

Zespół Fundacji Terra Nostra

05

BADANIA GLEBY SOIL TESTING

**PRZEWODNIK ROLNICTWA
REGENERATYWNEGO**
CEE REGENERATIVE
AGRICULTURE GUIDEBOOK



Co-funded by the
European Union

**PRZEWODNIK ROLNICTWA
REGENERATYWNEGO - BADANIA GLEBY**
CEE REGENERATIVE AGRICULTURE
GUIDEBOOK - SOIL TESTING

Autor / Author:

Zespół Fundacji Terra Nostra

Projekt i opracowanie graficzne / Graphic design:

Maciej Wilgosiewicz

Piotr Krukowski

Agencja reklamowa Pixel Star

Wydawca / Publisher:

Fundacja Rozwoju Rolnictwa Terra Nostra

www.fundacjaterranostra.pl

Właściciel projektu / Project Owner:

EIT Food

www.eitfood.eu



Co-funded by the
European Union

Revolucja Rolnictwa Regeneracyjnego to projekt wspierany przez EIT Food. **EIT Food to największa na świecie i najbardziej dynamiczna społeczność zajmująca się innowacjami w branży spożywczej.** Przyspieszamy innowacje, aby zbudować przyszłościowy system żywnościowy, który produkuje zdrową i zrównoważoną żywność dla wszystkich.

Wspierani przez Europejski Instytut Innowacji i Technologii (EIT), organ Unii Europejskiej, inwestujemy w projekty, organizacje i osoby, które dzielą nasze cele dotyczące zdrowego i zrównoważonego systemu żywnościowego. Odblokowujemy potencjał innowacyjny w biznesie i na uczelniach oraz tworzymy i skalujemy start-upy z branży rolno-spożywczej, aby wprowadzać na rynek nowe technologie i produkty. Wyposażamy przedsiębiorców i specjalistów w umiejętności potrzebne do przekształcenia systemu żywnościowego i stawiamy konsumentów w centrum naszej pracy, pomagając budować zaufanie poprzez ponowne łączenie ich z pochodzeniem ich żywności.

Jesteśmy jedną z ośmiu społeczności innowacyjnych utworzonych przez Europejski Instytut Innowacji i Technologii (EIT), niezależny organ UE utworzony w 2008 r. w celu pobudzania innowacji i przedsiębiorczości w całej Europie.

Dowiedz się więcej na www.eitfood.eu lub śledź nas w mediach społecznościowych: Twitter, Facebook, LinkedIn, YouTube i Instagram.

Regenerative Agriculture Revolution is a project under the support of EIT Food. **EIT Food is the world's largest and most dynamic food innovation community.** We accelerate innovation to build a future-fit food system that produces healthy and sustainable food for all.

Supported by the European Institute of Innovation and Technology (EIT), a body of the European Union, we invest in projects, organisations and individuals that share our goals for a healthy and sustainable food system. We unlock innovation potential in businesses and universities, and create and scale agrifood startups to bring new technologies and products to market. We equip entrepreneurs and professionals with the skills needed to transform the food system and put consumers at the heart of our work, helping build trust by reconnecting them to the origins of their food.

We are one of eight innovation communities established by the European Institute for Innovation & Technology (EIT), an independent EU body set up in 2008 to drive innovation and entrepreneurship across Europe.

Find out more at www.eitfood.eu or follow us via social media: Twitter, Facebook, LinkedIn, YouTube and Instagram.

05

BADANIA GLEBY SOIL TESTING

**PRZEWODNIK ROLNICTWA
REGENERATYWNEGO
CEE REGENERATIVE
AGRICULTURE GUIDEBOOK**

SPIS TREŚCI

■ 5.1	WSTĘP	str. 5
■ 5.2	GLEBA I KLUCZOWE JEJ WŁAŚCIWOŚCI	str. 6
■ 5.3	KSZTAŁTOWANIA JAKOŚCI GLEB = KSZTAŁTOWANIE PLONU	str. 11
■ 5.4	AKTUALNA OCENA WŁAŚCIWOŚCI GLEBY TO PODSTAWA JEJ REGENERACJI	str. 12
■ 5.5	ANALIZA GLEBY W ROLNICTWIE REGENERATYWNYM	str. 14
■	5.5.1 POBIERANIE PRÓBEK GLEBOWYCH	str. 15
■	5.5.2 ANALIZA GLEBY	str. 16

TABLE OF CONTENTS

■ 5.1	INTRODUCTION	page 19
■ 5.2	SOIL AND ITS KEY PROPERTIES	page 20
■ 5.3	INFLUENCING THE QUALITY OF SOILS = INFLUENCING THE YIELD	page 25
■ 5.4	CURRENT ASSESSMENT OF SOIL PROPERTIES IS THE BASIS FOR ITS REGENERATION	page 26
■ 5.5	SOIL TESTING IN REGENERATIVE AGRICULTURE	page 28
■	5.5.1 SOIL SAMPLING	page 29
■	5.5.2 SOIL TESTING	page 30

WSTĘP

Wartościowe jedzenie, które trafia na nasz stół, swój początek ma w glebie.

5.1

Zdrową glebę można uznać za pełen życia organizm. Zdrowa gleba dostarcza niezbędnych soli mineralnych oraz wodę dla roślin, które w zamian za to odwdzięczają się dostarczaniem niezbędnych składników odżywczych dla żyjących w glebie grzybów, bakterii oraz innych organizmów. Te bytujące w glebie żywe organizmy stanowią niewielki ułamek masy gleby, jednak odgrywają kluczową rolę w utrzymaniu zdrowia gleby oraz jej fizycznej i chemicznej jakości, gdyż wpływają na strukturę gleby, rozkład materii organicznej oraz przemianę składników pokarmowych. Świadomość tej niezwyklej współzależności pomiędzy żywymi i nieożywionymi elementami gleby i dbanie o zachowanie pomiędzy nimi harmonii kieruje regeneratywnym podejściem do budowania jakości i zdrowia gleb uprawnych. Niestety, szacuje się, że 33% gruntów na świecie jest zdegradowanych w stopniu umiarkowanym do silnego. Niszczenie gleb, a tym samym spadek ich jakości jest wywołany m.in. intensywną uprawą (z wykorzystaniem niewłaściwych narzędzi), zanieczyszczeniami, zmianami klimatu (susza powodująca niedobór wody) i niewłaściwym nawożeniem. Utrzymanie dobrej kondycji gleb jest kluczowe

z punktu widzenia wyżywienia świata, ponieważ szacuje się, że gleba stanowi podstawę produkcji 95% żywności przeznaczonej do spożycia.

Rozwiązaniem w zakresie poprawy kondycji gleb jest rolnictwo regeneratywne. Z roku na rok coraz bardziej widoczne jest jego znaczenie w niezbędnym procesie wzmocnienia gleb, a tym samym poprawieniu jej żyzności. Podstawowym celem rolnictwa regeneratywnego jest odtworzenie i utrzymanie potencjału plonotwórczego gleby, poprzez prowadzenie takiej produkcji rolniczej, która nie szkodzi środowisku przyrodniczemu. Rolnictwo regeneratywne daje szereg korzyści, do których zaliczyć można: produkcję wysokiej jakości żywności oraz paszy, prawidłowe gospodarowanie materią organiczną gleby, poprawę właściwości bio-fizyko-chemicznych (zwłaszcza pH) i wzrost potencjału plonotwórczego gleby; ochronę gleby, wody i powietrza przed skażeniami pochodzenia rolniczego, ograniczenie nakładów finansowych (środki ochrony roślin, nawozy mineralne), oszczędność energii, ograniczenie emisji CO₂.

GLEBA I KLUCZOWE JEJ WŁAŚCIWOŚCI

5.2

Aby lepiej zrozumieć funkcjonowanie gleby, warto jej się przyjrzeć nieco dokładniej.

