

STUDIA I RAPORTY IUNG-PIB

ZESZYT 54(8): 9-23

2017

**Bożena Smreczak, Aleksandra Ukalska-Jaruga, Magdalena Łysiak,
Joanna Strzelecka, Jacek Niedźwiecki, Danuta Sobich**

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

FUNKCJE, JAKOŚĆ I USŁUGI EKOSYSTEMOWE GLEB*

Słowa kluczowe: gleby, jakość gleb, właściwości gleb, funkcje gleb, usługi ekosystemów

Wstęp

Gleby stanowią główny element ekosystemów lądowych, a ich znaczenie i kluczowa rola w życiu człowieka i innych organizmów żywych jest niezaprzeczalna. Gleby są powszechnie eksploatowane zgodnie z ekonomicznymi i społecznymi potrzebami, a ludzie często zmieniają jakość i funkcje gleb podejmując decyzje dotyczące ich przeznaczenia i użytkowania (2).

W latach siedemdziesiątych ubiegłego stulecia nastąpił wzrost zainteresowania problematyką gleb. W 1972 r. ukazała się Europejska Karta Gleby (14), która jako pierwszy dokument tego rodzaju uświadomiła społeczeństwu i decydentom znaczącą rolę środowiska glebowego (5). W tym czasie pracowano nad koncepcjami funkcji gleb, a naukowcy starali się je sklasyfikować i zbadać. W ośrodkach amerykańskich pojawiło się również inne podejście związane z wprowadzeniem terminu „jakość gleby” i jej oceną poprzez zastosowanie różnych parametrów, najczęściej opisujących właściwości gleb (10, 12, 31). Zaproponowano również nową terminologię „środowiskowe usługi”, nazywane w późniejszym okresie usługami ekosystemów i podjęto próby ich wyceny (5). Zdaniem Baveye i in. (5) jedną z najważniejszych prac w tym zakresie była publikacja Constanz’ y i in. (7), w której roczne usługi środowiska w skali globalnej oszacowano na ponad 33 miliardy USD (33). Bez względu na dokładność tych ocen podana suma była ogromna i wyraźnie wskazywała na skalę zagadnienia. Zarówno w pracy Constanzy i in. (7) jak i opublikowanym w 2005 r. raporcie ONZ pt. „Milenijna Ocena Ekosystemów”, nie wskazano znaczącej roli gleby w korzyściach dla człowieka, dlatego w pracach naukowych zaczęło pojawiać się nowe określenie „usługi ekosystemowe gleb” (5). W wielu współczesnych opracowaniach, gleby i ich znaczenie dla człowieka, charakteryzuje się poprzez jakość

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.3 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

i ich funkcje oraz usługi ekosystemowe. Określenia te są często używane zamiennie chociaż mają różne znaczenie, dlatego celem pracy jest przedstawienie głównych założeń tych trzech koncepcji wraz z przykładami wskaźników służących do ich oceny.

Funkcje gleb

Na arenie międzynarodowej rola gleb w funkcjonowaniu ekosystemów została doceniona stosunkowo niedawno (5). Na początku lat siedemdziesiątych ubiegłego stulecia pojawiła się koncepcja wielofunkcyjności gleb oraz pierwsze propozycje podziałów funkcji gleb. W kolejnych latach naukowcy starali się określić i skategoryzować te funkcje. Nie było to zagadnienie proste, ponieważ samo słowo „funkcje” było przedmiotem dyskusji uwzględniających niejednokrotnie również wątek filozoficzny. Jak podają Baveye i in. (5) doprecyzowania wymagała definicja funkcji gleb i co należy przez nią rozumieć tj.: 1) stan gleby zmieniający się w czasie, co jest odpowiednikiem procesu, 2) funkcjonowanie czyli pewien stan gleb i ogół procesów, które utrzymują system w równowadze, 3) specyficzną rolę poszczególnych komponentów systemu uczestniczących w różnych procesach, 4) usługę dla ludzi i innych organizmów żywych. Ważne było również określenie co to są naturalne lub właściwe funkcje gleb i czy funkcjonowanie nie powinno odnosić się tylko do organizmów żywych lub ich grup jako składowych tych funkcji. Zwrócono uwagę, że funkcje gleb są postrzegane głównie jako przynoszące korzyści, chociaż w rzeczywistości można mówić także o „dysfunkcjach” gleb kiedy mamy np. do czynienia z gromadzeniem się w glebach czynników chorobotwórczych dla roślin czy zwierząt. Zagadnienia związane z „dysfunkcjami” gleb są jeszcze słabo rozpoznane i w niewielkim zakresie akcentowane w literaturze naukowej (5).

Funkcje gleb to korzyści jakie gleby dostarczają ludziom i innym organizmom żywym. Ich podział przedstawiono w pracach autorów europejskich i amerykańskich, w tym np. Blum'a (6), Doran'a i Parkin'a (12). W literaturze naukowej istnieje wiele różnych podziałów funkcji gleb, ale w pracy przedstawiono tylko wybrane, które szerzej upowszechniły się na arenie międzynarodowej.

Koncepcja funkcji gleb Bluma'a została spopularyzowana w Europie, a jej pierwotna wersja z 1988 r. przechodziła różne transformacje. W artykule z 2005 r. Blum (6) podzielił funkcje gleb na dwie podstawowe kategorie: ekologiczne (środowiskowe) i nie ekologiczne (socjalne i ekonomiczne). Do funkcji ekologicznych gleb Blum (6) zaliczył: 1) produkcję biomasy i żywności; 2) ochronę ludzi i środowiska i 3) rezerwar genów, natomiast do funkcji nie ekologicznych: 4) wykorzystanie gleb jako podstawy do działalności człowieka, w tym rozwoju budownictwa i infrastruktury; 5) źródło materiałów takich jak piasek, glina czy żwir oraz 6) dziedzictwo kulturowe. Podział funkcji gleb wypracowany przez zespoły amerykańskie (12, 31), łączony z jakością środowiska glebowego podkreśla, że gleby odpowiadają za: 1) obieg pierwiastków, 2) regulację stosunków wodnych, 3) zachowanie bioróżnorodności i tworzenie siedliska dla organizmów żywych, 4)

