masy” uwzględnia wilgotność gleby, pozostaje jednak nie rozwiązana kwestia różnic pomiędzy badanymi glebami, wynikająca z różnic ciężarów objętościowych i właściwych.

Przedstawiając wyniki w stosunku do „grama” gleby w skrajnym przypadku porównujemy ze sobą jako równowarte, wyniki uzyskiwane z próbek o objętościach blisko 5,5 raza różniących się pomiędzy sobą i nawet jeżeli organiczmy zasięg badań do gleb jednej kateny musimy spodziewać się pomiędzy nimi znaczących statystycznie różnic [18, 19].

*Użycie do prezentacji wyników analizy mikrobiologicznej
„cm² powierzchni właściwej”*

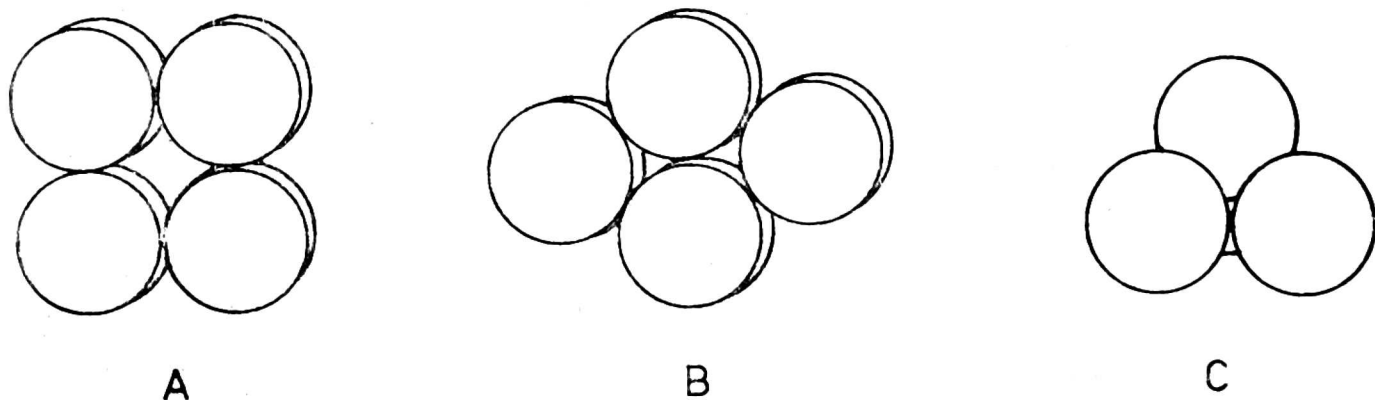
Można uniknąć kłopotów związanych z koniecznością podawania konkretnych wartości ciężaru objętościowego, lub ciężaru właściwego dla każdej z badanych gleb i każdego poziomu z profilu glebowego, gdy wy-

niki badań natychmiast przelicza się na jednostki, których wartość jest dla każdej gleby jednakowa np. „cm³ gleby”. Ten sposób prezentacji wyników niekiedy stosowany przez mikrobiologów, uzasadniony jest wystarczająco przez Kuźniara [25].

Zastanówmy się jednak gdzie mianowicie w rzeczonym centymetrze mogą umiejscowiać się żyjące w nim mikroorganizmy?

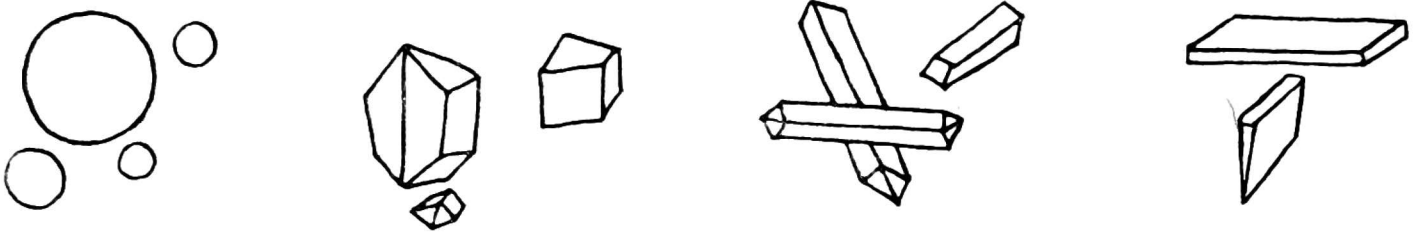
„Wiadomo, że bakterie nie mogą poruszać się swobodnie w roztworze glebowym. Gleba bowiem ma zdolności wychwytywania bakterii” Burges [4]. „W glebie znacznie mniej drobnoustrojów występuje w roztworze niż na powierzchni, lub wewnątrz agregatów (Nikitin 1974, Faygny-Radno 1962)” Kaszubiak [16].

Przypuśćmy, że bakterie usadawiają się na powierzchni cząstek gleby. Cząstki te jak wynika z analiz granulometrycznych mogą mieć różne średnice. W obrębie frakcji ziemistych od 1,00 do mniej niż 0,002 mm, a więc sumaryczna powierzchnia cząstek gleby w jednostce jej objętości będzie tym większa im mniejsze będą one miały średnice. Ponadto przy identycznych średnicach powierzchnia ta zależy od ułożenia, na przykład dla cząstek kulistych najmniejsza będzie przy układzie sześciennym, największa przy ściśle upakowanej strukturze heksagonalnej, gdzie każda cząstka leży ponad, lub pod szczeliną utworzoną przez trzy sąsiednie [39] (rys. 1).



Rys. 1. Możliwe sposoby ułożenia cząstek kulistych: A — sześcienna komórka elementarna, B — graniastosłup ($\frac{1}{3}$ elementarnej komórki heksagonalnej), C — fragment ściśle upakowanej struktury heksagonalnej [39].

Oprócz rozdrobnienia i ułożenia powierzchnia właściwa zależy także od kształtu cząstek, które mogą być sferyczne (kuliste), kubiczne (bryłkowate), pryzmatyczne, wreszcie płytkowate (rys. 2). „Powierzchnia właściwa zewnętrzna (powierzchnia cząstek glebowych, wyznaczona za pomocą adsorpcji substancji apolarnych ... odpowiada powierzchni geometrycznej wyliczonej ze składu granulometrycznego, oraz ścianek mikrokapilar zdyspergowanych cząstek glebowych)” [6].



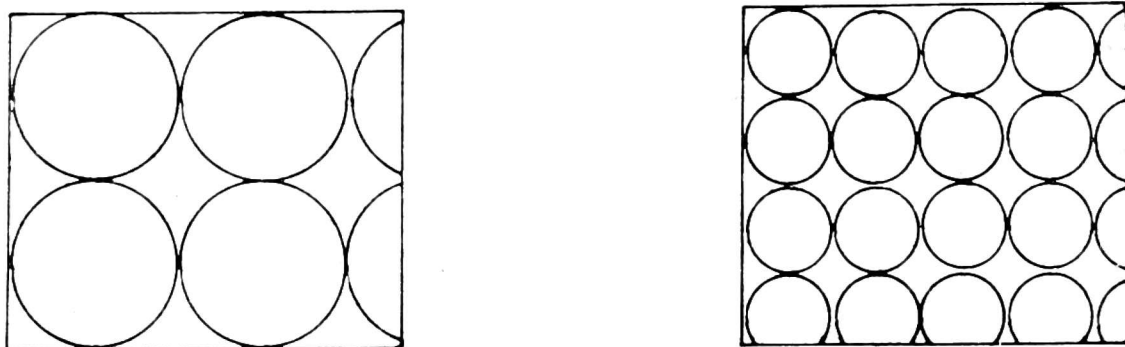
Rys. 2. Schematyczne przedstawienie kształtów cząstek gleby o wzrastającym stopniu dyspersji (powierzchnia dzielona przez objętość).

O ile w przypadku wyboru grama suchej masy gleby jako punktu odniesienia, ważny jest nie podawany zazwyczaj ciężar właściwy i objętościowy badanej gleby, to w przypadku użycia dla prezentacji cm^3 ważną cechą badanej gleby staje się jej powierzchnia. Charakterystyka ta ważna jest nie tylko ze względu na to, że podaje powierzchnię na której mikroorganizmy znajdują miejsce do życia (mogą się pomieścić) ważna jest także dlatego, że: „Bardzo istotnym elementem odróżniającym warunki panujące w hodowli na podłożu laboratoryjnym od warunków glebowych jest skład populacji i rozmieszczenie drobnoustrojów. W populacji mieszanych, a takimi są biocenozy glebowe, stosunki przestrzenne (odległości między drobnoustrojami) odgrywają dużą rolę, ze względu na sekwencje grup fizjologicznych ...” [40]. Pomiar powierzchni właściwej [5, 8] pozwala także określić w badanej glebie wiele istotnych dla życia organizmów czynników, ponadto „jest ona istotnie dodatnio skorelowana z pojemnością sorpcyjną gleb i może być czułym wskaźnikiem przebiegu niektórych procesów glebowych” [6]. Uwzględnienie „zewnątrznej powierzchni właściwej” pozwala na prezentację wyników w następujący sposób. Przyjmijmy za Burgesem [4], że w gramie gleby znajdują się 2 miliardy komórek bakteryjnych o kształtach kulistych i że objętość komórki wynosi $1 \mu\text{m}^3$. „Zewnętrzna powierzchnia właściwa” mierzona metodą cieplnej desorpcji N_2 może wynosić dla gleb mineralnych od 0,41 do $15,5 \text{ m}^2/\text{g}$ [5]. Ponieważ nie mamy danych dla określenia powierzchni właściwej gleb w lizymetrach, wybierzmy sobie jakiegokolwiek inne gleby, a dla ułatwienia niech obydwie mają ciężary właściwe $2,5 \text{ g}/\text{cm}^3$. Wybierając skrajne wartości „powierzchni właściwej” centymetr sześcienny jednej z nich może posiadać zewnętrzną powierzchnię właściwą $1,025$, a drugiej $38,750 \text{ m}^2$. W pierwszej glebie jedna komórka bakterii według przyjętych założeń, dysponuje powierzchnią $205 \mu\text{m}^2$, żyje więc na kwadracie o boku $14,3 \mu\text{m}$ zajmując $0,006$ przypadającej na nią powierzchni. W drugiej glebie, jedna komórka ma do zasiedlenia $7750 \mu\text{m}^2$, żyje więc na kwadracie o boku $88,03 \mu\text{m}$ i zajmuje na nim $0,00015$ część. Jak zatem widać dwie porównywane tu ze sobą gleby tylko wtedy rzeczywiście byłyby sobie równe w zaspokajaniu potrzeb bakterii, gdyby w drugiej z nich, tej o powierzchni właściwej

ciwej 15,5 m²/g żyło nie 2, ale 75,6 mld/gsm komórek. Istnieje jednak problem czy może się tam zmieścić choćby jedna bakteria bo nie można pominąć faktu, że mikroorganizmy są strukturami przestrzennymi — posiadają objętość i gdzieś muszą się w granicach próbki glebowej pomieścić.

