

<https://doi.org/10.37501/soilsa/193074>

Racjonalne zarządzanie glebami rolnymi w warunkach zmieniającego się klimatu

Bożena Smreczak¹, Edyta Hewelke^{2*}, Monika Kowalik¹, Aleksandra Ukalska-Jaruga¹, Jerzy Weber³

¹Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy, Polska

²Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Instytut Inżynierii Środowiska, Katedra Kształtowania Środowiska, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, Polska

³Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Nauk o Glebie, Żywienia Roślin i Ochrony Środowiska, ul. Grunwaldzka 53, 50-375 Wrocław, Polska

* Autor korespondencyjny: dr hab. Edyta Hewelke, edyta_hewelke@sggw.edu.pl, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0253-7149>

Streszczenie

Received: 2024-06-05
Accepted: 2024-09-07
Published online: 2024-09-07
Associated editor: Józef Chojnicki

Słowa kluczowe:

Gleby rolne
Zrównoważona produkcja rolna
Adaptacja do zmian klimatu
EJP SOIL
Zrównoważony rozwój

Zrównoważone gospodarowanie glebami użytkowymi rolniczo ma kluczowe znaczenie dla poprawy ich zdrowia, zwiększenia bezpieczeństwa żywnościowego, ilości i jakości wód powierzchniowych i gruntowych, gromadzenia węgla organicznego oraz poprawy stanu różnorodności biologicznej. Przyczynia się także do łagodzenia zmian klimatu i przystosowania się rolnictwa do tych zmian. Celem publikacji jest przedstawienie rozwiązań dotyczących zrównoważonego użytkowania gleb rolniczych w warunkach zachodzących zmian klimatycznych na przykładzie realizacji Europejskiego Wspólnego Programu Gleba (akronim EJP SOIL). EJP SOIL „Towards climate-smart sustainable development of agricultural soils”, w którym uczestniczy 26 instytucji naukowo badawczych z 24 krajów Europy, rozpoczął swoją działalność w 2020 r. Rezultaty podejmowanych prac, w tym ankiety, opracowane bazy danych i analizy statystyczne oraz dialog z urzędnikami różnego szczebla, przez ostatnie lata umożliwiły współpracę ponad 400 naukowców w celu uzupełnienia wiedzy na temat zrównoważonego zarządzania glebami rolniczymi z uwzględnieniem stref glebo-klimatycznych Europy. Publikacja prezentuje wielowątkowość programu EJP SOIL oraz powiązane z nim wewnętrzne i zewnętrzne projekty badawcze, przedstawia podejmowaną problematykę naukową oraz wskazania dla praktyki rolniczej i kształtowania przyszłej polityki europejskiej. Ponadto, określa kierunek podejmowanych działań prowadzonych w ramach realizacji EJP SOIL, które zostały skierowane do różnych grup interesariuszy w zakresie upowszechniania wiedzy o zdrowiu gleb i świadczonych przez nie usługach ekosystemowych oraz przybliży cele i zakres funkcjonowania Krajowego Hubu ds. Gleb, powstałego w listopadzie 2023 r. z inicjatywy programu EJP SOIL oraz Misji Gleba Komisji Europejskiej.

1. Wstęp

Polityka środowiskowa Unii Europejskiej (UE) wskazuje, że utrzymanie zdrowych gleb rolnych jest warunkiem rozwoju zdrowego społeczeństwa, stabilnych dostaw wysokiej jakości żywności, paszy, drewna i innej biomasy. Ponadto utrzymanie różnorodności biologicznej agroekosystemów przyczyni się do świadczenia szerokiego zakresu usług ekosystemowych przez gleby użytkowane rolniczo (Tan, 2014; Adhikari i Hartemink, 2016). Gleba jest największym magazynem węgla, w skali globalnej i zawiera prawie dwa razy więcej tego pierwiastka niż atmosfera, rośliny i zwierzęta (Minasny i in., 2013), dlatego wzrost zawartości glebowej materii organicznej (soil organic matter, SOM) będzie mieć istotny wpływ na ograniczenie emisji CO₂ i łagodzenie zmian klimatu (Bhattacharyya i in., 2022; Liu i in., 2022; Pham i Katayama, 2018; Spaccini i in., 2002). Zwięk-

szanie zawartości SOM w glebach rolniczych i ich racjonalne użytkowanie umożliwia realizację Celów Zrównoważonego Rozwoju ONZ oraz wdrażanie zasad Europejskiego Zielonego Ładu (EZŁ) (Bonfante i in., 2020), w którym koncepcja zdrowia gleb odgrywa kluczową rolę.

Raport pt. Troska o glebę to troska o życie” skierowany do Komisji Europejskiej przez zarząd misji w obszarze zdrowie gleby i żywności (European Commission, 2020) podkreśla, że do 2030 r. 75% gleb rolniczych w każdym z państw członkowskich UE będzie uznanych za zdrowe. Nowe wyzwania określone w polityce środowiskowej Unii powodują konieczność zrewidowania pojęć takich jak jakość, funkcje i zagrożenia dla funkcji gleb oraz uzgodnienia nowych definicji dostosowanych do założeń EZŁ, tj. usług ekosystemowych świadczonych przez gleby i zdrowia gleb. Równie ważny w tym procesie jest wybór wskaźników i ich wartości progowych oraz opracowanie procedur postępowania

uwzględniających skalę oceny (Faber i in., 2022). W krajach członkowskich UE funkcjonuje wiele definicji odnoszących się do jakości gleb użytkowanych rolniczo, które są połączone z kryteriami jej oceny uwzględniającymi m.in. kwasowości gleby, zawartości makroelementów czy zawartości różnych grup zanieczyszczeń. Dla lepszego zrozumienia pojęcia zdrowia gleby i nakreślenia zasad funkcjonowania europejskiego systemu monitoringu zdrowia gleb, Faber i in. (2022) przedstawili propozycję definicji wskaźników glebowych, procesów glebowych, funkcji gleb, usług ekosystemowych świadczonych przez gleby oraz jakości gleb i zdrowia gleb. Wskaźnik to jeden lub wiele parametrów określających właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne gleb, które można oznaczyć za pomocą metod analitycznych lub wyznaczyć z użyciem modelowania matematycznego, na tyle czuły, że może posłużyć do przewidywania krótko i długookresowych zmian wywołanych na przykład przez wprowadzenie wybranych systemów uprawy. Procesy glebowe to interakcje pomiędzy fizycznymi, chemicznymi i biologicznymi składnikami gleby, które stanowią podstawę dla funkcji gleb. Poszczególne funkcje gleb (m.in. retencyjna, siedliskowa, produkcyjna) skupiają nieograniczoną liczbę procesów glebowych. Na przykład funkcja siedliskowa gleb zależy od obiegu wody w glebie, obiegu pierwiastków, mineralizacji i humifikacji materii organicznej, wydzielania enzymów przez mikroorganizmy itd. Funkcje gleb określają ich potencjał do świadczenia określonych usług ekosystemowych. Usługi ekosystemowe (wspierające, regulujące i kulturowe) to bezpośrednie i pośrednie korzyści dla człowieka i gospodarki wyrażone w pieniądzu, świadczone przez gleby związane m.in. z jakością i ilością żywności, wody, ale też doznaniem duchowymi i estetycznymi. Jakość gleby to jej zdolność do: funkcjonowania jako ożywiony składnik różnych ekosystemów położonych w granicach określonych użytków gruntowych, podtrzymywania zdrowia roślin i zwierząt, utrzymywania lub poprawy jakości wody i powietrza oraz świadczenia usług ekosystemowych w perspektywie długoterminowej bez zaburzania równowagi między tymi usługami. Zdrowie gleb to jej aktualny stan oceniony w warunkach lokalnych na podstawie wybranego zestawu wskaźników (Faber i in., 2022).