filtrowanie i właściwości buforowe uwzględniające degradację i unieczynnianie substancji szkodliwych, 5) stabilność dla korzeni roślin, podstawę dla budownictwa i ochronę dziedzictwa archeologicznego. Według Organizacji Narodów Zjednoczonych ds. Wyżywienia i Rolnictwa (16) gleby pełnią jedenaście funkcji: 1) dostarczają żywności, włókna i paliwa, 2) umożliwiają sekwestrację węgla organicznego, 3) oczyszczają wodę i redukują poziom zanieczyszczeń, 4) wpływają na klimat oraz 5) obieg pierwiastków, 6) stanowią siedlisko życia organizmów żywych, 7) zmniejszają zagrożenie powodzią, 8) są źródłem substancji leczniczych i zasobów genetycznych i 9) stanowią podstawę pod infrastrukturę, 10) dostarczają materiałów dla przemysłu, 11) stanowią dziedzictwo kulturowe (16). Należy podkreślić, że gleby jednocześnie pełnią wiele funkcji, dlatego wykorzystywanie jednej z nich np. funkcji produkcyjnej przez rolnictwo może doprowadzić do osłabienia czy degradacji innych funkcji, dlatego bardzo ważna jest kontrola tych zjawisk i zapobieganie niekorzystnym efektom.

Koncepcja funkcji gleb Blum'a (6) odegrała bardzo ważną rolę w polityce Unii Europejskiej, chociaż przyjęta w niej definicja gleby zasadniczo odbiegała od stosowanych w gleboznawstwie. Gleby zaczęto postrzegać nie tylko poprzez ich funkcję produkcyjną, ale zwrócono też uwagę na funkcje środowiskowe, gospodarcze, społeczne, ekologiczne i kulturowe. Koncepcja ta była podstawą do opracowania Strategii tematycznej w dziedzinie ochrony gleby (34), a następnie wypracowania propozycji Ramowej Dyrektywy Glebowej (27). Ostatni z tych dokumentów był w latach 2006-2014 przedmiotem negocjacji, ale nie został przyjęty ze względu na sprzeciw niektórych państw członkowskich UE (20).

Interesującym aspektem w Strategii (34) była ocena stanu gleb w Europie. W dokumencie tym podano, że na terenie UE ponad 115 milionów hektarów jest zagrożonych erozją wodną, 42 miniony hektarów są narażone na występowanie erozji wietrznej, a około 3,5 miliona miejsc jest potencjalnie zanieczyszczonych. Obliczono, że w ciągu pierwszych pięciu lat koszty ramowego programu ochrony gleb w UE-25 wyniosą około 290 mln EUR oraz 240 mln EUR rocznie w ciągu kolejnych dwudziestu lat (20). Bez względu na trafność tych oszacowań przewidywane nakłady na ochronę gleb oraz przywrócenie funkcji glebom zdegradowanym były znaczące.

Strategia tematyczna w dziedzinie ochrony gleby (34) spełniła bardzo ważną rolę w polityce europejskiej, ponieważ wyznaczyła kierunki przyszłych działań. W dokumencie tym bardzo silnie zaakcentowano zasadę, która nadal jest aktualna w polityce UE, iż zapobieganie niszczeniu pokrywy glebowej jest mniej kosztowne i czasochłonne niż przywracanie glebom ich funkcji. Wskazano również główne procesy degradujące środowisko glebowe na obszarze UE. Do nich zaliczono: erozję wodną i wietrzną, spadek zawartości materii organicznej, zasolenie, zagęszczenie, osuwanie się ziemi, zanieczyszczenie, zasklepienie powierzchni gleby, pustynnienie oraz utratę różnorodności biologicznej. Podkreślono negatywne skutki przekształceń gleb rolniczych na inne cele oraz związek tego zjawiska z bezpieczeństwem

żywnościowym UE. Zaakcentowano, że degradacja gleb bezpośrednio wpływa na inne obszary objęte prawodawstwem Wspólnoty np. wodę i powietrze, powodując zakłócenie zrównoważonego rozwoju i prawidłowego działania rynku wewnętrznego. Ponadto, dostrzeżono fakt transgranicznego wpływu procesów degradacji gleb i potrzebę odpowiedzialności poszczególnych krajów za te szkody (20, 28, 34).

Od 2006 r. ocena zagrożeń dla funkcji gleb stała się zagadnieniem priorytetowym w UE, dlatego opracowano ramowe założenia dla monitoringu gleb oraz zaproponowano wskaźniki oceny dla poszczególnych zagrożeń, co miało umożliwić wczesne wykrywanie i zapobieganie negatywnym skutkom procesów degradacji środowiska glebowego w krajach Wspólnoty. Propozycja wskaźników oceny zagrożeń dla funkcji gleb na terenie UE była efektem projektu ENVASSO (ang. *Environmental Assessment of Soil for Monitoring*); (19). W projekcie zaproponowano 27 głównych oraz 66 dodatkowych wskaźników, które miały wskazywać na polepszanie się lub postępującą degradację środowiska glebowego. Przy wyborze wskaźników kierowano się ich przydatnością przy ocenie zagrożeń dla funkcji gleb, łatwością stosowania, związkiem z celami polityki i kontekstem UE oraz możliwościami zastosowania w krajach członkowskich. Wskaźniki te miały dodatkowo umożliwić stwierdzenie przyczyn degradacji gleb, wskazywać na działalności człowieka, które negatywnie wpływają na funkcje gleb i powodują ich ograniczenie, dostarczyć danych do oceny stanu w jakim są gleby na terenie Europy i umożliwić wyznaczenie działań skierowanych na ich ochronę. Wskaźniki główne opracowane w projekcie ENVASSO (19) zastawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Wskaźniki zaproponowane do oceny zagrożeń dla funkcji gleb w projekcie ENVASSO

Zagrożenie	Zagadnienia kluczowe	Wskaźnik	Jednostka
Erozja	erozja wodna	oszacowana utrata gleby w wyniku np. zaistnienia poszczególnych procesów erozyjnych	ha ⁻¹ rok ⁻¹
	erozja wietrzna		
	erozja uprawowa		
Spadek zawartości materii organicznej	zawartość materii organicznej w glebach	zawartość węgla organicznego w powierzchniowej warstwie gleby	%
		zasoby węgla organicznego oznaczone w glebie	t ha ⁻¹
		zasoby węgla w glebach organicznych	Mt
Zanieczyszczenie gleb	rozproszone zanieczyszczenie spowodowane związkami nieorganicznymi	zawartość metali ciężkich w glebach	%
	rozproszone zanieczyszczenie spowodowane związkami wywołującymi zakwaszenie gleb	zawartość w glebach siarki i azotu	%
	lokalne zanieczyszczenie gleb	postęp w zarządzaniu terenami zanieczyszczonymi	%

Tabela 1 cd.

