

Zofia E. Tyszkiewicz
Robert Czubaszek
Sławomir Roj-Rojewski

Podstawowe metody laboratoryjnej analizy gleby

Skrypt do zajęć laboratoryjnych
z przedmiotu gleboznawstwo
dla studentów kierunku architektura krajobrazu
Politechniki Białostockiej



Zofia E. Tyszkiewicz
Robert Czubaszek • Sławomir Roj-Rojewski

Podstawowe metody laboratoryjnej analizy gleby

Skrypt do zajęć laboratoryjnych z przedmiotu gleboznawstwo
dla studentów kierunku architektura krajobrazu
Politechniki Białostockiej



Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej
Białystok 2019

Recenzent:
dr hab. Elżbieta Jekatierynczuk-Rudczyk

Redaktor wydawnictwa:
Elżbieta Dorota Alicka

Pomoc techniczna przy opracowaniu rysunków:
Urszula Dybko

© Copyright by Politechnika Białostocka, Białystok 2019

e-ISBN 978-83-65596-89-5

DOI: 10.24427/978-83-65596-89-5



Publikacja jest udostępniona na licencji
Creative Commons Uznanie autorstwa-Użycie niekomercyjne-Bez utworów zależnych 4.0
(CC BY-NC-ND 4.0)

Pełna treść licencji dostępna na stronie
creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.pl
Publikacja jest dostępna w Internecie na stronie Oficyny Wydawniczej PB

Redakcja techniczna, skład:
Oficina Wydawnicza Politechniki Białostockiej

Oficina Wydawnicza Politechniki Białostockiej
ul. Wiejska 45C, 15-351 Białystok
tel.: 85 746 91 37
e-mail: oficina.wydawnicza@pb.edu.pl
www.pb.edu.pl

Spis treści

Wprowadzenie	7
1. Skład granulometryczny gleby. Oznaczenie składu granulometrycznego gleby metodą areometryczną Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego. Graficzna prezentacja wyników analizy granulometrycznej gleby	9
2. Gęstość stałej fazy gleby. Oznaczenie gęstości stałej fazy gleby metodą piknometryczną i biuretową.....	22
3. Woda w glebie. Wykreślanie krzywej sorpcji wody	27
4. Ruch wody w glebie. Oznaczenie współczynnika filtracji gleby	33
5. Kwasowość czynna – odczyn gleby. Oznaczenie pH gleby metodą połową i potencjometryczną	37
6. Kwasowość hydrolityczna gleby. Oznaczenie kwasowości hydrolitycznej metodą Kappena	41
7. Kompleks sorpcyjny gleby. Oznaczenie sumy kationów zasadowych metodą Kappena. Obliczanie całkowitej kationowej pojemności sorpcyjnej oraz stopnia wysycenia kompleksu sorpcyjnego gleby	44
8. Kationy wapnia i magnezu w glebie. Oznaczenie zawartości kationów wymiennych Ca^{2+} i Mg^{2+} metodą miareczkową z wersenianem sodu (kompleksometryczną).	48
9. Właściwości buforowe gleb. Oznaczenie właściwości buforowych gleby metodą Arrheniusa.....	52
10. Materia organiczna gleby. Oznaczenie zawartości węgla organicznego metodą Tiurina oraz określanie zawartości próchnicy glebowej.....	55
11. Całkowita zawartość azotu w glebie. Oznaczenie całkowitej zawartości azotu ($\text{N}_{\text{ogótem}}$) w glebie metodą nessleryzacji	59
12. Całkowita zawartość fosforu w glebie. Oznaczenie całkowitej zawartości fosforu ($\text{P}_{\text{ogótem}}$) metodą wanadomolibdenową	62
13. Przyswajalne formy azotu glebowego. Oznaczenie azotu amonowego (N_{NH_4}) metodą bezpośredniej nessleryzacji.....	64

14. Przyswajalne formy fosforu glebowego.	
Oznaczanie przyswajalnych form fosforu metodą Egnera-Riehma.....	66
Literatura.....	69

Przedmowa

Architektura krajobrazu jest zarówno nauką, jak i sztuką zajmującą się kształtowaniem przestrzeni otaczającej człowieka. Korzysta przy tym z osiągnięć innych dyscyplin. Projektowanie terenów zieleni to proces twórczy, zmierzający do świadomego organizowania przestrzeni przez nadanie jej określonej formy i kształtu, między innymi za pomocą roślinności. Jednak odniesienie sukcesu przy planowaniu, projektowaniu i zakładaniu terenów zieleni możliwe jest dzięki wiedzy i umiejętnościom odpowiedniego doboru gatunków roślin do zastanych warunków środowiska, w tym podłoża. Wiedza ta pozwala na uzyskanie dzięki celowej działalności korzystnych warunków wzrostu i rozwoju roślin ozdobnych przy jednoczesnym osiągnięciu wysokich walorów dekoracyjnych i interesujących efektów kompozycyjnych.

Skrypt przeznaczony jest dla studentów architektury krajobrazu zdobywających wiedzę i umiejętności w zakresie przedmiotu gleboznawstwo. Stanowi przewodnik do zajęć laboratoryjnych. Zawiera zestaw podstawowych, od lat stosowanych w praktyce gleboznawczej, metod laboratoryjnej analizy materiału glebowego (prób glebowych). Pozwala na zdobycie umiejętności wykonania prostych analiz oraz poznanie podstawowych właściwości środowiska glebowego związanych z jego składem chemicznym, granulometrycznym oraz stosunkami wodnymi.

Wprowadzenie

Gleba jest naturalnym tworem wierzchniej warstwy skorupy ziemskiej. Powstaje w wyniku przebiegu procesów glebotwórczych, czyli zespołu przemian fizycznych, chemicznych, biologicznych i biochemicznych zachodzących na powierzchni litosfery pod wpływem różnych czynników, takich jak: klimat, rodzaj skały macierzystej, woda, organizmy żywe, rzeźba terenu i działalność człowieka. Jest ona integralnym składnikiem wszystkich ekosystemów lądowych i niektórych płytkowodnych. Jest układem trójfazowym, tworzonym przez fazę stałą (materiał mineralny oraz żywą i martwą substancję organiczną), cieczą (roztwory glebowe) i gazową (powietrze znajdujące się w glebie). Jest to złożony, ożywiony, dynamiczny twór przyrody, wykazujący zdolność produkcji i gromadzenia biomasy, w którym zachodzą ciągle procesy rozkładu i syntezy związków mineralnych i organicznych, ich przemieszczanie i akumulacja oraz przepływ energii, obieg pierwiastków i wody. Jednocześnie jest to środowisko działania edafonu (organizmów glebowych) i podziemnych organów wszystkich roślin. Gleba jest zdolna do zaspokajania potrzeb pokarmowych i wodnych roślin i żyjących w niej mikroorganizmów.

Gleby w swej budowie mają zapisane cechy dawnych (plejstocenijskich) i dzisiejszych (holocenijskich) procesów litologiczno-pedologicznych. Dzięki swoim cechom są odbiciem historii krajobrazu, którego są istotną częścią. Nie należy też zapominać, że gleba podlega ciągłej ewolucji. Trzy fazy gleby działają wzajemnie na siebie i zmierzają do osiągnięcia stanu równowagi, który jednak nie może trwać zbyt długo, bo jest ciągle przeobrażany przez żywe organizmy i zmiany warunków siedliskowych.

Gleby należą do niepomnażalnych zasobów kuli ziemskiej i pełnią szereg funkcji. Przede wszystkim są siedliskiem wzrostu i rozwoju roślin. Jest to środowisko warunkujące istnienie i funkcjonowanie drobnoustrojów, roślin i świata zwierząt oraz transformacji składników mineralnych i organicznych. Gleba jest istotnym ogniwem łączącym środowisko abiotyczne ze światem organicznym i bierze udział w obiegu i przepływie materii w układzie: atmosfera – organizmy żywe – gleba. Do nieodłącznych funkcji gleby należy udział w produkcji biomasy, także jej uczestnictwo w mineralizacji i humifikacji substancji organicznej, magazynowaniu próchnicy, przepływie energii oraz retencji i obiegu składników mineralnych, azotu i wody, a także udział w procesach samoregulacyjnych, zapewniających ekosystemom względną trwałość i – mniejszą lub większą – odporność na działanie zewnętrznych czynników destrukcyjnych. Jest środowiskiem, w którym zachodzą intensywne reakcje chemiczne i biochemiczne. Odgrywa ważną rolę w kształtowaniu bilansu wodnego Ziemi, pełni też funkcję sanitarną. Należy również podkreślić filtracyjne zdolności gleby.

Znajomość budowy, składu i właściwości gleb jest nie tylko przydatna, ale wręcz konieczna do odpowiedniego doboru roślin do upraw ogrodniczych. Zrozumienie procesów zachodzących w glebie ułatwia zatem jej racjonalne użytkowanie.

1. Skład granulometryczny gleby. Oznaczanie składu granulometrycznego gleby metodą areometryczną Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego. Graficzna prezentacja wyników analizy granulometrycznej gleby

Wprowadzenie

Skład granulometryczny, który charakteryzuje stan rozdrobnienia mineralnej części stałej fazy gleby, wpływa na większość jej właściwości. W konsekwencji wywiera wpływ na wartość użytkową gleb, a tym samym na możliwość zastosowania ich do uprawy różnych grup roślin. Dlatego analizę właściwości gleby najczęściej rozpoczyna się od określenia jej składu granulometrycznego, czyli procentowej zawartości poszczególnych frakcji granulometrycznych w stałej fazie gleby. Frakcją granulometryczną nazywa się umownie przyjęty zbiór ziaren glebowych (objętych wspólną nazwą), mieszczących się w przedziale liczb granicznych, które wyznaczają najmniejszą i największą średnicę zastępczą określonej frakcji. Wielkość średnic ziaren gleby jest wyrażona w milimetrach.

Analiza składu granulometrycznego gleb polega na rozdzieleniu materiału mineralnego na poszczególne frakcje granulometryczne. Najczęściej wykorzystywanymi metodami analizy składu granulometrycznego gleby są metody sitowe i metody sedymentacyjne.

Podstawową czynnością przy wykonywaniu analizy granulometrycznej gleby jest oddzielenie części ziemistych od części szkieletowych (tab. 1). W tym celu powietrznie suchą glebę należy rozetrzeć w moździerz, uważając, by nie rozetrzeć poszczególnych frakcji gleby. Ewentualne roztarcie frakcji zwiększa, w sztuczny sposób, procentową zawartość frakcji drobnych. Roztartą glebę przesiewa się przez sito o średnicy oczek 2 mm w celu oddzielenia części szkieletowych od części ziemistych gleby (metoda sitowa). Na sicie pozostają części szkieletowe, które po przemyciu i wysuszeniu można dalej rozdzielić na kamienie i żwir. Natomiast części ziemiste są poddawane analizie, najczęściej z wykorzystaniem metody areometrycznej Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego. Jest to metoda należąca do grupy metod sedymentacyjnych.

Większość próbek glebowych należy dodatkowo preparować chemicznie, spalając próchnicę za pomocą wody utlenionej oraz usuwając węglan wapnia za pomocą kwasu solnego.

Tabela 1. Podział utworów mineralnych na frakcje i podfrakcje granulometryczne

Nazwa frakcji i podfrakcji granulometrycznych	Symbol	Średnica ziaren (d) w milimetrach
A. CZĘŚCI SZKIELETOWE $d > 2$		
I. Frakcja blokowa	b	$D > 600$
II. Frakcja głazowa	gł	$200 < d \leq 600$
III. Frakcja kamienista	k	$75 < d \leq 200$
IV. Frakcja żwirowa:	ż	$2 < d \leq 75$
1. żwir gruby	żgr	$20 < d \leq 75$
2. żwir średni	żsr	$5 < d \leq 20$
3. żwir drobny	żdr	$2 < d \leq 5$
B. CZĘŚCI ZIEMISTE $d \leq 2$		
V. Frakcja piaskowa:	p	$0,05 < d \leq 2,0$
1. piasek bardzo gruby	pbgr	$1,0 < d \leq 2,0$
2. piasek gruby	pgr	$0,5 < d \leq 1,0$
3. piasek średni	pśr	$0,25 < d \leq 0,5$
4. piasek drobny	pdr	$0,10 < d \leq 0,25$
5. piasek bardzo drobny	pbdr	$0,05 < d \leq 0,10$
VI. Frakcja pyłowa	py	$0,002 < d \leq 0,05$
1. pył gruby	pygr	$0,02 < d \leq 0,05$
2. pył drobny	pydr	$0,002 < d \leq 0,02$
VII. Frakcja iłowa	i	$d \leq 0,002$

Źródło: Klasyfikacja uziarnienia gleb ..., 2009.

Metody sitowe

Analiza sitowa służy do oddzielenia części szkieletowych gleby od części ziemistych, co pozwala na określenie procentowej zawartości frakcji szkieletowych w glebie. Służy też do oznaczenia zawartości poszczególnych frakcji piaskowych występujących w częściach ziemistych gleby. W drugim przypadku metody sitowe są uzupełnieniem innych metod, głównie sedymentacyjnych.

Metody sedymentacyjne

W trakcie stosowania metody sedymentacyjnej należy uwzględnić fakt, że cząstki mineralne gleby występują przeważnie pod postacią skupień (agregatów). Dlatego próbki gleby do analizy należy zdyspergować, czyli doprowadzić do rozpadu agregatów na elementarne ziarna glebowe (frakcje granulometryczne). W tym celu próby glebowe poddaje się gotowaniu z dodatkiem środków peptyzujących. Są nimi najczęściej: wodorotlenek sodu (NaOH), węglan sodu (Na_2CO_3), pirofosforan sodu ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$), czy też calgon, który jest mieszaniną stopionego metafosforanu sodu ($\text{Na}_3(\text{PO}_3)_3$) z węglanem sodu. W próbie glebowej preparowanej wyłącznie w wodzie destylowanej mógłby nastąpić jedynie częściowy rozpad agregatów glebowych na frakcje granulometryczne.

Metody sedymentacyjne opierają się na pomiarze prędkości opadania cząstek glebowych różnej wielkości w wodzie stojącej. Prędkość opadania cząstek glebowych zależy od ich wielkości i ciężaru oraz od temperatury i gęstości ośrodka płynnego, w którym cząstki opadają. Zakłada się, że cząstka opada w cieczy swobodnie, tzn. że poszczególne cząstki nie zderzają się ani ze sobą, ani ze ściankami naczynia. Założenia te wynikają z prawa Stokesa, na którym opierają się metody sedymentacyjne. W praktyce do spełnienia tych warunków dąży się przez zmniejszenie do minimum koncentracji zawiesiny i stosowanie środków zabezpieczających przed koagulacją. Dlatego też koncentracja fazy stałej w wodzie powinna wynosić około 1%. W ten sposób ogranicza się możliwość koagulacji cząstek glebowych. Ponadto średnica naczynia, w którym sedymentują cząstki gleby, powinna być możliwie duża, aby wyeliminować zakłócenia w ruchu cząstek spowodowane ich zderzeniami ze ściankami naczynia. W praktyce powinna wynosić około 6 cm. Wymagania stawiane są także temperaturze zawiesiny glebowej. Temperatura nie może się zmieniać w czasie prowadzenia doświadczenia. Każda zmiana temperatury zawiesiny powoduje zmiany jej gęstości i lepkości. To z kolei może doprowadzić do zmiany warunków ruchu cząstek w zawieszynie i zakłócić prostolinijną drogę ich opadania.

Powszechnie stosowaną metodą sedymentacyjną jest metoda areometryczna Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego. Oznaczenie składu granulometrycznego przy jej wykorzystaniu polega na pomiarach gęstości zawiesiny glebowej podczas postępującej sedymentacji cząstek glebowych w stałej temperaturze. Pomiarów gęstości dokonuje się areometrem Prószyńskiego. Jest on tak wyskalowany, że różnica dwóch kolejnych odczytów wskazuje procentową zawartość frakcji, która osiadła w czasie dzielącym te odczyty. Gęstość zawiesiny glebowej odczytuje się w terminach podanych w tabelach opracowanych przez Prószyńskiego. Terminy odczytów zależą nie tylko od średnicy opadających cząsteczek i temperatury zawiesiny, ale również od składu granulometrycznego badanej gleby. Dlatego w odniesieniu do każdej grupy granulometrycznej gleby (każdego utworu glebowego; tab. 2) należy korzystać z oddzielnych tabel. Aby prawidłowo

określić terminy odczytów, należy przed przystąpieniem do właściwej analizy przynajmniej w przybliżeniu oznaczyć grupę granulometryczną badanej gleby.

W wyniku analizy areometrycznej nie otrzymuje się rzeczywistych wymiarów cząstek, lecz wielkości, tak zwanej średnicy zastępczej. Termin ten oznacza średnicę cząstki kulistej, która opada z taką samą prędkością co badana cząstka kształtu niekulistego o tym samym ciężarze właściwym. Pojęcie średnicy zastępczej zostało wprowadzone dlatego, że cząstki glebowe mniejsze od 0,005 mm nie mają kształtu kul, lecz płytek. Prędkość opadania cząstek niekulistych różni się od prędkości opadania cząstek w kształcie kuli.

