

PAVEL BLAŽKA<sup>1</sup>, ZOFIA FISCHER<sup>2</sup>

<sup>1</sup>profesor emeritus

Uniwersytet Południowo Czeski

Bronisovska 1645/31A, 370 05 České Budějovice, Czechia

<sup>2</sup>profesor emeritus

Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawła II

Konstantynów 1 H, 20-708 Lublin

E-mail: zofiaf@plusnet.pl

## WODA A ODDYCHANIE GLEBY

### WSTĘP

Związki między glebą i wodą są omawiane szeroko w literaturze gleby, jako konieczne dla zrozumienia funkcjonowania systemu glebowego w interakcji z atmosferą i klimatem. Analizowane są głównie dwa problemy:

- ilościowe określenie stanu gleby i wody wyliczane ze stosunku masy wody do gleby; na ogół wartość ta jest określana jako grawimetryczna zawartość wody (ang. gravimetric water content, GWC) (GARDNER 1986, REYNOLDS i TOPP 2008);

- ilościowa ocena tendencji gleb do przyciągnięcia lub przemieszczania się wody, mierzona jako ujemne ciśnienie, nazywana potencjałem wody glebowej; ta wartość została zaproponowana na początku XX w. (BUCKINGHAM 1907, GARDNER 1919).

Istnieje jeszcze kilka innych form wody glebowej, ale szczególnie konieczne wydaje się omówienie jednej z nich, a mianowicie pojemności wodnej gleby (ang. water holding capacity, WHC). Jest to ilościowe określenie wzajemnego stanu gleby i wody, wyliczane ze stosunku masy wody do masy gleby, przy całkowitym jej nasączeniu wodą. Ta proporcja wody w glebie jest ważna z punktu widzenia adaptacji do zmieniających się warunków wilgotnościowo-klimatycznych, mówi ona bowiem o zdolności zatrzymywania wody przez daną glebę. Mając na uwadze wzrastającą częstotliwość występowania zjawiska suszy, jest zrozumiałe, że jest to cecha gleb, która coraz częściej staje w centrum zainteresowania. Wielu autorów

opisuje analogiczną wartość, nazywając ją pojemnością polową (PLASTER 2009). WHC definiuje się jako ilość [g] wody zatrzymanej przez g suchej masy gleby, gdy woda jest w nadmiarze. Tak więc, podczas gdy GWC określa stosunek wody do suchej masy gleby w danym momencie, czyli wody, która niekoniecznie połączyła się z agregatami glebowymi, to WHC szacuje, ile wody może być zatrzymane w tej glebie. Jest to swoista historia gleby jaka była w sytuacji nadmiaru wody oraz prognozowanie ile dana gleba może zatrzymać wody w sytuacji ulewnych opadów. Właśnie ta cecha (WHC) często błędnie uznawana jest za stałą cechę charakterystyki gleb, korelującą z ich aktywnością biologiczną (YOUNG i SISSON 2002).

Daje do myślenia fakt, że pomimo uznawania WHC za jeden z najważniejszych wskaźników wilgotności gleby (ILSTED i współaut. 2000), ta właśnie właściwość jest pomijana w opracowaniach podręcznikowych. Wynika to z faktu, że wciąż nie ma konsensusu w sprawie zdefiniowania stabilności pojemności wodnej w różnych glebach, jej definicji, metodyki, a tym samym użyteczności tego pojęcia, pomimo że jest ono tak ważne.

W czasach, gdy te problemy były formułowane po raz pierwszy (1905-1920), fizycy i chemicy nie w pełni rozumieli zjawisko przyciągania i odpychania pomiędzy substancjami. Zjawiska te zostały później określane jako kohezja lub adhezyjne siły międzycząsteczkowe lub też adsorpcja (TISDALL i OADES 1982), a w pełni zrozumiałe stały

się w latach późniejszych (LIVINGSTON i TOPP 2008). Obecnie określane są one najczęściej jako „słabe” interakcje. Dalsze próby zrozumienia fizyki gleby nastąpiły w pierwszej połowie XX w. i były ukierunkowane na potencjały wodne. Potencjał wodny jest powszechnie określany jako suma kilku potencjałów (STUMM i MORGAN 1996), wprawdzie jednak YOUNG i SISSON (2002) słusznie uważają że “it is theoretically invalid for them to be treated as additive”.