Zabudowa powierzchni gleby	powierzchnia zabudowana	ha lub % zabudowanej powierzchni gleby	ha rok ⁻¹ lub ha dzień ⁻¹
	ilość gruntów przeznaczonych do zabudowy	grunty przeznaczone do zabudowy	% stanu początkowego lub ha
	przywrócenie do użytku terenów zdegradowanych	zabudowa na terenach poddanych rekultywacji	%
Zagęszczenie gleby	zagęszczenie i degradacja struktury	gęstość objętościowa	g cm ⁻³ lub t m ⁻³ , %
	zagęszczenie i degradacja struktury	pory wypełnione powietrzem przy określonej sile ssącej	%
	przyczyny zagęszczenia gleb	oszacowana (np. na podstawie modeli) odporność gleby na zagęszczenie	klasy odporności
Spadek różnorodności biologicznej	różnorodność gatunków	różnorodność gatunków dżdżownic i ich świeża masa	ilość dżdżownic na m ⁻² ; g świeżej masy na m ⁻²
	różnorodność gatunków	skoczogonki w przypadku braku możliwości oznaczenia dżdżownic	ilość skoczogonków na m ⁻² ; g świeżej masy na m ⁻²
	funkcje biologiczne	oddychanie mikroorganizmów	g CO ₂ kg ⁻¹ gleby (suchej masy)
Zasolenie gleb	zasolenie gleby	zawartość łatwo rozpuszczalnych soli	całkowita zawartość soli(%); przewodność elektryczna ds. m ⁻¹
	zawartość sodu	zawartość sodu wymiennego	%
	potencjalne zasolenie gleb	występowanie potencjalnych źródeł zasolenia gleb oraz odporność gleb na zasolenie	zawartość łatwo rozpuszczalnych soli: mg dm ⁻³ ; wskaźnik adsorpcji sodu (SAR)
Osuwiska	aktywność osuwisk	występowanie aktywnych osuwisk	ha lub km ²
	aktywność osuwisk	ilość przemieszczonego materiału	m ³ ; km ³ lub tony przemieszczonego materiału
	odporność na osuwiska	ocena ryzyka zagrożenia wystąpieniem osuwisk	wskaźnik służący do przewidywania prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia; zawiera różne wskaźniki
Pustynnienie	pustynnienie	powierzchnia zagrożona pustynnieniem	km ²
	pustynnienie	obszary leśnie i obszary nierolnicze wypalone przez pożary	km ² rok ⁻¹
	pustynnienie	zawartość węgla organicznego w glebach narażonych na suszę	%; g kg ⁻¹

Źródło: Kibblewhite i in., 2008 (19)

W odpowiedzi na działania UE w zakresie ochrony gleb, w naszym kraju przeprowadzono wiele analiz dotyczących zagrożeń dla funkcji gleb użytkowanych rolniczo. Część z tych opracowań wykonano w Zakładzie Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowego Instytutu Badawczego (IUNG-PIB). Prace te były częściowo przedmiotem realizacji zadań w Programie Wieloletnim (2011-2015) i tematów badawczych IUNG-PIB. Wyniki tych opracowań pozwoliły m.in. na ocenę zagrożenia gleb z terenów rolniczych erozją wodną (25), spadkiem zawartości materii organicznej (17), zanieczyszczeniem (29), zagęszczeniem (8), przekształceniami gleb z obszarów rolniczych na cele nie rolne (35) itp. Zaproponowano również wskaźniki do wyznaczenia terenów zagrożonych współwystępowaniem wielu procesów degradujących środowisko glebowe tzw. terenów ryzyka środowiskowego oraz podjęto próby opracowania zintegrowanego wskaźnika ryzyka dla terenów zanieczyszczonych (30, dane nie publikowane). Prace dotyczące oceny zagrożeń dla funkcji gleb z terenów rolniczych są kontynuowane w nowym Programie Wieloletnim (2016-2020) IUNG-PIB.

Gleby użytkowane rolniczo pokrywają znaczną część powierzchni UE, dlatego ochrona ich funkcji i zapobieganie degradacji ma zasadnicze znaczenie. Strategia w dziedzinie ochrony gleby (34), wywarła ważny wpływ na kształt zreformowanej Wspólnej Polityki Rolnej (WPR) wskazując znaczącą rolę gleb min. w sekwestracji węgla, ograniczeniu emisji gazów cieplarnianych czy ochronie bioróżnorodności, a rolnictwa we wdrażaniu trwałych praktyk zapobiegających degradacji gleb. WPR promuje wiele praktyk rolniczych oddziałujących na funkcje gleb. Wysokość otrzymywanych przez rolników płatności bezpośrednich oraz płatności nie inwestycyjnych w ramach Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich uzależniona jest od spełniania zasady wzajemnej zgodności, na którą składają się normy dotyczące utrzymania gruntów wchodzących w skład gospodarstwa rolnego w dobrej kulturze rolnej zgodnej z ochroną środowiska (DKR) oraz podstawowe wymogi z zakresu zarządzania (SMR). Jak podkreślą Jones i in. (18) w przyszłości płatności WPR powinny być w mniejszym stopniu skierowane na wsparcie produkcji rolniczej, a muszą promować działania środowiskowe pozwalające na wspomaganie funkcji gleb, w tym m.in. zwiększenie sekwestracji węgla organicznego. Wprowadzenie tego typu rozwiązań wymaga dodatkowych działań i połączenia oceny skuteczności wdrażania WPR i analiz właściwości gleb charakteryzujących ich funkcje. Takie prace zostały podjęte w ramach zadania 1.3 „Monitorowanie różnych parametrów środowiska glebowego dla właściwej oceny WPR”, realizowanego w ramach Programu Wieloletniego (2016-2020) IUNG-PIB.