Gleba to naturalna, zewnętrzna i biologicznie czynna warstwa skorupy ziemskiej. Powstała ze zwierzeliny skalnej w wyniku procesów glebotwórczych, które trwały tysiące lat. Składa się z cząsteczek minerałów, rozkładanej materii organicznej, wody oraz powietrza. Dzieli się na część mineralną oraz organiczną. Gleba jest strukturą trójfazową, zbudowaną z fazy stałej, ciekłej i gazowej.

Do ważnych wskaźników jakości gleby zalicza się jej właściwości chemiczne i fizyko-chemiczne, takie jak: zawartość materii organicznej (węgla organicznego), zawartość azotu ogólnego, zawartość łatwo przyswajalnych dla roślin makroskładników: fosforu, potasu, magnezu, wapnia i siarki, odczyn pH (mierzony w KCl i/lub H₂O), pojemność wymiany kationów, stopień wysycenia kationami o charakterze zasadowym (Ca²⁺, Mg²⁺ i K⁺ Na⁺) zawartość mikroelementów, takich jak żelazo, bor, miedź, mangan i cynk oraz przewodnictwo elektryczne.

Gleba ma zdolności sorbowania, czyli zatrzymywania różnego rodzaju jonów czy substancji, które się do niej dostaną lub już w niej występują. Jakość i żyzność gleb uzależnione są od tzw. **kompleksu sorpcyjnego gleby**, czyli najbardziej aktywnej, rozdrobnionej części stałej fazy gleby, która wpływa na pojemność wymiany kationów. Dzięki zjawisku sorpcji, składniki pokarmowe rozpuszczone w roztworze glebowym nie są wymywane z gleby (na przykład wraz z wsiąkającą po opadach wodą). Dlatego dbałość o kompleks sorpcyjny jest bardzo ważna w budowaniu żyzności i produktywności gleb uprawnych.

Kompleks sorpcyjny gleby tworzą mineralne i organiczne składniki stałej fazy gleby. Są to minerały ilaste (np. illit, wermikulit, montmorylonit) i glebowa materia organiczna wraz z humusem (kwasy huminowe, kwasy fulwowe, huminy). Można zatem uznać, że im więcej tych składników znajduje się w glebie, tym kompleks sorpcyjny ma większą pojemność. Rozproszone są one w glebie w formie koloidalnej i w większości posiadają ładunek ujemny. To właśnie dzięki temu ładunkowi kompleks sorpcyjny jest w stanie zatrzymać naładowane dodatnio jony (np.: kationy wapnia Ca²⁺, magnezu Mg²⁺) - w myśl zasady, że plusy i minusy przyciągają się. Kompleks sorpcyjny zdolny jest także do niewymiennej sorpcji niektórych jonów. Nie jest to sorpcja zależna od ładunku substancji tworzących kompleks i w niewielkim stopniu decyduje o dostępności składników dla roślin. Kompleks sorpcyjny wykazuje również zdolność do sorbowania anionów (np.: chlorkowego, azotanowego (V), siarczanowego (VI)). Ta sorpcja jest jednak znacznie mniejsza niż sorpcja kationów, ponieważ ładunków dodatnich (zdolnych do sorbowania anionów) jest w kompleksie mniej niż ładunków ujemnych. Dlatego aniony (np. NO₃⁻) są sorbowane w stosunkowo niewielkich ilościach i łatwo ulegają wymyciu w głąb profilu glebowego.

Kompleks sorpcyjny działa jak magazyn czy poczekalnia dla jonów rozpuszczanych w roztworze glebowym - odpowiada za zatrzymywanie oraz uwalnianie do roztworu glebowego różnych jonów, w tym kluczowych dla życia roślin składników pokarmowych. Na miejsce uwalnianych do roztworu glebowego jonów

sorbowane są inne w równoważnej ilości, dlatego też kompleks sorpcyjny odpowiada za sorpcję wymienną jonów. **Sorpcja wymienna polega na wymianie jonów pomiędzy roztworem glebowym, a kompleksem sorpcyjnym.** Podczas reakcji wymiany ustala się stan dynamicznej równowagi między ilością i strukturą kationów występujących w roztworze glebowym, a ilością odpo-

wiednich jonów w kompleksie sorpcyjnym. Duże stężenie jonów w roztworze glebowym zwiększa ich sorpcję, w ten sposób jony o dużej energii wejścia (słabo sorbowane) mogą również przenikać do kompleksu sorpcyjnego (np. Na^+ , jeśli występuje w glebie w dużym stężeniu).

Poniżej przedstawiono kolejność wejścia i wyjścia kationów do kompleksu sorpcyjnego:



Wzrost energii adsorpcji kationów [wejścia do kompleksu sorpcyjnego]

Wzrost energii desorpcji kationów [wyjścia z kompleksu sorpcyjnego]

Najmniejszą energię wejścia do kompleksu sorpcyjnego wykazuje H^+ (jest łatwo sorbowany), następnie jony trójwartościowe, dwuwartościowe, a najmniejszą jony jednowartościowe. Kationy łatwo sorbowane (o małej energii wejścia) są trudniej usuwalne

z kompleksu sorpcyjnego (gdyż wykazują jednocześnie dużą energię wyjścia). Sumaryczna ilość wszystkich wymiennie sorbowanych jonów to tzw. pojemność sorpcyjna gleby - CEC*.

* pojemność sorpcyjna w glebach jest zmienna i koreluje z pH gleby. W glebie o pH poniżej 6 występuje nadmiar jonów H^+ w roztworze gleby/wody i wiele miejsc wymiany ujemnej jest zajętych przez kationy kwasowe, takie jak Al^{2+} i Fe^{2+} . W miarę wzrostu pH gleby, spowodowanego dodaniem Ca, Mg, K i Na jony Al i Fe łączą się z ujemnie naładowanymi jonami OH^- w roztworze gleby i wody, tworząc nierozpuszczalne tlenki glinu i żelaza oraz uwalniając ujemnie naładowane jony OH^- . Miejsca w próchnicy odgrywają rolę w wymianie składników pokarmowych. Gleba o wysokiej zawartości materii organicznej będzie miała niską „efektywną” zdolność wymiany przy niskim pH, ponieważ wiele ujemnych miejsc wymiany będzie wypełnionych ściśle związanymi Al i Fe. Dodanie kationów zasadowych, zwłaszcza wapnia, podniesie pH, a jony Ca^{2+} wyprą Al i Fe przez „wymienny” Ca.

Próchnica to podstawowy wskaźnik żyzności gleb. **Próchnica glebowa jest bardzo ważną częścią materii organicznej gleby, której ogólną zawartość możemy zmierzyć oznaczając w glebie całkowitą zawartość węgla organicznego.** Materia organiczna gleb jest więc zatem różnorodną mieszaniną wszystkich resztek organicznych pochodzenia roślinnego czy zwierzęcego, które trafiają do gleby i ulegają w niej rozkładowi i przekształceniom. Z biochemicznego punktu widzenia próchnica jest częścią materii organicznej, którą budują złożone, bezpostaciowe substancje (nie da się w nich

odróżnić komórek roślinnych czy zwierzęcych). Powstają one z przekształcenia szczątków organicznych, głównie roślinnych przy udziale organizmów glebowych (mn. bakterii, grzybów) i drobnych bezkręgowców, np. dżdżownic. Często występują w połączeniu z mineralną fazą gleby. Po przekształceniu szczątków organicznych ostatecznie frakcję próchnicy tworzą różne substancje organiczne i mineralno-organiczne, gromadzące się w glebie lub na jej powierzchni, które są źródłem ujemnych ładunków w glebie.