Zatrzymajmy się jednak na chwilę nad zagadnieniem, od czego zależy zdolność zatrzymywania wody przez glebę, dlaczego po ulewnym deszczu jedna gleba robi się sucha w ciągu godziny, a druga pozostaje wilgotna przez kilka dni. Prawdą podręcznikową jest stwierdzenie, że zdolność zatrzymywania wody przez glebę jest efektem struktury jej ziaren, a więc ich wielkości, przestrzeni między nimi i napięcia powierzchniowego wody. Między innymi jest to przyczyna, dla której często uważa się WHC za stałą cechę gleby tak dalece, że wykonywane są nawet krajowe mapy WHC gleb w celu charakterystyki ich właściwości.

Nie zaprzeczając, że zależność taka istnieje, szczególnie w glebach ubogich w substancje organiczne, należy jednak również docenić rolę grup funkcjonalnych, hydrofilnych w glebach bogatych w substancje organiczne. Grupy takie, np. w glebach humusowych, są zdolne do wiązania mostków wodorowych, zmieniając kształt molekuł humusu. Teoria istotnej roli związków organicznych w zatrzymywaniu wody w glebie w oparciu o „słabe wiązania”, została dokładniej rozpracowana dopiero przez WERSHAW (1999), PICCOLO (2001) i SCHAUMANNA i BERTMER (2008). Z prac tych wynika ewidentnie, że substancje organiczne, ich skład i budowa, odgrywają istotną rolę w zatrzymywaniu wody przez glebę. Stwierdzenie to podważa zarówno decydującą rolę struktury fizycznej skały macierzystej w utrzymaniu wody w glebie, jak i niezmienną tę cechę. Dodatkowo stwierdzono bardzo ścisłą zależność między wilgotnością określoną grawimetrycznie a zdolnością zatrzymywania wody (WHC) przez organiczne gleby leśne (BLAŽKA i FISCHER 2014). W ciągu jednego sezonu WHC może zmieniać się nawet ponad dwukrotnie, co nie następuje jednak natychmiast po opadzie deszczu. Zmiany WHC następują zawsze z pewnym opóźnieniem w stosunku do zmian GWC. W oparciu o tę linię myślenia, związek między wilgotnością, pojemnością wodną a substancjami organicznymi (GWC, WHC, SOM – ang. substances organic matter) jest bezdyskusyjny. Wprowadzanie wody przez mostki wodorowe do związków huminowych można uważać za dostosowanie ich

form przez cząsteczki wody wilgotnościowej (GWC). Tak ”zreformowana” gleba może więc przyjąć dodatkowe cząsteczki wody po następnym okresie deszczowym lub po dostawie wody gruntowej, gdy woda staje się bardziej dostępna. Korelacje między wilgotnością grawimetryczną, pojemnością wodną (WHC) a substancjami organicznymi w glebie (SOM) są zależnością istotną statystycznie, potwierdzającą silny związek fizyczny między procesem suszenia i nawilżania gleb, zarówno w sytuacji nagłych opadów, jak i w cyklu rocznym. Tak więc, synchronizacja cykli suszenia i nawilżania w trakcie susz i powodzi, tak częstych obecnie na naszym kontynencie, będą miały kluczowe znaczenie dla oceny ich wpływu na gleby. Przywrócenie wyższych wartości WHC w suchych glebach jest możliwe, jednak jest to proces powolny. Powiązania między GWC i WHC nie są jednokierunkowe; można spodziewać się, że gleby o wyższym WHC najprawdopodobniej będą utrzymać w sobie wodę dłużej i w większej ilości. Przez regularne, obfite podlewanie gleby można prawdopodobnie uzyskać przyspieszenie wzrostu pojemności wodnej gleby.

Należy stwierdzić, że zależności w trójkącie  $GWC < SOM < WHC$  są z sobą nierozzerwalnie związane, zmieniając się wielokrotnie w ciągu roku, a nawet przy pojedynczych opadach. Gdy rośnie wilgotność, uruchamiają się słabe wiązania wodorowe związków organicznych, co powoduje wzrost właściwości zatrzymywania wody przez glebę. Odwrotny proces zachodzi przy wysychaniu gleby.

## ODDYCHANIE GLEBY

W oparciu o stwierdzenie, że zmiana wilgotności w glebie połączona jest ze zmianą nie tylko dostępu wody dla organizmów glebowych, ale również zmianą substancji organicznej, a więc podstawowego substratu, ocena aktywności biologicznej gleby jest sprawą trudną i dyskusyjną. Jako ogólny wskaźnik aktywności gleby najczęściej stosowany jest pomiar natężenia oddychania. Jest to nieco symboliczny termin, stosowany pierwotnie dla organizmów glebowych, natomiast w rzeczywistości w glebie mierzona jest szeroko rozumiana recyrkulacja substancji organicznej. Będziemy jednak, zgodnie z literaturą, posługiwać się sformułowaniem oddychanie lub słowem „respiracja”, mając jednak na myśli zarówno oddychanie, jak i fermentację.