W raporcie o stanie gleb Europy Jones i in. (18) wskazują, że główne zagrożenia dla gleb w UE nie zmieniły się zasadniczo w porównaniu z rokiem 2005, chociaż dodatkowo wśród procesów zagrażających prawidłowemu funkcjonowaniu środowiska glebowego wymienia się zakwaszenie. W podsumowaniu raportu stwierdzono, że założenia przedstawione w Strategii w dziedzinie ochrony gleby (34) nie we wszystkich państwach Wspólnoty przyniosły oczekiwane rezultaty,

a w niektórych z nich, sytuacja nawet ulega pogorszeniu. Jako główną przyczynę niekorzystnych trendów wymieniono brak aktów prawnych właściwie chroniących gleby i ich funkcje, ale też podkreślono niską świadomość społeczeństw w zrozumieniu roli jaką pełnią gleby.

Jakość gleb

W Stanach Zjednoczonych Ameryki w większym zakresie niż funkcje gleb i rozpoznanie zagrożeń dla tych funkcji upowszechniła się koncepcja jakości i zdrowia gleb, które są często używane zamiennie (11). Definicja jakości gleb przez lata stanowiła wyzwanie dla naukowców ze względu na zróżnicowanie pokrywy glebowej, właściwości i funkcji jakie pełnią gleby. Jakość gleb jest definiowana jako zdolność żywej gleby do: 1) funkcjonowania w ramach naturalnych lub zarządzanych ekosystemów; 2) utrzymania produkcji roślinnej i zwierzęcej; 3) utrzymywania lub poprawy jakości wody i powietrza oraz 4) zapewniania zdrowotności roślin i zwierząt (22). Określenie „zdrowie gleby” bardziej uwypukla fakt, że jest to twór ożywiony i dynamiczny, którego funkcje są określane przez różnorodność organizmów żywych (10). Koncepcja jakości gleby jest ściśle związana z jej funkcjami i możliwością dostarczania przez gleby podstawowych usług ekosystemowych (22). Obieg składników odżywczych, filtrowanie wody czy sekwestracja węgla organicznego są normalnymi procesami zachodzącymi w glebach przynoszącymi korzyści nie tylko ich właścicielom, ale też poprawiającymi jakość życia całego społeczeństwa.

Jakość gleb jest pewną koncepcją, dlatego nie można jej bezpośrednio zmierzyć, ale można ją scharakteryzować poprzez mierzalne właściwości gleby. O jakości gleby stanowią jej cechy stałe i zmienne w czasie. Do stałych właściwości gleb zalicza się: uziarnienie, zawartość ilu koloidalnego, całkowitą pojemność wodną oraz pojemność wymiany kationów, natomiast do właściwości, które mogą ulec zmianie w ciągu stosunkowo krótkiego czasu należą np. pH, zawartość materii organicznej, struktura gleby, ilość składników odżywczych (31).

Od początku lat dziewięćdziesiątych w Stanach Zjednoczonych podejmowane są prace badawcze koncentrujące się na ustaleniu i wyborze parametrów ilościowych i jakościowych odpowiednich do oceny jakości i funkcji gleb w powiązaniu z systemem zarządzania gruntami (3, 31). Według Doran'a i Zeiss'a (10) parametry opisujące jakość gleb muszą uwzględniać ich właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne oraz być łatwe do interpretacji i dostępne dla wielu użytkowników, a także odzwierciedlać zmiany zachodzące w glebach pod wpływem np. zmian klimatu czy użytkowania gruntów wynikających z działalności człowieka (3). Dodatkowo powinny stanowić elementy już istniejących baz danych umożliwiając analizę zmian funkcji gleb w czasie. Wskaźniki oceny jakości gleb muszą również dostarczać odpowiedzi na pytania dlaczego dana gleba nie funkcjonuje właściwie, co umożliwi wdrożenie działań naprawczych.

O ile do oceny jakości powietrza i wody mogą służyć pojedyncze wskaźniki, to jakości gleb nie da się scharakteryzować w prosty sposób ze względu na zachodzące w niej liczne procesy. Wiele z wskaźników oceny jakości gleb zostało wybranych na podstawie badań rolniczych i obejmują one ocenę gleb w terenie oraz właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne, ekonomiczne analizy zmian sposobu użytkowania gruntów czy wyceny usług ekosystemowych. Jak podaje Martinez-Saldago i in. (23) wskaźniki jakości gleb analizowane w terenie obejmują m.in. barwę gleby oraz zmiany uziarnienia w profilu. Wskaźniki fizyczne są związane ze strukturą gleby, organizacją agregatów i wielkością porów glebowych. Odzwierciedlają one wpływ czynników glebowych, sposobu uprawy i zmianowania roślin na wzrost korzeni, infiltrację wody czy wymianę gazową i dotyczą oznaczeń gęstości objętościowej, porowatości, infiltracji, uziarnienia i in. Wskaźniki chemiczne to najczęściej analizy: pH, zasolenia, zawartości materii organicznej, dostępnych form fosforu, pojemności wymiany kationów, zawartości składników odżywczych dla roślin oraz zanieczyszczeń. Wskaźniki biologiczne to oznaczenia mikro- i makroorganizmów, ich populacji lub funkcji. Wśród ważnych parametrów oceny jakości gleb wymienia się populację dżdżownic, nicieni, mrówek, a także biomasę drobnoustrojów i grzybów oraz procesy metaboliczne takie jak oddychanie czy pomiar aktywności mikrobiologicznej związanej z rozkładem materii organicznej. Do oceny jakości gleb mogą być również stosowane specyficzne parametry takie jak aktywność enzymatyczna np. celulazy, arylosulfatazy czy fosfatazy kwaśnej i zasadowej, pomiary liczby nasion chwastów czy patogennych drobnoustrojów. Przykładowy zestaw potencjalnych wskaźników stosowanych do takich ocen w różnych skalach przestrzennych podano w tabeli 2.