*Użycie dla prezentacji wyników mikrobiologicznej analizy gleby
„cm³ porowatości”*

Objętość wewnętrzna gleby, jej „porowatość” zależy od ułożenia cząstek. Ułożenie to można klasyfikować jako: komórkowe, drobnokomórkowe, gąbczaste, luźne, porowate, pulchne, zwarte i zbite. Oprócz układu porowatość zależy także od kształtu cząstek glebowych. Jeżeli cząstki te są np. kuliste (doskonale kuliste i w badanej próbce wszystkie o równej średnicy) to wewnętrzna swobodna objętość gleby tak samo upakowanej będzie jednakowa bez względu na średnicę cząstek (rys. 3). Zmniejszają



Rys. 3. Porównanie swobodnej przestrzeni dwu próbek o takim samym upakowaniu. Ze zmniejszeniem się średnicy cząstek zmniejsza się średnica przestworów, zwiększa ich liczba, zwiększa się stosunek „powierzchni właściwej” do objętości próbki, nie zmienia się porowatość.

się tylko, lub zwiększają średnice przestworów (promień por stanowi 0,29—0,79 promienia cząstek gleby zależnie od upakowania. Dla układu sześciennego wewnętrzna objętość wynosi zawsze 47,666% objętości całkowitej, zmniejszając się ze zmianą upakowania — dla kul o jednakowych średnicach — do 33,0138% objętości przy upakowaniu heksagonalnym, wyliczone wg wzoru:

$$V = \frac{\left(\Pi \cdot \frac{72r^2 + \sqrt{3}}{12\sqrt{3}} \right)^3 \cdot \sqrt{2}}{12} \quad (3)$$

Porowatość zmniejsza się także ze wzrastającą domieszką cząstek o mniejszej średnicy, ze zmianą kształtu cząstek w kierunku wzrostu dyspersji (ku

formom kubicznym i płytkowym). Różnice w porowatości pomiędzy glebami wynikają także z udziału w stałej fazie gleby substancji organicznej. Stosunkowo prosta metoda określania wolnej przestrzeni (porowatości) gleb polega na porównaniu ich „ciężaru objętościowego” z „ciężarem właściwym”. Wzór na obliczanie „porowatości” w procentach wygląda jak następuje:

$$P\% = 100 - \frac{c.o.}{c.w.} \cdot 100 \quad (4)$$

Porowatość w różnych typach gleb może się wahać od 30 do 80%.

Jak wartość tej cechy wykorzystać w interpretacji wyników abstrakcyjnego doświadczenia lizymetrycznego? Dla gleby organicznej porowatość ogólna wynosi wg wzoru 4; 38,88%, dla gleby mineralnej 37,03%. Wartości te są do siebie bardzo podobne, różnica wynosi 1,85%. W tabeli 3 przedstawione są wyniki doświadczenia po uwzględnieniu porowatości badanych gleb.

Podobnie do wyników uzyskanych z przeliczenia na „g.s.m.” po posłużeniu się przy prezentacji wyników „porowatością ogólną” obserwuje się

Tabela 3

Wyniki badania liczebności bakterii wyrażone w stosunku do „cm³ porowatości gleby

Dzień od zalania	Gleba organiczna			Gleba mineralna		
	liczba kolonii	liczba kom. w g.s.m.	liczba kom. w cm ³ por.	liczba kolonii	liczba kom. w g.s.m.	liczba kom. w cm ³ por.
1	100	1100	3114 *)	100	1065	4889
2	100	1200	3397	100	1129	5186
3	100	1300	3680	100	1194	5485
4 **)	100	1400	3963	100	1258	5780
5	100	1500	4248	100	1323	6079

*) do wysiewu pobieramy 1 g gleby z lizymetru, ponieważ pierwszego dnia dołaliśmy 1,1 dm³ wody w 1 g świeżej gleby znajduje się masa 0,909 g gleby i 0,091 g wody (ostatniego dnia 1 g świeżej gleby zawiera masę 0,666 g gleby i 0,334 g wody). Jeden gram gleby o nienaruszonej strukturze przy ciężarze objętościowym 1,1 zajmuje objętość 0,909 cm³ i przy porowatości 38,88% posiada: $\frac{0,909 \cdot 38,88}{100} = 0,3534$ cm³

wolnej powierzchni; 0,909 g gleby z pierwszego dnia zawiera w sobie 0,3211 cm³ por (wolnej przestrzeni), ponieważ wyrosło z niej 100 kolonii przy rozcieńczeniu 10 krotnym, 1 cm³ porowatości zawiera w sobie:

$$\frac{100}{0,3211} \cdot 10 = 3114 \text{ komórek}$$

***) od czwartego dnia cała porowatość obydwu badanych gleb w tak wymyślnym doświadczeniu jest już zajęta przez dolewaną wodę.

w czasie trwania doświadczenia wzrost liczby komórek, ale teraz zasobniejsza w bakterie jest gleba mineralna. Tak więc po zmianie sposobu prezentacji wyników ich interpretacja staje się łatwiejsza i nie stwarza przesłanek do fałszywej oceny zasobności badanych gleb.

Pozostaje jednak w dalszym ciągu otwarty problem mieszczania się komórek bakterii w glebie ze względu na ich chociaż małe, ale jednak określone rozmiary. Wielkość „zewnętrznej powierzchni właściwej” gleby zależy między innymi od zasobności w substancję organiczną [5] i jest zdecydowanie większa w próbkach pozbawionych humusu. Można więc abstrakcyjnym rozpatrywanym glebom przypisać skrajne dla gleb mineralnych wartości tej cechy. Umownej glebie organicznej mniejszą, a mineralnej większą powierzchnię. Jakie będą przeciętne średnice porów glebowych w glebie organicznej o porowatości ogólnej 38,888% i zewnętrznej powierzchni właściwej $0,41 \frac{\text{m}^2}{\text{g}}$? Jeden centymetr sześcienny tej gleby ma masę 1,1 g, ma więc $0,451 \text{ m}^2$ powierzchni właściwej i na powierzchnię tą przypada $0,3888 \text{ cm}^3$ porowatości. Dla uproszczenia rachunków, prostopadłościan o $V = 0,3888 \text{ cm}^3$ i $S = 4510 \text{ cm}^2$ ma wysokość:

$$h = \frac{V}{S} = \frac{0,3888}{4510,0} = 0,0000862 \text{ cm} = 0,86 \mu\text{m}$$

Dla gleby mineralnej wartość ta wynosi:

$$h = \frac{0,3703}{263500} = 0,0000014 \text{ cm} = 0,0014 \mu\text{m}$$

Modelowa kulista komórka bakterii o objętości $1 \mu\text{m}^3$ (średnica $1,25 \mu\text{m}$) nie zmieści się w przeciętnych porach gleby organicznej, a tym bardziej mineralnej. Należy się zatem spodziewać, że wiele porów glebowych nie będzie mogło być przez bakterie zasiedlanych.

Szukanie dostępnej dla mikroorganizmów przestrzeni życiowej

Dostępna dla bakterii część „porowatości ogólnej” zależy od udziału jaki ma w niej „porowatość niekapilarna” i „kapilarna”. Od proporcji między makro i mikroporami zależą także w dużym stopniu panujące w glebie warunki powietrzne i wodne. Woda wypełnia zwykle pory kapilarne, a przestwory niekapilarne wypełnione są powietrzem glebowym. Woda może występować w glebie w kilku zasadniczo różnych postaciach [35]. Wyróżniana jest woda: 1) grawitacyjna, 2) kapilarna właściwa (zamknięta i otwarta okcludująca w sobie pęcherzyki powietrza) i kapilarna przywierająca (bez łączności z wodą gruntową), 3) molekularna błonkowa i higroskopijna, 4) imbibicyjna, 5) chemicznie związana (konstytucyjna i krystaliczna). To w jakiej postaci i ile wody znajduje się w glebie zależy od „po-

jemności wodnej” gleby. Wyróżnia się pojemność wodną: 1) maksymalną (woda wypełnia wszystkie pory), 2) kapilarną, minimalną (pojemność wodna połowa — zawartość wody która pozostaje w glebie po odsączeniu wody grawitacyjnej i osiągnięciu zmniejszonej ruchliwości wody kapilarnej, 3) pojemność wodną higroskopową. Nie każda postać wody jest dla roślin i dla bakterii dostępna [34, 47]. Dostępna dla roślin woda wypełnia pory o średnicy większej od $0,2 \mu\text{m}$, a jej pF jest mniejsze od 4,2. Autorem jednostek pF (zdelegalizowanych w układzie SI) jest Schofield, który w 1935 roku zaproponował, żeby ssącą siłę podnoszącą wodę kapilarną wyrażać dziesiętnym logarytmem z wysokości w centymetrach słupa wody potrzebnej do zrównoważenia tej siły (w układzie SI odpowiada to w przybliżeniu milibarom). Znając średnicę porów glebowych wysokość tą można wyliczyć z formuły Jourina:

$$H = \frac{4 d \cos \alpha}{f g r} \quad (5)$$

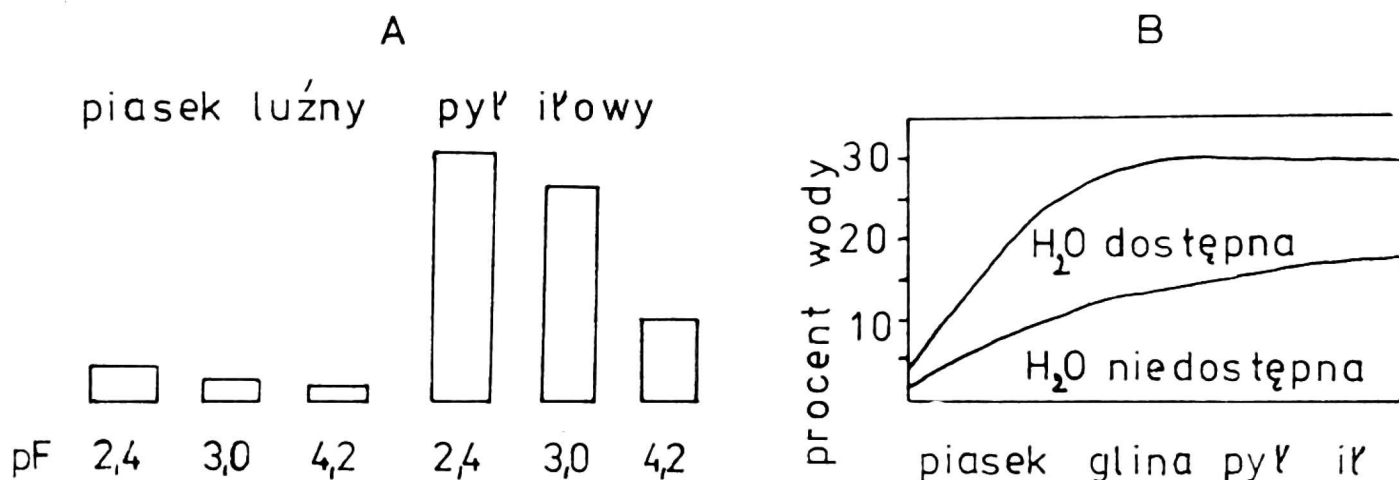
gdzie: H — potencjał kapilarny, $\cos \alpha$ — wartość kąta zwilżania gleby, d — napięcie powierzchniowe wody, f — gęstość wody w zależności od temperatury, g — przyspieszenie ziemskie, r — średnica por glebowych.

Po uproszczeniu, dla 25°C wzór ten przyjmuje postać [10, 20]:

$$H = \frac{0,294}{r} \simeq \frac{0,3}{r} \quad r = \frac{0,294}{H} \simeq \frac{0,3}{H} \quad (6, 7)$$

Dysponując zatem odpowiednimi nomografami można określać z wartości potencjału kapilarnego (pF) wyrażoną w procentach wilgotność konkretnej gleby, lub różnicowanie średnic porowatości. Dla bakterii dostępne mogą być tylko przestwory o średnicach nie mniejszych niż średnice komórek (natomiast przy wysyceniu wodą wszystkich por, substancje rozkładane egzoenzymami mogą na drodze wyrównywania stężeń wydostawać się z por o mniejszych niedostępnych dla bakterii średnicach do przestworów zasiedlanych). Dla modelowej kulistej bakterii o objętości $1 \mu\text{m}^3$, średnica por nie może być mniejsza od $1,25 \mu\text{m}$, a więc woda powinna stawać się niedostępna przy potencjale większym od 2400 milibarów (wzór 5 — pF 3,38), notowane są jednak aktywności mikrobiologiczne dla pF 5 [34].

Jak już wspomniałem dysponując odpowiednimi nomografami (dla każdego gatunku i poziomu gleby) z wartości pF można odczytać zawartość w glebie wody. Zawartość ta dla takich samych wartości pF jest w różnych glebach różna [3, 44]. Przykładowo przedstawia to rys. 4 a i b. Praktycznie więc bez podania składu mechanicznego sama wartość pF nie daje żadnej szansy określenia ile przestrzeni w glebie może być zajęte przez komórki bakterii.

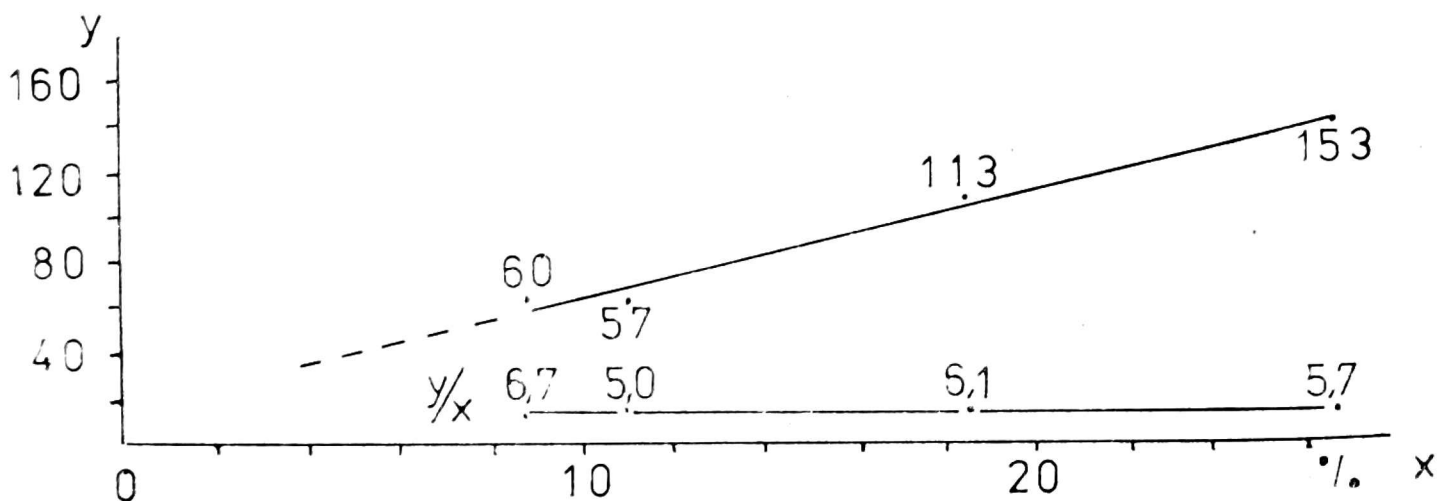


Rys. 4. Schematyczne przedstawienie zależności między jednostkami pF, a zawartością i dostępnością wody w różnych gatunkach gleb.

Wilgotność gleby (aktualna) oprócz wyrażania w procentach wagowych (g H₂O/100 g gleby) może być także wyrażana w procentach objętościowych (ml H₂O/100 cm³ gleby o nienaruszonym układzie). Wilgotność tą oznaczać można łatwo w zakresie od pojemności wodnej maksymalnej (pF = 0) do pojemności wodnej higroskopowej (pF = 4,6) przez wysuszenie próbki w temperaturze 105°C do stałej wagi. Oznaczona tą metodą zawartość wody może po przeliczeniu masy odparowanej wody na objętość, dość dobrze służyć jako wykładnik możliwej do zasiedlenia przestrzeni por glebowych. Wiąże się z tym bezpośrednio zagadnienie czy objętość wody glebowej (roztworu glebowego) może być zasiedlona przez mikroorganizmy bez względu na panujące w niej stosunki tlenowe. Problem ten doczekał się obszernej literatury i ogólnie panuje przekonanie, że „większość drobnoustrojów glebowych najlepiej rozwija się przy wilgotności wynoszącej od 50 do 60% maksymalnej pojemności wodnej gleby” [40]. W przeświadczeniu tym duży udział ma metoda prowadzenia badań. Mianowicie liczba bakterii oznaczana zwykle bywa za pomocą metody płytkowej co od razu stymuluje rozwój tlenowców. Jeżeli zaś badany jest wpływ wilgotności na oddychanie, często jako miernik aktywności traktuje się tylko pobór tlenu, natomiast gdy miarą aktywności jest wydzielanie CO₂ nie ma zwykle dostatecznej ilości akceptorów wodoru itp. „Trudne do zinterpretowania są dawniejsze prace dotyczące wody w glebie i jej wpływu na aktywność bakterii. Ilość wody wyrażano z reguły w procentach wagowych w stosunku do suchej masy gleby, pomijając zagadnienie sił fizycznych, z jaką woda utrzymywana jest w glebie ... Najdokładniejsze dane na temat wpływu wilgotności gleby na bakterie pochodzą z badań nad glebami przesuszonymi” [4]. Nie mniej niekiedy spotyka się wyniki prac w których brano pod uwagę jednocześnie tlenowce i beztlenowce i np. w podręczniku Kunickiego [23] zamieszczona jest