Tabela 2. Podział gleb i utworów mineralnych na grupy i podgrupy granulometryczne według wagowej procentowej zawartości frakcji piaskowej, pyłowej i iłowej w częściach ziemistych

Grupa granulometryczna	Podgrupa granulometryczna	Symbol	Procentowa zawartość (c) frakcji		
			piasku	pyłu	iłu
Piaski	piasek luźny	pl	$c \geq 90$	$(\%pt + 2 \times \%i) \leq 10$	
	piasek słabogliniasty	ps	$85 \leq c < 95$	$(\%pt + 2 \times \%i) > 10$ i $(\%pt + 1,5 \times \%i) \leq 15$	
	piasek gliniasty	pg	$70 \leq c < 90$	$(\%pt + 1,5 \times \%i) > 15$ i $(\%pt + 2 \times \%i) \leq 30$	
Gliny	glina piaszczysta	gp	$65 \leq c < 85$	$(\%pt + 2 \times \%i) > 30$ $c \leq 35$ $c \leq 20$ lub	
			$43 \leq c < 65$	$28 \leq c \leq 50$	$c \leq 7$
	glina lekka	gl	$52 \leq c < 65$	$15 < c \leq 41$	$7 < c \leq 20$
	glina piaszczysto-ilasta	gpi	$45 \leq c < 80$	$c \leq 28$	$20 < c \leq 35$
	glina zwykła	gz	$23 \leq c < 52$	$28 < c \leq 50$	$7 < c \leq 27$
	glina ilasta	gi	$20 \leq c < 45$	$15 < c < 53$	$27 < c \leq 40$
Pyły	glina pylasto-ilasta	gpyi	$c < 20$	$40 < c \leq 73$	$27 < c \leq 40$
	pył gliniasty	pyg	$8 \leq c < 50$	$50 < c \leq 80$	$c \leq 12$
	pył zwykły	pyz	$c < 20$	$c > 80$	$c \leq 12$
	pył ilasty	pyi	$c < 38$	$50 < c < 88$	$12 < c \leq 27$

Grupa granulometryczna	Podgrupa granulometryczna	Symbol	Procentowa zawartość (c) frakcji		
			piasku	pyłu	iłu
Iły	ił piaszczysty	ip	$45 \leq c \leq 65$	$c \leq 20$	$35 < c \leq 55$
	ił pylasty	ipy	$c < 20$	$40 < c < 60$	$40 < c < 60$
	ił zwykły	iż	$c < 45$	$c \leq 40$	$40 < c \leq 60$
	ił ciężki	ic	$c < 40$	$c < 40$	$c > 60$

Źródło: Klasyfikacja uziarnienia gleb ..., 2009.

Wykonanie analizy granulometrycznej gleby metodą areometryczną Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego

Opis przebiegu eksperymentu

- Odważyć 40 g suchej gleby przesianej przez sito o średnicy 2 mm do zlewki o pojemności 1000 cm³.
- Dodać od 1,5 do 2 g bezwodnego węgla sodu lub innego środka peptyzującego oraz 700 cm³ wody destylowanej.
- Gotować przez 30 min, licząc od chwili zawrzenia. Podczas gotowania zawiesinę należy cały czas mieszać szklaną pałeczką, uważając, aby gleba nie wykipiiała.
- Odstawić naczynie, aby zawiesina ostygła do temperatury pokojowej.
- Przenieść zawiesinę do cylindra szklanego o pojemności 1000 cm³ i uzupełnić wodą destylowaną do kreski wyznaczającej wskazaną pojemność.
- Do drugiego takiego samego cylindra dodać identyczną, jak do zawiesiny glebowej, ilość bezwodnego węgla sodu i uzupełnić do kreski wodą destylowaną – jest to roztwór porównawczy, w którym wykonuje się pomiaru „0”.
- Wyrównać temperaturę w obu cylindrach (dopuszczalna różnica temperatury wynosi 0,5°C).

Wykonanie wstępnego pomiaru

- Wprowadzić areometr do cylindra z roztworem porównawczym i oznaczyć gęstość tego roztworu – jest to odczyt „0” (zerowy).
- Zawiesinę glebową dokładnie wymieszać przez około 30 sekund i postawić na blacie stołu laboratoryjnego.

- Po upływie 10-12 minut, od chwili postawienia cylindra, wykonać pomiar gęstości areometrem Prószyńskiego.
- Różnica odczytów gęstości w zawieszynie glebowej i roztworze porównawczym wskaże przybliżoną zawartość cząstek mniejszych od 0,02 mm w badanej glebie. Liczba ta pozwoli wyszukać właściwą tabelę¹ do określania czasów odczytów. Należy znaleźć taką tabelę, w której podana zawartość cząstek jest najbardziej zbliżona do otrzymanej różnicy pomiarów gęstości zawiesiny i roztworu porównawczego.
- Dokonać pomiaru temperatury zawiesiny glebowej i roztworu porównawczego. Na tej podstawie należy odszukać w tabeli odpowiedni wiersz, w którym podane są czasy odczytów.
- Ponownie wymieszać przez około 30 sekund zawieszinę gleby. Bezpośrednio po zakończeniu mieszania cylinder postawić na blacie stołu laboratoryjnego i włączyć stoper. Jeśli w zawieszynie pojawi się piana, to należy ją usunąć, dodając kilka kropel alkoholu amyłowego.
- Wprowadzić ostrożnie areometr do zawiesiny tak, aby balansowanie areometru było słabe i krótkotrwałe.
- Dokonać pomiarów gęstości zawiesiny w terminach odczytanych z tabel Prószyńskiego. W celu określenia grupy granulometrycznej utworu glebowego wystarczy wykonać trzy pomiary gęstości zawiesiny glebowej. W trakcie prowadzonego doświadczenia nie należy wyjmować areometru umieszczonego w zawieszynie. Ponadto nie można przesuwając (podnosić) cylindra z zawiesziną glebową przed wykonaniem ostatniego odczytu.
- Na podstawie otrzymanych wyników obliczyć procentową zawartość frakcji granulometrycznych analizowanej próby glebowej.

Obliczenie wyników^{2*}

- odczyt I – odczyt II = procentowa zawartość pyłu grubego,
 - odczyt II – odczyt III = procentowa zawartość pyłu drobnego,
 - odczyt III – odczyt 0 = procentowa zawartość iłu,
 - $100 - \Sigma =$ procentowa zawartość piasku,
- gdzie Σ oznacza sumę frakcji o średnicy mniejszej od 0,1 mm.

Areometr Prószyńskiego używany do wykonania analizy jest tak wyskalowany, że przy jego pomocy określa się zawartość frakcji wskazanych w klasyfikacji uziarnienia gleb według Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego (PTG), obowiązującej razem z Systematyką gleb Polski (1989) oraz normą BN-78/9180-11, klasyfikację tę zaprezentowano w tabeli 3.

¹ Tabele są udostępniane studentom na zajęciach. Można je również znaleźć w Mocek i in. 1997.

² * Frakcje są ustalone według klasyfikacji sprzed 2008 roku.

Nazwy i wymiary frakcji granulometrycznych według podziału Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego i Normy Branżowej BN-78/9180-11 obowiązywały do 2008 roku. Jednak nadal stosuje się je w praktyce ze względu na dotychczasowy olbrzymi dorobek polskiego gleboznawstwa oraz wykorzystywanie materiałów źródłowych opracowanych przed 2008 roku, w tym klasyfikacji bonitacyjnej gruntów rolnych, czy też map glebowo-rolniczych.

Tabela 3. Podział frakcji granulometrycznych wg podziału Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego i Normy Branżowej BN-78/9180-11; obowiązujący do 2008 roku

Grupa frakcji	Frakcje	Wymiary w mm	
		wg Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego	wg BN-78/9180-11
Części szkieletowe	kamienie	>20	>20
	grube	-	>200
	średnie	-	200-100
	drobne	-	100-20
	żwir	20-1	20-1
	gruby	-	20-10
	drobny	-	10-1
Części ziemiste	piasek	1,0-0,1	1,0-0,1
	gruby	1,0-0,5	1,0-0,5
	średni	0,5-0,25	0,5-0,25
	drobny	0,25-0,1	0,25-0,1
	pył	0,1-0,02	0,1-0,02
	gruby	0,1-0,05	0,1-0,05
	drobny	0,05-0,02	0,05-0,02
	części spławialne	<0,02	<0,02
	ił pyłowy gruby	0,02-0,005	0,02-0,006
	ił pyłowy drobny	0,005-0,002	0,006-0,002
ił koloidalny	<0,002	<0,002	

Źródło: Zawadzki 1999.

Z zaprezentowaną w tabeli 3 klasyfikacją frakcji granulometrycznych koreluje obowiązujący do 2008 podział gleb i utworów mineralnych na grupy i podgrupy granulometryczne według podziału Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego. Przedstawiono go w tabeli 4.

Tabela 4. Podział gleb i utworów mineralnych na grupy i podgrupy granulometryczne wg podziału Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego; obowiązujący do 2008 roku

Nazwa utworu	Zawartość frakcji mechanicznych w %				
	Kamienie	Żwir	Piasek	Pył	Części sypkawe
Utwory kamieniste	>25				
utwory silnie kamieniste	>75				
utwory średnio kamieniste	75-50				
utwory słabo kamieniste	50-25				
Utwory żwirowe		>50			
żwiry piaszczyste		>50			<10
żwiry gliniaste		>50			10-20
Utwory piaszczyste			dominuje		0-20
piasek luźny			dominuje		0-5
piasek słabo gliniasty			dominuje		5-10
piasek gliniasty lekki			dominuje		10-15
piasek gliniasty mocny			dominuje		15-20
4. Utwory pyłowe				>40	
pył zwykły				>40	<35
pył ilasty				>40	35-50
5. Utwory gliniaste		różnoziarniste			>20
glina lekka		różnoziarniste			20-35
glina średnia		różnoziarniste			35-50
glina ciężka		różnoziarniste			>50
6. Utwory ilaste			0-9		>50
ił właściwy			0-9	<25	>50
ił pylasty			0-9	25-40	>50

Źródło: Zawadzki 1999.

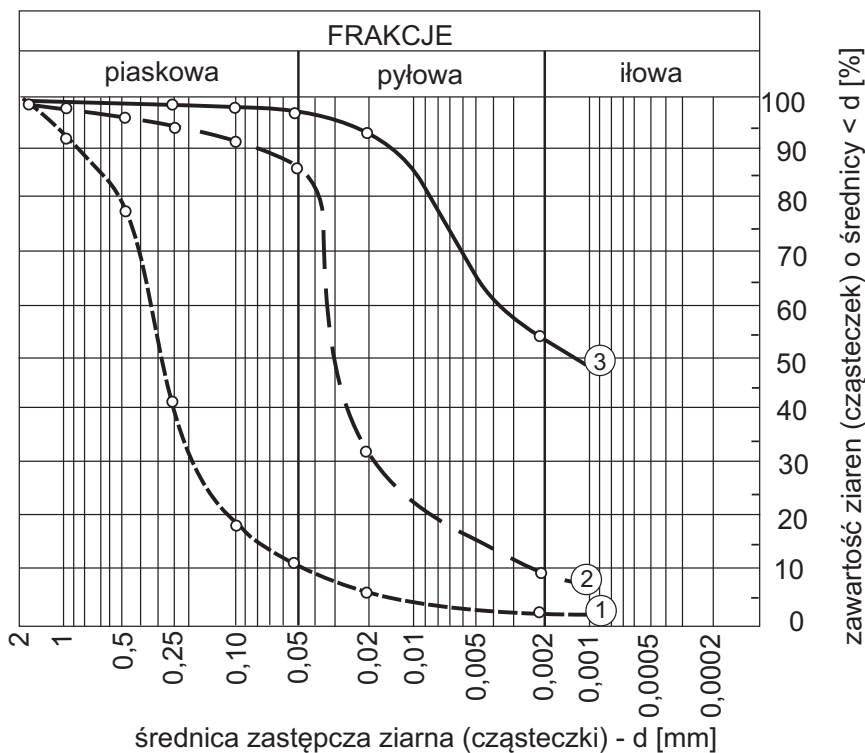
Graficzne przedstawienie wyników analizy uziarnienia

Wyniki badań granulometrycznych można przedstawić na kilka sposobów. Jednym z nich są zestawienia tabelarycznie. Można też przedstawiać je graficznie, np. za pomocą krzywej uziarnienia (rys. 1) lub trójkąta Fereta (rys. 2).

Krzywa uziarnienia

Wykres krzywej uziarnienia (rys. 1) wykonuje się na specjalnym formularzu w układzie współrzędnych. Na osi rzędnej, która ma podziałkę zwykłą, odkłada

się procentową zawartość cząstek o określonej średnicy. Natomiast na osi odciętych, w podziałce logarytmicznej, odłożone są średnice cząstek (mm).



Rysunek 1. Przebieg krzywych uziarnienia trzech przykładowych utworów glebowych

Źródło: Mocek 2015.

Przedstawienie wyników w postaci krzywej uziarnienia ma dużo zalet. Z wykresu można odczytać, na przykład zawartość frakcji (cząstek o określonej średnicy), które nie były bezpośrednio określone w czasie pomiarów składu granulometrycznego. Można więc odczytać zawartość cząstek o innych średnicach, niż to wynika z zastosowanej metody oznaczania składu granulometrycznego gleby, np. d_{10} , d_{30} , d_{50} itd. Może być to potrzebne między innymi do obliczenia współczynnika przepuszczalności gleb. Z kształtu krzywej można również wnioskować o równo- lub różnoziarnistości utworu glebowego. Im bardziej stromo przebiega krzywa uziarnienia, tym bardziej równoziarnisty jest utwór. Liczbowo oceny takiej można dokonać za pomocą **wskaźnika równoziarnistości**, którego wartość oblicza się ze wzoru:

$$W_r = \frac{d_{60}}{d_{10}},$$

gdzie:

- W_r – wskaźnik równoziarności,
- d_{60} – średnica cząstek, których masa wraz z masą wszystkich cząstek mniejszych stanowi 60% masy gleby,
- d_{10} – średnica cząstek, których masa wraz z masą wszystkich cząstek mniejszych stanowi 10% masy gleby.

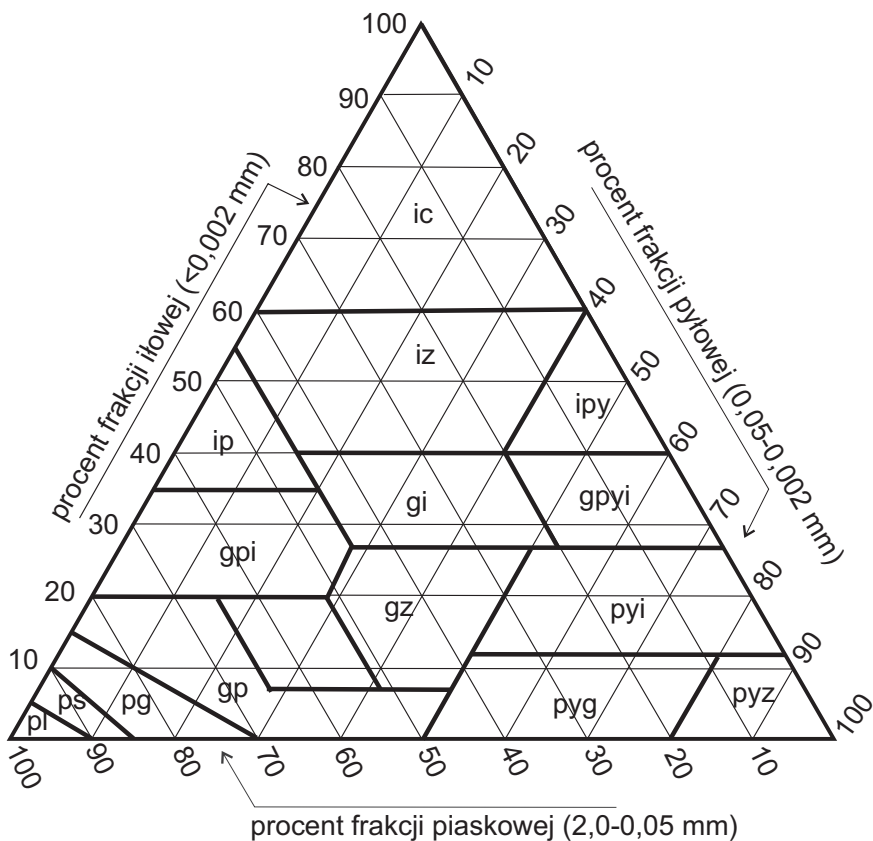
Wartości d_{10} i d_{60} odczytuje się z krzywej uziarnienia (rys. 1). Jeżeli $W_r \leq 5$, to utwór jest równoziarnisty, jeżeli $5 < W_r \leq 15$, to utwór jest różnoziarnisty, natomiast jeżeli $W_r > 15$, oznacza to, że utwór jest bardzo różnoziarnisty.

Trójkąt Fereta

Trójkąt Fereta (rys. 2) jest trójkątem równobocznym, którego boki podzielono na 10 równych części. Z punktów podziału boków trójkąta poprowadzono proste równoległe do pozostałych boków. Przy założeniu, że każdy z boków trójkąta równobocznego charakteryzuje zawartość wybranej frakcji (piasku, pyłu, łu) w procentach od 0 do 100, każdemu punktowi wewnątrz tego trójkąta można przypisać trzy liczby: a , b , c , odpowiadające zawartości każdej z trzech frakcji, przy czym $a + b + c = 100$.