Tabela 2

Potencjalne biologiczne, chemiczne i fizyczne wskaźniki jakości gleby do ocen w różnych skalach

Wskaźniki oceny jakości gleb		
biologiczne	chemiczne	fizyczne
w skali pola		
biomasa mikroorganizmów	pH	stabilność agregatów
potencjał mineralizacji N	organiczny C i N	wielkość agregatów glebowych
cząsteczkowa materia organiczna	przyswajalne makroelementy	gęstość objętościowa
dżdżownice	przewodność elektryczna	porowatość
populacja mikroorganizmów	mikroskładniki	opór penetracji gleby
enzymy glebowe	metale ciężkie	wielkość porów wypełnionych wodą
profil kwasów tłuszczowych	pojemność wymiany kationów	głębokość profilu glebowego
populacja grzybów mikoryzowych	rozmieszczenie Cs137	zaskorupianie się gleby
oddychanie mikrobiologiczne	ksenobiotyki	infiltracja

Tabela 2 cd.

w skali gospodarstwa rolnego		
plon	zmiany jakości materii organicznej	mięszczość poziomu próchnicznego i barwa
występowanie chwastów	bilans składników pokarmowych	zagęszczenie lub łatwość uprawy gleby
nasilenie chorób roślin	akumulacja metali ciężkich	infiltracja
niedobory składników pokarmowych	zasolenie gleb	występowanie erozji żłobinowej i wąwozowej
wskaźniki wzrostu roślin	zmywy i wymywanie składników pokarmowych	pokrywa powierzchni gleby resztkami poźniwnymi

Źródło: Soil Quality Indictors (31) za Karlen i in., 2001

Zdaniem Martínez-Saldago i in. (23) wyboru wskaźników jakości gleb dokonuje się z uwzględnieniem celu ocen i odbiorcy. I tak na przykład, jeżeli odbiorcami wyników mają być rolnicy, a gleby oceniane są ze względu na ich funkcję produkcyjną, autorzy proponują uwzględnić następujące analizy: zawartości materii organicznej w glebie, infiltrację, uziarnienie, pH, biomasę drobnoustrojów, formy azotu, gęstość objętościową, przewodnictwo elektryczne lub zasolenie oraz dostępne składniki odżywcze.

Pojedyncze wskaźniki jakości gleb są często bardzo trudne do interpretacji, dlatego stosuje się w praktyce różnego rodzaju indeksy łączące wiele właściwości gleb. Ich wyboru dokonuje się z wykorzystaniem metod eksperckich lub statystycznych np. analizy składowych głównych (ang. *Principal Component Analysis*) i przypisuje się im różne wagi.

W naszym kraju przykładem takich indeksów są syntetyczne wskaźniki produktywności i żyzności gleb, wyznaczone dla gleb użytkowanych rolniczo, obejmujące szeroki zakres parametrów szczegółowych (26). Należą do nich: wskaźnik waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej, wskaźnik jakości fizycznej gleb, wskaźnik jakości biologicznej oraz syntetyczny wskaźnik żyzności agrochemicznej. Wskaźnik waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej wyznaczono na podstawie zależności między plonem a jakością siedliska tj. glebą, wodą i urzeźbieniem terenu oraz klimatem, a warunki glebowo-przyrodnicze wyceniono z wykorzystaniem metod statystycznych (37). Wskaźnik jakości fizycznej S opracowany przez Dextera (9) jest związany z porowatością mikrostrukturalną, która wpływa na wiele fizycznych cech gleby. Jego wartość wyznaczana jako tangens kąta nachylenia krzywej retencji wodnej gleby w punkcie jej przecięcia, do osi potencjału wody glebowej wskazuje na warunki fizyczne gleb (9, 26). Mikrobiologiczny wskaźnik żyzności gleb Myśków i in (24) wyznaczyli na podstawie zawartości węgla organicznego, pojemności sorpcyjnej i aktywności mikrobiologicznej wyrażanej jako np. aktywność dehydrogenaz lub stosunek bakterii do grzybów, a Kucharski i Wyszowska (21) opracowali wskaźnik BA stanowiący sumę aktywności siedmiu enzymów glebowych, tj. dehydrogenazy, ureazy, fosfatazy kwaśnej, fosfatazy zasadowej, arylosulfatazy, katalazy

i β -glukozydazy. Syntetyczny wskaźnik żyzności agrochemicznej gleb (SWZG) został zaproponowany przez Ochala (26), a syntetyczny wskaźnik żyzności gleby przez Filipiak (15). W pracy Ochala (26) wskaźnikami cząstkowymi były: pH KCl oraz zawartość przyswajalnych form P, K i Mg, natomiast w publikacji Filipiak (15) zawartość cząstek spławianych o średnicy $<0,02$ mm, zawartość próchnicy, pH KCl oraz przyswajalne formy P, K i Mg.

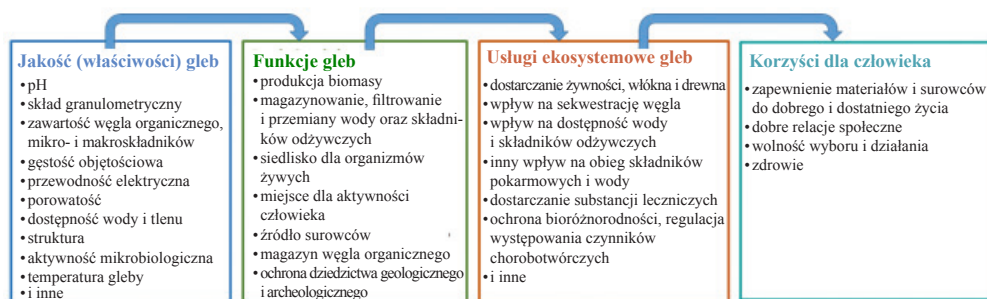
Koncepcja jakości gleb niesie za sobą również szereg problemów, ponieważ wielokrotnie podkreśla się, że jakość powinna być oceniana w stosunku do funkcji jaką obecnie pełni gleba. Problem w tym, że gleby jednocześnie pełnią wiele funkcji, a wysoka jakość gleb uwzględniająca funkcję produkcyjną nie gwarantuje wysokiej jakości w zakresie funkcji siedliskowej czy retencyjnej, a bardzo często jedna funkcja wyklucza inną.