Literatura na temat oddychania gleb jest obszerna (np. LUO i ZHOU 2010, LUAN i współaut. 2012). Opiera się ona zarówno na pomiarach terenowych, jak i laboratoryjnych eksperymentach, które są bardziej precyzyj-

ne. Należy jednak brać pod uwagę, że badania eksperymentalne są metodycznie związane z przesiewaniem i mieszaniem, a tym samym napowietrzaniem badanej gleby. Jest to konieczne w celu uzyskania powtarzalności wyników, jest jednak równoznaczne z wykonywaniem badań na swojego rodzaju „preparacie glebowym”. Przy badaniach właściwości fizycznych lub biologicznych, lepiej kontrolowalne są eksperymenty laboratoryjne, gdyż są one prostsze i bardziej jednolite. Aby jednak zrozumieć procesy glebowe, należy stosować oba podejścia.

Mając na uwadze, że w glebie zachodzi równocześnie oddychanie tlenowe i fermentacja, konieczne jest kilka uwag wprowadzających do tematu respiracji gleby.

Słowo oddychanie od XVIII w. określa zużycie tlenu przez ludzi i zwierzęta, a w biochemii to część ogólnego schematu metabolizmu energetycznego dla większości organizmów prokariota i eukariota, z wyjątkiem obligatoryjnych beztlenowców (CAMPBELL 1993, ALBERTS i JOHNSON 2002, MCGILL 2007). Oddychanie gleby, czyli oddychanie całego systemu glebowego, zostało jako termin wprowadzone później. Prawdopodobnie jednym z pierwszych, który zastosował ten termin w pierwszej połowie XX w. był VAN SUCHTELEN (1910). Oddychanie gleby jest procesem biologicznym, ale aby wyniki były zgodne z rzeczywistością, wyjątkowo ściśle muszą być kontrolowane i rozumiane prawa fizyki, biochemii, a nawet geologii całego środowiska glebowego. Stwierdzenie to brzmi jak truizm, jednak niestety zbyt często właśnie w pracach glebowych zasada ta nie jest przestrzegana, ale nie wynika to jedynie z niedoceniaenia problemów, ale często z trudności metodycznych.

Już od 1850 r. prace nad aktywnością gleby oparte były na wydzielaniu  $\text{CO}_2$ . Wprowadzenie niezawodnych spektrofotometrów IR umożliwiło pomiary niskich stężeń i małych zmian stężenia dwutlenku węgla w badaniach gleby, co wywołało pewne zmiany w terminologii. Aktywność biologiczna gleby, mierzona jako produkcja dwutlenku węgla, jest obecnie dość często określana jako oddychanie gleby (LUO i ZHOU 2010, THOMSON i współaut. 2010). Jednak to GAUMONT-GUAY i współaut. (2006) sformułowali ten problem wyjątkowo celnie: „The efflux of carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) from the soil, referred to hereafter as soil respiration...”, a więc «wyptyły dwutlenku węgla z gleby, zwany dalej oddychaniem gleby...». Istnieje bowiem sporo źródeł dwutlenku węgla w glebach, obok procesów opartych na substratach nieorganicznych, na przykład zakwaszenie węglanów kwasami lub pewne typy procesów fer-

mentacyjnych, zachodzące przy ograniczonej dostępności tlenu.

Dwutlenek węgla jako produkt oddychania powstaje głównie w cyklu kwasów trójkarboksylowych, wiąże się z fosforylacją, zużyciem tlenu, a stosunek wartości bezwzględnych moli lub objętości jest ich ilorazem oddechowym:

$$RQ = [\text{produkcja } \text{CO}_2] / [\text{zużycie } \text{O}_2]$$

Zarówno oddychanie, jak i fermentacja, są jedynymi procesami, w których organizmy uzyskują energię ze związków organicznych. W glebie, sytuacja równoczesnego występowania fermentacji i oddychania jest spotykana często, zwłaszcza, gdy gleba jest mokra. Oba te procesy wymagają tych samych substratów, dla ich oceny jest zatem niezbędne podawanie informacji o dostępnych substancjach organicznych (SOM), zwłaszcza w suchym środowisku. Ilość dwutlenku węgla wytwarzanego w procesie fermentacji odpowiada znacznie mniejszemu zyskowi użytecznej energii (około 3 do 4 razy), w porównaniu do oddychania. Pomimo nawet niskiej ilości  $\text{O}_2$  w glebie, która jest wystarczająca dla większości mikroorganizmów, oddychanie uzupełnione przez fermentację jest prawdopodobnie najczęstszą sytuacją w głębszych warstwach gleby, które z zasady cechują się małą dostępnością tlenu. W rezultacie powstaje sytuacja, gdy  $RQ \geq 1$ . Z drugiej strony, wiele produktów fermentacji może być łatwo dostępnymi substratami oddychania. Znajduje to oczywiście odzwierciedlenie w interpretacji wartości wskaźnika RQ. Bardzo często limity RQ podaje się w zakresie od 0,7 aż do 1,3. W rzeczywistości, dla beztlenowców (obligatoryjnych lub fakultatywnych) wartość RQ może być znacznie wyższa (np. >10). Dwa najważniejsze rodzaje fermentacji zachodzące w glebie, to mlekowa i alkoholowa (tu produktem jest etanol). Podczas respiracji mleczanu i wielu innych produktów fermentacji, otrzymuje się  $RQ=1$ , podobnie jak w większości przypadków, gdy substratem są węglowodany; dla katabolizmu etanolu  $RQ=0,57$ ; redukcja metanu daje  $RQ=0,50$ . Produkcja  $\text{CO}_2$  w rzeczywistości jest wypadkową oddychania, fermentacji i procesów abiotycznych prowadzących do absorpcji lub uwalniania  $\text{CO}_2$ . Pomiary terenowe uwalniania  $\text{CO}_2$  do atmosfery są użyteczne zwłaszcza dla zrozumienia roli gleb w globalnym obiegu węgla, jednak nie wolno zapominać, że produkcja  $\text{CO}_2$  z gleby nie może być utożsamiana z oddychaniem gleby.

W glebach wilgotnych, istotnym zagadnieniem jest również fakt retencji  $\text{CO}_2$  w wodzie glebowej, co bezsprzecznie zachodzi, ze względu na jego wysoką rozpuszczalność. O tym procesie wiemy jednak bardzo mało.



Nasuwa się więc pytanie, jaki jest możliwy zakres RQ w glebie, biorąc pod uwagę, że wprawdzie to, co mierzymy dowolną aparaturą, jest produkcją  $\text{CO}_2$ , z czego można wyliczyć RQ, ale są to wartości rzeczywiste, zmodyfikowane przez dyfuzję i rozpuszczalność. Należy również pamiętać, że wartość RQ odzwierciedla stosunek, związek pomiędzy dwoma składnikami, których proporcje nie są liniowe, a wykładnicze.

Nieco inna sytuacja następuje, gdy procesy glebowe modyfikowane są przez człowieka, np. w wyniku rekultywacji. Zespół Araujo (ARAUJO i współut. 2013) przyjmuje bez komentarza mierzone RQ w zakresie od 0,2 do 1,5, w zależności od stopnia degradacji gleby. Rekultywacja może skutkować bowiem bardzo niskim RQ (LAMY i współut. 2013), nawet poniżej granicy teoretycznej 0,65 dla heksadekanu. Z kolei utlenienie metanu daje wartość  $\text{RQ}=0,5$ ; powinno to być traktowane jako dolna dopuszczalnych granica danych RQ. Z drugiej strony możliwego zakresu, jest synteza lipidów z węglowodanów, gdzie często jest  $\text{RQ}\approx 1,3$ .

To wszystko dotyczy jednak przede wszystkim warstw powierzchniowych. W głębszych warstwach gleby, w warunkach naturalnych, musimy spodziewać się mniejszego lub większego niedoboru tlenu, zwłaszcza w glebach wilgotnych. Organizmy glebowe zmuszone są więc wówczas do uzyskiwania energii przez osłabione oddychanie oraz przez kilka rodzajów fermentacji. W tej sytuacji efektem dodatkowej fermentacji mogą być wartości RQ ponad 10. Przy głębokiej anoksji RQ nie można obliczyć z zasady, gdyż wprawdzie  $\text{CO}_2$  jest produkowane, ale nie ma zużycia tlenu, co skutkowałoby absurdalnym dzieleniem ilości  $\text{CO}_2$  przez 0.