Aby znaleźć punkt wewnątrz trójkąta należy z punktu na jego boku, obrazującego procentową zawartość danej frakcji, poprowadzić prostą równoległą do sąsiedniego boku. Podobnie należy postąpić z pozostałymi bokami trójkąta. Jeżeli natomiast z dowolnego punktu wewnątrz trójkąta poprowadzi się proste równoległe do jego boków to z punktów przecięcia równoległych z bokami odczyta się procentową zawartość poszczególnych frakcji.

W trójkącie Fereta wyznaczone są grubszyimi liniami ciągłymi wartości graniczne procentowej zawartości poszczególnych grup granulometrycznych (piaski, gliny, pyły, łu). W ten sposób wyznaczono części pola trójkąta, które charakteryzują skład granulometryczny poszczególnych grup granulometrycznych gleb (rys. 2).



Rysunek 2. Trójkąt Fereta – diagram podziału utworów mineralnych na grupy i podgrupy granulometryczne

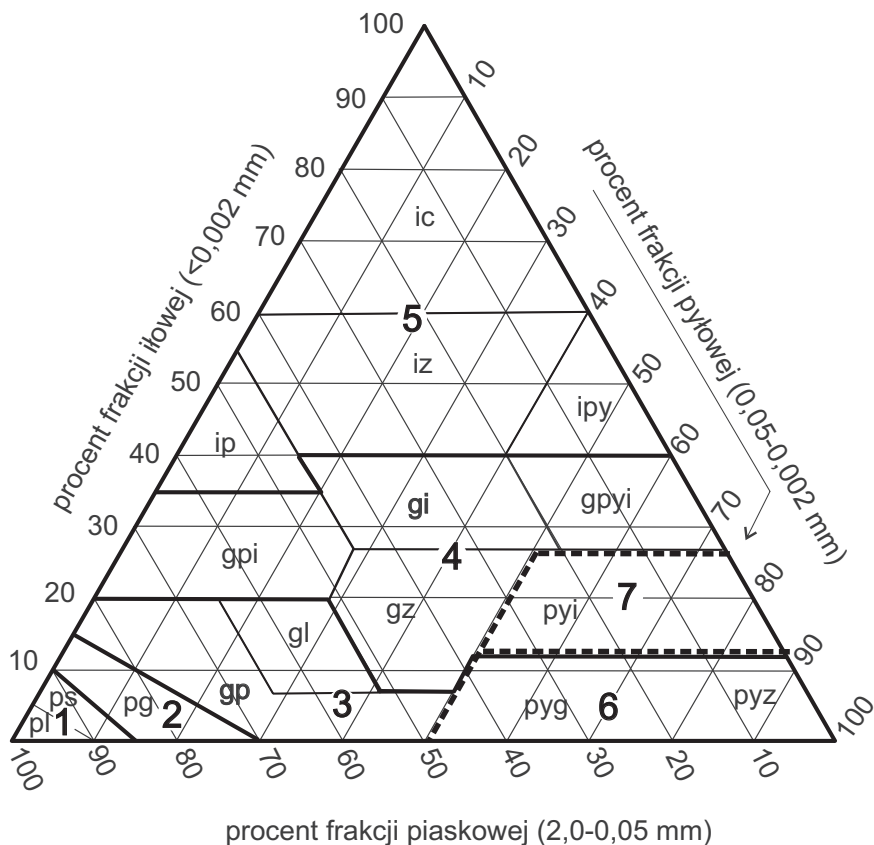
Źródło: Klasyfikacja uziarnienia gleb..., 2009.

Objaśnienia:

- | | | | |
|-----|----------------------------|------|------------------------|
| pl | – piasek luźny | gi | – glina ilasta |
| ps | – piasek słabo gliniasty | gpyi | – glina pylasto-ilasta |
| pg | – piasek gliniasty | ip | – ił piaszczysty |
| gp | – glina piaszczysta | ipy | – ił pylasty |
| gl | – glina lekka | iz | – ił zwykły |
| gpi | – glina piaszczysto-ilasta | ic | – ił ciężki |

Kategorie ciężkości agrotechnicznej gleb według PTG 2008 rok

W formie trójkąta wyznaczono też pięć podstawowych kategorii ciężkości agrotechnicznej gleb (rys. 3).



Rysunek 3. Kategorie agrotechniczne gleb

Źródło: Klasyfikacja uziarnienia gleb ..., 2009.

Wśród kategorii agrotechnicznych wyróżnia się:

- 1 – gleby bardzo lekkie – do których zalicza się piaski luźne i słabo gliniaste,
- 2 – gleby lekkie – piaski gliniaste,
- 3 – gleby średnie – gliny piaszczyste, gliny lekkie, pyły gliniaste i pyły zwykłe,
- 4 – gleby ciężkie – gliny piaszczysto-ilaste, gliny zwykłe, gliny ilaste, gliny pyłasto-ilaste i pyły ilaste,
- 5 – gleby bardzo ciężkie – łąy piaszczyste, łąy pylaste, łąy zwykły i łąy ciężkie.

Gleby bardzo lekkie i lekkie mogą być ogólnie traktowane jako kategoria gleb lekkich, natomiast gleby ciężkie i bardzo ciężkie jako kategoria gleb ciężkich.

Do celów bardziej szczegółowej charakterystyki gleb o dużej zawartości frakcji pyłowej dopuszcza się wyróżnienie dodatkowych kategorii. Jest to kategoria 6: gleby średnie pyłowe, do których zalicza się pyły gliniaste i pyły zwykłe. Z kolei kategoria 7 to gleby ciężkie pyłowe – pyły ilaste.

Zadania do wykonania przez studentów

Wykonać analizę składu granulometrycznego otrzymanej próbki glebowej z wykorzystaniem metody areometrycznej Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego. Uzyskane w trakcie prowadzenia doświadczenia wyniki należy zestawić w poniższej tabeli.

Tabela. Wartości uzyskane w czasie pomiaru składu granulometrycznego oraz procentowa zawartość poszczególnych frakcji granulometrycznych*

Nr próbki	Średnica frakcji granulometrycznych gleby (mm)							
	< 0,1	< 0,05	< 0,02	< 0,02	0,02-0,05	0,05-0,1	0,1-2,0	
	Pomiary areometrem				Różnica pomiarów (% frakcji)			
„0”	I	II	III	III - „0”	II - III	I - II	100 - Σ	

Na podstawie otrzymanych wyników, czyli procentowej zawartości poszczególnych frakcji granulometrycznych (tab. 3), należy określić grupę granulometryczną (utwór glebowy; tab. 4). Wyniki należy również zaprezentować graficznie, tj. w formie krzywej uziarnienia i trójkąta Fereta. Należy też obliczyć wskaźnik równoziarnistości i określić kategorię agrotechniczną gleby (rys. 3). Na zakończenie należy zinterpretować otrzymane wyniki, tzn. opisać właściwości fizyczno-chemiczne analizowanego utworu glebowego oraz wyciągnąć wnioski na temat jego przydatności do uprawy roślin ozdobnych.

2. Gęstość stałej fazy gleby. Oznaczanie gęstości stałej fazy gleby metodą piknometryczną i biuretową

Wprowadzenie

Każdy utwór glebowy, w zależności od składu granulometrycznego, struktury i działania czynników zewnętrznych, tworzy układ o różnym stopniu zagęszczenia. Miarą tego zagęszczenia jest gęstość gleby, której wielkość jest bezpośrednio związana z gęstością stałej fazy oraz objętością wolnych przestworów glebowych. Ze względu na to, że gleba jest układem trójfazowym, wyróżnia się gęstość fazy stałej gleby (ρ), nazywaną również gęstością właściwą, i gęstość objętościową gleby (ρ_o).

Gęstość fazy stałej jest to stosunek masy tej fazy do objętości, jaką ona zajmuje:

$$\rho = \frac{M}{V_s} \text{ (Mg} \cdot \text{m}^{-3}\text{)}$$

gdzie:

M – masa gleby wysuszonej w 105°C (Mg),

V_s – objętość fazy stałej gleby (m³).

Gęstość fazy stałej określonej gleby jest wartością niezmienną (stałą). W przypadku większości gleb mineralnych przyjmuje wartości od 2,50 do 2,80 Mg·m⁻³. Charakteryzuje ona jedną fazę gleby, a wielkość jej zależy od składu mineralogicznego (od gęstości minerałów budujących stałą fazę gleby) oraz od zawartości substancji organicznej. Stąd też wartość gęstości fazy stałej gleby jest zbliżona do wartości gęstości minerałów budujących mineralną część stałej fazy gleby. Do minerałów tych należą: kwarc, ortoklaz, plagioklaz, koloidalne krzemiany, których gęstość nie odbiega od podanych niżej wartości (tab. 5). Wyższe wartości gęstości, powyżej 2,8 Mg·m⁻³, są spowodowane tym, że gleby mogą zawierać pewne ilości minerałów ciężkich, takich jak na przykład: biotyt, limonit, granat, hornblenda (tab. 5).

Tabela 5. Gęstość wybranych minerałów, które dominują w fazie stałej większości utworów mineralnych

Nazwa minerału	Gęstość (Mg·m ⁻³)	Nazwa minerału	Gęstość (Mg·m ⁻³)
Kwarc	2,65	Biotyt	2,70-3,10
Ortoklaz	2,54-2,57	Limonit	3,50-3,95
Plagioklaz	2,65-2,75	Granat	3,15-4,30
Kaolinit	2,60-2,63		

Źródło: Zawadzki 1999.

Poza składem mineralogicznym ziaren glebowych na gęstość fazy stałej gleby wpływa ilość materii organicznej, której gęstość jest zdecydowanie mniejsza w porównaniu z mineralną częścią gleby. Dlatego też poziomy genetyczne występujące przy powierzchni, cechujące się obecnością materii organicznej, mogą wykazywać gęstość fazy stałej poniżej 2,40 Mg·m⁻³. Ponieważ zawartość substancji organicznej w poziomach próchnicznych zwykle nie przekracza 5%, gęstość fazy stałej mieści się w przedziale wartości 2,5-2,8. Mg·m⁻³. Im więcej jest substancji organicznej, tym niższa jest gęstość fazy (tab. 6).

Tabela 6. Wartość gęstości fazy stałej gleby w zależności od zawartości substancji organicznej

Zawartość substancji organicznej (%)	Gęstość fazy stałej (Mg·m ⁻³)
do 5	2,50-2,80
5-10	2,40-2,70
10-20	2,25-2,60
20-50	1,92-2,42
50-80	1,55-2,12
> 80	1,55-1,75

Źródło: Zawadzki 1999.

Gęstość właściwa gleb torfowych, zbudowanych w przeważającej części z masy organicznej, uzależniona jest od stopnia zamulenia i najczęściej wynosi 1,4-1,9 Mg·m⁻³.

Skład granulometryczny gleby nie ma wpływu na wartość gęstości fazy stałej. Dlatego też gęstość różnych utworów glebowych (grup granulometrycznych) osiąga podobne wartości (tab. 7).

Tabela 7. Gęstość fazy stałej niektórych utworów mineralnych (grup granulometrycznych)

Grupa granulometryczna	Gęstość fazy stałej (Mg·m ⁻³)
piaski luźne	2,63-2,65
piaski gliniaste	2,62-2,65
glina piaszczysta	2,62-2,66
glina lekka	2,63-2,67
glina ilasta	2,64-2,68
pył gliniasty	2,64-1,67
pył ilasty	2,65-2,69
ił piaszczysty	2,67-2,72
ił ciężki	2,68-2,75

Źródło: Mocek 2015.

W praktyce gleboznawczej gęstość stałej fazy gleby określa się, wykorzystując metodę piknometryczną i biuretową. Piknometr, od którego pochodzi nazwa metody, jest szklanym naczyniem pozwalającym na dokładny pomiar masy cieczy przy ściśle określonej objętości. Może być on zastąpiony szklaną kolbą miarową.

Wykonanie oznaczenia gęstości stałej fazy gleby metodą piknometryczną

Opis przebiegu eksperymentu

- Zważyć kolbę miarową o pojemności 100 cm³ wraz z korkiem (*a*).
- Wsypać do kolby miarowej około 10 g suchej gleby.
- Zważyć kolbę miarową wraz z korkiem i glebą (*b*).
- Dodać do połowy objętości kolby miarowej wody destylowanej i gotować tak długo, aż z gleby przestaną uchodzić pęcherzyki powietrza.
- Ostudzić zawartość kolby miarowej do temperatury pokojowej.
- Dopełnić kolbę miarową wodą destylowaną w ten sposób, aby pod korkiem nie było powietrza; kolba do korka musi być wypełniona wodą.
- Zważyć kolbę miarową wraz z korkiem oraz z wodą i glebą (*c*).
- Opróżnić kolbę miarową i napełnić ją wodą destylowaną w ten sposób, aby pod korkiem nie było powietrza.
- Zważyć kolbę miarową wraz z korkiem i wodą (*d*).
- Obliczyć gęstość stałej fazy gleby.

Obliczenia

Gęstość stałej fazy gleby oblicza się według wzoru:

$$\rho = \frac{b - a}{(d - a) - (c - b)} \quad (\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3})$$

gdzie:

a – masa kolby miarowej z korkiem (g),

b – masa kolby miarowej z korkiem i glebą (g),

c – masa kolby miarowej z korkiem, glebą i wodą (g),

d – masa kolby miarowej z korkiem i wodą (g).

Wykonanie oznaczenia gęstości stałej fazy gleby metodą biuretową

Opis przebiegu eksperymentu

- Zważyć pustą kolbę miarową o pojemności 25 cm³ (a).
- Wsypać do kolby około 10 g suchej gleby.
- Zważyć kolbę miarową razem z glebą (b).
- Do kolby zawierającej glebę, do kreski wyznaczającej jej pojemność, dodać alkohol; w trakcie dodawania alkoholu zawartość kolby należy mieszać.
- Odczytać z biurety ilość dodanego do kolby alkoholu (V).
- Obliczyć gęstość stałej fazy gleby.

Obliczenia

Gęstość stałej fazy gleby oblicza się według wzoru:

$$\rho = \frac{b - a}{25 - V} \quad (\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3})$$

gdzie:

V – objętość alkoholu dodanego z biurety (cm³),

a – masa kolbki (g),

b – masa kolbki z glebą (g).

Zadania do wykonania przez studentów

Określić gęstość fazy stałej gleby otrzymanej do analizy próbki gleby, wykorzystując dwie metody, tj. metodę piknometryczną i metodę biuretową. Wyniki należy przedstawić w poniższej tabeli.

Tabela. Wartość gęstości właściwej gleby otrzymana przy pomocy metody piknometrycznej i biuretowej

Nr próbki	Gęstość fazy stałej gleby otrzymana metodą	
	piknometryczną	biuretową
	(Mg·m ⁻³)	

Należy porównać ze sobą otrzymane wyniki, a następnie zinterpretować je, porównując do typowych wartości otrzymywanych w glebach Polski. Następnie, na podstawie wartości gęstości fazy stałej analizowanej gleby, należy ocenić jej potencjalne właściwości, tj. podjąć próbę określenia składu mineralicznego i orientacyjnej zawartości substancji organicznej.

3. Woda w glebie.

Wykreślanie krzywej sorpcji wody

Wprowadzenie

Wilgotność gleby można zdefiniować jako zawartość wody w glebie w momencie jej pomiaru w stosunku do suchej masy gleby. Część wolnych przestrzeni występujących między ziarnami glebowymi jest wypełniona wodą glebową, a dokładniej roztworem glebowym, czyli wodą zawierającą rozpuszczone związki mineralne i organiczne. Innymi słowy, roztwór glebowy występuje w tzw. porach glebowych o różnych średnicach. Jest on niezbędny w życiu roślin. Głównym źródłem wody glebowej są opady atmosferyczne. Może też być wprowadzana do gleby w wyniku sztucznych nawodnień. Pewne ilości wody, występujące w górnych częściach profilu glebowego, dostają się tam w wyniku podsiąkania z głębszych warstw gleby lub przesiąkania z różnych zbiorników wodnych. Woda glebowa może też pochodzić ze skraplania pary wodnej.

Woda, wypełniająca przestwory glebowe o różnych średnicach, jest utrzymywana różnymi siłami. Wielkość fizyczną, która określa siłę wiązania wody przez glebę, nazywa się potencjałem wody glebowej lub siłą ssącą gleby. Można ją wyrażać w jednostkach ciśnienia. Jednak stosowanie ich, ze względu na duże rozpiętości w wartościach liczbowych, jest kłopotliwe (rys. 4). Dlatego przyjęto jednostkę określaną symbolem pF:

$$pF = \log h \text{ (cm H}_2\text{O)}.$$

Jest to logarytm dziesiętny z wysokości słupa wody h (cm), którego ciśnienie odpowiada sile ssącej gleby.