Usługi ekosystemowe gleb

Ekosystem stanowi złożony i dynamiczny zespół roślin, zwierząt, mikroorganizmów i innych komponentów środowiska naturalnego, istniejących wspólnie jako całość i wzajemnie od siebie zależnych (36). W usługach ekosystemowych głównego znaczenia nabierają korzyści jakie środowisko dostarcza człowiekowi oraz ocena powiązań między społeczeństwem, przestrzenią i usługami (5).

Koncepcja usług ekosystemowych jest stosunkowo nowa i pochodzi z końca XX wieku, chociaż czerpie i odwołuje się do wcześniejszych opracowań, w których definiowano tzw. usługi środowiskowe jako związki między funkcjonowaniem ekosystemów, a korzyściami dla społeczeństwa (5). Usługi ekosystemów powinno rozumieć się bardzo szeroko tj. zarówno jako funkcje środowiska i zachodzące w nim procesy jak i produkty będące następstwem tych procesów. Usługi ekosystemowe, według jednych koncepcji, mogą stanowić „składniki przyrody”, które są bezpośrednio konsumowane, odczuwane lub wykorzystywane do podniesienia jakości życia ludzi, czyli produkty końcowe funkcjonowania ekosystemu jak żywność, włókno, czysta woda itp., natomiast według innych teorii bazują na analizie wybranej części ekosystemu, która bezpośrednio odpowiada za produkcję i dostarczanie usług. W świetle tej koncepcji za obieg pierwiastków w glebie, który jest usługą dla człowieka odpowiedzialne są drobnoustroje (5,36).

Zdaniem Adhikari i Hartemink (2) pomimo, że wiele prac poświęcono samej koncepcji usług ekosystemowych to niewiele opracowań dotyczy roli gleb w tych usługach, chociaż gleba stanowi jeden z głównych naturalnych zasobów Ziemi. Często usługi ekosystemowe gleb są traktowane zamiennie z ich funkcjami czy jakością, co nie jest słuszne. Gleby charakteryzujące się określonymi właściwościami (jakością) mogą pełnić określone funkcje, dlatego mogą świadczyć wybrane usługi ekosystemowe i przynosić korzyści dla człowieka (Rys. 1).



Rys. 1. Schemat powiązań pomiędzy właściwościami, funkcjami i usługami ekosystemowymi gleb, a korzyściami dla człowieka

Źródło: opracowanie własne na podstawie (13).

W 2005 r. ONZ opublikowała raport pt. „Milenijna Ocena Ekosystemów”, który jest podstawowym i oficjalnym dokumentem, definiującym cztery grupy usług ekosystemowych (36). Zalicza się do nich: 1) usługi zaopatrzeniowe; 2) usługi regulacyjne; 3) usługi wspomagające oraz 4) usługi kulturowe. Pomimo, że w opracowaniu tym pominięto rolę gleb, to bez wątpienia odgrywają one znaczącą rolę w funkcjonowaniu ekosystemów lądowych. W zakresie usług zaopatrzeniowych gleby dostarczają surowców dla różnych gałęzi gospodarki i stanowią zasoby naturalne krajów. Gleby uczestniczą w cyklu produkcji rolniczej i dzięki nim możliwe jest pozyskiwanie produktów żywnościowych, medycznych, biopaliw, włókna, drewna i innych. Usługi regulacyjne związane są z funkcjami środowiska, a rola gleb w tych usługach dotyczy m.in. sekwestracji węgla i modyfikacji składu atmosfery, przeciwdziałania zagrożeniom naturalnym np. występowaniu powodzi. W usługach wspomagających, gleby odgrywają ważną rolę, ponieważ są miejscem obiegu pierwiastków, zapewniają różnorodność biologiczną oraz krążenie wody. Usługi kulturowe nie wiążą się bezpośrednio z pozyskiwaniem dóbr materialnych, ale wskazują wartości środowiska. Gleby wpływają na walory estetyczne krajobrazu, stanowią zasoby o znaczeniu kulturowym, duchowym i naukowo-poznawczym (36).

Wykorzystanie gleb nierozzerwalnie wiąże się z rolnictwem i jego udziałem w generowaniu usług ekosystemowych. Rolnictwo wytwarza wiele produktów, które mogą być łatwo wycenione przez rynek, ale wycena ta nie uwzględnia kosztów usług środowiskowych, w tym usług gleb, dlatego koszty te nie pozostają w kręgu zainteresowań producentów rolnych (38). Wdrożenie koncepcji usług ekosystemowych do polityki rolnej jest bardzo trudne, chociaż Wspólna Polityka Rolna obejmuje instrumenty stymulujące dostarczanie usług ekosystemowych przez gleby poprzez działania chroniące je np. przed erozją, zanieczyszczeniem czy utratą materii organicznej oraz różnorodności biologicznej.



Rys. 2. Kaskadowy model analizowania usług ekosystemowych

Źródło: Wieliczko, 2016 (38) za Primmer i in., 2015

Jedną z najważniejszych kwestii w ocenie usług ekosystemów jest analiza ich realnej wartości, która wymaga interdyscyplinarnego połączenia wiedzy z zakresu ekologii i ekonomii, a w przypadku usług ekosystemowych gleb również gleboznawstwa. Zdaniem Wieliczko (38) jedną z lepszych metod dla takich oszacowań jest model kaskadowy (Rys. 2), który zawiera analizę charakterystyki i struktury danego ekosystemu i w konsekwencji pozwala na wprowadzenie instrumentów polityki państwa, które mogą wspierać te usługi.