Intensyfikacja produkcji rolniczej, wynikająca z rosnącego światowego zapotrzebowania na żywność i biomasę, stanowi zagrożenie dla zdrowia gleb. Degradacja gleb, w tym erozja, zmniejszanie zawartości SOM, zanieczyszczenie, zakwaszenie, zasolenie, zasklepienie i zagęszczanie gleb stanowią zagrożenia dla wielu ich funkcji oraz wpływają w krótkiej perspektywie na zdrowie a w dłuższej na ich jakość. Przewidywane zmiany klimatu wskazują na możliwość pogłębiania się niekorzystnych zmian środowiskowych w Europie. Przejawiają się one występowaniem upałów powodujących długotrwałe susze i zwiększających ryzyko powstawania pożarów, a także nawalnych deszczy nasilających procesy erozji, osuwisk i powodzi. Wymaga to z jednej strony dostosowania się rolnictwa europejskiego do zachodzących zmian i zwiększenia odporności na zdarzenia ekstremalne, ale też ograniczania negatywnych zjawisk poprzez wdrażanie przyjaznych dla klimatu i środowiska praktyk rolniczych. Unia Europejska wszystkie decyzje dotyczące ochrony środowiska wprowadza w oparciu o dowody naukowe, dlatego niezbędna jest harmonizacja dotychczasowych wyników badań

oraz uzupełnianie luk w wiedzy, testowanie i wdrażanie dobrych praktyk rolniczych ograniczających degradację gleby i wspomagających poprawę jej jakości, zgodnych z zasadami zrównoważonego rozwoju.

FAO definiuje zrównoważone zarządzanie gruntami (ang. SLM – Sustainable Land Management) jako „wykorzystanie zasobów ziemi, w tym gleby, wody, zwierząt i roślin, do produkcji towarów w celu zaspokojenia zmieniających się potrzeb ludzkich, przy jednoczesnym zapewnieniu długoterminowego potencjału produkcyjnego tych zasobów oraz utrzymanie ich funkcji środowiskowych”. W 2017 r. FAO przedstawiła opracowanie pt.: „Dobrowolne praktyki dotyczące zrównoważonej gospodarki glebami”, w którym zaprezentowała jedenaście wytycznych, które mają zapewnić zrównoważone zarządzanie glebami, m. in. zminimalizowanie tempa erozji wodnej i wietrznej; niepogarszanie struktury gleby w wyniku zagęszczania, gwarantującej ruch powietrza, wody glebowej, wymianę ciepłą oraz wzrost korzeni roślin; ochronę powierzchni gleby poprzez uprawę poplonów i/lub mulczowanie; tworzenie zapasu stabilnej SOM, odpowiedniego dla warunków glebowo-klimatycznych; wdrożenie przyjaznych dla środowiska systemów gospodarowania glebą w celu produkcji żywności, paszy, paliwa, drewna i włókna (Smreczak i Ukalska-Jaruga, 2021).

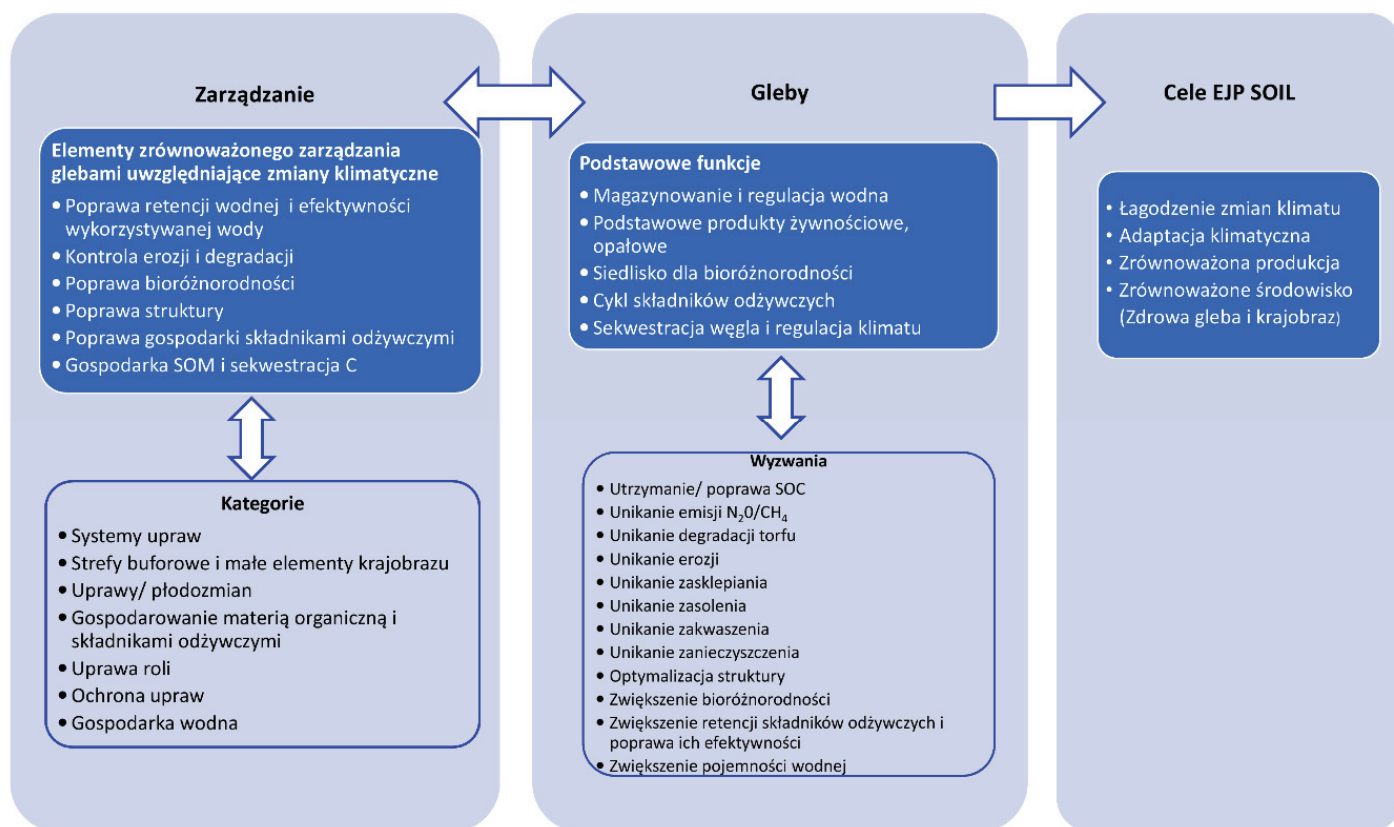
Jednym z bardzo ważnych projektów badawczych, który wpisuje się w aktualne europejskie potrzeby badań dotyczących zdrowia gleb użytkowanych rolniczo, zrównoważonego zarządzania glebami rolniczymi oraz odporności gleb na zmiany klimatu jest Europejski Wspólny Program Gleba (ang. European Joint Programme SOIL – EJP SOIL) pt.: „W kierunku przyjaznego dla klimatu zarządzania glebami rolniczymi (ang. “Towards climate-smart management of agricultural soil, numer kontraktu 862965). Celem EJP SOIL jest połączenie krajowych wysiłków badawczych, aby lepiej wykorzystać europejskie zasoby badawczo-rozwojowe i skuteczniej rozwiązywać wspólne europejskie wyzwania. Projekt ten uwzględnia kompleksowo problemy społeczne, naukowe, polityczne i edukacyjne. W realizacji projektu uczestniczy 26 instytucji naukowych z 24 krajów Europy wspieranych przez instytucje rządowe. Polskę reprezentuje Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy (IUNG – PIB) oraz Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi. W programie uczestniczą również inne polskie instytucje badawcze poprzez udział w tzw. projektach zewnętrznych EJP SOIL, współfinansowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR), których cele wpisują się w zakres działań projektu EJP SOIL. Wśród tych instytucji są m.in. Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Instytut Agrofizyki PAN w Lublinie, Uniwersytet Wrocławski, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu oraz podmioty gospodarcze m.in.: Grupa Producentów Rolnych TERRA sp. z o.o. z siedzibą w Prusicach. Program EJP SOIL jest, jak dotychczas największym europejskim projektem skupiającym się na problematyce gleb użytkowanych rolniczo. Jego tematyka badawcza uwzględnia m.in.: opracowanie wskazań dla kierunków badań na kolejne 10 lat; ocenę potrzeb w zakresie edukacji gleboznawczej i zaangażowania w realizację projektu różnych grup interesariuszy oraz osób opracowujących krajowe i unijne