PRÓCHNICA PEŁNI W GLEBIE SZEREG WAŻNYCH FUNKCJI, GDYŻ DECYDUJE O:

■ **zdolności zatrzymywania i gromadzenia składników pokarmowych (pojemność sorpcyjna) – poprawia magazynowanie i dostępność składników pokarmowych oraz zmniejsza ich straty*;**

■ **pojemności wodnej i zdolności jej zatrzymywania – zwiększa retencję wodną i minimalizuje skutki suszy (gleby są bardziej na nią odporne);**

■ **stabilności struktury gleby – poprawia strukturę gleby, zwłaszcza w obecności jonów Ca^{2+} , przez co zapobiega utracie wody i składników pokarmowych w lekkich**

glebach piaszczystych i rozluźnia gleby zwarte, w których polepsza się napowietrzenie. Zapobiega erozji wodnej i wietrznej gleby;

■ **aktywności biologicznej – zwiększa jej aktywność przez korzystny wpływ na namnażanie pożytecznych mikroorganizmów glebowych, które decydują o zdrowiu gleby;**

■ **barwie i właściwościach cieplnych gleby – ciemniejszy kolor zwiększa absorpcję energii słonecznej, co powoduje lepsze nagrzewanie się gleb.**

* Próchnica może mieć pojemność wymiany większą niż nawet najwyższe CEC minerałów ilastych - im wyższy poziom próchnicy w glebie, tym większa pojemność sorpcyjna gleby.

Substancje tworzące frakcje próchnicy uznawane są również za najbardziej stabilną część materii organicznej gleby, która nie ulega tak łatwo rozkładowi jak świeże resztki roślinne i zwierzęce, dlatego też stanowią największą część materii organicznej. **W budowaniu zapasów próchnicy w glebach kluczowe jest dodawanie do gleby odpowiedniej ilości materii organicznej i ochrona życia biologicznego gleb.** Zwykle, jeszcze biologicznie nieprzetworzona materia organiczna z kompostu, obornika, lub pozostałości po ubiegłorocznych uprawach, nie ma bowiem zbyt dużej zdolności sorpcji składników pokarmowych czy zatrzymywania wody, dopóki nie zo-

stanie przekształcona w próchnicę. Tworzenie próchnicy wymaga zaś działania różnych organizmów glebowych. Kiedy żaden z nich nie może już nic zrobić z materią organiczną jako pożywieniem, staje się ona bardzo złożoną strukturą węglową, która może pomieścić i uwolnić wielokrotność swojej wagi w wodzie i składnikach odżywczych roślin. Ponadto próchnica zapobiega zaskorupianiu się gleby (gdyż poprawia stabilność agregatów glebowych) i zapobiega gwałtownym zmianom pH (ma właściwości buforowe). Wraz ze wzrostem zawartości próchnicy w glebie zmniejsza się także dostępność toksycznych substancji z gleby (z odpadów przemysłowych,

środków ochrony roślin) oraz szkodliwych metali ciężkich (kadm, ołów, glin). Próchnica posiada zdolność przyciągania wielu tych szkodliwych substancji, przez co następuje ich unieruchomienie i stają się one niedostępne (i tym samym mniej toksyczne) dla roślin i organizmów glebowych. Ma to bardzo duże znaczenie, gdyż zwiększona zawartość potencjalnie szkodliwych substancji w roślinach stanowi zagrożenie dla zdrowia konsumentów. Próchnica ma również duży wpływ na gospodarkę azotem i fosforem na polach uprawnych. W glebie azot jest najbardziej ruchomym pierwiastkiem i próchnica zapobiega jego wypłukiwaniu w głąb gleby.

Zachowanie zasobów próchnicy glebowej jest istotne nie tylko ze względu na utrzymanie produkcyjnych funkcji gleb, ale również z punktu widzenia roli gleb w sekwestracji (wiązaniu) węgla z atmosfery i redukcji skutków efektu cieplarnianego. Według Rady Misyj ds. Zdrowia Gleby i Żywności UE, obserwuje się obecnie straty zawartości węgla organicznego z powierzchniowej warstwy gleb uprawnych (0-20 cm) krajów UE, wynoszące średnio 0,5 % rocznie. Spadek zawartości węgla organicznego w glebach uprawnych wynika z niewystarczającej ilości komponentów do budowania zasobów materii organicznej w glebach oraz z intensywnej uprawy gleb. Podstawowe błędy agrotechniczne sprzyjające utracie

węgla z gleb uprawnych to: niewykorzystywanie nawozów słoży, nieumiejętne wykorzystywanie potencjału, jaki stwarzają rośliny okrywowe (poplony ścierniskowe, ozime i wsiewki poplonowe), ciągły, dramatycznie niski udział roślin bobowatych (soja, łubin, groch, peluszka, koniczyzny, lucerny i inne) w płodozmianach oraz zbyt intensywna uprawa gleb, sprzyjająca degradacji struktury gleb i szybkiej mineralizacji szczątków organicznych. Niestety, ten niewykorzystany potencjał do zwiększenia żyzności i produktywności gleb jest powszechny. Należy to **zmienić i wprowadzić w praktyce rolniczej kompleksową nową strategię postępowania w budowaniu żyzności gleb, ze szczególnym uwzględnieniem odbudowania zasobów glebowego węgla.** Ma on kluczowe znaczenie dla jakości gleb. Jednym ze sposobów zwiększenia próchnicy w glebie jest dodawanie materii organicznej i uzdrowienie życia w glebie. Zapewni to jej właściwe rozłożenie i przekształcenie. Jeśli równowaga mineralna gleby jest optymalna, zwłaszcza z odpowiednią podażą siarki, każda świeża materia organiczna dodana do niej będzie miała tendencję do tworzenia stabilnej próchnicy.

Do odpowiedniego wzrostu roślin wymagane jest (rozpoznanych do obecnej chwili) 18 pierwiastków. Dzielą się one na **makroskładniki** oraz **mikroskładniki**.

MAKROSKŁADNIKI

węgiel, tlen, wodór, azot, fosfor, siarka, potas, wapń, magnez

MIKROSKŁADNIKI

mangan, cynk, żelazo, bor, miedź, nikiel, chlor, molibden, kobalt

Pozostałe pierwiastki także są pobierane przez rośliny i w pewnym stopniu mogą być im potrzebne dla

zapewnienia przebiegu określonych funkcji fizjologicznych.

Należy szczególnie pamiętać, że **podstawowym warunkiem prawidłowego odżywiania roślin jest zrównoważona podaż składników mineralnych, a potem ich niezakłócona dostępność dla roślin** - powodowana wzajemnymi antagonizmami i wzajemnym blokowaniem pierwiastków na etapie ich pobierania przez rośliny. Zauważyć też należy, że wnoszone do gleby w nadmiarze lub jednostronnie, wywołują opisane zjawiska w sposób szczególnie, np. Ca^{2+} .

Jako **optymalny odczyn** dla wzrostu większości roślin uprawnych powszechnie przyjmuje się odczyn **obojętny (pH 6,6 - 7,2) lub słabo kwaśny (pH 5,6 - 6,5)**. Odpowiednie wartości pH w określonym typie i rodzaju gleb zapewniają roślinom korzystne warunki pobierania składników pokarmowych. Natomiast w glebach silnie kwaśnych zmniejsza się aktywność biologiczna bakterii i promieniowców, pogarsza się skład kompleksu sorpcyjnego, a do roztworu glebowego uwalniają się duże ilości toksycznego glinu i manganu, co skutkuje obniżeniem plonów roślin i pogorszeniem ich jakości. Podobnie dla gleb nadmiernie zasadowych zmieniają się warunki dostępności i pobierania składników odżywczych.