W zależności od sił wiążących wodę w glebie wyróżnia się trzy podstawowe formy wody glebowej. Są nimi: woda grawitacyjna, kapilarna i higroskopowa. Woda grawitacyjna, zwana też wodą wolną, zajmuje największe przestwory glebowe, tzw. makropory. Są to przestwory o średnicy przekraczającej 10,0 μm . Przeważnie są one wypełnione powietrzem, jedynie po intensywnych lub długotrwałych deszczach (ewentualnie sztucznym deszczowaniu) wypełnia je woda grawitacyjna. Ta postać wody utrzymywana jest w glebie siłami mniejszymi od 0,033 MPa lub 0,01 MPa i porusza się w makroporach pod wpływem sił grawitacyjnych. Może być pobierana przez rośliny jedynie częściowo, podczas powolnego przemieszczania się w strefie przykorzeniowej. Woda grawitacyjna powoduje wymywanie składników pokarmowych z gleby.

Woda kapilarna zajmuje mezopory, tj. przestwory glebowe o średnicy 10,0-0,5 μm . Jest utrzymywana w glebie siłami od 0,033 lub 0,01 do 3,1 MPa. Woda

kapilarna tworzy roztwór glebowy i w większości jest dostępna dla roślin. Porusza się w glebie we wszystkich kierunkach.

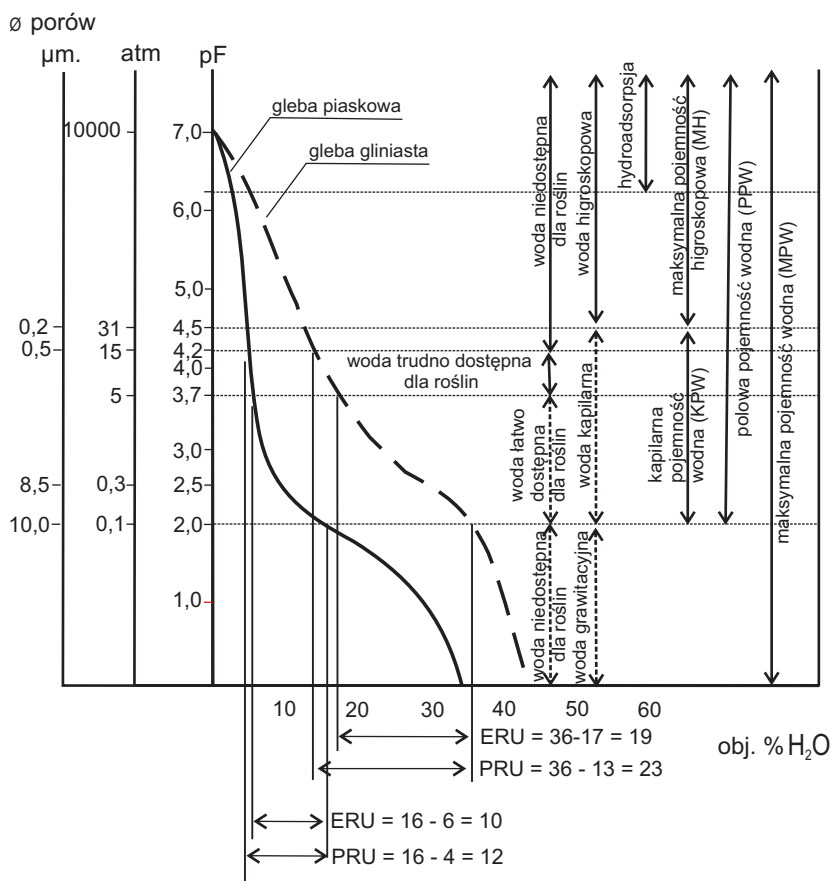
Natomiast woda higroskopowa zajmuje tzw. mikropory. Są to przestwory o bardzo małych średnicach, poniżej 0,5 μm . Woda higroskopowa jest wiązana przez bardzo silnie rozdrobnione cząstki glebowe, tzw. koloidy glebowe o średnicy mniejszej od 0,002 mm, i jest utrzymywana w glebie siłami od 3,1 do 1 000 MPa. Ta forma wody glebowej nie wykazuje właściwości cieczy i nie jest dostępna dla roślin. Innymi słowy, rośliny nie mogą korzystać z wody higroskopowej, ponieważ związana jest siłami przekraczającymi siłę ssącą korzeni roślin.

Tylko część wody glebowej jest dostępna dla roślin. Mogą one korzystać jedynie z wody wiązanej przez glebę siłami mniejszymi od siły ssącej ich systemów korzeniowych. Powszechnie przyjmuje się, że większość roślin może korzystać jedynie z wody utrzymywanej w glebie siłami mniejszymi niż pF 4,2.

Pojemność wodna gleby (retencja wodna) i krzywa pF

Pojemność wodna gleby jest to określona ilość wody, jaką może zatrzymać gleba w ściśle określonych warunkach, uzależniona jest zatem od potencjału wiązania wody przez glebę (rys. 4). Pojemność wodna jest wyrażana w procentach objętościowych. W gleboznawstwie wyróżniane są następujące pojemności wodne:

- higroskopowa pojemność wodna (H),
- maksymalna higroskopowa pojemność wodna (MH),
- wilgotność (pojemność) trwałego wędnięcia roślin (WTW),
- kapilarna pojemność wodna (KPW),
- połowa pojemność wodna (PPW),
- maksymalna pojemność wodna (MPW).



Rysunek 4. Rodzaje pojemności wodnych gleb i siły wiążące wodę w glebie

Źródło: Mocek 2015.

Higroskopowa pojemność wodna (H) jest to ilość wody, jaką wiąże z atmosfery gleba doprowadzona do stanu powietrznie suchego. Jest ona uzależniona od aktualnej wilgotności powietrza, jest więc wartością zmienną. Maksymalna higroskopowa pojemność wodna (MH) jest to ilość wody, jaką maksymalnie może związać gleba znajdująca się w ściśle określonych warunkach wilgotności atmosfery. Jest ona wartością stałą dla danej gleby i zależy przede wszystkim od zawartości koloidów glebowych.

Wilgotność trwałego wędnięcia roślin (WTW) jest to stan uwilgotnienia gleby, przy którym rozpoczyna się trwałe wędnięcie roślin. Odpowiada on sile wiązania wody w glebie przy pF 4,2. Natomiast wilgotność gleby przy wartości potencjału pF równej 3,0 określana jest jako początek hamowania wzrostu roślin.

Kapilarna pojemność wodna gleby (KPW) odpowiada procentowej zawartości wody, jaka może być zatrzymana w przestworach kapilarnych gleby, tj. mezoporach, przy sile ssącej w przedziale pF 2,0-4,5.

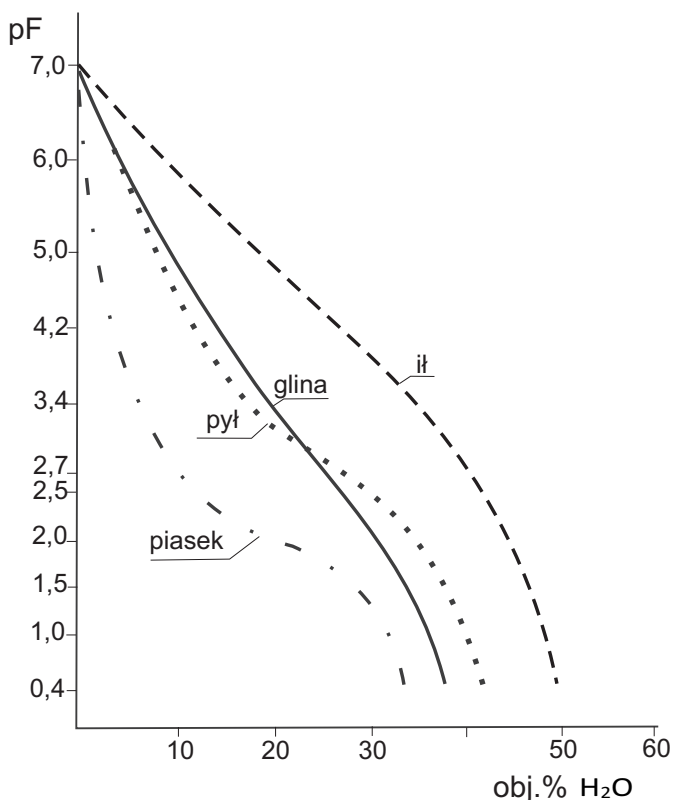
Polowa pojemność wodna (PPW) to procentowa zawartość wody odpowiadająca sile wiązania wody przy pF 2,0. Natomiast maksymalna pojemność wodna (MPW) jest to całkowita ilość wody, jaką może zatrzymać gleba w przestrzeni wszystkich przestworów (pF 0,0). Odpowiada ona ogólnej porowatości gleby i oznacza jej stan, w którym wszystkie przestrzenie między ziarnami fazy stałej gleby są wypełnione wodą. W glebie będącej w takim stanie nie ma powietrza. Stan maksymalnego nasycenia gleby wodą jest stanem chwilowym, woda bowiem szybciej lub wolniej – w zależności od wielkości średnicy przestworów glebowych, co z kolei jest uzależnione od składu granulometrycznego – przemieszcza się pod wpływem działania siły grawitacyjnej.

Z praktycznego punktu widzenia ważna jest ta ilość wody w glebie, z której mogą korzystać rośliny. W gleboznawstwie przyjęto określać ją jako tzw. retencję użyteczną, wśród której wyróżnia się efektywną retencję użyteczną (ERU) i potencjalną retencję użyteczną. Efektywna retencja użyteczna odpowiada ilości wody, jaka występuje w glebie przy potencjale wody w przedziale pF 2,0-3,7. Jednocześnie wartość pF 3,7 określa tzw. granicę wody produkcyjnej. Natomiast potencjalna retencja użyteczna odpowiada różnicy ilości wody między połową pojemnością wodną a wilgotnością trwałego wędnięcia. Innymi słowy, znajduje się w przedziale wartości pF od 2,0 do 4,2. Są to jednocześnie wartości odpowiadające siłom wiążącym w glebie wodę dostępną dla roślin. Zawartość wody dostępnej dla roślin jest sumą wody łatwo dostępnej dla roślin – znajdującej się w przedziale pF 3,7- 2,0 i wody trudno dostępnej dla roślin – między pF 3,7-4,2.

Zależność między potencjałem wody glebowej, wyrażonym jako pF, a jej zawartością określoną w procentach można przedstawić graficznie za pomocą wykresu **krzywej sorpcji**, czyli **krzywej pF** (rys. 4, 5). Krzywa pF wskazuje, z jaką siłą związana jest woda w glebie w przedziale od stanu pełnego nasycenia wodą (pF 0,0) do stanu całkowicie suchego (pF 7). Wykreśla się ją w układzie współrzędnych, gdzie oś pionowa wskazuje na siłę, z jaką woda jest wiązana przez glebę, a oś pozioma obrazuje zawartość wody wyrażoną w % (rys. 5).

Wartość sił wiążących wodę w glebie zmienia się zarówno w czasie, jak i w przestrzeni w miarę wzrostu lub spadku zawartości wody w glebie (wilgotności gleby). Siły te, a co za tym idzie i wilgotność gleby, zależą od jej składu granulometrycznego, zawartości materii organicznej, rodzaju roślinności i systemu korzeniowego, gęstości i porowatości gleby, stosowanych zabiegów agrotechnicznych, wpływających na przykład na zwięźłość gleby, jej budowę agregatową itp. Dlatego też przebieg krzywych pF wyznaczony dla różnych utworów glebowych (grup granulometrycznych), różniących się właściwościami fizycznymi i chemicznymi, jest odmienny (rys. 5).

Na podstawie krzywej pF można określić wiele ważnych właściwości wodnych gleby. Można też dokonać obliczeń określonych pojemności wodnych, zapasów wody i retencyjności gleby.



Rysunek 5. Krzywe pF wyznaczone dla gleb o różnym składzie granulometrycznym

Źródło: Mocek i in. 1997.

Zadania do wykonania przez studentów

Na podstawie otrzymanych danych wykreślić krzywe pF, a następnie obliczyć zawartość: wody grawitacyjnej, wody łatwo dostępnej i wody trudno dostępnej dla roślin, wody niedostępnej dla roślin oraz potencjalną retencję użyteczną.

Obliczenia

- Woda grawitacyjna (wolna) na wykresie krzywej pF znajduje się między pF 2,0 i pF 0,0.
 - Woda łatwo dostępna dla roślin występuje w przedziale między pF 3,7 a pF 2,0.
 - Woda trudno dostępna dla roślin występuje w przedziale między pF 4,2 a pF 3,7.
 - Woda dostępna dla roślin, czyli suma wody łatwo i trudno dostępnej, znajduje się w przedziale od pF 2,0 do pF 4,2. Jest to jednocześnie potencjalna retencja użyteczna,
 - Zawartość wody przy wartości potencjału pF równym 3,7 określana jest jako początek hamowania wzrostu roślin.
 - Woda niedostępna dla roślin znajduje się przy potencjale pF > 4,2, czyli zawarta jest między pF 4,2 i pF 7.
 - Zawartość wody przy potencjale pF równym 4,2 określana jest jako punkt trwałego wędnięcia roślin.
- Otrzymane wyniki należy zaprezentować w zamieszczonej poniżej tabeli.

Tabela. Zawartość różnych postaci wody w analizowanych utworach glebowych

Nr utworu	Zawartość wody [%]				
	grawitacyjnej	łatwo dostępnej dla roślin	trudno dostępnej dla roślin	dostępnej dla roślin (PRU)	niedostępnej dla roślin

Na podstawie zawartości poszczególnych postaci wody i przebiegu krzywych pF należy omówić potencjalne właściwości analizowanych utworów glebowych, zwracając też uwagę na proporcje między różnymi porami glebowymi (makro-, mezo- i mikrosporamami), w których występują poszczególne postaci wody (innymi słowy, należy wykazać związek ilościowy między poszczególnymi rodzajami wody a porami glebowymi, w których się one znajdują). Następnie należy wyjaśnić, czy dany utwór glebowy będzie zabezpieczał roślinie potrzebne ilości wody oraz wyjaśnić, jakie frakcje granulometryczne dominują w analizowanym utworze glebowym.

4. Ruch wody w glebie.

Oznaczanie współczynnika filtracji gleby

Wprowadzenie

W środowisku glebowym dochodzi do przemieszczania się wody. Na ruch wody w glebie składa się infiltracja i filtracja. Infiltracja (wsiąkanie) to przede wszystkim ruch wody w glebie nienasyconej, czyli wówczas gdy część porów glebowych jest wypełniona powietrzem, a wsiąkająca woda zwilża stopniowo coraz głębsze warstwy gleby. Prędkość wsiąkania wody w glebie jest cechą zmienną i maleje z upływem czasu wsiąkania. Natomiast filtracja przebiega w przestrzeniach glebowych w pełni nasyconych wodą, przy przeważającym poziomym kierunku ruchu wody. Dlatego filtrację definiuje się jako zdolność gleby do przewodzenia wody przy pełnym jej nasyceniu wodą. Jest ona określana przy pomocy współczynnika filtracji k , który najczęściej jest wyrażony w $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ lub w $\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$. Współczynnik ten zazwyczaj wyznacza się metodami laboratoryjnymi.

Tabela 8. Wartość współczynnika filtracji różnych utworów glebowych

Utwór glebowy	Współczynnik filtracji k ($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)
piasek luźny	$2\cdot 10^{-2}$ - 10^{-3}
piasek słabo gliniasty	10^{-3} - $4\cdot 10^{-4}$
piasek gliniasty	$2\cdot 10^{-3}$ - 10^{-5}
glina lekka	$5\cdot 10^{-4}$ - 10^{-5}
pył zwykły i pył ilasty	$3\cdot 10^{-4}$ - $2\cdot 10^{-5}$
glina średnia	$4\cdot 10^{-4}$ - $5\cdot 10^{-6}$
glina ciężka i ił	$7\cdot 10^{-5}$ - $3\cdot 10^{-7}$

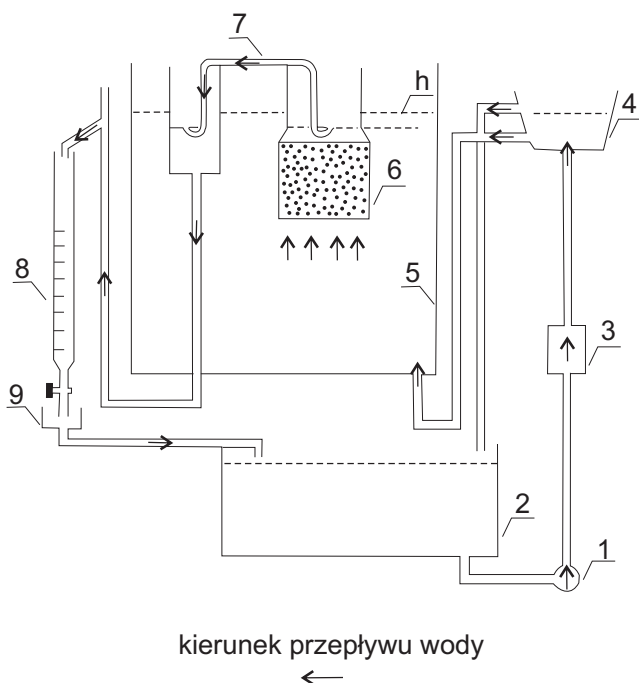
Źródło: wg Zawadzkiego i Olszty za: Mocek 2015.