regulacje prawne; harmonizację danych glebowych wynikającą z szerokiej współpracy międzynarodowej oraz opracowanie systemu raportowania danych zgodnie z dyrektywą INSPIRE (ang. Infrastructure for Spatial Information in Europe). Zagadnienia podejmowane w programie odpowiadają wyzwaniom stawianym przez UE w zakresie zrównoważonego użytkowania gleb, utrzymania ich w dobrym zdrowiu oraz zapewnieniu dostępu do wiedzy o wspólnej przestrzeni europejskiej wszystkim, którzy jej potrzebują. Celem publikacji jest przedstawienie rozwiązań dotyczących zrównoważonego użytkowania gleb rolniczych w warunkach zachodzących zmian klimatycznych na przykładzie wyników realizacji programu EJP SOIL. Artykuł zawiera także informacje dotyczące celów, zakresu, tematyki badawczej oraz oczekiwanych efektów realizacji programu.

2. Cele i zakres programu EJP SOIL

Głównym celem programu EJP SOIL jest zbudowanie zrównoważonego, zintegrowanego europejskiego systemu badawczego, oraz opracowanie i wdrożenie reguł w zakresie zrównoważonego i przyjaznego dla klimatu zarządzania glebami rolniczymi. Zakres działania programu skupia się wokół czterech najważniejszych zagadnień stanowiących: tworzenie nowej wiedzy, dzielenie się wiedzą, harmonizacja danych

o glebach i zastosowanie wiedzy w praktyce. Realizacja głównego celu programu ma przyczynić się do stworzenia odpowiednich warunków dla uwydatnienia roli gleb rolniczych w kluczowych wyzwaniach społecznych, takich jak: bezpieczeństwo żywności i wody; zrównoważona produkcja rolna; dostosowanie rolnictwa do zmian klimatu oraz łagodzenie tych zmian; świadczenie usług ekosystemowych przez gleby; ochrona różnorodności biologicznej i zdrowia ludzi (Vanino i in., 2023). EJP SOIL wspiera także harmonizację europejskiego potencjału badawczego i zmierza do utworzenia zintegrowanych ram dla przyszłych badań gleb użytkowanych rolniczo w Europie. Umożliwia to wniesienie przez wszystkie instytucje uczestniczące w projekcie równego wkładu w realizację celów środowiskowych, społecznych i gospodarczych UE dla zrównoważonego użytkowania gleb. Ramy aktualnych i przyszłych badań zaproponowane w programie EJP SOIL mają na celu podkreślenie potencjału gleb rolniczych w zakresie łagodzenia zmian klimatu, przy jednoczesnym zachowaniu lub nawet poprawie ich produktywności oraz zdrowia i jakości. Na rysunku 1 przedstawiono schematycznie sposób, w jaki lokalne decyzje w zakresie gospodarowania gruntami mogą wpływać na elementy definiujące zrównoważone gospodarowanie glebą z uwzględnieniem kwestii klimatycznych, oraz związek między podstawowymi funkcjami gleby a wyzwaniami dla gleby, jak również sposoby zoptymalizowania interakcji pomiędzy



Ryc. 1. Diagram połączeń ilustrujący sposoby zoptymalizowania interakcji pomiędzy funkcjami gleby i zarządzaniem glebą prowadzące do osiągnięcia celów EJP SOIL (wg Keesstra i in., 2021)

Fig. 1. Link diagram illustrating how optimized interactions between soil functions and soil management will lead to achieving EJP SOIL Goals (Keesstra et al., 2021)

funkcjami gleby i zarządzaniem glebą prowadzące do osiągnięcia celów EJP SOIL. Działania programu EJP SOIL wspierają zrównoważoną produkcję rolną, przy zapewnieniu właściwego stanu zdrowotnego gleby i walorów krajobrazu, w zgodzie z potrzebami zainteresowanych partnerów UE. Program EJP SOIL obejmuje wszystkie grunty rolne, tj. grunty orne (w tym pod uprawami bioenergetycznymi), użytki zielone, winnice i sady, systemy rolno-leśne, żywopłoty i grunty marginalne/zdegradowane, a także rolnictwo miejskie związane z produkcją roślin na potrzeby lokalnych społeczności. EJP SOIL uwzględnia potrzebę skutecznych rozwiązań politycznych i strategicznego podejścia umożliwiającego inicjowanie dialogu społecznego oraz wdrażanie najlepszych praktyk gospodarowania glebami w różnych strefach glebowo-klimatycznych w Europie. Program wzmacnia współpracę między różnymi grupami interesariuszy, tj. naukowcami, decydentami, praktykami (rolnikami, właścicielami gruntów i zarządcami gruntów) oraz sektorem prywatnym, w tym przedstawicielami z zakresu usług doradczych oraz ogółem społeczeństwa. W proces konsultacji w trakcie realizacji projektu zostały zaangażowane pierwsze trzy grupy interesariuszy. Dla osiągnięcia szczegółowych celów projektu EJP SOIL wykorzystywane są m.in. wyniki wieloletnich eksperymentów polowych (ang. long-term agricultural field experiments, LTE) prowadzonych przez instytucje naukowe w krajach partnerskich projektu. Należą tu 572 doświadczenia trwające co najmniej 20 lat, w tym najstarszy na świecie eksperyment Broadbalk, prowadzony w Rothamsted od 1843 r, a także rozpoczęty w 1921 roku eksperyment SGGW w Skierniewicach. Badania z wykorzystaniem LTE koordynowane są w ramach ogólnoeuropejskich sieci, m.in.: EJP SOIL (website 1); Globalna Sieć Długoterminowych Eksperymentów (GLTEN) (website 2); Międzynarodowe Długoterminowe Badania Ekologiczne (ILTER) (website 3); Europejska Sieć Informacji i Obserwacji Środowiska (EIONET) (website 4); Europejskiego Obserwatorium Gleb (EUSO) (website 5); Badanie powierzchni użytkowania gruntów i pokrycia terenu (LUCAS) (website 6); Europejskie Centrum Danych o Glebie (ESDAC) (website 7); Przygotowanie Europejskiej Misji na Rzecz Zdrowych Gleb (PREPSOIL) (website 8).