Do najważniejszych **właściwości fizycznych** gleby należą: skład granulometryczny, struktura, gęstość gleby, porowatość, zwięzłość, pęcznienie i kurczenie oraz właściwości funkcjonalne: wodne, powietrzne i cieplne. Właściwości fizyczne gleby mają duże znaczenie dla wzrostu i plonowania roślin uprawnych. W warunkach polowych **trwała struktura agregatowa gwarantuje najkorzystniejszy stan fizyczny gleby**. Zapobiega ona nadmiernemu zagęszczeniu gleby, zapewnia glebie korzystną zawartość porów kapilarnych, retencjonujących wodę oraz porów powietrznych. Trwałość agregatów wpływa zatem pośrednio na rozwój mikroorganizmów glebowych, zwiększa aktywność biologiczną gleby, poprzez stworzenie stabilnego środowiska ich bytowania, zapewniającego im dopływ wody, składników odżywczych oraz powietrza. Stabilna struktura stwarza odpowiednie warunki dla kiełkowania, wschodów i rozwoju roślin, wpływa na długość ich korzeni i gęstość łanu. Wodoodporna struktura agregatowa chroni glebę przed zaskorupieniem powierzchniowym, zwiększa infiltrację wody opadowej, zmniejsza

szybkość spływu powierzchniowego i erozję wodną. Trzeba zaznaczyć, że **tworzenie i stabilizacja agregatów glebowych jest rezultatem współdziałania wielu czynników fizycznych, chemicznych i biologicznych**, przy czym wstępnym warunkiem agregacji jest obecność i flokulacja minerałów ilastych oraz obecność różnych frakcji materii organicznej gleb. Warto pamiętać zatem, że **stabilizująca środowisko glebowe struktura gleby jest współtworzona przez nieorganiczne i organiczne frakcje gleby (tak zwane nieorganiczne i organiczne środki wiążące)**. **Nieorganiczne**, stabilizujące środki obejmują głównie minerały ilaste, wielowartościowe kationy metali (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+}), tlenki i wodorotlenki żelaza i glinu, węglany wapnia i magnezu. Wśród **organicznych** związków stabilizujących glebę, wyróżniane są przejściowe lepiszcza, szybko rozkładane przez mikroorganizmy, obejmujące mikrobiologiczne i roślinne polisacharydy. Tymczasowymi lepiszczami są korzenie roślin, strzępki grzybni i niektóre grzyby. Aby trwałość struktury została utrzymana, te organiczne środki wiążące muszą być ciągle dostarczane do gleby. Trwałe wiążące środki składają się z odpornych aromatycznych substancji próchnicznych, związanych z wielowartościowymi kationami metali i silnie sorbujących polimerów. Są to frakcje materii organicznej bardziej odporne na rozkład.

Właściwości wodne gleby, zwłaszcza retencja wody użytecznej (dostępnej) dla roślin oraz przewodnictwo wodne, kształtują bilans wodny gleby oraz mają decydujący wpływ na warunki wzrostu, rozwoju i plonowania roślin. Determinują dostępność wody do systemu korzeniowego rośliny oraz przemieszczanie się jej wraz z rozpuszczonymi składnikami pokarmowymi do głębszych poziomów genetycznych. Do najważniejszych właściwości wodnych gleby zaliczane są: wilgotność aktualna, połowa pojemność wodna, retencja wody dostępnej dla roślin i przewodnictwo wodne.

Do **biologicznych wskaźników jakości gleby** zaliczane są m. in.: plony roślin, liczebność fauny glebowej (dżdżownic, wazonkowców, owadów i in.), liczebność mikroorganizmów, zawartość C i N w biomacie mikroorganizmów, oddychanie mikrobiologiczne gleby i aktywność enzymatyczna.

KSZTAŁTOWANIE JAKOŚCI GLEB = KSZTAŁTOWANIE PŁONU

Wobec obecnych wyzwań środowiskowych konieczne jest zapewnienie prawidłowego odżywiania roślin.

5.3

Wobec obecnych wyzwań środowiskowych związanych z częstymi deficytami wody dostępnej dla roślin, skrajnie wysokimi temperaturami, niedostosowaniem gatunków do zmieniającego się klimatu, rutynowym (konwencjonalnym) podejściem do szeroko rozumianych praktyk uprawowych i nawozowych, **konieczna jest pełna ich optymalizacja i racjonalizacja w celu zapewnienia prawidłowego odżywiania roślin.** Tym sposobem zminimalizujemy produkcję surowców rolnych o wadliwym składzie mineralnym z zachwianymi proporcjami pomiędzy składnikami odżywczymi (tak istotnymi z punktu widzenia żywieniowego roślin i ludzi) oraz zoptymalizujemy plony. Pamiętajmy, że **naszym obowiązkiem jest nie zakłócać równowagi w glebach. Tylko zrównoważone działania dotyczące gleb pozwolą osiągnąć zrównoważone jakościowo plony.**

W prawidłowym odżywianiu roślin kluczowym elementem jest odpowiednia zawartość w glebie składników odżywczych w przyswajalnej formie dla roślin oraz - co szczególnie ważne- odpowiednie proporcje pomiędzy składnikami mineralnymi w glebie. Warstwa gleby powinna charakteryzować się jednocześnie odpowied-

nią miąższością i być wystarczająco luźna, wykazywać odpowiednie stabilne warunki wodno-powietrzne oraz proporcje pomiędzy wodą a powietrzem, aby zapewnić korzeniom roślin uprawnych oraz organizmom glebowym dopływ wody glebowej wraz z rozpuszczonymi w niej składnikami odżywczymi oraz dostęp powietrza.

Równoległe zaangażowanie fizycznych, chemicznych, fizyko-chemicznych oraz biologicznych czynników jest niezbędne w budowaniu zdrowia i jakości gleb oraz plonów roślin. Występują bowiem między nimi ścisłe związki przyczynowo – skutkowe, które determinują żyzność i urodzajność gleb. Są one ze sobą nierozzerwalnie powiązane i wzajemnie na siebie oddziałują, zatem muszą być traktowane całościowo, holistycznie.

Istotnym elementem w nowym spojrzeniu na glebę jest zrozumienie jej funkcjonowania, ale także znajomość nowych metod i sposobów jej analizy, a potem umiejętność właściwego działania w praktyce na polu, jako logicznej konsekwencji powstania nowego rodzaju danych.

AKTUALNA OCENA WŁAŚCIWOŚCI GLEBY TO PODSTAWA JEJ REGENERACJI

5.4

Z powodu niewłaściwego zarządzania glebami, nastąpiło naruszenie równowagi jonowej między składnikami pokarmowymi w łańcuchu produkcyjnym od pola do stołu.

Ubywające z gleb wraz ze zbiorem plonów składniki odżywcze uzupełniane są w postaci nawozów - głównie mineralnych. Nawozy te stosowane są często i jednostronnie, zaburzając pierwotny stosunek jonów występujących w glebie. Nie uzupełnia się składników wyczerpywanych w mniejszym stopniu przez rośliny. Stosowanie wyłącznie nawożenia mineralnego NPK - niesłusznie nazywane w praktyce nawożeniem pełnym, spowodowało naruszenie równowagi jonowej w glebach uprawnych, co jest bardzo niekorzystne*. Należy pamiętać jednak, że nie nawozimy roślin, tylko wprowadzamy do gleby nawozy, a te w zależności od wielu parametrów,

w tym równowagi pomiędzy nimi, będą pobierane przez roślinę uprawną. Zapomina się o zasadzie, że podstawowym źródłem składników mineralnych dla roślin jest gleba, a nawożenie powinno uzupełniać te składniki, które znajdują się w glebie w niedostatecznej ilości. Dostępność składników pokarmowych dla roślin to proces dosyć dynamiczny. Część składników dostarczonych z nawozami może ulec trwałemu związaniu w glebie, wymyciu, przemieszczeniu bądź ulotnieniu, dlatego określając dawki nawozów trzeba uwzględnić współczynnik ich wykorzystania.

**W nawożeniu obowiązuje prawo minimum opracowane przez Justusa von Liebiga mówiące, że podstawowe parametry plonu, jego wielkość i jakość są uwarunkowane czynnikiem występującym w najmniejszej ilości. Jeśli więc obok wysokiej dostępności dla roślin w środowisku glebowym większości składników mineralnych jeden występuje w ilościach niedoborowych, to właśnie on będzie powodował niski ilościowo plon, bądź jego kiepską jakość.*

Składniki mineralne wzajemnie na siebie oddziałują. Polega to na tym, że wysoki lub zbyt niski poziom jednego blokuje lub uniemożliwia pobranie drugiego składnika.