na 383 str. tabela przedstawiająca „Liczbę bakterii w glebie zalanej wodą”. Okazuje się tu, że po zalaniu gleby wodą, liczba bakterii wzrasta z 56×10^6 /g.s.m. do $220 \cdot 10^6$ komórek samych tlenowców pomimo prawie dziesięciokrotnego spadku ilości O_2 . Następnym ciekawym momentem jest to, że po 8 dniach doświadczenia, ogólna liczba bakterii nie uległa zmianie — pomimo zupełnego wyczerpania tlenu i nagromadzenia się metanu — i wynosi $53 \cdot 10^6$ tlenowców i $170 \cdot 10^6$ beztlenowców. Tak więc po 8 dniach w zalanej wodą glebie, gdzie „pojemność wodna maksymalna” została przekroczona, ogólna liczba bakterii nie zmieniła się pozostając na identycznym poziomie z pierwszym dniem — różnica wynosi 1,5% — pomimo zmiany składu gatunkowego. Co więcej, nawet grzyby wytwarzające powietrzne strzępki, zdawało by się więc mniej zależne od objętości wody jako przestrzeni do zasiedlenia, wykazują wprost proporcjonalną zależność liczby organizmów od wilgotności gleby ([23] str. 381 tab. „Występowanie grzybów w glebie w zależności od wilgotności”). Zależność ta jest łatwo dostrzegalna jeżeli porównuje się „Procentową wilgotność gleby” i „Jednostki grzybni” w tys. na 1 g gleby (bez uwzględniania niewykiełkowanych spor, które w rzeczonyj tabeli traktowane są jako składowa liczebności ogólnej). W przytoczonej tabeli jednemu procentowi wilgotności odpowiada około $5,8 \cdot 10^3$ „jednostek grzybni” rys. 5.

Stała ogólna liczba bakterii (tlenowców i beztlenowców) w ciągu kilku dni od zalania gleby wodą; prawie stała proporcja między „jednostkami grzybni”, a wilgotnością gleby — pozwalają uznać za nadzwyczaj słuszne spostrzeżenie Burgesa ([4] str. 26) „W czasie wysychania gleby ilość zawartych w niej bakterii wyraźnie spada” i (str. 27) „Często można zaob-



Rys. 5. Zależność między liczbą grzybów w tysiącach „jednostek grzybni” na 1 g gleby Y, procentową wilgotnością gleby X i liczbą w tysiącach „jednostek grzybni” przypadających na 1 procent wilgotności gleby Y/X (wg danych z Kunickiego 1968 str. 381).

serwować, gdy gleba szybko wysycha, że różnorodne grupy bakterii takie jak tlenowe laseczki przetrwalnikujące, nitryfikatory, denitryfikatory i bakterie aerogeniczne reagują podobnym spadkiem liczebności." Na tej podstawie można próbować wysnuć przypuszczenie, że pomimo spadku zawartości tlenu w miarę wzrastania w glebie zawartości wody wzrasta w niej proporcjonalnie ogólna liczba mikroorganizmów. Przemawia za tym fakt, że nawet na 1000 metrowych głębokościach, w mułach dennych oceanów żyją bakterie i to w znacznych ilościach $38 \cdot 10^6$ /gram Kunicki ([23] str. 389 tablica „Liczba bakterii w mułach dennych oceanów ...”). Ponieważ „procesy biochemiczne w glebie prowadzone są zarówno przez drobno-ustroje tlenowe, jak i beztlenowe” [40], nie może dziwić że chociaż „odmienne warunki środowiskowe, o typie przejściowym glebowo-wodnym, istnieją w dennych mułach i iłach” i „... są to siedliska prawie zawsze bez-tlenowe” ([23] str. 385) „iły i muły denne zawierają zazwyczaj olbrzymie ilości bakterii, częstokroć większe niż gleby lądowe” ([23] str. 389). „Niegdyś panujący pogląd utrzymywał, że przegęszczenie może ograniczać maksymalną liczebność osiąganą przez populacje bakteryjne ... Pogląd ten został uznany za niesłuszny i obecnie ogólnie uważa się, że przegęszczenie nie ogranicza maksymalnej liczebności populacji bakteryjnej rozwijających się w pożywkach płynnych oraz że liczebność populacji większości gatunków można by znacznie zwiększyć, podnosząc stężenie składników pokarmowych w pożywkach ... i zapobiegając tworzeniu się inhibitorów. Liczebność bakterii w czystych kulturach może wynosić ponad 10^{11} /ml pożywki” ([1] str. 372). „Jednym z najważniejszych czynników ograniczających rozwój bakterii w glebie jest niedobór związków pokarmowych, lub brak odpowiedniego i dostępnego źródła energii” ... „Wielu, a nawet większość bakteriologów jest zdania, że w czystej hodowli dowolnego gatunku bakterii *in vitro* namnażanie się komórek jest na ogół proporcjonalne do ilości dostępnych związków pokarmowych. W glebie w obecności mieszanej flory bakteryjnej, sytuacja jest prawdopodobnie analogiczna; najważniejsze jest zaopatrzenie w związki odżywcze” ... „Z tego bowiem co wiemy o bakteriach glebowych wynika, że zaopatrzenie w związki odżywcze w glebie jest dla nich ciągle niewystarczająca” ([4] str. 20).

Zasoby źródeł energii dostępnych dla saprofitów są przynajmniej równe, a całkiem prawdopodobne jest, że nieco przewyższają ilość substancji organicznej wyprodukowanej w ekosystemie” ([1] str. 138). „Założenie, że potrzeby pokarmowe organizmu w okresie wegetatywnego wzrostu odzwierciedlają zasobność w te składniki środowiska, w którym wzrost się odbywa wydają się całkiem słuszne” ([1] str. 146). „Mikroorganizmy występujące w glebie są uzależnione pokarmowo i środowiskowo od związków abiotycznych gleby. I odwrotnie skład chemiczny danej gleby jest w dużej mierze wypadkową aktywności życiowych zamieszkujących ją

organizmów. Te wzajemne powiązania martwych składników glebowych z czynnikami biologicznymi w olbrzymim stopniu mają charakter reakcji biochemicznych opartych na katalizie enzymatycznej” ([40] str. 143). „Wszystkie reakcje chemiczne i biochemiczne w środowisku glebowym, a także w komórkach drobnoustrojów tam występujących przebiegają zasadniczo w wodzie. Można powiedzieć, iż woda jest niezbędnym czynnikiem warunkującym każde życie” ([40] str. 35). „Rozwój drobnoustrojów jest zależny w wysokim stopniu od składu roztworów glebowych” ([50] str. 179).. „Roztwór glebowy stanowi jak gdyby naturalną pożywkę dla mikroflory glebowej. Drobnoustroje znajdują w nim większość składników pokarmowych niezbędnych do życia” ([40] str. 36). „Na życie glebowych mikroorganizmów działa kompleks różnorodnych warunków. Jeden z nich — substancje pokarmowe, temperatura i wilgotność — określa sezonowe zmiany w ilościowym i jakościowym zestawie mikroflory, wpływ innych przejawia się mniej znacząco” ([38] str. 223). „W naszych warunkach klimatycznych zawartość wody w glebie może się wahać w granicach od kilku do kilkudziesięciu procent ([40] str. 35). Podobnie sądzi Kuźniar [26]. „Istnieje kilka typów ekosystemów, w których występuje praktycznie stały przepływ pokarmu. Należą do nich: układ pokarmowy, część gleby objęta strefą korzeniową roślin, do której stale dopływają wydzieliny korzeniowe, tkanki organizmów wyższych zajęte przez mikroorganizmy, zakłady oczyszczania ścieków miejskich. Zespoły organizmów zamieszkujących takie środowiska na ogół nie podlegają gwałtownym fluktuacjom, jakie występują w siedliskach o nieregularnym dopływie pokarmu” ([1] str. 140).

Warto się zastanowić jak te informacje wykorzystać w prezentacji wyników mikrobiologicznej analizy gleb. Przyjmijmy, że mikroorganizmy, a ściślej bakterie żyją na powierzchni tylko tych cząstek gleby, które znajdują się w kontakcie z roztworem glebowym. W formie wegetatywnej zatem występują tylko w przestworach wypełnionych wodą. Ponieważ wiele danych przemawia za słuszością relacjonowanej przez Williamsona [46] zależności: „weight of microbe formed = weight of substrate used \times a constant. The constant here is the yield constant, designated Y in the list above

$$Y = \frac{\text{weight of bacterium}}{\text{weight of substrate}} = \frac{\text{growth rate}}{\text{consumption rate}} \text{ ”}$$

a „fazę płynną gleby stanowi tak zwany roztwór glebowy. Są w nim rozpuszczone różnego rodzaju związki mineralne i organiczne, stanowi bazę pokarmową dla drobnoustrojów i korzeni roślin” [40], spróbujmy się przekonać w którym lizymetrze drobnoustroje mają obfitszą bazę pokarmową, policzyć jaka jest zasobność badanych roztworów glebowych w bakterie.

Obliczenia te można przeprowadzić stosując wzór:

$$\text{Liczba kom. bakterii/ml roztw. gleb.} = \frac{\text{bakt.} \cdot (100 + \text{wilg. } \%)}{\text{g} \cdot \text{wilg. } \%} \quad (8)$$

Wprowadzając te obliczenia do doświadczenia z lizymetrami, gdzie jedyna zachodząca w ciągu doświadczenia zmiana polegała na codziennym dolewaniu do badanych gleb jednakowych porcji wody (tab. 4) okazuje się, że gleba mineralna zawiera podobnie jak w czasie prezentacji wyników w stosunku do „cm³ porowatości ogólnej” (tab. 3) i jak rzeczywiście ma to

Tabela 4

Wyniki badania liczebności bakterii wyrażone w stosunku do „grama świeżej gleby” i „ml roztworu glebowego” w abstrakcyjnym doświadczeniu lizymetrycznym

Dzień od zala- nia	Gleba organiczna			Gleba mineralna		
	licz. kom. w g gleby	wilg. %	licz. kom. w ml H ₂ O	licz. kom. w g gleby	wilg. %	licz. kom. w ml H ₂ O
1	1000	10	11 000	1000	6,5 *)	16 384
2	1000	20	6 000	1000	12,9	8 752
3	1000	30	4 333	1000	19,4	6 154
4	1000	40	3 500	1000	25,8	4 876
5	1000	50	3 000	1000	32,3	4 096

*) patrz także tab. 1, 2, 3.

miejsce w lizymetrach, więcej bakterii. Ponadto tak w organicznej, jak i w mineralnej glebie zasobność roztworu glebowego w komórki bakteryjne spada zamiast rosnać, co jest o tyle uzasadnione, że samo wprowadzenie do gleby wody nie tylko nie powoduje wzrostu stężenia roztworu glebowego, ale go wręcz rozcieńcza.