Realizacja EJP SOIL ma się przyczynić do rozwiązania wielu kwestii dotyczących zarządzania glebami rolniczymi, co zostało zdefiniowane w sześciu głównych spodziewanych efektach projektu, obejmujących: a) zrozumienie w jaki sposób gospodarka glebami wpływa na łagodzenie zmian klimatu i adaptację do tych zmian oraz zrównoważoną produkcję rolną i środowisko; b) zrozumienie w jaki sposób sekwestracja węgla w glebach może przyczynić się do łagodzenia zmian klimatu na poziomie regionalnym z uwzględnieniem emisji dwutlenku węgla; c) wzmacnianie potencjału naukowego i współpracy w całej Europie, w tym szkolenie młodych naukowców zajmujących się glebą; d) wspieranie ujednoczenia europejskich informacji o glebie, na potrzeby międzynarodowej sprawozdawczości; e) wspieranie stosowania praktyk gospodarowania glebą sprzyjających przystosowaniu się rolnictwa do zmian klimatu i łagodzenia tych zmian; f) opracowanie i demonstracja praktyk nawożenia specyficznych dla regionu z uwzględnieniem warunków glebowych, wodnych i glebowo-klimatycznych.

3. Uzupełnianie wiedzy o zrównoważonym użytkowaniu gleb rolniczych

Rozpoznanie braków we współczesnej wiedzy na temat gleb użytkowanych rolniczo dostarczyły liczne ankiety, które zainicjowały realizację projektu. Syntezy badań ankietowych dla poszczególnych krajów, regionów i całej Europy są przedstawione w licznych publikacjach znajdujących się na stronie projektu (website 9). Warto przytoczyć niektóre z tych prac wskazujące na główne wyzwania dotyczące zrównoważonego użytkowania gleb rolniczych w państwach członkowskich UE. Evans i in. (2022) wskazują na trzy istotne utrudnienia dla prawidłowego gospodarowania glebami, tj. ograniczone wdrażanie do praktyki i polityki zaleceń opracowywanych przez naukowców; mała skala wdrażania i prowadzenia prac w interdyscyplinarnych zespołach uwzględniających znaczenie gleby dla innych dziedzin nauki i praktyki; brak zintegrowanych badań monitoringowych i opartego o wyniki tych badań modelowania w całej UE w celu rzetelnego i zrównoważonego kształtowania polityki dotyczącej gleb w przyszłości. Vanio i in. (2023) na podstawie badań ankietowych przeprowadzonych w 20 krajach obejmujących 314 interesariuszy zapytanych o najważniejsze wyzwania związane z glebą, wiedzę na temat gleby oraz bariery i szanse dla zrównoważonego użytkowania gleb rolniczych wykazali, że priorytetowym wyzwaniem jest zwiększanie zawartości SOM i ochrona gleb torfowych. W następnej kolejności osoby ankietowane wskazały jako wyzwanie potrzebę zwiększenia zdolności gleby do magazynowania wody. Najważniejszą barierą, w opinii ankietowanych, jest brak dostatecznego finansowania badań oraz wymiany doświadczeń między różnymi grupami interesariuszy zarządzającymi glebami. Szansą na zrównoważone użytkowanie gleb w państwach europejskich powinno być pełne wykorzystanie wyników badań. Badania ankietowe były prowadzone również w zakresie identyfikacji profili zawodowych dla osób związanych z zarządzaniem, ochroną i renaturyzacją gleb rolnych, które powinny rozwijać uczelnie w krajach członkowskich UE w trakcie kolejnych 20 lat. W badaniach uczestniczyli interesariusze z 24 krajów Europy i 299 uczelni. Autorzy badania (Walter i in., 2024) wydzielili dziesięć grup umiejętności, które zdaniem osób ankietowanych powinny być przedmiotem kształcenia uniwersyteckiego. Grupy te zdefiniowali jako: rolnik/doradca rolny; agronom; zarządca/nauczyciel; ekolog gleby; specjalista z zakresu ochrony środowiska; geolog/gleboznawca; instruktor/konsultant; naukowiec; ekspert z zakresu GIS i ekspert z zakresu analizy danych i informatyki. Autorzy podkreślili w publikacji, że wyniki zaprezentowanej analizy powinny być uwzględnione w przygotowywaniu nowych programów kształcenia studentów.

Uzupełnianie luk w wiedzy na temat zrównoważonego użytkowania gleb rolniczych w projekcie odbywa się poprzez realizację poszczególnych projektów wewnętrznych i zewnętrznych EJP SOIL. W trakcie trzech konkursów na projekty wewnętrzne i dwóch na projekty zewnętrzne do realizacji zostało zakwalifikowanych ogółem 57 projektów, których zasady przygotowania i oceny odpowiadały postępowaniom konkursowym w ramach ubiegania się o finansowanie europejskie.

3.1. Projekty wewnętrzne EJP SOIL

Do realizacji przez instytucje partnerskie EJP SOIL zostało zakwalifikowanych 26 projektów, których tematyka koncentrowała się wokół pięciu głównych grup tematycznych: a) zrównoważone zarządzanie i produkcja rolna; b) łagodzenie zmian klimatu i gromadzenie węgla w glebach; c) adaptacja do zmian klimatu; d) dane o glebach, monitorowanie, mapowanie i modelowanie; e) wspieranie adaptacji do zmian klimatu – narzędzia wsparcia. Pracownicy IUNG – PIB uczestniczyli w realizacji 9 projektów wewnętrznych o akronimach: iSoMPE – Innovative soil management practices across Europe; STEROPES – Stimulating novel technologies from Earth remote observation to predict European soil carbon; SOMMIT – Sustainable management of soil organic matter to mitigate trade-offs between C sequestration and nitrous oxide, methane and nitrate losses; SCALE – Managing sediment connectivity in agricultural landscapes for reducing water erosion impacts; CarboSeq – Soil organic carbon sequestration potential of agricultural soils in Europe; ProbeField – A novel protocol for in-field monitoring of soil carbon stock, based on proximal sensors and soil spectral libraries; SIREN – Stocktaking for agricultural soil quality and ecosystem services indicators and their reference values; SERENA – Soil ecosystem services and soil threats modelling and mapping; Into-DIALOGUE – More than a dialogue between actors, seeking the integration of soil-based principles in agroecological systems. Cele i zakres poszczególnych projektów wewnętrznych oraz ich rezultaty znajdują się na stronie internetowej EJP SOIL (website 10; website 11).