Z dotychczas przeprowadzonych badań wiadomo o następujących oddziaływaniach (wysoki i niski poziom – ogranicza możliwość występowania i pobierania):

WZAJEMNE ODDZIAŁYWANIE SKŁADNIKÓW MINERALNYCH (wysoki i niski poziom ogranicza możliwość występowania i pobierania):

WAPNIA – potasu, magnezu, boru, cynku, manganu, żelaza

POTASU – magnezu, boru, wapnia

FOSFORU – potasu, cynku, miedzi, żelaza

AZOTU – potasu, boru, miedzi

MIEDZI – żelaza, manganu

CYNKU – żelaza

MOLIBDENU – miedzi

MANGANU – żelaza

Duży wpływ na występowanie i pobieranie składników mineralnych ma odczyn - pH gleby. W warunkach niskiego pH (nadmierna kwasowość gleb) najbardziej dostępne dla roślin są mikroelementy metaliczne, zwłaszcza żelazo i cynk, najsłabiej zaś makroelementy – wapń i potas. W konsekwencji następuje zahamowanie wzrostu systemu korzeniowego, ograniczenie pobierania wielu składników mineralnych, zwłaszcza fosforu, wapnia, magnezu, a także molibdenu.

Rozwiązaniem w zakresie poprawy kondycji gleb jest rolnictwo regeneratywne, które nabiera coraz większego znaczenia wobec konieczności wzmocnienia jakości gleb, a tym samym poprawienia jej żyzności. Dbałość o jakość gleb będzie podstawowym celem nie tylko rolników i gospodarstw rolnych, ale przede wszystkim każdego producenta, ze względu na wzrost znaczenia bezpieczeństwa środowiskowego żywności i coraz większe w tym obszarze restrykcje.

ANALIZA GLEBY W ROLNICTWIE REGENERATYWNYM

5.5

Badania gleb to podstawa właściwego, efektywnego zarządzania gospodarstwem rolnym w XXI wieku.

Określenie właściwości chemicznych i fizyko-chemicznych powinno być podstawą dawkowania nawozów i optymalizacji plonów. Analiza laboratoryjna gleb jest niezwykle ważna w chemii rolnej. Dobór odpowiedniej metody badawczej warunkuje osiągnięcie dokładnego i rzetelnego wyniku.

Gleba, ze względu na swoją różnorodność i dynamikę zmian w niej zachodzących, wymaga stosowania odpowiednich metod analizy. Dlatego też rozszerzona analityka gleby wraz z diagnozą powinna być wykonana przed jakimkolwiek dodaniem do niej nawozów. Należy zdobyć wiedzę z jaką glebą przychodzi nam pracować i od jakiego poziomu zaczynamy jej regenerację.

Kluczowym elementem nowego podejścia oceny jakości stanu zaopatrzenia gleb w składniki pokar-

mowe jest wykonywanie analizy kompleksu sorpcyjnego gleb (CEC - cation exchange capacity), a potem określenie stopnia wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami, wyrażonego w procentowym udziale kationów zasadowych w bazie CEC, tj. Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ Na^+ oraz H^+ wg Williama^{*}. Procent nasycenia kationami bazowymi wapnia, magnezu, potasu i sodu oraz stosunek tych kationów do siebie jest miarą zdolności gleb do zatrzymywania i uwalniania różnych elementów i związków, szczególnie dodatnio naładowanych składników odżywczych. Pojemność kompleksu sorpcyjnego różnych gleb można porównać do wiadra: niektóre gleby są jak duże wiadro (wysokie CEC), niektóre są jak małe wiadro (niskie CEC). Gleba piaszczysta z niewielką ilością materii organicznej będzie miała bardzo niskie CEC, natomiast gleba gliniasta z dużą ilością materii organicznej (jako humus) będzie miała wysokie CEC.

**Od lat dwudziestych do końca lat czterdziestych XX wieku dr William Albrecht, przeprowadził wiele eksperymentów z różnymi proporcjami kationów składników odżywczych, wapnia, magnezu, potasu i sodu w glebach. On i jego współpracownicy, pracujący w Rolniczej Stacji Doświadczalnej Uniwersytetu Missouri, doszli do wniosku, że najsilniejsze, najzdrowsze i najlepiej odżywione rośliny były uprawiane w glebie, w której CEC gleby było nasycone do około 65% kationami wapnia, 15% magnezu, 4% potasu i 1% do 5% sodu (tak, nie sumują się one do 100%). Taki stosunek nie tylko zapewnia luksusowe poziomy tych składników odżywczych dla upraw i życia w glebie, ale także silnie wpływa na strukturę gleby i jej pH.*

POBIERANIE PRÓBEK GLEBOWYCH

Wpływ na rzetelność badań ma proces pobierania prób gleby.

5.5.1

Konsekwencją niewłaściwie przygotowanej próbki gleby jest zarówno zaburzony wynik analizy, jak i jego interpretacja oraz zalecenia w zakresie nawożenia. Proponowany poniżej sposób poboru próbek eliminuje te

zagrożenia. Kluczowe jest odejście od dotychczasowej praktyki poboru prób co cztery lata na rzecz corocznego poboru prób glebowych.

POBÓR PRÓBEK GLEBOWYCH ODBYWA SIĘ:

z tego samego miejsca, poprzez koordynaty GPS,

o tej samej porze roku, co gwarantuje porównywalność składu gleby w czasie,

przez tę samą osobę, co gwarantuje jednolitość pobieranych prób.

Ważną zasadą jest również mikroprofilowy układ pobierania prób glebowych pozwalający na uzyskanie dynamicznego obrazu zmian gleby w układzie pionowym w danym miejscu pola. Próby gleby pobrane z tej samej lokalizacji oraz pola, uzyskane w corocznym horyzoncie czasowym, dają podstawy do racjonalnej gospodarki nawozowej umożliwiającej elastyczne i w pełni racjonalne realizowanie odżywiania roślin i gleby z pełnym poszanowaniem zmieniającego się środowiska oraz wymagań jakościowych żywności.

Analiza pobranej gleby wykonywana jest w możliwie szybkim odstępie czasu od jej poboru.

Analizując dane z badań w okresie corocznym możemy wykreślić trend wielkości danego parametru w czteroletnim horyzoncie czasowym. Pozwala to szybko i celowo wpływać na prognozowane zmiany w układzie poziomym (okres 1-2-3-4 lat) oraz umożliwia odpowiednie nawożenie.

ANALIZA GLEBY

5.5.2

Punktem wyjścia dla rolników chcących zacząć swoją przygodę z rolnictwem regeneratywnym jest wiarygodne oszacowanie CEC (Cation Exchange Capacity) gleby, na której pracują.

Zalecany testem glebowym dla zrównoważenia składników pokarmowych jest **test Mehlich 3**. Roztwór Mehlich 3 lub M3 jest ekstrahentem silnie kwasowym (pH 2,5). Test ten umożliwia zmierzenie nie tylko

ilość składników pokarmowych, które są łatwo dostępne dla roślin, ale także te, które są potencjalnie dostępne, tak zwane rezerwy.

Aby uzyskać pełne wyniki, należy wykonać test gleby Mehlich 3 dla wszystkich poniższych elementów mineralnych:

Kationy pierwszorzędowe	Aniony pierwszorzędowe	Elementy drugorzędne
Wapń	Fosfor	Bor
Magnez	Siarka	Żelazo
Potas		Mangan
Sód		Miedź
		Cynk

Przedstawione w tabeli pierwiastki to składniki pokarmowe dla roślin, których działanie dobrze rozumiemy i ważne jest, aby wszystkie one znajdowały się w glebie w odpowiednich ilościach. Nie jest konieczne poznanie ilości mikroelementów, aby zacząć przygodę

z rolnictwem regeneratywnym. Zwykłe testy glebowe nie mierzą ilości tych składników. Jednak, **aby odpowiedzialnie zarządzać swoim gospodarstwem oraz glebą zalecane jest poznanie pełnego spektrum jej możliwości i ograniczeń.**

ZALECANY PAKIET BADAŃ GLEBY W PODEJŚCIU REGENERATYWNYM:

■ *pH w KCl/H₂O, odczyn, potrzeby wapnowania w mg/kg,*

■ *zawartość C-org, próchnica [w %],*

■ *konduktywność [w μ S/cm],*

■ *ocena testem Mehlich 3 zawartości składników: P, K, Mg, Ca, B, Mn, Cu, Zn, Fe, S-SO₄, S, Ca, Mg, K, Na, H, Al; określenie CEC [w me/100g gleby].*

**ODPOWIEDNIA INTERPRETACJA I WYKORZYSTANIE WYNIKÓW BADAŃ GLEBY
W REGENERATYWNYM ZARZĄDZANIU UPRAWAMI WPŁYWA NA:**

- *obniżenie kosztów produkcji,*
 - *długoterminową stabilność produkcji,*
 - *wydajniejszą i efektywniejszą produkcję z posza-
nowaniem środowiska,*
 - *produkcję zrównoważonej żywności.*
-

SOIL TESTING

CEE REGENERATIVE
AGRICULTURE GUIDEBOOK

INTRODUCTION

Valuable food that ends up on our table has its origin in the soil.