Tak więc, można przyjąć, że jeżeli  $\text{RQ}>1$ , to objętość mierzonego gazu uzupełniana jest przez fermentację, a gdy  $\text{RQ}<1$ , to mierzona objętość gazu ( $\text{CO}_2\text{-O}_2$ ) odzwierciedla respirację, natomiast  $\text{CO}_2$  może być wynikiem fermentacji, np. kwasu mlekowego do etanolu (respiracja etanolu  $\text{RQ}=0,5$ ).

## WYSYCHANIE I NAWADNIANIE

Wysychanie gleb jest naturalną częścią cyklicznych, sezonowych zmian klimatycznych. Badania dotyczące tego zagadnienia opierają się głównie na eksperymentach, najczęściej ograniczając się do stwierdzenia aktualnego stanu wyschnięcia gleby w sytuacji określonej jako susza. Chcąc poznać jednak istotę tego procesu należy starać się oszacować budżet całego procesu suszenia, z uwzględnieniem poszczególnych stanów gleby.

Oczywiste jest, że przebieg procesu wysychania jest m.in. uzależniony od wyjściowego poziomu wilgotności gleby wysychającej i od tempa ubytku wody. Jest to ściśle związane z różną jakością glebowych związków organicznych, a co za tym idzie, z różną możliwością zatrzymywania wody przez glebę (WHC). Eksperymenty wykazują, że dane dotyczące oddychania, odnoszące się do zużycia tlenu, jak i produkcji dwutlenku węgla, mają wspólne tendencje: wysokie wartości zaraz na początku procesu wysychania, a następnie bardziej lub mniej stabilne oddychanie w środkowej części eksperymentu (szybkość oddychania zmniejsza się liniowo wraz ze spadkiem wilgotności gleby). Całkowity zanik respiracji następuje na poziomie GWC ok. 0,15. Początkowy wzrost tempa respiracji wiąże się najpewniej ze wzrostem dostępności tlenu w glebie. Interpretacja tego zjawiska powinna iść m.in. w kierunku reakcji przystosowawczej układów enzymatycznych organizmów glebowych do powrotu ze stanu całkowitego wyschnięcia, do środowiska wilgotnego. Wartość RQ rośnie w drugiej części procesu wysychania, w okresie końcowym osiągając wartość 1,00. Prawdopodobnie, dwutlenek węgla, który był do tej pory związany w roztworze wodnym, przy napowietrzeniu zostaje uwolniony. Przy analizie RQ w całym procesie wysychania  $\Sigma\text{RQ}$  dla sumy wszystkich stadiów eksperymentu wynosi około 0,7 (FISCHER i BLAŽKA 2015).

Zanalizujmy wariant, gdy wysychanie następuje przy dużym nawodnieniu początkowym. Jest to więc sytuacja, w której WHC ma wysoką wartość i uruchomione są mostki wodorowe, utrzymujące wodę w glebie. Tym samym, w glebie jest mało powietrza, zachodzi intensywne fermentacja, oddychanie jest słabe, co w sumie daje niezbyt wysoki poziom aktywności gleby przy  $\text{RQ}=1$  lub powyżej. Rozpoczyna się proces wysychania, zmniejszający objętość gleby. Ten proces może różnie przebiegać, gleba może stać się sypka lub być zbita, twardą grudą, w zależności od tempa wysychania i struktury agregatów glebowych, niemniej rozpoczyna się proces dotleniania gleby. Równocześnie ze zmianami objętości gleby zmniejsza się w niej zawartość wody (GWC), a tym samym WHC i struktura związków organicznych. Bez względu na charakter procesu wysychania, zarówno oddychanie, jak i fermentacja zamierają, gdy wartość GWC osiąga 0,15. Przy tak małej ilości wody w glebie, wiele organizmów maksymalnie zwalnia swoje procesy życiowe lub umiera, a liczne substancje organiczne zmieniają swoją strukturę. Równocześnie spada zdolność gleby do zatrzymywania wody (WHC).

Na wyschniętą glebę w pewnym momencie pada deszcz, albo obficie jednorazowo albo powoli, lecz długotrwale. Bez względu na system nawadniania, bezpośrednio po pojawieniu się wody w glebie z zasady następuje wzmożona aktywność metaboliczna, czyli następuje tzw. efekt Bircha (BIRCH 1961, FISCHER 2009). Jest to proces polegający na tym, że metabolizm gleby reaguje na zmiany wilgotności silnym wzrostem. Dyskusja na temat przyczyn tego zjawiska trwa już 50 lat, gdyż jest to zagadnienie ogromnej wagi, szczególnie, ale nie tylko, w strefie klimatycznej śródziemnomorskiej. Jednym z bardziej interesujących, a udowodnionych przez Bircha zjawisk jest silniejsze uwalnianie z gleby azotu i węgla podczas cyklu wysychania i nawadniania, niż w glebach stale wilgotnych.