Efekty projektów wewnętrznych zostały opisane w licznych publikacjach naukowych, które są dostępne na stronie internetowej EJP SOIL (website 9). Na przykład, meta-analiza z uwzględnieniem dostępnych danych literaturowych przeprowadzona w projekcie CLIMASOMA – Climate change adaptation through soil and crop management: synthesis and ways forward, potwierdziła przypuszczenia, że w całej Europie ekstrema klimatyczne, tj. susze i intensywne opady, będą coraz częste, a ich skutki dla rolnictwa i społeczeństwa staną się bardziej dotkliwe, co doprowadzi do zmniejszenia ilości wody magazynowanej w glebach i możliwości odnowienia zasobów wód gruntowych (Blanchy i in., 2023). Zrównoważonemu użytkowaniu gleb sprzyja nawożenie organiczne, które ma korzystny wpływ na stabilność agregatów glebowych ograniczając spływ powierzchniowy i zwiększając infiltrację wody w głąb profilu glebowego (Blanchy i in., 2023). Autorzy proponują także wdrożenie nawadniania i symulowanie efektów suszy w wieloletnich doświadczeniach rolniczych w celu obserwacji skutków przyszłych zmian klimatu. W publikacji wynikającej z realizacji projektu SERENA skupiającej się wokół zagadnień świadczenia przez gleby usług ekosystemowych, Assennato i in. (2022) opisali wpływ urbanizacji na ograniczenie usług zaopatrujących na przykładzie doświadczeń włoskich. Autorzy wskazali, że utrata jakości siedlisk i zabudowa gleb jest powszechna w całych Włoszech, co skutkuje stratami w produkcji drewna, składowaniem dwutlenku węgla, regulacją reżimu hydrologicznego i zmniejszaniem się liczby zapylaczy w północnych regionach Włoch oraz w niektórych regionach południowych, takich jak Kampania i Apulia. Przykład podany

przez Assennato i in. (2022) może być wykorzystany także w innych krajach do oszacowania strat usług ekosystemowych gleb pod wpływem urbanizacji terenów rolniczych.

3.2. Projekty zewnętrzne EJP SOIL

Jednym z czterech projektów zewnętrznych jest koordynowany przez Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu projekt SOMPACS – Soil management effects on soil Organic Matter Properties and Carbon Sequestration (website 12; website 13). Partnerami w tym projekcie są: University of Limerick (Irlandia); University of Rostock (Niemcy); University of Wyoming, Laramie (USA); University of Naples (Włochy); Vytautas Magnus University (Litwa); Rothamsted Research, Harpenden (Wielka Brytania); Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie; Instytut Agrofizyki PAN w Lublinie; Uniwersytet Zachodniopomorski w Szczecinie; Uniwersytet Wrocławski oraz Grupa Producentów Rolnych TERRA sp. z o.o., Prusice koło Złotoryi. Projekt jest realizowany w latach 2022–2025. Celem projektu SOMPACS jest określenie sposobów gospodarowania glebą, które w różnych warunkach geologicznych i klimatycznych Europy i USA wzbogacają glebę we frakcje SOM odporne na rozkład mikrobiologiczny, przyczyniając się do sekwestracji węgla. Planowane badania dodatkowo koncentrują się na bilansie węgla organicznego w glebie, który ma zostać zoptymalizowany metodami agrotechnicznymi, a także na określeniu stabilności SOM w zależności od warunków gospodarowania, ocenianym w różnych warunkach klimatycznych. Do badań zostały pobrane próbki glebowe z ośmiu wieloletnich doświadczeń polowych charakteryzujących się różnymi systemami gospodarowania glebą (uprawa konwencjonalna / bezorkowa; nawożenie mineralne / organiczne; uprawa z / bez międzyplonów; grunty orne / użytki zielone; oraz gleby uprawiane / nieuprawiane). Wieloletnie doświadczenia polowe prowadzone są przez zróżnicowane okresy: 22 lata (Litwa); 26 lat (Włochy); 30 lat (Polska, Irlandia); 46 lat (Polska); 54 lata (Litwa); 100 lat (Polska) i 180-letni eksperyment Broadbalk prowadzony w Rothamsted (Wielka Brytania). W projekcie eksperymenty są również prowadzone na polach produkcyjnych, gdzie oprócz różnych systemów uprawy zastosowane są dodatki stymulujące wzrost korzeni (komercyjne produkty humusowe, biowęgiel, poferment z biogazowni). Wpływ tych dodatków na zawartość i właściwości SOM jest badany nie tylko w doświadczeniach polowych, a także w badaniach inkubacyjnych nad rozkładem mikrobiologicznym SOM. We wszystkich doświadczeniach polowych jest również określane plonowanie roślin uprawnych, a także mierzona jest emisja CO₂ z gleby. Szczegółowe analizy gleb prowadzone są z zastosowaniem najnowocześniejszych technik badawczych: skład i stabilność SOM metodą Py-GC-MS; klasy wielkości agregatów i pule C o zwiększonej ochronie fizykochemicznej; frakcjonowanie cząsteczkowej materii organicznej (particulate organic matter, POM) oraz materii organicznej związanej z frakcją mineralną (mineral-associated organic matter, MAOM), właściwości mikrobiologiczne (profilowanie fizjologiczne na poziomie społeczności, wybrane geny funkcjonalne zaangażowane w cykl C i N, analiza mikrobiomu i mykobiomu poprzez sekwencjonowanie nowej generacji, różnorodność genetyczna

z wykorzystaniem polimorfizmu długości końcowych fragmentów restrykcyjnych); analiza $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$ wydzielonych frakcji SOM; aktywność enzymatyczna; retencja wody w glebie i hydrofobowość gleby; skład mineralny frakcji ilastej; stabilność struktury gleby. Huminy, najbardziej odporna frakcja SOM (Hayes i in., 2017; Rice i MacCarthy, 1988) została wyizolowana różnymi metodami (Weber i in., 2022) i badana jest pod kątem składu chemicznego i struktury przy użyciu technik spektroskopowych (analiza synchrotronowa XANES, Py-GC-MS, NMR, FTIR, EPR, UV-Vis-NIR, fluorescencja, opóźniona luminescencja). Ponadto w glebach zostały ocenione zapasy węgla organicznego, a w celu oceny jego potencjalnego wymywania i mikrobiologicznej dostępności została oznaczona zawartość węgla organicznego ekstrahowanego wodą. Wstępne wyniki badań wpływu różnych sposobów gospodarowania glebą (Weber i in., 2024) wykazały zmiany nie tylko w ilości SOM, ale również w składzie chemicznym humin, które są uważane za szczególnie stabilne w długim okresie czasu.