5.1

Healthy soil can be considered a living organism. It provides the necessary mineral salts and water for plants, which in return provide the necessary nutrients for fungi, bacteria and other soil-dwelling organisms. They make up a small fraction of the soil weight, but nevertheless play a key role in maintaining soil health and its physical and chemical quality by affecting soil structure, organic matter decomposition and nutrient transformation. Awareness of this extraordinary interdependence between living and non-living elements of the soil and making sure that harmony between them is maintained is what guides the regenerative approach to building the quality and health of agricultural soils. Unfortunately, it is estimated that 33% of the world's land is moderately to severely degraded. The destruction of soil, and the ensuing decrease in their quality, is caused, among others, by intensive cultivation (using the wrong tools), pollution, climate change (drought resulting in water shortage) and improper fertilisation. Keeping it in good condition is crucial to feeding the world, as it is estimated that soil is the basis for the production of 95% of food intended for consumption.

Regenerative agriculture is a way of improving the condition of the soil. Its importance for the necessary soil strengthening, and thus improving its fertility, is increasingly more visible. The primary goal of regenerative agriculture is to restore and maintain the yield-generating potential of the soil by maintaining agricultural production that does not cause harm to the natural environment. Regenerative agriculture offers a number of benefits, such as the production of high-quality food and fodder, proper management of organic matter in the soil, improvement of biological, physical and chemical properties (pH in particular), increase in yield potential; protection of soil, water and air against pollution of agricultural origin, reduction of expenditures (plant protection products, mineral fertilisers), energy saving, reduction of CO₂ emissions.

SOIL AND ITS KEY PROPERTIES

5.2

To better understand how soil works, it's worth taking a closer look at it.

Soil is a natural, external and biologically active layer of the Earth's crust. It was made of weathered rock as a result of soil-forming processes that continued for thousands of years. It consists of mineral particles, decomposed organic matter, water and air. It is divided into the mineral and the organic fraction. Soil is a three-phase structure, made up of solids, liquids and gases.

Important soil quality parameters include its chemical and physical-chemical properties, such as: organic matter (organic carbon) content, total nitrogen, macronutrients easily assimilated by plants, that is phosphorus, potassium, magnesium, calcium and sulphur, pH (measured as KCl and/or H₂O), cation exchange capacity, degree of saturation with alkaline cations (Ca²⁺, Mg²⁺ and K⁺ Na⁺), micronutrients such as iron, boron, copper, manganese and zinc, and electrical conductivity.

The soil has the adsorption capacity, that is the ability to retain various types of ions or substances that get into it or are already present within it. The quality and fertility of soils depend on the so-called **soil adsorption complex**, that is the most active, fragmented part of the solid phase of the soil, which affects the cation exchange capacity. As a result of adsorption, nutrients dissolved in the soil solution are not washed out (e.g. together with water soaking in after rainfall). Therefore, care for the adsorption complex is very important in building the fertility and productivity of agricultural soils.

The soil adsorption complex consists of mine-

ral and organic components of the solid phase. These are clay minerals (e.g. illite vermiculite, montmorillonite) and organic matter together with humus (humic acids, fulvic acids, humins). It can therefore be concluded that the more of these components are present in the soil, the greater the capacity of the adsorption complex. They are dispersed in the soil in a colloidal form and are negatively charged in most cases. This charge enables the adsorption complex to retain positively charged ions (e.g. calcium Ca²⁺, magnesium Mg²⁺ cations) because the opposite charges attract each other. The adsorption complex is also capable of non-exchangeable adsorption of some ions. This type of adsorption does not depend on the charge of the substances forming the complex and to a small extent determines the availability of nutrients for plants. The adsorption complex also shows the capacity to adsorb anions (e.g. chloride, nitrate (V), sulphate (VI)). However, this type of adsorption is much smaller than the adsorption of cations, because there are fewer positive charges (capable of adsorbing anions) in the complex than there are negative ones. Therefore, anions (e.g. NO₃⁻) are adsorbed in relatively small amounts and are easily leached into the soil profile.

The adsorption complex acts as a warehouse or a waiting room for ions dissolved in the soil solution. It is responsible for retaining and releasing various ions into the soil solution, including nutrients that are crucial for plant life. The ions released into the soil solution are replaced by other ions in an equivalent amount, which is why the adsorption complex is responsible for the exchange adsorption of ions. **Exchange adsorption**

involves the exchange of ions between the soil solution and the adsorption complex. During the exchange reaction, a state of dynamic equilibrium is established between the amount and structure of cations present in the soil solution and the amount of the relevant ions in the adsorption complex. A high concentration of ions in

the soil solution increases their adsorption, and so ions with high energy input (poorly adsorbed) can also penetrate into the adsorption complex (e.g. Na^+ if it is present in the soil in high concentration).

The sequence of entry and exit of cations into/from the adsorption complex is shown below:



Increase in cation adsorption energy [entry into the adsorption complex]

Increase in cation desorption energy [exit from the adsorption complex]

H^+ shows the lowest energy input into the adsorption complex (it is easily adsorbed), followed by trivalent and divalent ions, and then by monovalent ions. Easily adsorbed cations (low energy input) are more difficult to remove from the complex (since they also have

high energy output). The total amount of all ions adsorbed in the exchange is the cation exchange capacity (CEC)*.

* the cation exchange capacity in the soil is variable and correlated with soil pH. If soil pH is below 6, there is an excess of H^+ ions in the soil/water solution and many negative exchange places are occupied by acidic cations such as Al^{2+} and Fe^{2+} . As the pH of the soil increases as a result of the addition of Ca, Mg, K and Na, the Al and Fe ions combine with the negatively charged OH^- ions in the soil and water solution to form insoluble aluminium and iron oxides and release the negatively charged OH^- ions. The places in humus play a role in nutrient exchange. Soil with a high content of organic matter will have a low „effective“ exchange capacity at low pH, as many of the negative exchange places will be filled with tightly bound Al and Fe. The addition of basic cations, especially calcium, will raise the pH and Ca^{2+} ions will displace Al and Fe through the „exchangeable“ Ca.

Humus is the primary indicator of soil fertility. **Soil humus is a very important part of soil organic matter, the total content of which can be measured by determining the total organic carbon content.** Organic matter is therefore a diverse mixture of all organic residues of plant or animal origin that end up in the soil and are decomposed and transformed there. From a biochemical point of view, humus is a part of organic matter, which is made of complex, amorphous substances (it is impossible to distinguish plant or animal cells in them). They are formed as a result of transformation of organic

residues, mainly from plants, with the participation of soil organisms (e.g. bacteria, fungi) and small invertebrates, such as earthworms. They often occur in combination with the mineral phase of the soil. After the transformation of organic residue, the resultant humus fraction is formed by various organic and mineral-organic substances, accumulating in the soil or on its surface, which are the source of negative charges in the soil.

HUMUS PERFORMS A NUMBER OF IMPORTANT FUNCTIONS IN THE SOIL, AS IT DETERMINES:

the capacity to retain and collect nutrients (adsorption capacity) - improves the storage and availability of nutrients and reduces their losses*;

water capacity and the ability to retain it - increases water retention and minimises the effects of drought (soils are more resistant to it);

stability of the soil structure - improves the soil structure, especially in the presence of Ca^{2+} ions, which prevents the loss of water and nutrients in light sandy soils and loosens compact

soils, in which aeration thus improves. It prevents water and wind erosion of the soil;

biological activity - increases it by having a beneficial effect on the multiplication of beneficial soil microorganisms that determine the health of the soil;

colour and thermal properties of the soil - a darker colour increases the absorption of solar energy, which results in improved heating of the soil.