Jarvis starał się podsumować tę dyskusję, w oparciu przede wszystkim o badania Bircha, stawiając cztery podstawowe, możliwe hipotezy, które mogą wyjaśnić raptowny wypływ  $\text{CO}_2$  z gleby po jej nawodnieniu (JARVIS i współat. 2007):

(1) ponowne nawilżenie przesuszonej gleby powoduje pękanie agregatów glebowych i udostępnia procesom dekompozycji wcześniej niedostępne substraty;

(2) martwe mikroorganizmy, które zginęły przez wysuszenie gleby, stają się dodatkowym, łatwym źródłem składników odżywczych i ulegają szybkiemu rozkładowi;

(3) przy dostępności wody następuje spontaniczny wzrost biomasy drobnoustrojów i strzępków grzybni;

(4) jest to mikrobiologiczna odpowiedź na stres hipoosmotyczny.

Nie należy jednak zapominać, że zarówno prace Bircha, jak i jego szkoły oparte są na badaniach eksperymentalnych. Oznacza to, że pobrana gleba przed badaniami, została przesiana, a tym samym napowietrzona. Przesiewanie lub dodanie wody, jak było to stosowane w większości publikowanych badań, pozwala większej ilości powietrza wejść do gleby. Zgromadzony tam wcześniej  $\text{CO}_2$  jest uwalniany do atmosfery lub absorbowany w wodzie. Przy tym, organizmy glebowe potrzebują czasu, aby dostosować się do dostępnego tlenu, prawdopodobnie poprzez aktywację (rekonstrukcję) mechanizmów oddychowych, np. enzymatycznych kompleksów szlaku oksydacyjnej fosforylacji. Przed pobraniem gleby, organizmy glebowe były przystosowane do niskiego poziomu oddychania w ich naturalnym otoczeniu, uzupełnionego przez fermentację. Wydaje się więc możliwa jeszcze kolejna hipoteza, oparta na założeniu, że efekt ten wynika z biologii organizmów glebowych.

Po wzroście aktywności gleby, pojawiającym bezpośrednio po jej zalaniu wodą,

następuje pewna stabilizacja, przy wartości RQ około 0,8, co sugeruje raczej przewagę procesów tlenowych, uzupełnianych ewentualnie przez fermentację. Tyczy się to warstw powierzchniowych, gdzie jest mniejszy lub większy dostęp powietrza. Ta stabilizacja trwa do wzrostu wilgotności do wartości GWC około 3, kiedy to następuje obniżenie zarówno zużycia tlenu, jak i wydalania dwutlenku węgla przy wzroście RQ powyżej 1, co oznacza znaczne podwyższenie tempa fermentacji. W warstwach głębszych, gdzie są warunki niedostatku tlenu, ostry spadek wydalania dwutlenku węgla i wzrost RQ powyżej 1 następuje już przy wilgotności GWC 1.

## CO NAS CZEKA?

Według oficjalnych prognoz IPCC (ang. Intergovernmental Panel on Climate Change) w najbliższych latach w Polsce okres letni stanie się bardziej gorący, temperatura często będzie dochodzić do  $35^\circ\text{C}$ , a nawet  $40^\circ\text{C}$ . Spowoduje to okresy wielotygodniowych suszy, zmieni się również system opadów, szczególnie latem. Będą one rzadkie, ale ulewne, niejednokrotnie doprowadzające do powodzi opadowych. Według tych prognoz, w związku z podwyższeniem temperatury w zimie, ma wzrosnąć ilość opadów w tym sezonie i to w postaci deszczu.