Zdaniem Baveye i in. (5) wycena usług ekosystemowych gleb i nadanie im określonej wartości pieniężnej nie jest jeszcze możliwe, ponieważ nie zostały rozpoznane wszystkie procesy zachodzące w glebach, a w przypadku usług kulturowych trudno w ogóle nadać im wartość. Pomimo sceptycznych głosów, podejmowane były próby wyceny usług ekosystemowych. Najprostsze z tych oszacowań dotyczą np. kosztów związanych z utratą warstwy ornej na skutek erozji wodnej. Almansa i in. (4) zastosowali podejście, w którym obliczyli koszty ponownego nawiezienia każdego metra sześciennego gleby zmytego przez wodę, a Adhari i Nadella (1) spadek plonów lub w przypadku użytków zielonych zmniejszenie się liczby wypasanych zwierząt. Jak podaje Baveye i in. (5) nawet w tak prostych ocenach nie liczą się tylko koszty utraty korzyści, ale też inne koszty związane np. z zamulaniem rzek w wyniku erozji, tworzeniem się wąwozów, przenoszeniem warstw gleby i niszczeniem upraw na sąsiednich polach itp., które powinny być uwzględnione w całościowym rachunku ekonomicznym.

Podsumowanie

Koncepcje jakości gleb, funkcji gleb oraz usług ekosystemowych odegrały bardzo ważną rolę w polityce światowej i były przedmiotem wielu opracowań naukowych. Szczególnie popularna obecnie teoria usług ekosystemowych ma na świecie wielu zwolenników, ale równie wiele osób odnosi się do niej bardzo sceptycznie. Omówione koncepcje mają nie tylko znaczenie praktyczne, ale też pozwalają uświadamiać społeczeństwu oraz decydującym zależności człowieka od przyrody, odpowiedzialności za nią i zasady zrównoważonego rozwoju (36). Wskazują na podmiotowe traktowanie gleb oraz podkreślają ich znaczenie w gospodarce człowieka, szczególnie w takich dziedzinach jak rolnictwo czy leśnictwo, ale też niosą ze sobą wiele bardzo poważnych pytań o metody dokonywania ocen, wybór wskaźników oraz realne ich zastosowanie w procesie podejmowania decyzji na różnych szczeblach i oddziaływanie na politykę regionalną i międzynarodową (5, 38).

Pomimo, że wiele gałęzi gospodarki ściśle zależy od usług ekosystemowych gleb, to działalność człowieka przyczynia się do degradacji środowiska glebowego nie tylko w poszczególnych regionach, ale również w skali globalnej. Nadmierna emisja gazów cieplarnianych i wywoływane przez nie zmiany klimatu dotyczą wszystkie kraje. Przewidywany wzrost zaludnienia oraz zwiększone zapotrzebowanie na produkty żywnościowe będą powodować zwiększoną presję na gleby rolnicze oraz zwiększone ryzyko ich degradacji. Stan większości gleb na świecie oceniany jest jako słaby lub bardzo słaby ze względu na m.in. występowanie erozji czy zakwaszenie, a długoterminowe prognozy dotyczące polepszenia ich jakości nie są zadawalające (5). Cześć usług ekosystemowych dostarczanych przez gleby np. udział w krążeniu pierwiastków i wody czy podtrzymywanie różnorodności biologicznej nie mają realnych substytutów, dlatego potrzebny jest system monitorowania zmian i oceny skutków degradacji gleb z uwzględnieniem różnych grup interesariuszy, których będą dotyczyć korzyści, ale również koszty oceny i naprawy tych zmian. Pomimo licznych działań w celu ochrony środowiska glebowego, najbardziej istotne w tej kwestii będzie zwiększenie edukacji i wzrost świadomości społecznej w zakresie korzyści jakie czerpią ludzie z usług dostarczanych przez gleby.

Literatura

1. Adhikari B., Nadella K.: Ecological economics of soil erosion: a review of the current state of knowledge. *Ecol. Econ. Rev.* 2010:1219, 134-152. Doi:10.1111/j.1749-6632.2010.05910.x
2. Adhikari K., Hertemink A.: Linking soils to ecosystem services – A global review. *Geoderma*, 2016, **262**:101-111.
3. Al-Kaisi M., Lal R., Olson K., Lowery B: Fundamentals and functions of soil environment. *Soil Health and Intensification of Agroecosystems*. 2014, Chapter 1, 1-23. doi <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-805317-1.00001-4>.
4. Almansa C., Calatrava J., Martinez-Paz J.M.: Extending the framework of the economic evaluation of the erosion control actions in Mediterranean basins. *Land Use Policy*, 2012, 29:294-308. Doi:10.1016/j.landusepol.2011.06.013.