* Humus can have the exchange capacity greater than even the highest CEC of clay minerals - the higher the level of humus in the soil, the greater the soil's CEC.

Substances that form the humus fraction are also considered to be the most stable portion of organic matter in the soil, which is not as easily decomposed as fresh plant and animal residue, and therefore they constitute the largest part of organic matter. **To build humus reserves in soils, it is crucial to add the right amount of organic matter to the soil and protect its biological life.** Raw organic matter that is not yet processed, coming from compost, manure, or last year's crop residue, does not have significant capacity to absorb nutrients or retain water, until it is transformed into humus. The formation of humus requires the action of various soil organisms.

When none of them can use organic matter as food, it becomes a very complex carbon structure that can hold and release multiples of its own weight as water and plant nutrients. In addition, humus prevents soil crusting (because it improves the stability of soil aggregates) and prevents rapid changes in pH (it has buffer properties). As the content of humus in the soil increases, the availability of toxic substances from the soil (from industrial waste, plant protection products) and harmful heavy metals (cadmium, lead, aluminium) decreases. Humus has the ability to attract many of these harmful substances, immobilizing them and making them inaccessible (and

thus less toxic) to plants and soil organisms. This is very important, because the increased content of potentially harmful substances in plants poses a threat to the health of consumers. Humus also has a large impact on nitrogen and phosphorus management in agricultural fields. Nitrogen is the most mobile element in the soil and humus prevents its leaching.

The preservation of humus as a resource is important not only in terms of maintaining the productive functions of the soil, but also from the point of view of the role of soil in the sequestration (capture) of carbon from the atmosphere and reducing the greenhouse effect. According to the EU's Mission Board Soil Health and Food, we currently see the depletion in organic carbon in the top layer of crop soils (0-20 cm) in EU countries, averaging 0.5% per year. The decrease in the content of organic carbon in arable soils results from the insufficient amount of ingredients to build stocks of organic matter in the soil, and from intensive cultivation. The main farming mistakes contributing to the loss of carbon from arable soils include the failure to use straw for fertilisation, incompetent use of the potential created by cover crops

(cover crop stubble, winter crops and undersown crops), continuous and dramatically low share of legumes (soybean, lupin, pea, field pea, clover, alfalfa and other) in crop rotation and too intensive soil cultivation, which promotes the degradation of soil structure and rapid mineralization of organic residue. Unfortunately, the failure to tap into the potential of increasing soil fertility and productive is widespread. This should **change and a comprehensive new strategy for developing soil fertility, with particular emphasis on rebuilding carbon stock, should be introduced in agricultural practice. It is of seminal importance for soil quality.** One way to increase humus content in the soil is to add organic matter and improve soil life. This will ensure its proper decomposition and transformation. If the mineral balance in the soil is optimal, especially with an adequate supply of sulphur, any added fresh organic matter will tend to form stable humus.

18 elements (recognized to date) are required for proper plant growth. They are divided into **macronutrients** and **micronutrients**.

MACRONUTRIENTS

carbon, oxygen, hydrogen, nitrogen,
phosphorus, sulphur, potassium, calcium,
magnesium

MICRONUTRIENTS

manganese, zinc, iron, boron,
copper, nickel, chlorine, molybdenum,
cobalt

Other elements are also taken up by plants and may be needed to some extent to ensure the course of certain physiological functions.

It should be especially remembered that the **basic condition for proper plant nutrition is a balanced supply of minerals, and then their undisturbed availability for plants**, the disturbance being caused by mutual antagonisms and mutual blocking of elements at the stage of their uptake by plants. It should also be noted that when introduced to the soil in excess or unilaterally, they triggered the described phenomena in a particular way, e.g. Ca^{2+} .

Neutral (6.6 - 7.2) or slightly acidic (5.6 - 6.5) pH is generally accepted as the **optimum pH** for the growth of most crops. Appropriate pH values for a particular type and grade of soil provide plants with favourable conditions for the uptake of nutrients. On the other hand, in highly acidic soil, the biological activity of bacteria and actinomycetes decreases, the composition of the adsorption complex deteriorates, and large amounts of toxic aluminium and manganese are released into the soil solution, which results in a reduction in yields and deterioration of their quality. Similarly, for excessively alkaline soils, the conditions for the availability and uptake of nutrients change.

The most important **physical properties of soil** include: granulometric composition, structure, soil density, porosity, compactness, swelling and shrinkage, and functional properties, such as water, air and heat. The physical properties of soil are of great importance for the growth and yield of crops. In field conditions, **durable aggregate structure ensures the best physical condition of the soil**. It prevents excessive compaction, provides the soil with beneficial capillary pores, water retention pores and air pores. The durability of aggregates therefore indirectly affects the development of soil microorganisms, increases the biological activity of the soil by creating a stable environment for their existence, supplying them with water, nutrients and air. The stable structure creates appropriate conditions for germination, emergence and development of plants, affects the length of their roots and the density of the canopy. The waterproof aggregate

structure protects the soil against surface crusting, increases rainwater infiltration, reduces the rate of surface runoff and water erosion. It should be noted that the **formation and stabilization of soil aggregates is the result of the interaction of many physical, chemical and biological factors**, with the precondition for the aggregation being the presence and flocculation of clay minerals and the presence of various fractions of soil organic matter. Therefore, it is worth remembering that **the soil structure stabilising the soil environment is also created by inorganic and organic soil fractions (so-called inorganic and organic binding agents)**. Inorganic stabilizing agents include mainly clay minerals, polyvalent metal cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} , iron and aluminium oxides and hydroxides, calcium and magnesium carbonates. As regards **organic** compounds that stabilise soil, there are temporary binders, quickly degraded by microorganisms, including microbial and plant polysaccharides. Temporary binders are plant roots, mycelial hyphae and some fungi. In order for the durability of the structure to be maintained, those organic binders must be constantly supplied to the soil. Permanent binding agents consist of resistant aromatic humic substances bound to polyvalent metal cations and highly sorbent polymers. These organic fractions are more resistant to decomposition.

Water properties of the soil, especially the retention of useful (available) water for plants and water conductivity, shape the water balance of the soil and have a decisive impact on the conditions for the growth, development and yielding of plants. They determine the availability of water to the plant root system and its movement with dissolved nutrients to deeper genetic levels. The most important water properties include: actual soil moisture, field water capacity, retention of water available to plants and water conductivity.

The **biological indicators of soil quality include**, among others: plant yields, soil fauna count (earthworms, enchytras, insects, etc.), the microorganism count, C and N content in the microorganism, microbial respiration and enzymatic activity.

INFLUENCING THE QUALITY OF SOILS = INFLUENCING THE YIELD

In the face of current environmental challenges, it is necessary to ensure proper plant nutrition.

5.3

In view of the current environmental challenges related to frequent deficits of water available to plants, extremely high temperatures, maladjustment of species to the changing climate, conventional approach to widely understood cultivation and fertilization practices, **it is necessary to fully optimise and rationalize them in order to ensure proper plant nutrition.** This is how we will minimise the production of agricultural raw materials with a defective mineral composition and disturbed proportions between nutrients (so important from the nutritional point of view of plants and humans) and optimise yields. Importantly, it is **our duty not to disturb the soil balance. Only sustainable soil-related actions will help us achieve qualitatively sustainable yields.**

The key factors in proper plant include the appropriate content of nutrients in the soil in a form assimilable by plants, and, which is particularly important - the right proportions between minerals in the soil. The soil layer should be at the same time thick enough and loose enough, demonstrate appropriate stable water and air conditions and the proportions between water and air to ensure the supply of soil water with nutrients

dissolved in it, and air access to the roots of crops and soil organisms.