Ruch wody w glebie, w tym i współczynnik filtracji, zależy od wielu czynników. Jednym z najważniejszych jest skład granulometryczny gleby (tab. 8), z którym związane są porowatość i struktura gleby. Zależy też od zawartości próchnicy w glebie, jej składu chemicznego, temperatury gleby, działalności organizmów żywych, a także od zabiegów agrotechnicznych.

Określenie współczynnika filtracji gleby metodą stałego przepływu

Do laboratoryjnego określenia wartości współczynnika filtracji służy przepuszczalnościomierz (rys. 6). Woda przepływa przez dobrze nasyconą próbkę glebową na skutek wytworzenia różnicy ciśnień po obu jej stronach. Wypływ wody jest mierzony i łączony z różnicą ciśnień oraz wielkością próbki w celu obliczenia przepuszczalności.

Przepuszczalnościomierz stanowi system zamknięty. Pompa (1) podnosi wodę ze zbiornika (2), przez filtr (3), do regulatora poziomu wody (4). Do regulatora podłączone są dwa gumowe przewody. Jeden łączy regulator ze zbiornikiem, w którym są umieszczone próbki glebowe (5). Natomiast drugi odprowadza nadmiar wody z regulatora do zbiornika umieszczonego w dolnej części urządzenia (2). Regulator utrzymuje wymagany poziom wody w zbiorniku z próbkami gleby (5). Próbki te zostały pobrane do cylinderków (6) i umieszczone wraz z nimi w specjalnych uchwytach, które włożono do stelaża znajdującego się w zbiorniku (5). Syfon (7), czyli wygięta rurka, przewodzi wodę sączącą się z próbki przez biuretę (8) i odbiornik wycieku (9) z powrotem do zbiornika (5). Przepływ wody przebiega dzięki różnicy wysokości wody (h) między poziomem wody wewnątrz i na zewnątrz uchwytu, w którym znajduje się cylinderek z glebą. W ten sposób stały strumień wody płynie przez próbkę (rys. 6). Ilość wypływającej wody jest mierzona poprzez gromadzenie jej w biurecie i pomiar czasu, w którym jest ona wypełniana.



Rysunek 6. Budowa przepuszczalnościomierza laboratoryjnego

Źródło: Instrukcja obsługi przepuszczalnościomierza laboratoryjnego firmy Eijkelkamp, 1995.

Oznaczenie współczynnika filtracji gleby metodą stałego przepływu

Opis przebiegu eksperymentu

- Syfon, uprzednio napełniony wodą, umieszcza się w uchwycie, kiedy poziom wody wewnątrz i na zewnątrz uchwytu cylinderka będzie na mniej więcej tej samej wysokości. Utrzymuje to wodę powyżej próbki na określonym poziomie, który może być regulowany za pomocą zbiornika wyrównującego. Różnica poziomów (h) wewnątrz i na zewnątrz uchwytu powinna się zawierać pomiędzy 2 mm (silnie przepuszczalne gleby) i 20 mm (słabo przepuszczalne gleby). Najlepiej jest określać współczynnik przepuszczalności przy jak najmniejszej różnicy poziomów wody.
- Woda przepływa przez próbkę i kiedy ilość wody wypływającej w jednostce czasu ($\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$) osiągnie stałą wartość, należy wykonać 3 pomiary.

- Zmierzyć różnicę poziomów wody na zewnątrz i wewnątrz uchwytu – cylinderka, w którym znajduje się gleba.

Obliczenia

Współczynnik przepuszczalności k oznaczony metodą stałego przepływu oblicza się ze wzoru:

$$k = 144 \cdot \frac{Q \cdot L}{h \cdot A} \quad (\text{m} \cdot \text{d}^{-1})$$

gdzie:

k – współczynnik filtracji ($\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$),

Q – ilość wody wypływającej w jednostce czasu ($\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$),

L – wysokość próbki (cylinderka) równa 5,1 cm,

h – różnica poziomów wody wewnątrz i na zewnątrz uchwytu (mm),

A – powierzchnia przekroju próbki równa 19,6 cm^2 .

Zadania do wykonania przez studentów

Określić współczynnik przepuszczalności k metodą stałego przepływu z wykorzystaniem przepuszczalnościomierza laboratoryjnego. Uzyskane wartości współczynnika filtracji, wyrażone w $\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$, należy przeliczyć na $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$. Wynik należy porównać z wartościami typowymi dla różnych utworów glebowych. Pozwoli to na określenie utworu glebowego, który był poddany analizie oraz na wyciągnięcie wniosków na temat panujących w nim stosunków powietrzno-wodnych oraz zdolności do przewodzenia i gromadzenia wody. Podjąć próbę opisanie potencjalnych właściwości analizowanej gleby i przydatności jej do uprawy roślin ozdobnych.

5. Kwasowość czynna – odczyn gleby. Oznaczanie pH gleby metodą polową i potencjometryczną

Wprowadzenie

Kwasowością czynną nazywa się stężenie jonów wodoru $[H^+]$ w roztworze glebowym. Miarą kwasowości czynnej jest odczyn gleby, do określenia którego używa się symbolu pH.

W czystej wodzie, w temperaturze 22°C iloczyn stężenia jonów H^+ i OH^- jest wielkością stałą i wynosi 10^{-14} :

$$[H^+] \cdot [OH^-] = 10^{-14},$$

$$[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}.$$

W roztworze o odczynie kwaśnym jony H^+ przeważają nad jonami OH^- , a ich stężenie jest większe niż $10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$. Z kolei w roztworach o odczynie zasadowym stężenie jonami H^+ jest mniejsze niż 10^{-7} . W roztworach o odczynie obojętnym stężenie jonów H^+ jest równe stężeniu jonów OH^- i wynosi $10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$.

W ocenie odczynu gleb, w celu uproszczenia zapisu, stosuje się logarytmiczną skalę stężeń jonów H^+ jako pH:

$$\text{pH} = -\log_{10} [H^+],$$

$$[H^+] = 10^{-\text{pH}}.$$

Skala wartości pH mieści się w zakresie od 0 do 14. W roztworach kwaśnych $\text{pH} < 7$, w obojętnych wynosi 7, a w zasadowych $\text{pH} > 7$.

W praktyce gleboznawczej odczyn gleb oznacza się w zawiesinie gleby z H_2O lub z elektrolitem, np. KCl , $CaCl_2$. Najczęściej stosuje się w tym celu 1-molowy KCl .

W Polsce w ocenie gleb pod względem odczynu przyjęto podział wyróżniający pięć zakresów (tab. 9).

Tabela 9. Podział gleb w zależności od pH

Odczyn gleby	pH _{KCl}	pH _{H₂O}
silnie kwaśny	< 4,5	< 5,0
kwaśny	4,6 - 5,5	5,1 - 6,0
lekko kwaśny	5,6 - 6,5	6,1 - 6,7
obojętny	6,6 - 7,2	6,8 - 7,4
zasadowy	>7,2	> 7,4

Źródło: Mocek 2015.

Odczyn gleby jest bardzo ważną właściwością. Wpływa na funkcjonowanie środowiska glebowego, ponieważ decyduje o fizycznych, chemicznych i biologicznych właściwościach gleby. Znajomość wartości pH gleby jest pomocna w określeniu jej jakości i przydatności do uprawy różnych grup roślin. W istotny sposób wpływa na plon, a także wartości dekoracyjne roślin poprzez oddziaływanie na rozwój ich systemu korzeniowego. Ma również wpływ na rozpuszczalność i dostępność wielu składników pokarmowych oraz pobieranie ich przez rośliny. Wpływa ponadto na aktywność mikroorganizmów oraz przebieg procesów glebowych.

Kwasowość czynna stanowi niewielką część całkowitej kwasowości i zmienia się w ciągu roku.

Metody oznaczania odczynu gleby

Odczyn gleb powszechnie jest oznaczany dwiema metodami: polową oraz potencjometryczną.

Metoda polowa nazywana jest też **kolorymetryczną** lub **Heliga**. Oznaczenie pH gleby przy jej pomocy polega na użyciu barwników organicznych, zwanych wskaźnikami lub indykatorami, które zmieniają barwę przy odpowiednim pH. Do grupy metod kolorymetrycznych zalicza się metodę Heliga, powszechnie stosowaną do oznaczenia pH w trakcie prac terenowych. Pehametr Heliga to porcelanowa płytką ze skalą barw i zagłębieniem na glebę oraz indykator, tj. odczynnik zmieniający barwę zależnie od stężenia jonów wodorowych w roztworze glebowym. Skalę barw tworzy 5 kolorów odpowiadających następującym wartościom pH:

- ciemnoczerwony – odpowiada pH 4,
- jasnoczerwony – pH 5,
- żółty – pH 6,
- jasnozielony – pH 7,
- ciemnozielony – pH 8.

Metoda kolorymetryczna określa wartości pH jedynie orientacyjnie i nie jest to precyzyjny pomiar kwasowości czynnej.

Metody potencjometryczne polegają na pomiarze pH przy pomocy pehametrów posiadających elektrody. Działają one w ten sposób, że dwie elektrody: pomiarowa i porównawcza (referencyjna) zanurzone w roztworze wskazują, w zależności od stężenia jonów wodorowych, odpowiednią różnicę potencjałów. Pomiaru różnicy potencjału, zwanej siłą elektromotoryczną, dokonuje się potencjometrami, które mają oprócz skali wyrażonej w miliwoltach również skalę wyrażoną w jednostkach pH w zakresie 0-14. Najbardziej rozpowszechnioną elektrodą do pomiaru pH jest elektroda szklana zestawiona z elektrodą kalomelową, jako elektrodą porównawczą. Pomiaru pH w glebie dokonuje się w zawiesinie gleby z wodą destylowaną ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) lub zawiesinie gleby z elektrolitem, czyli w roztworze chlorku potasu o stężeniu $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ (pH_{KCl}), ewentualnie w roztworze chlorku wapnia o stężeniu $0,01 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ ($\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$).

Oznaczenie odczynu gleby metodą polową (kolorymetryczną; Heliga)

Opis przebiegu eksperymentu

- Wsypać w zagłębienie płytki Heliga szczyptę gleby i lekko ją ugnieść.
- Zalać powoli glebę indykatorem (płynem Heliga) aż do jej całkowitego przykrycia.
- Po kilku minutach przechylić płytkę tak, aby roztwór znalazł się w podłużnym rowku.
- Porównać zabarwienie roztworu z barwną skalą w celu określenia pH gleby.

Oznaczenie odczynu gleby metodą potencjometryczną

Opis przebiegu eksperymentu

- Naważyć 2 próbki tej samej gleby po 10 g do zlewek o pojemności 50 cm^3 .
- Dodać do jednej $25 \text{ cm}^3 \text{ H}_2\text{O}$ destylowanej, a do drugiej $25 \text{ cm}^3 \text{ KCl}$ o stężeniu $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$.
- Kilkakrotnie zamieszać otrzymane roztwory.
- Dokonać pomiaru pehametrem: w zawiesinie gleby z H_2O – po 30 minutach, w zawiesinie gleby z KCl – po 60 minutach. Ważne jest skalibrowanie pehametru przed przystąpieniem do oznaczeń w roztworach buforowych o znanym pH.

Zadania do wykonania przez studentów

Dokonać pomiaru kwasowości czynnej próby glebowej przy pomocy metody kolorymetrycznej oraz metody potencjometrycznej. Wyniki należy przedstawić w formie tabeli.

Tabela. Wartość pH oznaczona w zawiesinie wodnej gleby i z KCl

Nr próbki	pH otrzymane metodą		
	kolorymetryczną	potencjometryczną	
		$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$	pH_{KCl}

Uzyskane wyniki należy porównać z danymi zawartymi w tabeli 9 i określić odczyn analizowanej gleby. Na podstawie uzyskanego wyniku wyprowadzić wniosek na temat potencjalnych właściwości analizowanej gleby i jej przydatności do uprawy roślin ozdobnych.

6. Kwasowość hydrolityczna gleby.

Oznaczanie kwasowości hydrolitycznej metodą Kappena

Wprowadzenie

Całkowita kwasowość gleby obejmuje wszystkie jony o charakterze kwasowym, występujące zarówno w roztworze glebowym (kwasowość czynna), jak i zasorbowane z różną siłą w kompleksie sorpcyjnym (kwasowość potencjalna). Dlatego poza odczynem gleby – związanym z obecnością jonów wodoru w roztworze glebowym – wyróżnia się kwasowość wymienną i kwasowość rezydualną. Składają się one na kwasowość całkowitą, która powszechnie nazywana jest **kwasowością hydrolityczną** (*Hh*). Oznacza się ją przy użyciu zbuforowanych soli o pH 8,2. W Polsce do określenia kwasowości hydrolitycznej powszechnie używa się roztworu octanu sodu lub octanu wapnia. Sole te, a dokładniej jony sodu (Na^+) lub wapnia (Ca^{2+}) pochodzące z octanu, wypierają z kompleksu sorpcyjnego gleby kationy o charakterze kwasowym, głównie jony wodoru (H^+) i glinu (Al^{3+}). Po reakcji (wytrąsaniu) gleby z roztworem soli powstaje kwas octowy, którego ilość określana przez miareczkowanie roztworem wodorotlenku sodu (NaOH) jest miernikiem kwasowości hydrolitycznej.

Znajomość wartości kwasowości hydrolitycznej ma duże znaczenie praktyczne. Na jej podstawie oblicza się dawki wapna do pełnego odkwaszenia gleby. Dawki nawozów wapniowych na 1 ha gleby najczęściej ustala się, wykorzystując wzory:

$$\text{CaO} = Hh \cdot 0,84 [\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}],$$

$$\text{CaCO}_3 = Hh \cdot 1,5 [\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}],$$

gdzie:

Hh – kwasowość hydrolityczna,

CaO – dawka nawozu wapniowego zwanego wapnem tlenkowym,

CaCO₃ – dawka nawozu wapniowego zwanego wapnem węglanowym.

Wapno tlenkowe (CaO) wykorzystuje się przede wszystkim na gleby ciężkie, których odczyn zmienia się bardzo powoli. Na tych glebach nie ma niebezpieczeństwa gwałtownej zmiany odczynu, gdyż odznaczają się one wysoką zdolnością buforową. Nie ma więc ryzyka przewapnowania. Jest natomiast możliwość

szybszego osiągnięcia pożądanego odczynu niż przy zastosowaniu wapna węglanowego (CaCO_3).

Wapno węglanowe stosuje się na glebach lekkich, wytworzonych z utworów piaszczystych. Działa ono łagodniej w porównaniu z wapnem tlenkowym. Ma to znaczenie na glebach lekkich, ponieważ cechują się one małymi zdolnościami buforowymi i przy zastosowaniu wapna tlenkowego istnieje niebezpieczeństwo wywołania okresowo zbyt zasadowego odczynu. Jednak niebezpieczeństwo przewapnowania jest niegroźne. Gleby lekkie nie mają zdolności do wiązania nawozu (wapna tlenkowego), który przechodzi do roztworu glebowego i szybko zostaje wymyty do głębszych warstw gleby. Tym samym następują straty wprowadzonego nawozu. Dlatego na gleby lekkie zaleca się stosowanie wapna węglanowego, które powinno być wprowadzane kilkakrotnie w niewielkich dawkach.

Oznaczenie kwasowości hydrolitycznej metodą Kappena

Opis przebiegu eksperymentu

- Umieścić 40 g suchej gleby w kolbie lub bidonie 250 cm^3 .
- Dodać 100 cm^3 $1 \text{ N CH}_3\text{COONa}$ o pH 8,2.
- Wytrząsać na mieszkadle rotacyjnym przez 1 godzinę.
- Przesączyć zawiesinę, odrzuciwszy pierwsze krople.
- Pobrać 25 cm^3 przesączu i przenieść do kolby Erlenmayera.
- Dodać 3-4 krople fenoloftaleiny i miareczkować NaOH o stężeniu $0,1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ do lekko różowego zabarwienia.

Obliczenia

Kwasowość hydrolityczną badanej próbki glebowej należy obliczyć ze wzoru:

$$Hh = V \cdot 0,1 \cdot n \cdot 1,5 \text{ (cmol(+)} \cdot \text{kg}^{-1}) ,$$

gdzie:

Hh – kwasowość hydrolityczna,

V – objętość NaOH zużyta do miareczkowania (cm^3),

0,1 – normalność NaOH użytej do miareczkowania,

n – współczynnik przeliczeniowy dostosowany do przyjętych rozcieńczeń, czyli ilości próbki pobranej do analizy; w tym przypadku $n = 10$,

1,5 – współczynnik empiryczny ustalony przez Kappena.

Zadania do wykonania przez studentów

Określić kwasowość hydrolityczną otrzymanej do analizy próbki glebowej metodą Kappena oraz obliczyć dawki nawozów wapniowych na 1 ha analizowanej gleby.

7. Kompleks sorpcyjny gleby. Oznaczanie sumy kationów zasadowych metodą Kappena. Obliczanie całkowitej kationowej pojemności sorpcyjnej oraz stopnia wysycenia kompleksu sorpcyjnego gleby

Wprowadzenie

Gleba posiada właściwości sorpcyjne, polegające na zdolności do pochłaniania i zatrzymywania cząstek stałych, gazów, a przede wszystkim różnych związków chemicznych i jonów. Zdolności te związane są z obecnością kompleksu sorpcyjnego, który tworzony jest przez koloidalną część stałej fazy gleby wraz z zasorbowanymi jonami. Właściwości sorpcyjne pełnią bardzo ważną rolę w glebie. Umożliwiają magazynowanie składników pokarmowych powstających w wyniku procesu mineralizacji, czy też wprowadzanych do gleby z nawozami. Zatrzymywanie składników nawozowych w glebie zapobiega ich stratom, wpływa na efektywność nawożenia oraz zapobiega eutrofizacji wód. Zdolności sorpcyjne umożliwiają również zatrzymywanie wody oraz regulowanie odczynu gleby.