Próba zastosowania wypracowanych koncepcji

Przyjmijmy, że mamy porównać kilka hipotetycznych gleb o określonych właściwościach fizycznych, aby w oparciu o założone wyniki analizy mikrobiologicznej orzec o zasobności gleb w substancje biogenne i uporządkować je w kolejności od najzasobniejszej do najbardziej jałowej. „Wyniki analiz mogą nam posłużyć do porównania różnych rodzajów gleb między sobą pod względem ich aktywności biologicznej, a co za tym idzie — także pod względem ich żyzności” [50].

Tabela 5

Abstrakcyjne wyniki analizy mikrobiologicznej czterech gleb (poziom A₁) ogólna liczba bakterii określana metodą bezpośrednią

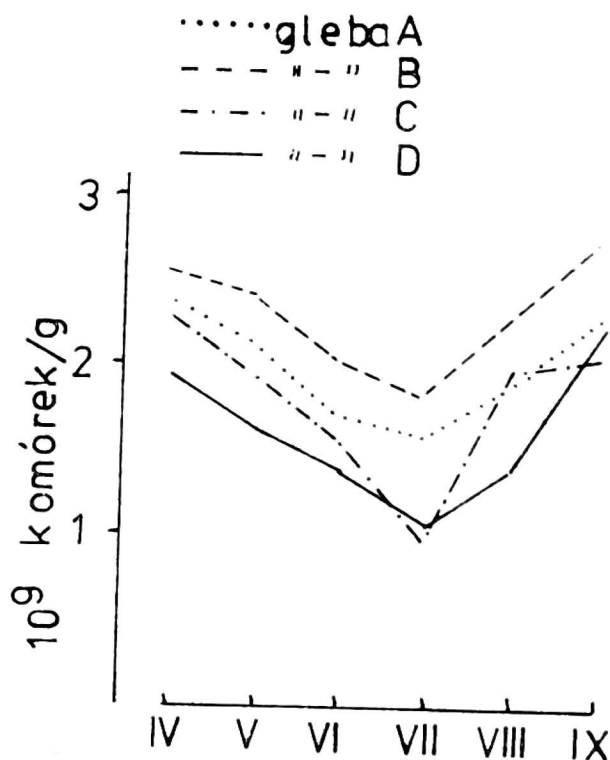
Mie- siące	Gleba powierzchni A		Gleba powierzchni B		Gleba powierzchni C		Gleba powierzchni D	
	1—1,22; 2—2,65 3—35,1; 4—53,9		1—0,91; 2—2,50 3—35,1; 4—67,6		1—1,00; 2—2,45 3—29,5; 4—59,2		1—0,66; 2—1,95 3—15,0; 4—66,1	
	I	II	I	II	I	II	I	II
IV	27,94	34,09	27,47	25,00	21,15	21,15	15,66	10,34
V	23,68	28,89	24,67	22,45	17,17	17,17	12,96	8,56
VI	17,44	21,28	19,78	18,00	13,30	13,30	10,30	6,80
VII	15,11	18,44	17,23	15,68	7,95	7,95	7,69	5,08
VIII	19,60	23,91	22,86	20,81	17,93	17,93	10,36	6,85
IX	26,08	31,82	29,75	27,08	19,23	19,23	18,27	12,06
	bak./g × 10 ⁹		bak./g × 10 ⁹		bak./g × 10 ⁹		bak./g × 10 ⁹	
IV	2,40		2,58		2,26		1,96	
V	2,15		2,42		1,92		1,67	
VI	1,74		2,06		1,54		1,36	
VII	1,60		1,86		0,97		1,04	
VIII	1,88		2,28		1,99		1,36	
IX	2,27		2,75		2,09		2,24	

1 — ciężar objętościowy, 2 — ciężar właściwy, 3 — porowatość kapilarna, 4 — porowatość ogólna, I — wilgotność w %, II — zasobność w wodę 100 cm³ gleby obliczona wg wzoru: zasobność w wodę = wilgotność % razy ciężar objętościowy.

Przyjęte wyniki (tab. 5) zgodne są w ogólnym zarysie z danymi publikowanymi w pracach z zakresu mikrobiologii gleb, aczkolwiek dla przedstawionego w niniejszej pracy problemu mogą one być zupełnie dowolne. Aby uniknąć konieczności uwzględniania „agroekofaz”, „agroekotapów” (drukowana w Presli 43 w 1971 r. praca Propača i współpracowników) — przyjmijmy, że rozpatrywane gleby są glebami leśnymi i pobierane są spod płatów roślinności dających się zaliczyć do zdefiniowanych „zespołów fitosocjologicznych” co gwarantuje, że znajdują się w równowadze biologicznej. Poddajmy analizie próbki z poziomu A₁. Liczba bakterii niech będzie „ogólną liczbą” uzyskiwaną metodą „bezpośrednią” (21, 32, 48).

Na podstawie przedstawionych w tabeli 5 charakterystyk możemy zauważyć że: 1) analizowane gleby różniąc się pomiędzy sobą zarówno „ciężarem objętościowym” jak i „ciężarem właściwym” mają bardzo podobną „porowatość ogólną”; 2) gleby powierzchni A i B pomimo bardzo podobnej

„wilgotności bezwzględnej” różnią się znacznie objętościami roztworu glebowego, zawartymi w 100 cm³ gleby (wynika to z zależności jaka istnieje pomiędzy „ciężarem objętościowym” i „wilgotnością bezwzględną”, a zasobnością w wodę — co oblicza się wg wzoru: Zasobność w H₂O = wilgotność % · ciężar objętościowy (9); 3) wilgotność analizowanych w opisywanym problemie gleb mieści się w granicach 6,75 do 63,17% maksymalnej pojemności wodnej są to więc warunki raczej posuszne, mikropory nawet w okresie największe dla doświadczenia wilgotności nie są wypełnione całkowicie roztworem glebowym — stosunek mikropor do porowatości ogólnej mieści się w granicach charakterystycznych dla gleb nieuprawnych [3]; 4) we wszystkich glebach obserwuje się wyraźny (do 42%) występujący w lipcu spadek wilgotności — zasobność opisywanych gleb w roztwór glebowy jest więc bardzo podobna do tych jakie obserwowali Kuźniar [26], Iwanowa [14], Wawuło [45]. Liczebność bakterii przedstawiona w stosunku do „grama” gleby mieści się w granicach podawanych przez podręczniki. Liczebność ta jednak nie daje podstawy do statystycznie istotnego zróżnicowania opisywanych gleb, ponieważ zmienność wewnątrzpróbkowa jest większa od zmienności międzypróbkowej więc wyniki te nawzajem na siebie zachodzą (rys. 6). Nieistotnie daje się tylko wydzielić z czterech omawianych gleb glebę powierzchni B, w której jak widać w tabeli i na rysunku przez cały czas badań jest więcej bakterii niż w pozostałych i glebę powierzchni D przeważnie mniej zasobną w bakterie od gleby C i stale uboższą w bakterie od gleb A i B. Obserwuje się także wyraźny spadek liczebności bakterii w okresie lata w porównaniu z okresem wios-



Rys. 6. Zasobność w bakterie abstrakcyjnych gleb A, B, C i D wyrażona w stosunku do grama gleby.

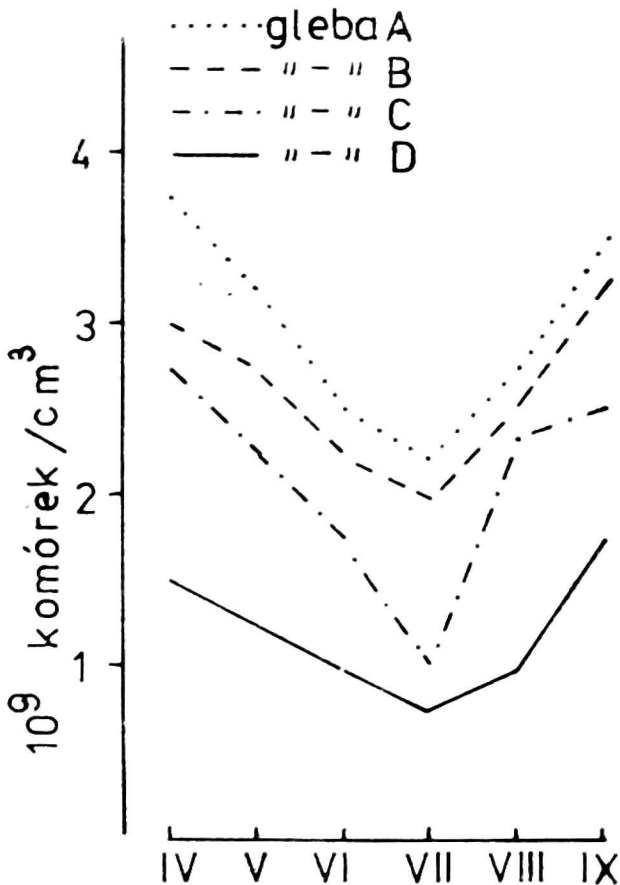
ny i jesieni (co jest zresztą pospolicie notowane we wszystkich pracach relacjonujących tego typu badania).