The parallel involvement of physical, chemical, physical-chemical and biological factors is essential in building the health and quality of soils and plant yields. There are close cause-and-effect relationships between them, which determine soil fertility and capability. They are inextricably linked and interact with each other, and therefore they must be treated holistically.

An important element in the new approach to soil is understanding its functioning, but also the knowledge of new methods and ways to analyse it, and then the ability to ensure appropriate field practices being a logical consequence of the emergence of a new type of data.

CURRENT ASSESSMENT OF SOIL PROPERTIES IS THE BASIS FOR ITS REGENERATION

5.4

Due to poor soil management, the ionic balance between nutrients in the production chain from field to fork has been upset.

Nutrients depleted from the soil along with the harvest of crops are supplemented in the form of fertilizers, mainly mineral. These fertilizers are applied frequently and in a non-balanced way, disturbing the original ratio of ions present in the soil. Components depleted to a lesser extent by plants are not supplemented. The use of NPK mineral fertilization only, incorrectly referred to as "full" fertilization in practice, upsets the ionic balance in cultivated soils, which is a very unfavourable development*. It should be remembered, however, that we do not fertilize plants, but rather introduce fertilizers into the soil, and only later, depending on many parameters, including the balance between them, will they be taken

up by the cultivated plants. The forgotten principle is that the soil is the primary source of minerals for plants, and fertilization should supplement those components that are present in the soil in insufficient amounts. The availability of nutrients for plants is a rather dynamic process. Some of the ingredients supplied with fertilizers may be permanently bound in the soil, leached, displaced or volatilized, and therefore, when determining the doses of fertilizers, their utilization factor should be considered.

** In fertilization, the law of the minimum developed by Justus von Liebig applies, stating that the basic parameters of the yield, its size and quality, are conditioned by the factor present in the smallest amount. In effect, if, in addition to high availability of most minerals for plants in the soil environment, one mineral is present in deficient amounts, it will cause a quantitatively low yield or its poor quality.*

Mineral ingredients interact with one other. This means that a high or too-low level of one blocks or prevents the uptake of another. The following impacts have been

identified in the studies carried out so far (high and low level - limits the presence and uptake):

**MINERAL INGREDIENTS INTERACT WITH ONE OTHER
(high and low level - limits the presence and uptake):**

CALCIUM - *potassium, magnesium, boron, zinc, manganese, iron*

POTASSIUM - *magnesium, boron, calcium*

PHOSPHORUS - *potassium, zinc, copper, iron*

NITROGEN - *potassium, boron, copper*

COPPER - *iron, manganese*

ZINC - *iron*

MOLYBDENUM - *copper*

MANGANESE - *iron*

pH of the soil has a major impact on the presence and uptake of minerals. If pH is low (excessive soil acidity), the most available for plants are metallic micro-elements, especially iron and zinc, and the least available are macroelements - calcium and potassium. As a consequence, the growth of the root system is inhibited, the uptake of many minerals is limited, in particular of phosphorus, calcium, magnesium and molybdenum.

The solution for improving the condition of soils is regenerative agriculture, gaining in importance because of the need to improve the quality of soils, and so their fertility. Caring for the quality of soil will be the primary goal not only for farmers and farms, but above all for every producer, due to the growing importance of food environmental safety and ever tighter restrictions in this area.

SOIL TESTING IN REGENERATIVE AGRICULTURE

5.5

Soil testing is the basis for proper and effective farm management in the 21st century.

The determination of chemical and physical-chemical properties should be the basis for dosing fertilizers and optimising yields. Laboratory testing of soil is extremely important for agricultural chemistry. The selection of an appropriate testing method determines the achievement of an accurate and reliable result.

Soil, due to its diversity and the dynamic changes within it, requires the use of appropriate testing methods. Therefore, extended soil testing and diagnostics should be performed before any supplementation with fertilisers. It is necessary to find out what soil we are dealing with and at what level its regeneration starts.

The key element of the new approach to assessing the quality of its nutrients is to analyse its soil

adsorption complex (CEC), and then to determine the degree of its saturation with cations, expressed as a percentage share of basic cations in the CEC base, i.e. Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ and H⁺ according to Williams*. The percentage of saturation with the base cations of calcium, magnesium, potassium and sodium and the ratio of these cations to each other is a measure of the capacity of soil to retain and release various elements and compounds, in particular positively charged nutrients. The capacity of the adsorption complex of different soils can be compared to a bucket: some soils are like a large bucket (high CEC), some are like a small bucket (low CEC). A sandy soil with a small organic content will have a very low CEC, while a clay soil with a high organic (as humus) will have a high CEC.

**From the 1920s to the late 1940s, William Albrecht conducted many experiments with varying ratios of nutrient cations, such calcium, magnesium, potassium and sodium, in soils. He and his colleagues, working at the University of Missouri's Agricultural Experimental Station, concluded that the strongest, healthiest, and best-nourished crops were grown in soil where the CEC was saturated to approximately 65% calcium, 15% magnesium, 4% potassium and 1% to 5% sodium (this does not need to add up to 100%). This ratio not only provides lavish levels of those nutrients for crops and soil life, but also strongly influences soil structure and pH.*

SOIL SAMPLING

The process of soil sampling impacts testing reliability.

5.5.1

The consequences of poorly prepared soil samples are distorted results, interpretations, and fertilization recommendations. The sampling method proposed below eli-

minates those risks. It is crucial to move away from the current practice of sampling every four years in favour of annual sampling.

SOIL SAMPLES ARE COLLECTED:

- *from the same place, via GPS coordinates,*
- *at the same time of year, which ensures the comparability of soil composition over time,*
- *by the same person, which ensures the uniformity of the samples taken.*

The microprofile of soil sampling is also important, stipulating division into layers enabling the determination of a dynamic view of soil changes vertically in a given place in the field. Three layers of soil taken from the same location and the same field, sampled annually, provide the basis for reasonable fertilizer management, enabling flexible and informed implementation of plant and soil nutrition with full respect for the changing environment and food quality requirements.

The collected soil is tested as soon as possible after its collection.

By analysing data from annual tests, we can determine trends for a given parameter in a four-year window. This allows quick and targeted interventions to influence the forecasted changes in the horizontal system (period of 1-2-3-4 years) and enables proper fertilization.

SOIL TESTING

5.5.2

The starting point for farmers who want to engage in regenerative farming is a reliable estimation of the CEC of the soil they work with.

The recommended soil test for nutrient balance is **the Mehlich 3 test**. The Mehlich 3 or M3 solution is a strongly acidic extractant (pH of 2.5). The test makes it possible to measure not only the amount of nutrients

that are readily available to plants, but also those that are potentially available, the so-called reserves.

For complete results, perform the Mehlich 3 soil test for all of the following minerals:

Primary cations	Primary anions	Secondary elements
Calcium	Phosphorus	Boron
Magnesium	Sulphur	Iron
Potassium		Manganese
Sodium		Copper
		Zinc

The elements presented in the table are nutrients for plants, whose effects are well understood, and it is important that all of them are present in the soil in the right amounts. It is not necessary to know the amounts of micronutrients to get started with regenerative farming, as ordinary soil tests do not even measure

them. However, **in order to manage your farm and soil responsibly, it is recommended to know the full spectrum of its capacity and limitations.**

RECOMMENDED SOIL TESTING PACKAGE FOR THE REGENERATIVE APPROACH:

- pH in KCl /H₂O, pH, liming needs in mg/kg
- C-org content, humus [in %]
- conductivity [in µS/cm]

■ Mehlich 3 test for the following ingredients: P, K, Mg, Ca, B, Mn, Cu, Zn, Fe, S-SO₄, S, Ca, Mg, K, Na, H, Al; determination of CEC [in me/100g of soil]

**PROPER INTERPRETATION AND UTILISATION OF SOIL TEST RESULTS IN
REGENERATIVE CROP MANAGEMENT OFFERS:**

- *reduction of production costs*
 - *long-term production stability*
 - *more efficient and effective production re-
specting the environment*
 - *production of sustainable food*
-



Poznań 2023



Co-funded by the
European Union