5. Baveye P.C, Baveye J., Gowdy J.: Soil “ecosystem” services and natural capital: critical appraisal of research on uncertain ground. *Frontiers in Environmental Sciences*; 2016, **4**: 1-49.doi:10.3389/fenvs.2016.00041.
6. Blum W.E.H.: Functions of soil for society and environment. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.*2005, **4**: \75-79. doi: 10.1007/s11157-005-2236-x.
7. Constanza R. d’Arge R., de Groot R., Faber S., Grasso M., Hannon B. i in.: The value of the world’s ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, **387**: 253-260.
8. Czyż E. A. , Łopatka A., Dexter A. R. , Łysiak M., Stanek-Tarkowska J.: Podatność gleb na zagęszczenie. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2013, **35(9)**: 57-96.
9. Dexter A.R.: Soil physical quality Part III: Unsaturated hydraulic conductivity and genera conclusions about S-theory. *Geoderma*, 2004, **120**: 227-239.
10. Doran J.W, Zeiss M.R.: Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, 2000, **15**: 3-11.
11. Doran J.W.: Soil health and global sustainability: translating science into practice: *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2002, **88**: 119-127.
12. Doran, J.W., Parkin T.B.: Defining and assessing soil quality. In J.W. Doran, D. C. Coleman, D.F. Bezdicek and B.A. Stewart, eds. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. 1994. SSSA, Inc., Madison, Wisconsin, USA.
13. Ecosystem services : http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/Eco-systems%20goods%20and%20Services/Ecosystem_PL.pdf.
14. Europejska Karta Gleby: https://pl.wikipedia.org/wiki/Europejska_Karta_Gleby; cytowanie z dn. 15.07.2017.
15. Filipiak K.: Syntetyczny wskaźnik żyzności gleby. Nawozy i Nawożenie- *Fertilizers and Fertilization*, 2010, **41**: 7-16.
16. Food and Agriculture Organization for the United Nations. Soil Functions: <http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/en/c/284478/>, cytowanie z 15.07.2017.
17. Jończyk K., Jadczyk J., Filipiak K., Stuczyński T.: Przewidywane zróżnicowanie zawartości materii organicznej w glebach Polski w kontekście ochrony gleb i ich rolniczego wykorzystania. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2008, **12**: 145-154.
18. Jones A., Panagos P., Barcelo S., Bouraoui F., Bosco C., Dewitte O., Gardi C., Erhard M., Hervás J., Hiederer R., Jeffery S., Lükewille A., Marmo L., Montanarella L., Olazábal C., Petersen J.-E., Penizek V., Strassburger T., Tóth G., Van Den Eeckhaut M., Van Liedekerke M., Verheijen F., Viestova , Yigini Y.: The state of soil in Europe, *JRC Reference Reports*, 2012, ss. 71.
19. Kibblewhite M.G., Jones R.J.A., Montanarella L., Baritz R., Huber S., Arrouays D., Micheli E., Stephens M. (eds): *Environmental assessment of soil for monitoring. Volume VI: Soil monitoring system for Europe. JRC Scientific and Technical Reports*, 2008, EUR 23490 EN/6-2008, ss. 72.
20. Kostecki J., Fruzińska R.: Ochrona Gleb w świetle prawa krajowego i europejskiego. 2012, *Inżynieria Środowiskowa*, **26**: 5-14.
21. Kucharski J., Wyszowska J.: Oddziaływanie rolnictwa na właściwości mikrobiologiczne gleb. W: *Oddziaływanie rolnictwa na środowisko przyrodnicze w warunkach zmian klimatu. Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2010, **19**: 37–53.
22. Legaz B.V, Maia De Souza D., Teixeira R.F.M., Antón A., Putman B., Sala S.: Soil quality, properties, and functions in life cycle assessment: an evaluation models. *Journal of Cleaner Production*, 2017, **140**: 502-515.
23. Martinez-Salgado M.M., Gutiérrez-Romero V., Jannsens, M., Ortega-Blu, R.: Biological soil quality indicators: a review. *Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology*, Mendez (eds), Formatex, 2010, 319-328.
24. Myśków W., Stachyra A., Zięba S., Masiak D.: Aktywność biologiczna gleb jako wskaźnik żyzności i urodzajności. *Roczniki Gleboznawcze*, 1996, **1/2**: 89-99.
25. Nowocień E., Wawer R.: Ocena struktury zagrożeń gleb erozją wodną w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2013, **35(9)**: 29-56.

26. Ochal P.: Wykorzystanie syntetycznego wskaźnika do oceny stanu agrochemicznego gleb w Polsce. Praca doktorska, IUNG-PIB w Puławach, 2011, ss.108.
27. Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the protection of soil and amending Directive 2004/35/EC, 2003/0086 (COD).
28. Rezolucja Parlamentu Europejskiego z dnia 13 listopada 2007 r. w sprawie strategii tematycznej w dziedzinie ochrony gleby (2006/2293 (INI)), P6_Ta(2007)0504.
29. Siebielec G., Stuczyński T., Terelak H., Filipiak K., Koza P., Korzeniowska-Puculek R., Łopatka A., Jadczyżyn J.: Uwarunkowania produkcji rolniczej w regionach o dużym udziale gleb zanieczyszczonych metalami śladowymi. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2008, **12**: 123-143.
30. Smreczak B.: Raport końcowy. Zadanie 1.2. Program Wieloletni IUNG-PIB, lata 2011-20105.
31. Soil Quality for the Environmental Health: http://soilquality.org/functions/function_lists.html cytowanie z 15.07.2017.
32. Soil Quality Indicators: A Review With Implications For Agricultural Ecosystems In Alberta: Indicators of Soil/Land Quality - Examples ([http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/aesa8692](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/aesa8692). Table 2. cytowanie z 15.07.2017.
33. Solon J.: Koncepcja "Ekosystem services" i jej zastosowania w badaniach ekologiczno-krajo-
brazowych, http://paek.ukw.edu.pl/wydaw/vol21/3_Solon_Koncepcja_Ecosystem_Services.pdf
cytowanie z 15.07.2017.
34. Strategia tematyczna w dziedzinie ochrony gleby. Komunikat Komisji do Rady, Parlamentu Europejskiego, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-społecznego oraz Komitetu Regionów, Bruksela, dnia 22.9.2006, KOM(2006)231 wersja ostateczna.
35. Stuczyński T., Łopatka A.: Prognoza przekształceń gruntów rolnych na cele związane z urbanizacją w perspektywie 2030 r. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2013, **14**: 259-272.
36. Sudra P.: Usługi ekosystemowe na tle wybranych koncepcji ekologii miasta. Człowiek i Środowisko, 2015, **39 (1)**: 61-73.
37. Witek T., Górski T.: Przyrodnicza bonitacja rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce. Wyd. Geologiczne, Warszawa, 1997.
38. Wieliczko B.: Wykorzystanie usług ekosystemów w zarządzaniu zasobami naturalnymi w rolnictwie. Studia i Prace WNEiZ US, 2016, **46/2**: 135-141.

Adres do korespondencji:

dr Bożena Smreczak
Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów
IUNG-PIB
ul. Krańcowa 8, 24-100 Puławy
tel. 81 47 86 918
e-mail: bozenas@iung.pulawy.pl