W odżywianiu roślin największe znaczenie ma sorpcja wymienna kationów, zachodząca między roztworem glebowym (ciekłą fazą gleby) a kompleksem sorpcyjnym (stałą fazą gleby o koloidalnym rozdrobnieniu). Biorą w niej udział kationy wymienne, do których zalicza się: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , H^+ .

Analiza właściwości sorpcyjnych gleb najczęściej obejmuje oznaczenie zawartości poszczególnych kationów zasadowych, tj. Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , zasorbowanych przez glebę, sumy kationów zasadowych (S), kationów kwasowych (H), które oznacza się jako kwasowość hydrolityczną i wymienną oraz całkowitej kationowej pojemności sorpcyjnej (PWK), czyli sumy wszystkich kationów zasadowych i kwasowych zaabsorbowanych przez glebę.

Metodyka oznaczania kationów wymiennych składa się z dwóch etapów. W pierwszym etapie następuje wyparcia z kompleksu sorpcyjnego wszystkich wymiennych form poszczególnych kationów do roztworu. W tym celu najczęściej stosowane są odczynniki takie, jak: octan amonu ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) o pH 7,0 i stężeniu $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ lub chlorek baru (BaCl_2) o stężeniu $0,5 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ z trójetyloaminą ($\text{C}_6\text{H}_{15}\text{N}$) o stężeniu $0,2 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ i pH 8,2. Odczynniki te służą do określenia całkowitej kwasowości wymiennej. Natomiast do określenia kwa-

sowości hydrolitycznej (całkowitej kwasowości) stosuje się octan wapnia $((\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca})$ oraz octan sodu $(\text{CH}_3\text{COONa})$ o pH 8,2 w stężeniu $1 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$. Z kolei w celu wyparcia kationów o charakterze zasadowym używa się kwasów, najczęściej roztworu kwasu solnego.

W drugim etapie metody określania zawartości jonów wymiennych oznacza się wyparte z kompleksu sorpcyjnego kationy. Można je oznaczać jako sumę kationów zasadowych (S). Do tego służy między innymi **metoda Kappena**, w której używa się roztworu kwasu solnego (HCl) o stężeniu $0,1 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$. Metoda ta polega na wyparciu z gleby (a dokładniej z kompleksu sorpcyjnego) wszystkich kationów zasadowych przez jony wodoru (H^+) pochodzące z kwasu. Wyparte jony o charakterze zasadowym łączą się z resztą kwasową, tj. anionami chloru (Cl^-), dzięki czemu powstają sole obojętne. Miarą sumy wszystkich kationów zasadowych jest objętość kwasu solnego, która została zobojętniona przez wyparte kationy. Ilość tę określa się, miareczkując wodorotlenkiem sodu (NaOH) pozostały w przesączu glebowym nadmiar kwasu. Warunkiem zastosowania tej metody jest brak węglanów w analizowanej glebie.

Wyparte z kompleksu sorpcyjnego gleby jony można oznaczać też osobno (każdy z nich oddzielnie). W tym celu najczęściej wykorzystuje się następujące metody:

- jony wapnia (Ca^{2+}) i magnezu (Mg^{2+}) oznacza się metodą miareczkową z wersenianem sodu lub też metodą absorpcji atomowej,
- jony potasu (K^+) i sodu (Na^+) oznacza się metodą fotometrii płomieniowej,
- jony wodoru (H^+) oznacza się metodą miareczkowania zasadą.

Oznaczenie kationów zasadowych metodą Kappena

Opis przebiegu eksperymentu

- Odważyć i wsypać do bidonu 20 g suchej gleby.
- Dodać 100 cm^3 HCl o stężeniu $0,1 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$.
- Wytrząsać na mieszadle rotacyjnym przez 1 godzinę.
- Pozostawić na 24 godziny.
- Przesączyć zawiesinę.
- Pobrać 25 cm^3 klarownego przesączu i przenieść do kolby Erlenmayera.
- Dodać 2-3 krople fenoloftaleiny i miareczkować $0,1 \text{ mol NaOH} \cdot \text{dm}^{-3}$ do lekko różowego zabarwienia utrzymującego się przez co najmniej 1 min.

Obliczenia

Sumę kationów zasadowych (S) oblicza się ze wzoru:

$$S = (25 - V) \cdot 0,1 \cdot n \text{ (cmol (+) \cdot kg}^{-1}\text{)},$$

gdzie:

- S – suma kationów zasadowych,
- 25 – objętość przesączu wzięta do miareczkowania (cm^3),
- V – objętość NaOH zużyta do miareczkowania (cm^3),
- 0,1 – stężenie NaOH,
- n – współczynnik przeliczeniowy dostosowany do przyjętych rozcieńczeń, czyli ilości próbki pobranej do analizy, w tym przypadku $n = 20$.

Obliczanie całkowitej pojemności wymiany kationów (PWK) oraz stopnia wysycenia kompleksu sorpcyjnego gleby

Na podstawie otrzymanych wyników można obliczyć całkowitą pojemność wymiany kationów (PWK), która oznacza sumę kationów zasadowych (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) i jonów wodorowych (H^+). Można też obliczyć stopień wysycenia gleby jonami zasadowymi (V_s)

Najczęściej całkowitą kationową pojemność sorpcyjną gleb określa się, dodając sumę kationów zasadowych (S) do kwasowości hydrolitycznej (Hh):

$$PWK = S + H_h \text{ (cmol (+) \cdot kg}^{-1}\text{)},$$

gdzie:

- PWK – całkowita pojemność wymiany kationów ($\text{cmol (+) \cdot kg}^{-1}$),
- S – suma kationów zasadowych ($\text{cmol (+) \cdot kg}^{-1}$),
- Hh – kwasowość hydrolityczna ($\text{cmol (+) \cdot kg}^{-1}$).

Stopień wysycenia gleby jonami zasadowymi oznacza się ze wzoru:

$$V_s = \frac{S \cdot 100}{PWK} (\%),$$

gdzie:

- V_s – stopień wysycenia gleby jonami zasadowymi (%),
- PWK – całkowita pojemność wymiany kationów ($\text{cmol (+) \cdot kg}^{-1}$),
- S – suma kationów zasadowych ($\text{cmol (+) \cdot kg}^{-1}$).

Zadania do wykonania przez studentów

Określić zawartość kationów zasadowych (S) metodą Kappena. Obliczyć całkowitą pojemność wymiany kationów (PWK) oraz stopień wysycenia gleby jonami zasadowymi (V_s). Wyniki należy zestawić w tabeli.

Tabela. Pojemność sorpcyjna gleby

Nr próbki	S	Hh	PWK	V_s
	cmol (+)·kg ⁻¹ gleby			%

8. Kationy wapnia i magnezu w glebie.

Oznaczanie zawartości kationów wymiennych Ca^{2+} i Mg^{2+} metodą miareczkową z wersenianem sodu (metoda kompleksometryczna)

Wprowadzenie

Wapń i magnez należą do tzw. makroelementów – pierwiastków, które w glebie występują w dużych ilościach. Również rośliny pobierają znaczne ilości tych pierwiastków, ponieważ potrzebują ich do prawidłowego wzrostu i rozwoju. Wapń wpływa na prawidłowe usztywnienie tkanek roślin, uodparnia je na porażenia przez patogeny (grzyby, wirusy), korzystnie wpływa na podział komórek roślinnych, reguluje gospodarkę wodną. Ma również wpływ na właściwą strukturę oraz funkcjonowanie błon cytoplazmatycznych jądra i mitochondriów komórkowych. Magnez z kolei jest podstawowym składnikiem chlorofilu, a tym samym wpływa na przebieg fotosyntezy, odgrywa też znaczącą rolę w syntezie RNA i białek roślinnych. Jest również aktywatorem reakcji enzymatycznych przebiegających w organizmie roślinnym.

Wapń i magnez mają też istotne znaczenie w kształtowaniu właściwości gleby. Jedną z najważniejszych cech gleby, która między innymi zależy od zawartości w niej wapnia i magnezu, jest jej kwasowość. Zarówno wapń, jak i magnez obniżają kwasowość, a tym samym podnoszą pH gleby. Wpływają też korzystnie na właściwości buforowe i strukturę gleby.

Jak wszystkie makro- i mikroelementy, wapń i magnez występują w glebie w różnych postaciach. Jedną z nich są jony – Ca^{2+} , Mg^{2+} – zasorbowane wymiennie w kompleksie sorpcyjnym gleby. Są to jednocześnie przyswajalne przez rośliny formy wapnia i magnezu.

Istnieje wiele metod ekstrakcji (wyparcia) kationów zasadowych z kompleksu sorpcyjnego gleby do roztworu. Stosuje się w nich różne związki chemiczne. Jedną z najpopularniejszych metod wykorzystuje w tym celu roztwór octanu amonu ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) o stężeniu $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$. W trakcie przebiegu metody z kompleksu sorpcyjnego gleby wypierane są kationy wapnia i magnezu. Zastępują je jony amonowe NH_4^+ pochodzące z octanu amonu.

Oznaczenie wymiennych kationów wapnia i magnezu metodą miareczkową z wersenianem sodu (metoda kompleksometryczna)

Opis przebiegu eksperymentu

- Odważyć od 2 do 10 g gleby; gleba powinna być powietrznie sucha, roztaćta i przesiana przez sito o średnicy oczek 1 mm (naważka uzależniona jest od zasobności gleby we frakcje iłu i substancje próchniczne: gleby zasobne 2-2,5 g, gleby średnio zasobne do 10 g, gleby mało zasobne >10 g; naważki są ustalane w trakcie zajęć).
- Umieścić glebę w zlewce o pojemności 100 ml i zalać taką ilością roztworu $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ o stężeniu $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ i pH 7, aby roztwór pokrył glebę warstwą grubości około 1 cm.
- Dokładnie wymieszać zawartość zlewki i pozostawić na 24 godziny.
- Po upływie doby ponownie dokładnie wymieszać zawartość zlewki, a następnie sączyć przez twardy sączek do suchych kolb miarowych o pojemności 100 ml; do całkowitego przeniesienia gleby na sączek używa się małych porcji – $1 \text{ mol CH}_3\text{COONH}_4 \cdot \text{dm}^{-3}$.
- W momencie uzyskania około 90 ml przesączu sprawdzić, czy jony Ca^{2+} zostały wyparte z badanej próbki glebowej. W tym celu pod lejek z glebą podstawia się szkiełko zegarkowe i zbiera na nim około 0,5 ml eluatu. Następnie za pomocą kroplomierza dodaje się kilka kropel kwasu szczawowego o stężeniu $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$. Brak reakcji z kwasem (brak zmętnienia) wskazuje, że z badanej próbki glebowej zostały wyparte wymienne kationy zasadowe. Należy przerwać przemywanie gleby i uzupełnić zawartość kolby się do objętości 100 ml roztworem $1 \text{ mol CH}_3\text{COONH}_4 \cdot \text{dm}^{-3}$. Natomiast gdy zaobserwuje się zmętnienie (reakcja z kwasem szczawowym), wówczas kontynuuje się ekstrakcję. Zmętnienie świadczy, że proces wymywania kationów z gleby jeszcze nie został zakończony. Przesącz zbiera się do zlewki podstawionej w miejsce kolby miarowej. Po zakończeniu przemywania należy połączyć wyciągi glebowe i zagęścić w zlewce przez odparowanie na łaźni wodnej do takiej objętości, aby można było przenieść roztwór ilościowo do kolby miarowej o pojemności 100 ml. Przygotowany wyciąg glebowy powinien być klarowny i natychmiast analizowany. W razie konieczności należy go przechowywać w lodówce lub chłodni (w temperaturze 0-5 °C), dodając kilka kropel chloroformu.

Oznaczenie wapnia i magnezu metodą miareczkową z wersenianem sodu

Oznaczenie zawartości wymiennych jonów wapnia i magnezu metodą z wersenianem sodu przebiega w dwóch etapach. W pierwszym etapie oznacza się zawartość jedynie wymiennych jonów wapnia, natomiast w drugim – zawartość sumy wymiennych kationów wapnia i magnezu.

I etap – określenie zawartości wymiennych kationów wapnia (Ca^{2+}):

- Pobrać 10 ml roztworu do kolby stożkowej o pojemności 100 ml.
- Rozcieńczyć wodą destylowaną do objętości około 20 ml i dodać 10 ml 10% roztworu KOH; pH roztworu powinno wynosić 12 lub więcej.
- Dodać około 0,15 g kalcesu jako indykatora.
- Miareczkować wersenianem sodowym (EDTA) o stężeniu $0,02 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ do zmiany koloru z czerwonego na fioletowy lub fioletowoniebieski.

II etap – określenie zawartości sumy wymiennych kationów wapnia i magnezu ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$):

- Pobrać 10 ml roztworu do analiz do kolby stożkowej o pojemności 100 ml.
- Rozcieńczyć wodą do pojemności około 20 ml i dodać 5 ml roztworu buforowego $\text{NH}_4\text{Cl}-\text{NH}_4\text{OH}$; pH powinno wynosić około 10 (9,6 do 10,4).
- Dodać 5-6 kropeł czerni eriochromowej T (EBT).
- Miareczkować wersenianem sodowym (EDTA) o stężeniu $0,02 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ do zmiany koloru z winnoczerwonego na niebieski.

Obliczenia

Zawartość wymiennych kationów Ca^{2+} oblicza się ze wzoru:

$$Ca^{2+} = n \cdot V_1 \text{ (cmol(+)}\cdot\text{kg}^{-1}\text{)},$$

gdzie:

- V_1 – objętość wersenianu sodowego zużyta do miareczkowania (cm^3); miareczkowanie I,
- n – przelicznik zależny od użytych rozcieńczeń; $n = 2$ przy naważce gleby 10 g.

Zawartość wymiennych kationów Mg^{2+} oblicza się ze wzoru:

$$Mg^{2+} = n \cdot (V_2 - V_1) \text{ (cmol(+)\cdot kg}^{-1}\text{)},$$

gdzie:

- V_1 – objętość wersenianu sodowego zużyta w I miareczkowaniu (cm^3),
- V_2 – objętość wersenianu sodowego zużyta do II miareczkowania (cm^3); miareczkowanie II,
- n – przelicznik zależny od użytych rozcieńczeń; $n = 2$ przy naważce gleby 10 g.

Zadania do wykonania przez studentów

Określić zawartość wymiennych jonów wapnia i magnezu w otrzymanej do analizy próbce glebowej. Otrzymane wyniki zaprezentować w tabeli.

Tabela. Zawartość wymiennych jonów wapnia i magnezu w analizowanych glebach

Nr próbki	Zawartość sumy wymiennych jonów wapnia i magnezu ($Ca^{2+} + Mg^{2+}$)	Zawartość jonów wapnia (Ca^{2+})	Zawartość jonów magnezu (Mg^{2+})
	[cmol(+)\cdot kg ⁻¹]		

Zinterpretować uzyskane wyniki zawartości kationów wapnia i magnezu w badanej próbce glebowej, porównując je z typowymi wartościami występującymi w glebach Polski. Podjąć próbę opisanie potencjalnych właściwości analizowanej gleby i przydatności jej do uprawy roślin ozdobnych.

9. Właściwości buforowe gleb.

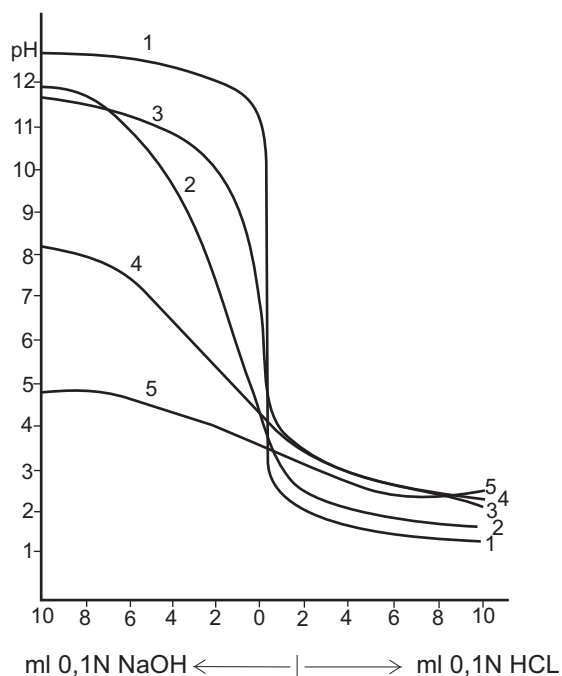
Oznaczanie właściwości buforowych gleby metodą Arrheniusa

Wprowadzenie

Właściwościami buforowymi nazywa się zdolność gleby do utrzymywania względnie stałego poziomu pH pomimo działania czynników zakwaszających lub alkalizujących. Dzięki tym zdolnościom gleba przeciwstawia się nagłym zmianom odczynu.