Ponieważ prezentacja wyników analizy mikrobiologicznej z użyciem „grama gleby” jako punktu odniesienia nie daje zadowalających rezultatów zawarte w tabeli 5 wyniki przeliczono w stosunku do „centymetra sześciennego gleby” wg wzoru:

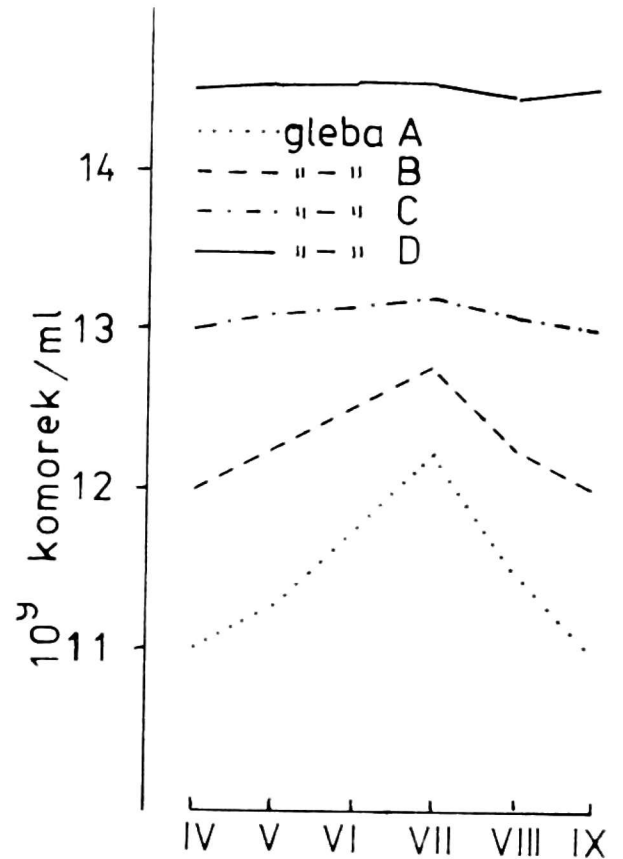
$$\frac{\text{Liczba komórek bakterii}}{\text{cm sześć. gleb.}} = \frac{\frac{\text{Licz. bak.}}{\text{g}} \cdot 100 + \text{wilg. \%}}{100} \cdot \text{cięż. ob.}$$

Wyniki tego przeliczenia przedstawia rysunek 7. Jak łatwo można zauważyć gleby w dalszym ciągu wykazują większe różnice wewnątrz niż międzypróbkowe. W porównaniu z poprzednio użytym sposobem prezentacji różnice polegają na: 1) zmianie kolejności gleb A i B tym razem gleba powierzchni A jest wyraźnie przez cały czas zasobniejsza w bakterie od gleby B. 2) wyniki nie zachodzą już na siebie, zwłaszcza gleb powierzchni C i D. 3) pogłębiła się i przedtem wyraźna letnia depresja liczby bakterii.

Kolejność gleb ustalona w oparciu o zasobność w komórki bakterii przyjmowane jako wykładnik zasobności w substancję biogenną obliczana w stosunku do „centymetra sześciennego” gleby układa się więc inaczej niż gdy punktem odniesienia jest „gram gleby”. Najzasobniejsza jest gle-



Rys. 7. Zasobność w bakterie abstrakcyjnych gleb powierzchni A, B, C i D wyrażona w stosunku do cm³ gleby.



Rys. 8. Zasobność w bakterie abstrakcyjnych gleb powierzchni A, B, C i D wyrażona w stosunku do mililitra roztworu glebowego.

ba powierzchni A mniej zasobna gleba B, podobnie do poprzedniego sposobu prezentacji wyników najuboższe są gleby powierzchni C i D.

Spróbujmy także stosując wzór 8 przekonać się jaką zasobnością w komórki bakterii charakteryzują się roztwory glebowe opisywanych gleb. Wyniki zastosowania wzoru 8 przedstawia rysunek 8. Tym razem gleby zdecydowanie różnią się między sobą, ponadto diametralnie zmieniła się kolejność gleb. Najzasobniejsza jest teraz gleba powierzchni D dotychczas klasyfikowana na ostatnim miejscu, natomiast ostatnie miejsce zajmuje pierwsza dotychczas gleba powierzchni A. Zmieniła się też kolejność gleb powierzchni C i B. Ponadto zamiast lipcowej depresji w glebie A i B wystąpił wyraźny wzrost liczebności. Ponieważ za czynnik ograniczający liczebność bakterii w pożywcze płynnej uznaje się zazwyczaj brak pokarmu, wyraźny wzrost liczby komórek można by przypisać wzrostowi stężenia substratów co stymuluje także aktywność enzymów. „Aktywność enzymów jest warunkowana odpowiednimi właściwościami środowiska. Na ich aktywność wpływają między innymi: stężenie jonów wodorowych (pH), temperatura stężenie substratu” [40]. Lipcowy wzrost zasobności mililitra roztworu glebowego gleb powierzchni A i B można zatem interpretować jako wynik 1,85-krotnego wzrostu stężenia rozpuszczonych w roztworze substancji. Nieznaczny — zaledwie 1,5% wzrost zasobności w komórki bakterii roztworu glebowego powierzchni C i jeszcze mniejszy — 0,4% wzrost zasobności roztworu powierzchni D można interpretować jako

od początku dostateczną dla organizmów zasobność tych gleb w substancję odżywczą. Stężenie wzrosło tu 1,82-krotnie, a więc bardzo podobnie do wzrostu stężenia roztworów gleb A i B.

W naturalnych warunkach może się więc zdarzyć, że zasobności roztworów glebowych w bakterie będą się zmieniać bardzo nieznacznie przez cały okres badań, będąc dla konkretnych gleb wielkościami charakterystycznymi.

Spróbujmy omówione wyżej rozumowanie zastosować do realnych wyników analizy mikrobiologicznej przeprowadzonej w glebach naturalnych zbiorowisk roślinnych. Chcąc przeprowadzić ten zabieg trzeba według przyjętych założeń dysponować kompletnymi danymi dotyczącymi liczebności bakterii, wilgotności gleby, a także ciężarów objętościowych i właściwych badanych gleb. Dobrze jest także dysponować pozamikrobiologiczną klasyfikacją porównywanych gleb co pozwala zweryfikować wyciągnięte w oparciu o analizę mikrobiologiczną wnioski. Jak zatem widać trzeba dysponować kompletem informacji nie zamieszczanych na ogół w pracach z zakresu mikrobiologii gleb.

Częściowo — brak bezpośrednio określanej liczebności bakterii — informacje takie można odszukać w publikacjach dotyczących kompleksowych badań prowadzonych na terenie Białowieskiego Parku Narodowego. Szata roślinna, zespoły fitosocjologiczne, charakterystyka terenu, warunki ekologiczne wyróżnionych zespołów, przewidywane sukcesje itd. opracowane zostały przez Matuszkiewicza (27). Niektóre z wykonywanych zdjęć zlokalizowano na doświadczalnych powierzchniach IBL:

Powierzchni I zlokalizowanej w oddziale 256 odpowiada zdjęcie 88 (z pracy Matuszkiewicza) będące opisem płatu roślinności zaliczonego do zespołu *Pineto-Vaccinietum myrtilli* (Kobendza 1930) Br.-Bl.-Vlieg 1939 co w dzisiejszej nomenklaturze (43) odpowiada zespołowi *Vaccinio myrtilli-Pinetum* Kobendza 1930.

Powierzchni II — oddział 319 odpowiada zdjęcie 53 zaliczane przez Matuszkiewicza do tej samej asocjacji co opisane poprzednio.

Powierzchnię III leżącą w oddziale 289 reprezentuje zdjęcie nr 126 zaliczane przez Matuszkiewicza do zespołu *Querceto-Betuletum Tüxem* 1930 co odpowiada zespołowi *Querco-Piceetum* Matuszkiewicz (1952) 1955.

Powierzchnia IIIa leżąca w oddziale 319 odpowiada podzespołowi *Querco-Betuletum serratuletosum* Matuszkiewicz 1951, dzisiaj traktowana być może jako płat zespołu *Querco-Piceetum*.

Powierzchnia IV z oddziału 223 reprezentowana jest przez zdjęcie 296 zaliczane do asocjacji *Betuletum pubescentis ledetosum silvestris* (Libbert 1933) Tüxen 1937 co odpowiada podzespołowi *Betuletum pubescentis* zespołu *Vaccinio uliginosi-Pinetum* (Kleist 1929) Kobendza 1933.

Powierzchni V leżącej w oddziale 399 odpowiada zdjęcie 2 zaliczone

przez Matuszkiewicza do asocjacji *Querceto-Carpinetum medioeuropaeum* Tüxen 1936 i subasocjacji *Qu.-C. typicum* Tüxen 1937 co odpowiada dzisiejszemu podzespołowi *Tilio-Carpinetum typicum* z zespołu *Tilio-Carpinetum* Traczyk 1962.

Powierzchnia VI leżąca w oddziale 340 reprezentowana jest przez zdjęcie 65 zaliczane do podzespołu *Qu.-C. corydaletosum* Tüxen 1937 co odpowiada podzespołowi *T.-C. corydaletosum* (43).

Wreszcie powierzchnia VII leżąca w oddziale 314, zdjęcie 248 zaliczone do zespołu *Fraxineto-Alnetum* Matuszkiewicz 1951, jest prawdopodobnie płatem podzespołu *Carici elongatae-Alnetum dryopteridetosum cristatae* Matuszkiewicz, Traczyk H., Traczyk T. 1958, zespołu *Carici elongatae-Alnetum* (Koch 1926) R. Tx. et Bodeaux 1955, ze związku *Alnion glutinosae*.