4. Dzielenie się wiedzą oraz propozycje rozwiązań prawnych

Dzielenie się wiedzą w projekcie EJP SOIL odbywa się na wielu płaszczyznach. Jedną z nich jest strona internetowa projektu (weBSITE 1), na której pod odpowiednimi zakładkami są dostępne m.in. publikacje, wyniki realizacji obszarów zadaniowych oraz projektów wewnętrznych, nagrane materiały ze spotkań roboczych, materiały z organizowanych wykładów dla doktorantów uczestniczących w projekcie itp. Bardzo ważnym wynikiem realizacji projektu EJP SOIL są tzw. policy briefs (weBSITE 14), tj. krótkie opisy zawierające wyniki projektu i ich odniesienie do aktualnej polityki lub propozycje autorów dotyczące kolejnych działań. Na przykład opracowanie pt. „Soil and crop management practices for climate adaptation” zawiera informacje niezbędne do podjęcia decyzji i rekomendacje działań, które należy stymulować za pomocą instrumentów polityki rolnej. Synteza wyników z 36 wybranych meta-analiz obejmujących 2803 publikacje naukowe potwierdziła, że rolnicy powinni być zachęceni do stosowania całorocznego pokrycia gleby, a działania te należy włączyć w zakres Wspólnej Polityki Rolnej (WPR). W klimacie umiarkowanym zaleca się stosowanie roślin okrywowych, ponieważ aktywnie wpływają na strukturę gleby i zwiększają zawartość materii organicznej w glebie, a w klimacie suchym zaleca się mulczowanie. Autorzy (weBSITE 14) wskazują, że należy podjąć działania, promujące pozostawianie na polach lub powracanie materii organicznej powstałej w ramach działalności rolniczej oraz zachęcanie rolników do stosowania dodatków organicznych, pomimo, że w wielu gospodarstwach nie są dostępne nawozy naturalne oraz organiczne. Konieczne jest więc wzmocnienie lokalnej współpracy między gospodarstwami, nie tylko ze względu na możliwość pozyskania produktów zwiększających zawartość SOM, ale również możliwości wymiany doświadczeń między rolnikami (Policy brief, 2022, weBSITE 14). Zrównoważone zarządzanie glebami rolniczymi oraz dbałość o ich zdrowie wymaga całego szeregu działań ukierunkowanych m.in. na właściwe zdefiniowanie

pojęć, które znajdą zastosowanie w późniejszych przepisach prawnych. W opracowaniu pt. „Soil health and ecosystem services: monitoring and evaluation” (Policy brief, 2023, weBSITE 14) przedstawiono ramy koncepcyjne łączące jakość i funkcje gleby z usługami ekosystemowymi. Autorzy wykazali, że klasyfikacja CICES (ang. The Common International Classification of Ecosystem Services) wymaga dopracowania i lepszego zdefiniowania w zakresie usług ekosystemowych świadczonych przez gleby. Podkreślana jest również potrzeba dalszych prac nad standaryzacją i harmonizacją terminologii w zakresie funkcji i usług ekosystemowych dostarczanych przez gleby, co ułatwi unifikację i wykorzystanie danych przez państwa członkowskie w ocenie ekosystemów. W opracowaniu (Policy brief, 2023, weBSITE 14) zauważono także, że państwa członkowskie UE powinny podjąć działania w celu ujednoczenia wskaźników oceny zdrowia gleby, ale jednocześnie powstrzymać się od standaryzacji metod analiz właściwości gleb, aby umożliwić kontynuację wdrożonych monitoringów krajowych. Ważną kwestią dla zrównoważonego gospodarowania glebami rolniczymi jest określenie głębokości w profilu glebowym do jakiej powinny być badane gleby. W przepisach i propozycjach przepisów UE wspomniana jest tylko warstwa powierzchniowa bez określenia jej miąższości z pominięciem roli podglebia. Według autorów ocena usług ekosystemowych świadczonych przez gleby musi uwzględnić warunki społeczno-ekonomiczne w celu ilościowego oszacowania przepływu usług na rzecz określonych grup interesariuszy oraz wynikającą z tego oszacowania realną wyceną kosztów i korzyści. Aspekty społeczne nie są wyraźnie uwzględnione w obecnych ocenach stanu gleb w Europie, a we wszystkich krajowych programach monitorowania gleby brakuje wskaźników dotyczących usług kulturowych, dlatego autorzy (Policy brief, 2023, weBSITE 14) zalecają uwzględnienie wymiaru kulturowego w celu oceny równości społecznej w zrównoważonym użytkowaniu gruntów.

Dzielenie się przez partnerów konsorcjum wiedzą posiadaną wcześniej oraz zdobytą w trakcie realizacji programu EJP SOIL skierowane jest do naukowców na wszystkich szczeblach kariery naukowej oraz pracowników technicznych. Młodzi naukowcy z instytucji partnerskich oraz spoza zespołu projektu stanowią najważniejszą grupę docelową, ponieważ będą kontynuować w przyszłości prace nad zrównoważonym użytkowaniem gleb rolniczych w warunkach zmieniającego się klimatu. Propozycja poszerzenia i ugruntowania wiedzy oferowana w projekcie obejmuje uczestnictwo w kursach doktoranckich, kursach szkoleniowych i ubieganie się o granty wyjazdowe. Na lata 2021–2024 zaplanowano dziewięć kursów doktoranckich obejmujących zróżnicowaną tematykę badawczą i realizowanych w różnych instytucjach partnerskich EJP SOIL, a ich celem jest wzmocnienie współpracy między młodymi naukowcami i budowa platformy wymiany wiedzy. Kursy dla doktorantów obejmowały m.in. informacje o glebach w zakresie dyrektywy INSPIRE; zarządzanie glebą na rzecz zrównoważonego rolnictwa; metody i narzędzia do badania stanu i funkcji gleby w różnych skalach; hiperspektralne pomiary i modelowanie w zakresie fizycznych właściwości gleby. Ponadto naukowcy uczestniczący w projekcie oraz z instytucji nie należącej do konsorcjum EJP SOIL, mogli ubiegać się o granty wyjazdowe do różnych ośrodków naukowych,

uczestniczyć w krajowych i międzynarodowych konferencjach, szkoleniach oraz warsztatach naukowych, skorzystać z możliwości wymiany wiedzy z zakresu metod analitycznych i prowadzenia badań na wieloletnich doświadczeniach rolniczych. W ramach zachęty do korzystania z wiedzy oferowanej przez projekt, na stronie EJP SOIL (webpage 1) dla zainteresowanych osób są dostępne nagrania ze szkoleń, warsztatów i spotkań roboczych zespołów realizujących poszczególne obszary zadaniowe i projekty wewnętrzne EJP SOIL oraz krótkie filmy przedstawiające działania edukacyjne partnerów projektu. Omawiane zagadnienia dotyczą m. in. zrównoważonego zarządzania glebami rolniczymi oraz nowoczesnych metod, które mogą być zastosowane do monitorowania zdrowia gleb w różnych skalach. Tematyka prezentacji dotyczy na przykład zastosowania zdalnych metod do analizy właściwości gleb, skupiając się na teledetekcji satelitarnej w zakresie optycznym; zastosowania metod spektralnych i przeglądu najbardziej powszechnych typów czujników, w tym wykorzystujących przewodność elektryczną, promieniowanie gamma oraz spektroskopię w świetle widzialnym i podczerwonym wraz z przykładami ich zastosowania; dyskusji nad nowoczesnymi narzędziami wsparcia dla doradców rolnych czy filmów edukacyjnych skierowanych do młodego pokolenia, które można wykorzystać w pracy dydaktycznej.