Zjawisko buforowości ściśle wiąże się ze zjawiskiem utrzymania stanu równowagi pomiędzy jonami wodorowymi i glinowymi zawartymi w kompleksie sorpcyjnym gleby (kwasowość potencjalna) a jonami wodoru w roztworze glebowym (kwasowość czynna). Polega to na tym, że jeżeli w wyniku jakiegokolwiek reakcji biochemicznej zwiększy się w roztworze glebowym ilość jonów H^+ , natychmiast następuje sorbowanie ich nadmiaru przez koloidy glebowe – kompleks sorpcyjny gleby. Odczyn roztworu nie ulega zmianie aż do chwili wysycenia go jonami wodoru. Z kolei dodanie do gleby związków alkalizujących, na przykład wapna lub innego czynnika podnoszącego pH, spowoduje reakcję odwrotną. Z kompleksu sorpcyjnego będą uwalniane jony H^+ i Al^{3+} , a ich miejsce będzie zajmowane przez kationy Ca^{2+} . Zjawisko będzie przebiegało do momentu zubożenia kwasowości potencjalnej. Jak z tego wynika, jony wodorowe oddziałują jak bufor w stosunku do zmiany odczynu.

Do oznaczania właściwości buforowych gleb powszechnie stosuje się metodę Arrheniusa. Polega ona na dodaniu do gleby wzrastających ilości zasady i kwasu oraz pomiarze zmian odczynu gleby. Na tej podstawie wykreśla się krzywe, które obrazują właściwości buforowe analizowanej gleby (rys. 7). Dla porównania wykreśla się krzywą miareczkowania czystego piasku kwarcowego, nie mającego zdolności buforowych. Im większe są właściwości buforowe gleby, tym większa jest odległość między krzywymi, tj. krzywą wyznaczoną dla gleby i dla piasku kwarcowego. Pole między nimi – powierzchnia zbuforowania – jest miarą zbuforowania gleby.



Rysunek 7. Krzywe buforowe wybranych utworów glebowych

Źródło: Dobrzański 1999.

Objaśnienia:

- 1 – krzywa teoretyczna,
- 2, 3 – krzywe buforowe piasku luźnego,
- 4 – krzywa buforowa piasku słabo gliniastego z niewielką zawartością CaCO₃,
- 5 – krzywa buforowa wyznaczona dla poziomu próchnicznego ze znaczną zawartością próchnicy.

Oznaczanie właściwości buforowych gleb metodą Arrheniusa

Opis przebiegu eksperymentu

- Do 10 kolbek o pojemności 50 cm³ odważyć po 10 g gleby przesianej przez sito o średnicy oczek 1 mm.
- Do pięciu kolbek wprowadzić kolejno 2, 4, 6, 8, 10 cm³ 0,1 mol HCl · dm⁻³.
- Do kolejnych pięciu kolbek wprowadzić 2, 4, 6, 8, 10 cm³ 0,1 mol NaOH · dm⁻³.
- Wszystkie kolbki dopełnić wodą destylowaną do objętości 20 cm³.
- Zawartość kolbek dokładnie wymieszać i pozostawić na 24 h.

- Po tym czasie oznaczyć pH zawiesin glebowych ze wzrastającą ilością zasady i kwasu.

Zadania do wykonania przez studentów

Określić właściwości buforowe otrzymanej do analizy próbki gleby. W tym celu należy dokonać pomiaru wartości pH w zawiesinie glebowej z różną ilością odczynników (NaOH i HCl), a następnie otrzymane wartości pH zapisać w tabeli.

Tabela. Wartości pH otrzymane w zawiesinie glebowej z różną ilością odczynników

pH									
w 0.1 NaOH [mol·dm ⁻³]					w 0.1 HCl [mol·dm ⁻³]				
ilości dodanych odczynników [ml]									
2	4	6	8	10	2	4	6	8	10

Na podstawie otrzymanych wyników wykreślić krzywą buforową gleby. W tym celu uzyskane wartości pH należy odłożyć na osi rzędnych, a odpowiadające tym wartościom ilości zasady lub kwasu (w cm³) odłożyć na osi odciętych. W ten sposób otrzyma się krzywą, która prezentuje właściwości buforowe badanej gleby. Na podstawie kształtu otrzymanej krzywej oraz porównując ją z krzywą wzorcową (krzywą buforowania czystego piasku) wyciągnąć wniosek na temat właściwości buforowych badanej gleby. Ponadto określić cechy analizowanej gleby związane z właściwościami buforowymi oraz podjąć próbę opisaną przydatności jej do uprawy roślin ozdobnych.

10. Materia organiczna gleby. Oznaczanie zawartości węgla organicznego metodą Tiurina oraz określanie zawartości próchnicy glebowej

Wprowadzenie

Jednym z podstawowych składników fazy stałej gleby jest materia organiczna, która wpływa na szereg właściwości fizycznych i chemicznych oraz żyzność i urodzajność gleby. W skład materii organicznej gleb wchodzi zróżnicowane produkty pochodzenia roślinnego i zwierzęcego, będące w różnych fazach przeobrażenia, oraz żywe organizmy. Innymi słowy, na materię organiczną składają się resztki organiczne, tj. nierozłożone tkanki roślin i zwierząt, jak też produkty ich częściowego rozkładu, oraz próchnica i edafon, czyli żywe organizmy zasiedlające glebę. **Próchnica** jest złożoną i dość trwałą mieszaniną brunatnych, amorficznych (bezpostaciowych), organicznych substancji koloidalnych. Powstaje w wyniku przeobrażenia (głównie rozkładu) pierwotnych tkanek roślinnych i zwierzęcych przez organizmy glebowe. Próchnica jest mieszaniną różnych koloidów organicznych, które powstały w wyniku rozkładu złożonych związków organicznych (resztek roślinnych i zwierzęcych), a także reakcji syntezy w wyniku działalności mezofauny i mikroorganizmów. Proces prowadzący do powstania próchnicy nosi nazwę humifikacji, dlatego próchnicę nazywa się też humusem.

Większość metod stosowanych do oznaczania zawartości materii organicznej w glebach, w tym próchnicy, to metody pośrednie, polegające na oznaczeniu ilości węgla organicznego (C_{org}) wyrażanego w % lub $g \cdot kg^{-1}$. Natomiast zasoby materii organicznej są wyrażane poprzez obliczenie ilości C_{org} na jednostkę powierzchni gleby ($g \cdot m^{-2}$ lub $Mg \cdot ha^{-1}$). Zasoby te mogą przedstawiać ilość C_{org} zawartą w poziomie genetycznym, warstwie lub całym profilu gleby.

Tabela 10. Zawartość węgla organicznego i próchnicy glebowej w poziomach próchnicznych gleb użytkowanych przez człowieka

Gleba	Zawartość C _{org} [%]	Zawartość próchnicy [Mg·ha ⁻¹]
Czarnoziemy	1,5-2,3	200-270
Czarne ziemie	1,0-3,2	310-590
Brunatne	0,9-1,5	40-100
Płowe	0,5-1,3	30-90
Mady	0,6-2,4	40-120

Źródło: Mocek 2015.

Metody oznaczania węgla organicznego w glebie

Wszystkie metody oznaczania węgla organicznego w glebie opierają się na jego utlenianiu do CO₂. Można je podzielić na metody wagowe i objętościowe. Metody wagowe polegają na spalaniu substancji organicznej i wychwyceniu w urządzeniach absorpcyjnych CO₂ wydzielonego przy utlenianiu węgla. Na podstawie przyrostu wagi urządzenia absorpcyjnego oznacza się ilość CO₂, a następnie wylicza zawartość C_{org}. Spalanie substancji organicznej można przeprowadzić na sucho – w specjalnych piecach w temperaturze 900-1600°C lub na mokro – przy użyciu roztworów silnych utleniaczy. Metody te jednak nie są powszechnie stosowane do masowych oznaczeń.

W laboratoriach gleboznawczych najczęściej stosowane są szybkie, tanie i dosyć dokładne metody objętościowe. Jedną z nich jest metoda Tiurina, która polega na spalaniu materii organicznej na mokro przy użyciu silnego utleniacza – 0,4 N dichromianu potasu (K₂Cr₂O₇) w obecności stężonego kwasu siarkowego (VI) (H₂SO₄) oraz katalizatora siarczanu srebra (I) (Ag₂SO₄). Próbkę gleby dodatkowo się podgrzewa. Zawartość C_{org} określa się na podstawie ilości zużytego utleniacza, którego ilość zostaje wyznaczona pośrednio poprzez zmierzanie związkiem redukującym jego nadmiar pozostający po utlenieniu C_{org}. Jako reduktor nadmiaru utleniacza stosuje się 0,1 N roztwór soli Mohra (FeSO₄(NH₄) · SO₄ · 6H₂O).

Oznaczanie zawartości węgla organicznego metodą Tiurina

Opis przebiegu eksperymentu

- Glebę rozetrzeć w moździerzu i przesiać przez sito o średnicy oczek 0,25 mm.
- Odważyć na wadze analitycznej 0,1-0,5 g gleby.
- Przenieść naważkę gleby do kolby Erlenmayera o pojemności 100 cm³.
- Dodać szczyptę Ag₂SO₄ oraz 10 cm³ 0,4 N mieszaniny chromowej i ostrożnie wymieszać.
- Przykryć kolbę lejkiem i ustawić na nagrzaną płytce elektrycznej.
- Doprowadzić mieszaninę do wrzenia i od tego momentu wolno gotować dokładnie przez 5 minut.
- Ostudzić kolbę (odstawić na 10-15 minut), a lejek spłukać nad kolbą z wewnętrznej i zewnętrznej strony wodą destylowaną przy użyciu tryskawki; spłukać również szyjkę i ścianki kolby.
- Roztwór powinien mieć zabarwienie pomarańczowożółte lub brudnozielone. Zielone zabarwienie świadczy o niewystarczającej ilości utleniacza i oznacza, że należy powtórzyć analizę z mniejszą naważką gleby lub dodając dodatkowo 10 cm³ mieszaniny chromowej.
- Miareczkować 0,2 N roztworem soli Mohra wobec kwasu n-fenyloantranilowego (2-3 krople dodać do kolbek bezpośrednio przed miareczkowaniem) nadmiar pozostałego po redukcji K₂Cr₂O₇. Zabarwienie roztworu zmienia się podczas miareczkowania od ciemnowiśniowobrunatnego przez ciemnofioletowy do jaskrawozielonego. Zmiana zabarwienia jest bardzo wyraźna. Od momentu pojawienia się barwy ciemnofioletowej należy bardzo ostrożnie miareczkować (po 1 kropli) i dokładnie mieszać. Analizę prowadzi się w 2 powtórzeniach.
- W ten sam sposób przeprowadzić oznaczanie „ślepej próby”, tj. próby, w której nie ma gleby.

Obliczenia

Zawartość węgla organicznego oblicza się ze wzoru:

$$\% C_{\text{org}} = \frac{(a - b) \cdot n \cdot 0,003 \cdot 100}{s},$$

gdzie:

- a – objętość soli Mohra zużyta do zmiareczkowania „ślepej próby” [cm³],
- b – objętość soli Mohra zużyta do zmiareczkowania badanej próby [cm³],
- $(a - b)$ – objętość soli Mohra odpowiadająca objętości K₂Cr₂O₇ zużytej na utlenienie C_{org} [cm³],
- n – normalność soli Mohra,
- 0,003 – masa C_{org} utleniana przez 1 cm³ 1 N K₂Cr₂O₇ [g],
- s – naważka gleby [g].

Do przeliczania zawartości C_{org} na zawartość próchnicy stosuje się mnożnik 1,724. Stanowi on wartość przybliżoną, gdyż w rzeczywistości zawartość węgla w materii organicznej wynosi średnio 58% i waha się w zakresie 50-65%. Zawartość próchnicy oblicza się ze wzoru:

$$\% \text{ próchnicy} = \% C_{\text{org}} \cdot 1,724,$$

$$1,724 = \frac{100}{58}$$

Zadania do wykonania przez studentów

Określić zawartość C_{org} i próchnicy w otrzymanej próbce gleby. Porównać otrzymane wartości z typowymi dla gleb mineralnych (tab. 10). Podjąć próbę określenia potencjalnych właściwości analizowanej gleby oraz jej przydatności do uprawy roślin ozdobnych.

11. Całkowita zawartość azotu w glebie. Oznaczanie całkowitej zawartości azotu ($N_{\text{ogółem}}$) w glebie metodą nessleryzacji

Wprowadzenie

Pierwiastki, które są składnikami pokarmowymi dla roślin, występują w różnych postaciach. Suma wszystkich postaci, form danego pierwiastka w glebie, określana jest jako zawartość całkowita (ogółem).

Azot jest podstawowym składnikiem białka, dlatego jest niezbędny dla wzrostu i rozwoju wszystkich organizmów żywych. Ponadto wchodzi w skład kwasów nukleinowych, nukleotydów, witamin, chlorofilu, alkaloidów. Jest składnikiem przyczyniającym się do przyrostu biomasy roślin, zapewnia silny rozwój systemów korzeniowych, stymuluje również pobieranie przez rośliny fosforu, potasu i innych składników pokarmowych. Pobierany jednak w zbyt dużych ilościach może być szkodliwy. Powoduje wówczas zbyt wybujały wzrost roślin i zwiększoną łamliwość pędów. Liście i igły roślin mogą przybierać bardzo ciemne zabarwienie. Ponadto opóźnione jest dojrzewanie roślin, zmniejsza się ich odporność na choroby (zwłaszcza grzybowe). Generalnie pogarszają się ich walory zdrowotne i dekoracyjne.

Całkowita zawartość azotu ($N_{\text{ogółem}}$) w glebach mineralnych najczęściej wynosi od 0,02 do 0,35%, a w glebach organicznych od 1 do 4%. Zdecydowana jego większość występuje w związkach organicznych. Nawet 99% całkowitej zawartości azotu może stanowić materia organiczna. Dlatego największe zawartości azotu występują w powierzchniowych poziomach próchnicznych gleb mineralnych. Natomiast w głębiej położonych poziomach profilu glebowego obserwuje się drastyczne zmniejszenie jego zawartości.

Oznaczanie całkowitej zawartości azotu w glebach

Powszechnie stosowaną metodą służącą do oznaczenia całkowitej zawartości azotu w glebie jest **metoda Kjeldahla**. Polega ona na całkowitym rozkładzie materii organicznej gleby za pomocą stężonego kwasu siarkowego na gorąco. W tych warunkach węgiel utlenia się do CO_2 , wodór do H_2O , azot z kolei przechodzi w $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Natomiast azot znajdujący się w glebie w formie azotanowej, pod wpływem kwasu siarkowego, ulega rozkładowi do tlenków azotu. W celu oznaczenia całkowitej zawartości azotu redukuje się azotany. Dokonuje się tego w obecności kwasu siarkowego za pomocą drobno zmielonego żelaza

lub przez dodanie tiosiarczynu sodu. Następuje uwolnienie związanego w siarczanie amonu azotu do wolnego amoniaku w procesie destylacji przez alkalizację środowiska przy pomocy NaOH. W klasycznej metodzie Kjeldahla oddestylowany amoniak wiąże się w określonej ilości mianowanego roztworu kwasu siarkowego, którego nadmiar neutralizuje się ekwiwalentną ilością mianowanego NaOH. Procedura ta została znacznie uproszczona przez wprowadzenie kwasu borowego, jako roztworu wiążącego oddestylowany amoniak. Amoniak związany w kwasie borowym wiąże się ilościowo z mianowanym kwasem siarkowym do siarczynu amonu.

Metoda bezpośredniej nessleryzacji jest szybsza w porównaniu z metodą Kjeldahla, jednak jest bardziej wrażliwa na substancje przeszkadzające, takie jak: sole wapnia, magnezu, żelaza, siarkowódór i inne. Powszechnie jest stosowana do oznaczania azotu w wodach, lecz wykorzystuje się ją także do analizy gleb. Aby oznaczyć azot ogólny tą metodą, podobnie jak w metodzie Kjeldaha, wszystkie związki azotu należy przeprowadzić do formy amonowej poprzez mineralizację przy użyciu kwasu siarkowego. Metoda polega na reakcji jonów amonowych z odczynnikiem Nesslerera. W reakcji powstaje związek o żółtopomarańczowym zabarwieniu, którego intensywność jest proporcjonalna do stężenia jonów amonowych. Metodę stosuje się przy większych stężeniach jonów amonowych. W przypadku występowania dużych stężeń substancji przeszkadzających należy stosować metodę destylacji.

Oznaczanie całkowitej zawartości azotu ($N_{\text{ogółem}}$) metodą bezpośredniej nessleryzacji

Opis przebiegu eksperymentu

Przygotowanie próbek

- Z powietrznie suchej gleby przesianej przez sito o średnicy oczek 1 mm pobrać próbę średnią (około 50 g), utrzyć ją w porcelanowym moździerzku i przesiać przez sito o średnicy oczek 0,25 mm.
- Odważyć 0,5 g powietrznie suchej gleby.
- Przenieść nawązkę do specjalnej kolby i dodać 30 ml stężonego kwasu siarkowego.
- Kolbę umieścić w kolumnie mineralizacyjnej.
- Prowadzić mineralizację w temperaturze ok. 440 °C; po okresie wstępnego spalania samym kwasem siarkowym dodawać kroplami perhydrol, który pełni rolę katalizatora.