Na obranych do bioekologicznych badań powierzchniach stosunki mikrobiologiczne, liczebność bakterii, grzybów i promieniowców, liczebność grup pokarmowych na tle warunków siedliskowych i florystycznych — opracowały Ziemięcka i Hauke-Pacewiczowa [49]. Nitryfikację i denitryfikację, liczebność nitryfikatorów I i II fazy, liczebność azotobaktera w powiązaniu z właściwościami gleb wyróżnionych zbiorowisk roślinnych opracował Michniewicz [28]. Tempo rozkładu błonnika w glebach Parku badał Kuźniar [24], który także w oparciu o wymienione badania, a zwłaszcza korzystając z wyników Ziemięckiej opracował „Przyrodnicze podstawy obliczania ilości drobnoustrojów w glebie” [25].

Przytoczona na 62 stronie wzmiankowanej powyżej pracy tabela „Średnie ilości bakterii w warstwie próchnicznej powierzchni ekologicznych Białowieskiego Parku Narodowego w przeliczeniu na: a) 1 cm³ gleby, b) 1 g gleby, c) 1 g substancji organicznej gleby w tysiącach” zawiera „Przeliczenia ilości bakterii w: 1 cm³ gleby wilgotnej względnie suchej, 1 g gleby suchej o objętości w cm³, 1 g gleby wilgotnej o objętości w cm³” itd.

Dysponując objętością w centymetrach sześciennych jaką zajmuje jeden gram gleby suchej, możemy obliczyć ile gramów waży centymetr sześcienny tej gleby. Na przykład jeżeli 1 g gleby suchej boru iglastego (I powierzchnia IBL) zajmuje objętość 0,73 cm³ to 1 cm³ tej gleby waży 1,3698963 g i taki jest „ciężar objętościowy rzeczywisty” [35] tej gleby — w przytoczonej tabeli 1,37 g/cm³.

Jeżeli gram tej gleby w stanie wilgotnym zajmuje objętość 0,68 cm³, więc 1 cm³ w wilgotnym stanie waży 1,4705882 g (jest to „ciężar objętościowy chwilowy”).

Różnica pomiędzy „ciężarem objętościowym chwilowym”, a „ciężarem objętościowym rzeczywistym” wynika z obecności w 1 cm³ tej gleby 0,1007259 g wody.

Zawartość wody w glebie może być określana w procentach jako „wilgotność aktualna” w ten sposób że: „z pobranej próbki odważamy ilość a gramów. Następnie próbkę umieszczamy w naczynku wagowym suszymy w temperaturze 105°C do stałego ciężaru i otrzymujemy ciężar b gramów. Wilgotność aktualna gleby

$$W_a = \frac{a - b}{b} \cdot 100\% \text{ Musierowicz [29]''}.$$

W rozpatrywanym przypadku

$$W_a = \frac{1,4705882 - 1,369863}{1,369863} \cdot 100\% = 7,35293\%$$

w cytowanej tabeli z 62 strony wartość ta wynosi 7,0%. Jak widać w przypadku „I powierzchni ekologicznej” i gleby boru iglastego wyliczone wartości „ciężaru objętościowego rzeczywistego” i „wagowego procentu wilgotności” są prawie zgodne z podanymi w tabeli. Trochę gorzej przedstawia się sprawa z podawaną w cytowanej tabeli wilgotnością pozostałych gleb, gdzie różnice między danymi zawartymi w rubryce „% wody w próbce”, a danymi możliwymi do wyliczenia w przytoczony powyżej sposób są niekiedy dość znaczne, mieszczą się jednak (oprócz gleb organicznych) w dopuszczalnych granicach błędu ważenia.

Szkoda, że ani w omawianej pracy, ani w pracach dotyczących prowadzonych w tamtym czasie badań Białowieskiego Parku Narodowego [24, 27, 28, 49] nie ma podanej pełnej charakterystyki fizycznych właściwości branych do analizy próbek gleby. Chociaż prawdę mówiąc wymieniony wyżej zbiór publikacji zawiera jedną z niewielu w literaturze, prawie pełną charakterystykę mikrobiologiczną, fitosocjologiczną i gleboznawczą obszaru leśnego z kilkoma różnymi zbiorowiskami roślinnymi znajdującymi się w tym samym obszarze oddziaływań klimatycznych i badanymi w tym samym czasie.

Z przytoczonych w pracy Kuźniara [25] danych wynika, że badane gleby „powierzchni ekologicznych” różniły się między sobą nie tylko „ciężarami objętościowymi” (w skrajnych glebach jak 1 do 9,7857) różniły się także procentem wilgotności. Według danych z tabeli jak 90,0 do 7,0 — a więc 12,8571 raza, a według danych możliwych do wyliczenia cytowanym wzorem (29) jak 905 do 7,35 — więc 123,13 raza.

Korzystając z informacji zawartych w tabeli z 62 strony pracy Kuźniara [25] można oprócz liczby bakterii w: „1 g gleby suchej”, „1 g gleby wilgotnej”, „1 g substancji organicznej gleby” suchej i wilgotnej, „1 cm³ gleby wilgotnej względnie suchej” podać także liczebność bakterii w mi-

lilitrze roztworu glebowego rzeczonych gleb. Przeliczeń dokonać można według następującego wzoru:

$$\text{Liczba komórek bakterii/ml roztw.} = a \cdot \frac{b \cdot c}{b - c} \quad (11)$$

gdzie a — odpowiada liczbie komórek bakterii w 1 cm^3 omawianej gleby, b — jest objętością w centymetrach 1 g tej gleby w stanie suchym, c — stanowi objętość w centymetrach 1 g tej gleby w stanie wilgotnym.

Wyniki tych przeliczeń wraz z wynikami podanymi w pracy Kuźniara zawiera tabela 6. Jak widać kolejność gleb od najmniej zasobnej w bakterie do najzasobniejszej, a więc w myśl tezy Ziemięckiej [50] od najmniej żyznej do najżyźniejszej zależy przede wszystkim od przyjętego sposobu prezentacji wyników. Dla wyników zawartych w tabeli kolejność ta przedstawia się następująco:

Tabela 6

Zasobność gleb „powierzchni ekologicznych” w komórki bakteryjne w tysiącach

	I	II	III	IIIa	IV	V	VI	VII
Gramy s.m. gleby	43	95	115	2300	2000	2600	1100	2900
Gramy s.m. subst. organ.	916	1616	1245	58987	2279	57761	32351	6003
Cm^3 gleby	59	123	141	3151	280	2808	1452	580
Ml roztw.	585	527	726	14494	220	11675	7285	1480

Kolejności powierzchni ekologicznych wynikające z przyjętego sposobu prezentacji wyników:

g sm gleby	—	I	II	III	VI	IV	IIIa	V	VII
g sm subst. organ.	—	I	III	II	IV	VII	VI	V	IIIa
cm^3 gleby	—	I	II	III	IV	VII	VI	V	IIIa
ml roztw. glebowego	—	IV	II	I	III	VII	VI	V	IIIa

różnią się między sobą dość znacznie zwłaszcza wyraźne jest to dla powierzchni: I, II, III, IV i VI.

Natomiast kolejność gleb od najmniej żyznej do najżyźniejszej wynikająca z badań poza mikrobiologicznych i ustalona przez Matuszkiewicza w oparciu o warunki glebowe i wyniki badań fitosocjologicznych wygląda jak następuje: najuboższe są gleby powierzchni I, II i IV; dwie pierwsze oligotroficzne z wyraźnym ługowaniem, suche piaszczyste z ubogim podłożem i zdecydowanej przewadze wód opadowych w gospodarce wodnej, identycznie uboga ale o odmiennych właściwościach wodnych jest gleba powierzchni IV — oligotroficzna, kwaśna powstająca w warunkach stagnacji i ombrofilnej gospodarki wodnej z kwaśnych torfów. Nieco zasobniejsza jest gleba powierzchni III — mineralna w warstwach powierzchniowych oligotroficzna i zakwaszona, pozostająca pod wpływem okresowej stagnacji wodnej w warunkach przewagi gospodarki ombrofilnej. Dla

powierzchni IIIa charakterystyczne są gleby suche z piaszczystym podłożem, mezotroficzne z miernym ługowaniem. Następne miejsce zajmuje gleba powierzchni V — mineralna świeża, mezotroficzna. Lepsze od niej właściwości posiada gleba powierzchni VI mineralna, wilgotna, eutroficzna z przewagą wód terrystrycznych w dochodzie wodnym. Najzasobniejsza jest gleba powierzchni VII torfowo-mineralna, eutroficzna pozostająca pod wpływem ruchliwych wód terrystrycznych.

Podsumowanie

Jak zatem widać każda z przedstawionych klasyfikacji wygląda inaczej. Składać się na to może wiele różnych czynników poczynając od strategii pobierania próbek, poprzez dobór pożywek i metod inkubacji (preferujących obligatoryjne aeroby), brak bezpośrednich metod określania liczebności mikroflory glebowej w opracowaniu BPN, do przyjętych przez Matuszkiewicza wartości siedliskowych co w konsekwencji daje „obok licznych podobieństw m. in. zasadniczej zgodności w następstwie zespołów, również poważne różnice” ... w porównaniu z systemem florystycznym [27].

Nie mniej jak widać w przytoczonych przykładach, zarówno fikcyjnych jak i rzeczywistych, z identycznych rezultatów doświadczenia można uzyskiwać diametralnie różne interpretacje, zależnie od przyjętego sposobu prezentacji wyników.