Co to oznacza dla gleby? Prawdopodobnie latem w czasie ulewnych opadów będzie następował efekt Bircha, a więc intensyfikacja aktywności gleby, a następnie, wraz ze spadkiem wilgotności grawimetrycznej, spadek liniowy jej aktywności, aż do całkowitego metabolicznego uśpienia. Jeżeli susze, zgodnie z prognozami, będą długotrwale, to okresy małej aktywności gleby będą stosunkowo długie. W tym czasie należy się spodziewać istotnych zmian w zdolności do zatrzymywania wody w glebie (WHC), czyli zmniejszanie jej pojemności wodnej. Ponieważ pojemność wodna gleby jest powiązana z wilgotnością grawimetryczną, należy się spodziewać, że będzie ona drastycznie spadać razem z GWC, a więc przez większą część lata będzie niska. Wiąże się to nie tylko ze zmniejszeniem ilości wody dla roślin, ale ze zmianą struktury związków organicznych. Wprawdzie wilgotność grawimetryczna szybko wzrośnie wraz z ulewnym opadem, ale pojemność wodna wzrasta zawsze z pewnym opóźnieniem. Należy się spodziewać, że zanim wartość WHC wzrośnie na tyle, aby móc przytrzymać wodę w glebie, nastąpi kolejna susza, a więc nie będzie możliwe zmagazynowanie wody dostępnej po okresie opadów. Jedynym ratunkiem dla odbudowy struktury chemicznej i

fizycznej gleby wydaje się w takiej sytuacji zima. Zarówno duża ilość opadów deszczu, jak i temperatura powyżej zera, ale niezbyt wysoka, powinna sprzyjać wzrostowi WHC i przebudowie substancji organicznych. Nie wiadomo jednak jak w sytuacji wzrostu wilgotności przy stosunkowo niskiej temperaturze, będzie reagowała aktywność biologiczna gleby, czy nastąpi wzrost intensywności fermentacji, czy oddychania, czy nastąpi przebudowa struktury ekologicznej edafonu? Są to problemy wymagające dalszych badań i prawidłowej interpretacji.

#### Streszczenie

Przedstawiono główne czynniki wpływające na zdolność gleb do retencji wody jak: struktura gleby, zawartość materii organicznej czy interakcja ze słabymi wiązaniami chemicznymi. Wyjaśniono różne podejścia do oceny ilości wody zawartej w glebie w tym: grawimetryczną zawartość wody (GWC), potencjał wody glebowej i pojemność wodną gleby (WHC). Opisano zależność pomiędzy zawartością wody w glebie a metabolizmem mikroorganizmów glebowych oraz mechanizm wysuszenia i nawadniania gleby. Przedyskutowano znaczenie globalnych zmian klimatycznych, w tym coraz częstszych okresów suszy i ulewnych deszczy, na potencjał gleb dla retencji wody.