5. Harmonizacja danych o glebach na poziomie UE

Prace rozpoczynające działania w zakresie harmonizacji danych glebowych na poziomie UE obejmowały zebranie informacji od partnerów projektu na temat protokołów pobierania próbek, analiz chemicznych stosowanych do oznaczania właściwości gleb oraz zakresu analizowanych parametrów. Wyniki badań ankietowych wykazały, że strategie i protokoły pobierania próbek w krajowych monitoringach gleb (KMG) są bardzo zróżnicowane między krajami europejskimi i różnią się znacząco od protokołu przyjętego w projekcie LUCAS (ang. Land Use – Land Cover Area Frame Survey) (Policy brief, 2023c). W trakcie realizacji projektu zostały wykonane próby łączenia wyników z KMG i programu LUCAS w celu wygenerowania różnych map tematycznych dla krajów uczestniczących w projekcie EJP SOIL. Stwierdzono, że analizowane zbiory danych nie mogą być wspólnie wykorzystane i należy zachować dużą ostrożność podczas integracji danych z bazy LUCAS, ponieważ lokalizacja punktów kontrolnych w tym programie nie jest reprezentatywna dla wszystkich form pokrycia terenu i typów gleb. W zależności od kraju i posiadanych danych o glebach, do przeprowadzenia ocen zdrowia gleby należy korzystać przede wszystkim z krajowych baz danych. Korzystanie z obu źródeł informacji w celu ochrony zdrowia gleb i ich zrównoważonego użytkowania wymaga opracowania modeli matematycznych, które mogą być wykorzystane do przeliczania danych z obu źródeł informacji. Na ogół, bazy KMG obejmowały większą liczbę punktów pobierania próbek w porównaniu z systemem LUCAS, na przykład baza w Belgii była nawet 100-krotnie większa.

Interesującym rozwiązaniem przyjętym przez projekt EJP SOIL w porozumieniu z JRC (ang. Joint Research Centre) jest uczestnictwo w programie LUCAS i pobieranie próbek glebowych

w 2022 r. Kraje uczestniczące w tym porównaniu przyjęły różne strategie działania, które mają na celu porównanie metodyki pobierania próbek glebowych do badań i metodyk analizy właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych gleb stosowanych w krajach uczestniczących w tym porównaniu, a metodami przyjętymi w programie EJP SOIL. Celem tego uczestnictwa jest opracowanie współczynników przeliczeniowych z uwzględnieniem metodyk pobierania próbek w różnych krajach i metod analitycznych stosowanych do analizy właściwości gleb, w tym właściwości biologicznych.

Projekt EJP SOIL na stronie internetowej (website 15) przedstawia także katalog zawierający metadane oraz łącza do zbiorów danych i informacje o nich. Katalog zapewnia przegląd i umożliwia lepsze wyszukiwanie odpowiednich zbiorów danych o glebie, które mogą być wykorzystywane przez Misję Glebową, projekty Horyzont Europa i inne projekty badawcze, naukowców oraz władze lokalne, regionalne, krajowe i europejskie. Należy podkreślić, że w programie EJP SOIL nie ma ograniczeń w dostępie do metadanych. Katalog EJP SOIL zostanie przekazany w 2025 roku do EUSO. Projekt oferuje również instrukcję wykorzystania danych glebowych przez osoby pracujące w instytutach lub organizacjach i administracji krajowej, które muszą udostępniać dane glebowe w Internecie. Katalog to wspólny wysiłek mający na celu gromadzenie i opisywanie dobrych praktyk zgodnie z dyrektywą INSPIRE. Katalog zawiera wiele linków do źródeł INSPIRE i przyjmuje standardy wspólne m.in. dla ISO (International Organization for Standardization), Open Geospatial Consortium i Global Soils Partnership, co nadaje jej znaczenie międzynarodowe (website 16).

6. Krajowe Centra Glebowe

Z inicjatywy projektu EJP SOIL w każdym z krajów członkowskich zostały zainicjowane działania krajowych centrów glebowych (KCG). KCG stanowią instrument wspomagający projekt, ponieważ wyniki projektu są konsultowane pomiędzy różnymi grupami odbiorców. W ramach działania centrum możliwe jest poparcie dla wdrożenia wyników badań realizowanych w projektach wewnętrznych i zewnętrznych EJP SOIL do polityki europejskiej i krajowej oraz praktyki rolniczej. Członkowie KCG mogą prezentować krajowe systemy rolnicze i praktyki gospodarowania glebą, mogą brać udział w spotkaniach, wydarzeniach i warsztatach EJP SOIL, podczas których wyrażają potrzeby regionalne i krajowe oraz stanowisko swoich krajów w sprawie zrównoważonego gospodarowania glebami rolnymi, mogą mieć wkład w wyniki EJP SOIL, w tym w treść mapy drogowej w zakresie badań naukowych na kolejną dekadę po zakończeniu projektu.

6.1. Krajowy Hub ds. Gleby

Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi oraz IUNG – PIB w Puławach, 28 listopada 2023 r. zainaugurowały działanie Krajowego Hubu ds. Gleb (KHG). KHG jest pierwszą tego typu inicjatywą w kraju skierowaną do szerokiego grona osób zainteresowanych różnymi aspektami wykorzystania i ochrony

gleb ustanowioną we współpracy z administracją rządową. Przedsięwzięcie to połączone było z dniem informacyjnym projektu EJP SOIL, co umożliwiło przekazanie informacji o programie szerokiemu gronu odbiorców. W dyskusji udział brali rolnicy, doradcy rolniczy, naukowcy, przedstawiciele administracji państwowej i terenowej, politycy, planiści, przedstawiciele organizacji pozarządowych i przemysłu. Wszyscy uczestnicy, otrzymali zaproszenie do udziału w planowanych spotkaniach, wydarzeniach i warsztatach, podczas których będą mogli dzielić się wiedzą i wyrażać potrzeby regionalne i krajowe dotyczące zrównoważonego gospodarowania glebami. Głównymi zadaniami KHG są m.in.:

- wspieranie w kraju wdrażania Misji "Troska o glebę to troska o życie",
- wspieranie organizacji tzw. żywych laboratoriów (ang. Living Labs) i latarni morskich (ang. Lighthouses),
- dyskusja nad implementacją i treścią przepisów środowiskowych, urbanizacyjnych i Wspólnej Polityki Rolnej,
- optymalizacja współpracy międzynarodowej w ramach Europejskiego Partnerstwa dla Gleb, EIONET, Europejskiego Obserwatorium Gleb (EUSO) oraz innych inicjatyw,
- transfer wiedzy z i do projektów międzynarodowych,
- rozszerzanie dyskusji o glebach, w tym o ich ochronie, na obszary miejskie i podmiejskie,
- włączanie zagadnień glebowych do planowania przestrzennego,
- harmonizacja badań monitoringowych na płaszczyźnie krajowej i europejskiej,
- powiązanie zagadnień glebowych z biogospodarką, gospodarką w obiegu zamkniętym, racjonalnym wykorzystaniem odpadów i nawozów oraz zasobów wodnych,
- poszukiwanie i promowanie innowacji w zakresie zrównoważonej gospodarki glebami,
- zwrócenie szczególnej uwagi na funkcje i zagrożenia dla funkcji gleb oraz usługi ekosystemowe świadczone przez gleby,
- rozwój rolnictwa regenerującego gleby i rolnictwa węglowego.