Ponieważ stosowane w niniejszej pracy przekształcenia dokonywane są w oparciu o takie elementy charakterystyki fizycznych właściwości gleby jak: „ciężar objętościowy”, „ciężar właściwy”, „wilgotność bezwzględna” od których to wartości wszystkie inne w tej pracy są pochodne, więc jakikolwiek sposób prezentacji wyników uzna się za słuszny i stosowny nie powinno się zaniedbywać w trakcie publikowania ich, podawania podstawowych danych charakteryzujących omawiane gleby.

Brak takich charakterystyk nie tylko uniemożliwia pełną interpretację wyników, lecz także, a może przede wszystkim prowadzi do interpretacji fałszywych.

LITERATURA

1. Alexander M.: Ekologia mikroorganizmów. PWN, Warszawa 1975.
2. Bagdawiczeno Z.P.: Kratkowremenne kolebanija czislennosti i miasacznaia produkcija biomasy bakterij w nekotorych poczwach Litowskoj SSR. Liet. TSR Mosk. Akad. Darbai 2, 3—13, 1973.
3. Buckman H.C., Brady N.C.: Gleba i jej właściwości. PWRiL, Warszawa 1971.
4. Burges A., Raw F.: Biologia gleby. PWRiL, Warszawa 1971.
5. Dobrzański B., Stawiński J., Walczak R.: The Availability of the Method of Thermal Desorption of Nitrogen for Estimation of the Surface Area of Soil Material. Pol. J. of S. Sci. 2, 81—87, 1972.

6. Dobrzański B., Dechnik I., Gliński J., Pondel H., Stawiński J.: Powierzchnia właściwa gleb Polski. PWN, Warszawa 1977.
7. Fiedler H.J.: Methoden der Bodenanalyse. 2. Mikrobiologische Methoden. Verlag Theodor Steinkopff, Dresden 1973.
8. Firek A.: Comparison of simple methods of determining the surface area of soils. Roczniki Gleb. 25 dodat., 45—55, 1974.
9. Gazizullin A.H.: Obszczaja mikrobiologičeskaja aktiwnost liesnych poczw Niżnego Prikamija Tatarskoj ASSR. Lies. Żurnał, 1, 27—32, 1973.
10. Giedrojć B.: Metodyka badań kapilarnych potencjału wodnego i zróżnicowania porowatości gleb częściowo zmodyfikowanym Kapilarymetrem Sekery. Roczniki Gleb. 25, 283—292, 1974.
11. Gołębiowska J., Pędziwiłk Z.: Respiratory Activity of the soil from Several Habitats in the Botanical Garden in Poznań. Acta Microb. Pol. 25, 1, 43—50, 1976.
12. Hauke - Pacewiczowa T.: Wpływ stosowania chemicznych środków ochrony roślin na mikroflorę i aktywność biologiczną gleby. Zesz. Probl. Podst. Nauk. Rol. 177, 261—292, 1976.
13. Hauke - Pacewiczowa T., Trzcńska M.: Wpływ deszczowania wodą rzeczną na aktywność mikrobiologiczną gleby leśnej. Roczniki Gleb. 28, 37—47, 1977.
14. Iwanowa E.I., Uspienski E.I.: Biologiczeskaja aktiwnost, właznost i fizyko-chimiczeskije swoistwa poczw na wyrubkach s jelowym podrostom. Lies. Żurnał 6, 10—13, 1973.
15. Kaczmarek W., Kaszubiak H.: The Effect of Methionine on the Activity of Microorganisms in the Soil. Pol. Ecol. Stud. 3, 53—60, 1975.
16. Kaszubiak H., Kaczmarska W.: Ocena współcześnie stosowanych metod oznaczania liczebności biomasy i produktywności drobnoustrojów w glebie. Pol. Tow. Gleb. Komisja III 18, 5—49, 1976.
17. Kerman J., Pinkiewicz J.: Wpływ nawodnień ściekami przemysłowymi na biologiczną aktywność gleb leśnych (Badania lizymetryczne). Prac. Inst. Bad. Leś. 508/512, 109—133, 1976.
18. Kowalkowski A., Borzykowski J.: Badania nad związkami między morfologią powierzchni ziemi a strukturą pokrywy glebowej. Roczniki Gleb. 28, 3—18, 1977.
19. Kowalkowski A., Borzyszkowski J.: Topokatena gleb burych krańdziowej części płaskowyżu Ich Nart. Maszynopis 1979.
20. Kowda W.A.: Osnovy uczenija o poczwach. Izd. Nauka, Moskwa 1973.
21. Krasilnikow N.A.: Metody izuczenija poczwiennych mikroorganizmow i ich metabolitow. Izd. Moskow. Nniv. 1966.
22. Kunc F., Stotzky G.: Effect of clay minerals on heterotrophic microbial activity in soil. Soil Sci. 118, 186—195, 1974.
23. Kunicki-Goldfinger W.: Życie bakterii PWN, Warszawa 1968.
24. Kuźniar K.: Energia rozkładu błonnika w glebach Białowieskiego Parku Narodowego Act. Microb. Pol. 3, 1952.
25. Kuźniar K.: O przyrodniczych podstawach obliczania ilości drobnoustrojów w glebie. Ekol. Pol. 1, 57—66, 1953.
26. Kuźniar K.: Kształtowanie się wilgotności gleby leśnej i uprawnej w zależności od niektórych czynników ekologicznych. Ekol. Pol. 2, 289—322, 1954.
27. Matuszkiewicz W.: Zespoły leśne Białowieskiego Parku Narodowego. Ann. UMCS. Suppl. VI, 1—218, 1952.
28. Michniewicz M.: Badania nad nitryfikacją i denitryfikacją w glebie Puszczy Białowieskiej. Ann. UMCS. 6, 19—75, 1951.

29. Musierowicz A., Uggla H.: Gleboznastwo leśne ogólne. PWRiL, Warszawa 1967.
30. Myśków W., Stasiak S.: Wpływ wieloletniego nawożenia na aktywność biologiczną i substancje organiczne gleby. Symp. Nauk.: Skutki wieloletniego stosowania nawozów. Puławy, Cz. II, 49—56, 1976.
31. Olszowski J.: Biological activity of the soils. *Ekol. Pol.* 24, 345—358, 1976.
32. Parkinson D., Gray T.R.G., Williams S.T.: Ecology of Soil Micro-organisms. IBP Handbook No 19. Blackwell Sci. Publ. Oxford London Edinburgh Melbourne 1971.
33. Prończuk I., Pawłat H.: Przewodnik do ćwiczeń terenowych z ekologii roślin. PWN, Warszawa 1971.
34. Prusinkiewicz Z.: Microbiological activity of soils as a function of the Soil-water Potential. *Pol. Jour. of Soil Sci.* 7, 81—85, 1974.
35. Polskie Towarzystwo Gleboznawcze: Pięciojęzyczny słownik gleboznawczy. PWN, Warszawa 1976.
36. Puchalski T., Prusinkiewicz Z.: Ekologiczne podstawy siedliskoznastwa leśnego. PWRiL, Warszawa 1975.
37. Rawald W.: Soil Microbiological Activities and their Relations to other Soil-parameters. Symp. Biol. Hung. Budapest 1972, 11, 255—261, 1972.
38. Rogowaja W.P.: Faktory, opredielajuszczie sezonnuju dynamiku poczwiennoj mikroflory. 223—232, w *Mikroorganizmy poczwy i rastienie*, Samcewicz S.A. i inni. Izd. Nauka i Technika, Minsk 1972.
39. Rudden M.N.: Elementy fizyki ciała stałego. PWN, Warszawa 1975.
40. Russel S.: Drobnoustroje a życie gleby. PWN, Warszawa 1974.
41. Rychliński Z.: Nauka o środowisku leśnym. PWRiL, Warszawa 1965.
42. Strzemska J., Buśko J., Niklewska T., Kuczyńska L., Krogulec T.: Growth dynamics of soil microorganisms in monocultures of Wheat and Horse bean. *Rocz. Gleb.* 25 dodat., 109—122, 1974.
43. Szafer W., Zarzycki K.: Szata roślinna Polski. PWN, Warszawa 1977.
44. Trzecki S.: Determination of water capacity of soils on the basis of their mechanical composition. *Rocz. Gleb.* 25 dodat., 33—44, 1974.
45. Wawuło F.P., Karjagina L.A., Worobiewa E.N., Płotkina N.N., Stefanikina L.M.: Wlijanije wlaźnosti na biologiczeskiju aktiwnost torfjano-bołotnoj poczwy raznoj stiepieni okulturennosti. 184—192. W *Poczwowiedenie i agrochimija. Biełoruskij Naucz.-Isled. Inst. Poczwow. i Agroch.* 9 wyp. Izdat. Uradżaj Minsk 1972.
46. Williamson M.: The Analysis of Biological Populations. Edward Arnold, London 1974.
47. Wilson J.M., Griffin D.M.: Water potencial and the respiration of micro-organisms in the soil. *Soil Biol. Biochem.* 7, 199—204, 1975.
48. Winogradski S.: Mikrobiologia gleby. Problemy i metody. PWRiL Warszawa 1953.
49. Ziemięcka-Marszewska J., Hauke-Pacewiczowa T.: Charakterystyka mikrobiologiczna gleb Białowieskiego Parku Narodowego. *Rocz. Nauk Leś.* 1, 1953.
50. Ziemięcka-Marszewska J.: Mikrobiologia gleby i nawozów organicznych. PWRiL, Warszawa 1969.
51. Zwirbul A.P., Stepanow B.M.: Dynamika nitratow, podwiznoj fosfornoj kisłoty, wlaźnosti i aktualnoj kisłotnosti w udobrennoj poczwie prispiewajuszczego jelnika. *Les. Żurn.* 2, 7—16, 1973.