#### LITERATURA

- ALBERTS B., JOHNSON A., 2002. *The molecular biology of the cell*. Garland, Taylor and Francis Group, New York.
- ARAUJO A. S. F., CESARZ S., LEITE L. F. C., BORGES C. D., TSAI S. M., EISENHAEUER N., 2013. *Soil microbial properties and temporal stability in degraded and restored lands of Northeast Brazil*. Soil Biol. Biochem. 55, 175-181.
- BIRCH H. F., 1961. *Mineralisation of plant nitrogen following alternate wet and dry conditions*. Plant Soil 20, 43-49.
- BLAŽKA P., FISCHER Z., 2014. *Moisture, water holding, drying and wetting in forest soils*. Open J. Soil Sci. 4, 174-184.
- BUCKINGHAM E., 1907. *Studies on the movement of soil moisture*. US Dep. Agricult., Bureau of Soils 38.
- CAMPBELL N. A., 1993. *Biology*. Benjamin/Cummings, Francis Group, Redwood City.
- FISCHER T., 2009. *Substantial rewetting phenomena on soil respiration can be observed at low water availability*. Soil Biol. Biochem. 41, 1577-1579.
- FISCHER Z., BLAŽKA P., 2015. *Soil respiration in drying of an organic soil*. Open J. Soil Sci. 5, 181-192.
- GARDNER W., 1919. *The movement of moisture in soil by capillarity*. Soil Sci. 7, 313-317.
- GARDNER W. H., 1986. *Water content*. [W:] *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods-agronomy monograph*. KLUTE A. (red.). Agronomy Ser. 9, Am. Soc. Agronomy, Madison Wisc. 493-544.
- GAUMONT-GUAY D. T., BLACK T. A., TIM J., GRIFFIS T. J., ALAN G., BARR A. G., JASSAL R. S., NESIC Z., 2006. *Interpreting the dependence of soil respiration on soil temperature and water content in a boreal aspen stand*. Agricult. Forest Meteorol. 140, 220-235.
- ILSTED U., NORDGREN A., MALMER A., 2000. *Optimum soil water for soil respiration before and after amendment with glucose in humid tropical acrisols and a boreal mor layer*. Soil Biol. Biochem. 32, 1591-1599.
- JARVIS P., REY A., PETSİKOS C., WINGATE L., RAYMENT M., PEREIRA J., BANZA J., DAVID J., MIGLIETTA F., BORGHETTI M., MANCA G., VALENTINI R., 2007. *Drying and wetting of Mediterranean soils stimulates decomposition and carbon dioxide emission: the "Birch effect"*. Tree Physiol. 27, 929-940.
- LAMY E., TRAN T. C., MOTTELET S., PAUSS A., SCHOEFS O., 2013. *Relationships of respiratory quotient to microbial biomass and hydrocarbon contaminant degradation during soil bioremediation*. Int. Biodeterior. Biodegrad. 83, 85-91.
- LIVINGSTON N. J., TOPP G. C., 2008. *Soil water potential*. [W:] *Soil sampling and methods of analysis*. CARTER M. R., GREGORICH E. G. (red.). CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, chapter 71.
- LUAN J., LIU S., ZHU X., WANG J., LIU K., 2012. *Roles of biotic and abiotic variables in determining spatial variation of soil respiration in secondary oak and planted pine forests*. Soil Biol. Biochem. 44, 143-150.
- LUO Y., ZHOU X., 2010. *Soil Respiration and the Environment*. Academic Press, Burlington.
- MCGILL W. B., 2007. *The physiology and biochemistry of soil organisms*. [W:] *Soil microbiology ecology and biochemistry*. PAUL E. A. (red.). Academic Press, Burlington, 231-256.
- PICCOLO A., 2001. *The supramolecular structure of humic substances*. Soil Sci. 166, 810-832.
- PLASTER E. J., 2009. *Soil Science and Management*. Delmar, New York.
- REYNOLDS W. D., TOPP G. C., 2008. *Soil water. Analyses, principles and parameters*. [W:] *Soil sampling and methods of analysis*. CARTER M. R., GREGORICH E. G. (red.). CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, chapter 69.
- SCHAUMANN G. E., BERTMER M., 2008. *Do water molecules bridge soil organic matter molecule segments?* Eur. J. Soil Sci. 59, 423-429.
- STUMM W., MORGAN J. J., 1996. *Aquatic Chemistry*. Wiley, Chichester.
- THOMSON B. C., OSTLE N. J., MCNAMARA N. P., WHITELEY A. S., GRIFFITH R. I., 2010. *Effects of sieving, drying and rewetting upon soil bacterial community structure and respiration rates*. J. Microbiol. Meth. 83, 69-73.
- TISDALL J. M., OADES J. M., 1982. *Organic matter and water-stable aggregates in soils*. J. Soil Sci. 33, 141-163.
- VAN SUCHTELEN H., 1910. *Über die Messung der Lebenstätigkeit der aerobiotischen Bakterien im Boden durch die Kohlensäureproduktion*. Centralblatt für Bakteriologie, 28, 46-89.
- WERSHAW R. L., 1999. *Molecular aggregation of humic substances*. Soil Sci. 164, 803-813.
- YOUNG M. H., SISSON J. B., 2002. *Tensiometry*. [W:] *Methods of soil analysis. Part 4. Physical methods*. DANE J. H., TOPP G. C. (red.). Soil Science Society of America Book Ser. 5, 575-606.

**KOSMOS Vol. 66, 2, 167–173, 2017**

PAVEL BLAŽKA<sup>1</sup>, ZOFIA FISCHER<sup>2</sup>

<sup>1</sup>profesor emeritus, University of South Bohemia, Bronisovska 1645/31A, 370 05 České Budějovice, Czechia, <sup>2</sup>profesor emeritus, Catholic University of Lublin, Konstantynów 1 H, 20-708 Lublin, E-mail: zofiaf@plusnet.pl

WATER AND RESPIRATION OF SOIL

Summary

Presented are main factors influencing the ability of soil for water retention, like soil structure, organic matter content and interaction of water molecules with weak chemical bonds. Explained are various approaches to determination of the amount of water contained in soil, such as gravimetric water content (GWC), potential of soil water and water holding capacity (WHC). Outlined is the relationship between water content in soil and metabolism of soil microorganisms, as well as the mechanisms involved in soil drying and watering. Influence of global climatic changes upon soil's potential to retain water is discussed in connection with the occurrence of more frequent droughts and torrent rains..

Key words: soil, water retention, soil metabolism, climatic changes