- Spalać aż do odbarwienia cieczy.
- Po ostygnięciu przenieść do kolby o pojemności 100 ml i uzupełnić do kreski wodą destylowaną.
- Z tak przygotowanej próby pobrać 10 ml roztworu w celu neutralizacji pH.
- Dodać wody destylowanej do objętości 50 ml.
- Wrzucić papierek lakmusowy i dodać kroplami 10% NaOH do zmiany zabarwienia papierka na kolor niebieski.
- Uzupełnić wodą destylowaną do 100 ml.

Wykonanie oznaczenia

- Przenieść 9,4 ml próby do probówek miarowych 10 ml.
- Dodać 0,2 ml soli Seignetta i 0,4 ml odczynnika Nesslerera.
- Podobnie postąpić z roztworami wzorcowymi.
- Na spektrofotometrze określić absorbancję wzorców przy długości fali 440 nm i wykreślić krzywą wzorcową; do analizy kolejno podstawia się wzorce o wzrastającej zawartości azotu, poczynając od próby zerowej.
- Określić całkowitą zawartość azotu w badanej próbce gleby, wykonując pomiar absorbancji na spektrofotometrze przy długości fali 440 nm.

Zadanie do wykonania przez studentów

Określić w otrzymanej do analizy próbce gleby całkowitą zawartość azotu ($N_{ogółem}$) metodą bezpośredniej nessleryzacji. Wynik otrzymany w $\mu\text{gN}_{ogółem} \cdot \text{ml}^{-1}$ przeliczyć na $\% N_{ogółem}$. Obliczenia należy rozpocząć od określenia masy badanej próbki glebowej w 1 ml roztworu do analizy. Następnie porównać otrzymane wartości $N_{ogółem}$ z typowymi zawartościami tej formy azotu w glebach mineralnych. Wnioskować na temat zasobności analizowanej gleby w $N_{ogółem}$.

12. Całkowita zawartość fosforu w glebie. Oznaczanie całkowitej zawartości fosforu ($P_{\text{ogółem}}$) metodą wanadomolibdenową.

Wprowadzenie

Fosfor, obok azotu, ma ogromny wpływ na wzrost i rozwój roślin. Korzystnie wpływa na ich rozwój generatywny, czyli kwitnienie, powstawanie nasion i dojrzewanie. Uczestniczy w podziałach komórek oraz tworzeniu tłuszczów i białek w komórkach roślinnych. Wpływa też na rozwój korzeni, a także na odporność roślin na pewne choroby. Niedostatek fosforu jest podwójnie szkodliwy, ponieważ wpływa na pobieranie innych składników pokarmowych przez rośliny.

Całkowita zawartość fosforu ($P_{\text{ogółem}}$) w glebach wynosi od 0,01 do 0,2% dekaekstenu tetrafosforu (P_2O_5). Występuje on zarówno w formach organicznych, tj. w próchnicy, fitynach, fosfolipidach, kwasach nukleinowych zawartych w resztkach roślinnych i zwierzęcych oraz w minerałach budujących fazę stałą gleby (fluoroapatyt, apatyt węglanowy, wiwianit, glaukonit) i w solach kwasu ortofosforowego (np. fosforanach i wodorofosforanach wapnia i magnezu). W profilach gleb zazwyczaj największa zawartość fosforu ogółem występuje w powierzchniowych poziomach próchnicznych i wraz z głębokością ulega zmniejszeniu. Może też być rozmieszczony w miarę równomiernie, chociaż w powierzchniowych częściach gleby dominują formy organiczne, natomiast w miarę zwiększania się głębokości zwiększa się ilość form mineralnych.

Oznaczanie całkowitej zawartości fosforu ($P_{\text{ogółem}}$) metodą wanadomolibdenową

Opis przebiegu eksperymentu

(przygotowanie próbek glebowych jest identyczne,
jak w przypadku określania całkowitej zawartości azotu)

Wykonanie oznaczenia

- Przenieść 10 ml próby do kolbki miarowej 50 ml.
- Dodać 10 ml mieszaniny składającej się z roztworu kwasu azotowego, metawanadanu amonowego i molibdenianu amonowego (wymienione związki w mieszaninie występują w stosunku 1:1:1), uzupełnić wodą destylowaną do kreski i dokładnie wymieszać.
- Podobnie postąpić z roztworami wzorcowymi.
- Po upływie 30 minut określić na spektrofotometrze absorbancję wzorców przy długości fali 400 nm i wykreślić krzywą wzorcową; do analizy podstawiać kolejno wzorce o wzrastającej zawartości fosforu, poczynając od próby zerowej.
- Określić całkowitą zawartość fosforu w badanej próbce gleby, wykonując pomiar absorbancji na spektrofotometrze przy długości fali 400 nm.

Zadanie do wykonania przez studentów

Określić w otrzymanej do analizy próbce gleby całkowitą zawartość fosforu ($P_{\text{ogółem}}$) metodą wanadomolibdenową. Wynik otrzymany w $\mu\text{g } P_{\text{ogółem}} \cdot \text{ml}^{-1}$ przeliczyć na $\%P_{\text{ogółem}}$. Obliczenia należy rozpocząć od określenia masy badanej próbki glebowej w 1 ml roztworu do analizy. Porównać otrzymane wartości z typowymi zawartościami fosforu ogółem w glebach mineralnych. Na tej podstawie wnioskować na temat zasobności analizowanej gleby w $P_{\text{ogółem}}$.

13. Przystawialne formy azotu glebowego. Oznaczanie azotu amonowego (N_{NH_4}) metodą bezpośredniej nessleryzacji

Wprowadzenie

Całkowita zawartość pierwiastków w glebie nie decyduje bezpośrednio o jej zasobności w składniki pokarmowe dla roślin. Również ilość form wymiennych poszczególnych pierwiastków, ani też soli rozpuszczalnych w wodzie nie odzwierciedla w pełni stanu zasobności gleb w odniesieniu do potrzeb pokarmowych roślin. Na stopień możliwości zaspokojenia tych potrzeb najlepiej wskazuje zawartość w glebie tzw. przyswajalnych dla roślin form składników pokarmowych. W skład form przyswajalnych wchodzi nie tylko sole rozpuszczalne w wodzie, ale również część składników związanych z kompleksem sorpcyjnym. Ilość składników dostępnych dla roślin zmienia się nieustannie w ciągu okresu wegetacji, ponieważ poza oddziaływaniem samej rośliny wpływają na nią również takie czynniki, jak: pH gleby, wilgotność, ilość i jakość próchnicy i inne.

Azot w środowisku glebowym występuje w formach organicznych i mineralnych. Przystawialne dla roślin są wyłącznie mineralne połączenia azotu, tj. forma **azotanowa (jony NO_3^-)** i **amonowa (jony NH_4^+)**. Łatwo przystawialny azot mineralny wynosi zazwyczaj od 1 do 5% azotu ogółem. Azotany (NO_3^-) niemal w całości występują w roztworze glebowym i są pobierane przez rośliny głównie w glebach o odczynie kwaśnym. Natomiast w glebach o odczynie obojętnym i słabo zasadowym pobierana jest przede wszystkim forma amonowa (NH_4^+). Do syntezy związków organicznych przez rośliny może być wykorzystana jedynie forma amonowa. Azot azotanowy pobrany przez rośliny musi ulec redukcji. Jest to proces enzymatyczny, którego końcowym produktem jest amoniak.

Jony amonowe są mniej narażone na wymywanie z gleby niż jony azotanowe, ponieważ mogą być sorbowane przez koloidy glebowe. Jednak część jonów NH_4^+ może zostać silnie związana przez minerały ilaste i stać się niedostępna dla roślin.

Oznaczanie zawartości azotu amonowego (N_{NH_4}) metodą bezpośredniej nessleryzacji

Opis przebiegu eksperymentu

- Odważyć 20 g świeżo pobranej gleby do butelki o pojemności około 500 cm³.
- Dodać 100 ml 1% roztworu K_2SO_4 .
- Mieszać przez 30 min na mieszadło obrotowym.
- Przesączyć przez sączek.
- Pobrać 5 ml uzyskanego przesączu probówki 10 ml.
- Dodać 0,2 ml soli Seignette'a.
- Dodać wody destylowanej do około 9 ml.
- Dodać 0,5 ml odczynnika Nesslera.
- Uzupełnić zawartość probówki do kreski wodą destylowaną i dokładnie wymieszać.
- W podobny sposób przygotować roztwory wzorcowe.
- Na spektrofotometrze określić absorbancję wzorców przy długości fali 440 nm i wykreślić krzywą wzorcową.
- Określić zawartość azotu amonowego w badanych próbach glebowych, wykonując pomiary absorbancji na spektrofotometrze przy długości fali 440 nm.

Zadanie do wykonania przez studentów

Określić zawartość amonowej formy azotu w otrzymanej do analizy próbce gleby. Wynik otrzymany w $\mu\text{g NH}_4^+ \cdot \text{ml}^{-1}$ przeliczyć na $\text{mgNH}_4^+ \cdot 100\text{g}^{-1}$ gleby. Porównać otrzymaną wartość z typowymi zawartościami azotu amonowego w glebach mineralnych. Na tej podstawie wnioskować na temat zasobności analizowanej gleby w N_{NH_4} .

14. Przystawialne formy fosforu glebowego. Oznaczanie przystawialnych form fosforu metodą Egnera-Riehma

Wprowadzenie

Zawartość dostępnych dla roślin form fosforu jest niewielka i stanowi zaledwie 4% całkowitej zawartości. Najczęściej są to ilości wynoszące od 0,2 do 8 mg 100g⁻¹. Formą dostępną dla roślin jest anion kwasu ortofosforowego H₂PO₄⁻.

Do oceny klasy zasobności gleby w przystawialne formy fosforu służą tzw. liczby graniczne (tab. 11).

Tabela 11. Klasy zasobności gleby w przystawialne formy fosforu

Klasa zasobności	Ocena zawartości	Zawartość P ₂ O ₅ mg 100g ⁻¹
V	b. niska	< 5,0
IV	niska	5,1-10,0
III	średnia	10,1-15,0
II	wysoka	15,1-20,0
I	b. wysoka	> 20,0

Źródło: Mocek i in. 1997.

Do oznaczania przystawialnych form fosforu powszechnie stosuje się metodę Egnera-Riehma. Polega ona na wyekstrahowaniu związków fosforu z gleby za pomocą zakwaszonego kwasem solnym mleczanu wapniowego (CH₃·CHO·H·COO)₂Ca). Używany do ekstrakcji roztwór jest 0,04 N wobec mleczanu wapnia oraz 0,02 N wobec kwasu solnego. Jego pH wynosi 3,6. Jest on dobrze zbuforowany zarówno w stosunku do jonów wodorowych, jak i jonów wapniowych – dwu czynników wpływających w istotny sposób na rozpuszczalność związków fosforu w glebie. Obecność wapnia powoduje tylko nieznaczne rozpuszczenie się związków próchnicznych, dzięki czemu otrzymuje się przesącz słabo zabarwiony lub całkowicie bezbarwny, nadający się do oznaczeń kolorymetrycznych. Zasadniczą cechą tego odczynnika jest zdolność przeprowadzania do roztworu takich ilości związków fosforu, jakie mogą być pobrane przez rośliny. Fosfor w przesączu glebowym oznacza się kolorymetrycznie. Oznaczenie to polega na pomiarze intensywności zabarwienia błękitu fosforomolibdenowego – związku kompleksowego, który tworzą jony ortofosforanowe w środowisku kwaśnym w obecności fotoreksu i chlorku cynawego (SnCl₂) jako reduktora. Intensyw-

ność tego zabarwienia zależy od ilości jonów fosforowych. Fotoreks spełnia rolę utrwalacza otrzymanego zabarwienia. Przy braku utrwalacza zabarwienie bardzo szybko znika z powodu zbyt kwaśnego środowiska.

Oznaczenie przyswajalnych form fosforu metodą Egnera-Riehma

Opis przebiegu eksperymentu

- Odważyć 5 g suchej gleby do butelki o pojemności około 500 cm³.
- Dodać 250 cm³ roztworu mleczanu wapnia do ekstrakcji.
- Mieszać przez 90 min na mieszadle obrotowym (około 40 obrotów na minutę).
- Przesączyć przez sączek, odrzucając pierwsze 20-30 cm³ przesączu (należy stosować sączki bezfosforowe i pezpotasowe).
- Pobrać 25 cm³ przesączu glebowego do próbki Egnera.
- Dodać 2 cm³ mieszaniny molibdenianu z fotoreksem i wymieszać.
- Dodać 1 cm³ roztworu chlorku cynawego i ponownie wymieszać.
- Pozostawić próbki w ciemnym miejscu.
- W podobny sposób przygotować roztwory wzorcowe.
- Na spektrofotometrze określić absorbcję wzorców przy długości fali 660 nm i wykreślić krzywą wzorcową.
- Zmierzyć intensywność niebieskiego zabarwienia na spektrofotometrze przy długości fali 660 nm.
- Określić zawartość przyswajalnego fosforu w badanej próbce (najwcześniej po 30 min, najpóźniej po 6 h), wykonując pomiar absorbcji na spektrofotometrze przy długości fali 660 nm.

Obliczenia

Zawartość fosforu wyraża się najczęściej w mg P₂O₅·100g⁻¹:

$$mgP_2O_5 \cdot 100g^{-1} = \frac{a \cdot 100}{s}$$

gdzie:

- a – miligramy P₂O₅ w 25 cm³ przesączu,
- s – masa gleby (g) odpowiadająca 25 cm³ przesączu (w podanej procedurze 25 cm³ przesączu odpowiada 0,5 g gleby).

Zadanie do wykonania przez studentów

Określić zawartość przyswajalnych form fosforu. Na podstawie wyniku analizy wskazać klasę zasobności gleby, którą bierze się pod uwagę przy ustalaniu dawek nawozów mineralnych.

Obliczyć w kg masę przyswajalnego fosforu znajdującą się w warstwie ornej badanej gleby na powierzchni 1 ha. W tym celu należy przyjąć, że powierzchniowa warstwa gleby o miąższości 20 cm na powierzchni 1 ha waży 3000 000 kg. Wyniki przedstawić w tabeli.

Nr próbki	Zawartość fosforu [mg P₂O₅·100g⁻¹]	Klasa zasobności w fosfor	Ilość fosforu przyswajalnego w warstwie ornej [kg P·ha⁻¹]

Porównać otrzymaną wartość z typowymi zawartościami przyswajalnych form fosforu w glebach mineralnych. Na tej podstawie wnioskować na temat zasobności analizowanej gleby w fosfor dostępny dla roślin.

Literatura

- Bajkiewicz-Grabowska E., Mikulski Z. (2011), *Hydrologia ogólna*. Wyd. PWN, Warszawa.
- Bednarek R., Dziadowiec H., Pokojaska U., Prusinkiewicz Z. (2004), *Badania ekologiczno-gleboznawcze*. PWN, Warszawa.
- Białousz S., Skłodowski P. (1996), *Ćwiczenia z gleboznawstwa i ochrony gruntów*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Brożek S. (2017), *Gleboznawstwo leśne. Synteza wiedzy o glebach zbliżonych do naturalnych i o ich relacjach z roślinnością w lasach Polski*. Wyd. Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Kraków.
- Fotyma M., Mercik S. (1995), *Chemia rolna*. PWN, Warszawa.
- Hillel D. (2012), *Gleba w środowisku*. Wyd. PWN, Warszawa.
- Instrukcja Obsługi: ICW laboratory permeameters for determination of water permeability of soil samples (1995) Eijkelkapm.
- Kabała C., Marzec M. (2007), *Niektóre konsekwencje zmian klasyfikacji uziarnienia gleb*. „Rocz. Glebozn.” 58, 1/2. PWN, Warszawa: 33-44.
- Kasińska L., Sieniawska-Kuras A. (2009), *Architektura krajobrazu dla każdego*. Wydawnictwo i Handel Książkami „KaBe”, Krosno.
- Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych – PTG 2008 (2009), Rocz. Glebozn. 60, 2. Warszawa.
- Koncewicz J., Lewak S. (red.) (2012), *Fizjologia roślin*. PWN, Warszawa.
- Krauze A. (1998), *Ćwiczenia specjalistyczne z ochrony środowiska przyrodniczego*. Wyd. ART, Olsztyn.
- Mercik S. (red.) (2004), *Chemia rolna. Podstawy teoretyczne i praktyczne*. Wyd. SGGW, Warszawa.
- Mocek A. (red.) (2015), *Gleboznawstwo*. PWN, Warszawa.
- Mocek A., Drzymała S., Maszner P. (1997), *Geneza, analiza i klasyfikacja gleb*. Wyd. Akademii Rolniczej w Poznaniu, Poznań.
- Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z. (1991), *Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin*. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa.
- Rewut I. B. (1980), *Fizyka gleb*. PWRiL, Warszawa.

Systematyka gleb Polski (1989), „Rocz. Glebozn.” 40, ¾. PWN, Warszawa.
Systematyka gleb Polski (2011), „Rocz. Glebozn.” 62, 3. PWN, Warszawa.
Zawadzki S. (red.) (1999), *Gleboznawstwo*. PWRiL, Warszawa.