7. Podsumowanie

Europejskie działania zmierzające do zapewnienia zdrowia glebom oraz zrównoważonego gospodarowania ich zasobami wymagają wspólnej pracy wielu grup osób korzystających z krajowych i europejskich zasobów glebowych. Od wielu dziesięcioleci w UE są podejmowane starania w zakresie ochrony środowiska, a w ostatnich latach w kręgu zainteresowania polityków oraz otoczenia społecznego jest gleba. Wymagania dotyczące zrównoważonego użytkowania gleb, zachowania ich w zdrowej kondycji tak, aby mogły pełnić swoje funkcje oraz efektywnie świadczyć usługi ekosystemowe jest przedsięwzięciem bardzo ambitnym. Wiele europejskich ośrodków naukowych bierze udział w opracowaniu kryteriów oceny zdrowia gleby, testowaniu modelowania matematycznego w celu wyznaczenia obszarów, gdzie zdrowie gleb może być zagrożone i jakie należy podjąć działania naprawcze. Przeprowadzane są meta-analizy

na podstawie danych zawartych w publikacjach naukowych w celu wyboru systemów uprawy gleby, które w największym stopniu gwarantują jej dobrą kondycję z uwzględnieniem strefy glebowo-klimatycznej i zachodzących w niej zmian klimatycznych. EJP SOIL odpowiada na te wyzwania poprzez realizację poszczególnych obszarów zadaniowych oraz projektów wewnętrznych i zewnętrznych, które dostarczają danych uzupełniając dotychczasowe luki w wiedzy. Program EJP SOIL skupia się na glebach użytkowanych rolniczo, ale informacje i umiejętności zdobyte podczas realizacji projektu, są niezwykle pomocne przy opracowywaniu oceny zdrowia gleb występujących na innych użytkach gruntowych. Ponadto wyniki projektu mogą być wykorzystane przez kolejne projekty europejskie finansowane ze środków Horyzont Europa oraz projekty krajowe. EJP SOIL wyraźnie wskazuje, że dla osiągnięcia zakładanych celów EŻL istnieje potrzebna harmonizacji danych krajowych, utworzenia jednolitego systemu monitorowania gleb na terenie Europy oraz raportowania. Równie ważnym wynikiem projektu jest wskazanie na potrzebę merytorycznego przygotowania kadry, która będzie przekazywać wyniki badań do praktyki i wspierać rolników w ich wdrażaniu.

Podziękowania

Badania oraz artykuł zostały sfinansowane ze środków projektu: EJP SOIL „Towards climate-smart sustainable management of agricultural soils” nr 862695, NCBR projekt EJPSOIL/I/78/SOMPACS/2022.

Literatura

- Adhikari, K., Hartemink, A.E., 2016. Linking soils to ecosystem services – a global review. *Geoderma* 262, 101–111. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.009>
- Assennato, F., Smiraglia, D., Cavalli, A., Congedo, L., Giuliani, C., Riitano, N., Strollo, A., Munafo, M., 2022. The Impact of Urbanization on Land: A Biophysical-Based Assessment of Ecosystem Services Loss Supported by Remote Sensed Indicators. *Land* 11(2). <https://www.mdpi.com/2073-445X/11/2/236/htm>
- Bhattacharyya, S.S., Ros, G.H., Furtak, K., Iqbal, H.M.N., Parra-Saldívar, R., 2022. Soil carbon sequestration – An interplay between soil microbial community and soil organic matter dynamics. *Science of the Total Environment* 815, 152928. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.152928>
- Blanchy, G., Bragato, G., Di Bene, C., Jarvis, N., Larsbo, M., Meurer, K., Garre, S., 2023. Soil and crop management practices and the water regulation functions of soils: a qualitative synthesis of meta-analyses relevant to European agriculture. *SOIL* 9, 1–20. <https://doi.org/doi.org/10.5194/soil-9-1-2023>
- Bonfante, A., Basile, A., Bouma, J., 2020. Targeting the soil quality and soil health concepts when aiming for the United Nations Sustainable Development Goals and the EU Green Deal. *Soil* 6(2), 453–466. <https://doi.org/10.5194/soil-6-453-2020>
- Evans, D.L. et al., 2022. Sustainable futures over the next decade are rooted in soil science. *European Journal of Soil Science* 73(1). <https://bss-journals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ejss.13145>
- European Commission, 2020. Caring for soil is caring for life Ensure 75% of soils are healthy by 2030 for healthy food, people, nature and climate: interim report of the mission board for soil health and food, 80 pp.

- Faber, J.H., et al., 2022. Stocktaking for Agricultural Soil Quality and Ecosystem Services Indicators and their Reference Values. EJP SOIL Internal Project SIREN Deliverable 2. Report, 153 pp.
- Hayes, M.H.B., Mylotte, R., Swift, R.S., 2017. Chapter Two – Humin: Its Composition and Importance in Soil Organic Matter. In: Sparks DL (ed) *Advances in Agronomy*. Academic Press 47–138. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.01.001>
- Keesstra, S.D. et al., 2021. Towards climate-smart sustainable management of agricultural soils. Roadmap for the European Joint Programme SOIL. Deliverable 2.4. Report, 103 pp.
- Liu, W.X., Wei, Y.X., Li, R.C., Chen, Z., Wang, H.D., Virk, A.L., Lal, R., Zhao, X., Zhang, H.L., 2022. Improving soil aggregates stability and soil organic carbon sequestration by no-till and legume-based crop rotations in the North China Plain. *Science of the Total Environment* 847, 157518. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157518>
- Minasny, B., McBratney, A.B., Malone, B.P., Wheeler, I., 2013. Chapter One – Digital Mapping of Soil Carbon. [In:] Sparks DL (ed) *Advances in Agronomy*. Academic Press 1–47. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-405942-9.00001-3>
- Pham, D.M., Katayama, A., 2018. Humin as an External Electron Mediator for Microbial Pentachlorophenol Dechlorination: Exploration of Redox Active Structures Influenced by Isolation Methods. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15. <https://doi.org/10.3390/ijerph15122753>
- Rice, J.A., MacCarthy, P., 1988. Comments on the literature of the humin fraction of humus. *Geoderma* 43, 65–73. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(88\)90055-9](https://doi.org/10.1016/0016-7061(88)90055-9)
- Smreczak, B., Ukalska-Jaruga, A., 2021. Dissolved organic matter in agricultural soils. *Soil Science Annual* 72(1), 132234. <https://doi.org/10.37501/soilsa/132234>
- Spaccini, R., Piccolo, A., Conte, P., Haberhauer, G., Gerzabek, M.H., 2002. Increased soil organic carbon sequestration through hydrophobic protection by humic substances. *Soil Biology and Biochemistry* 34, 1839–1851. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(02\)00197-9](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00197-9)
- Tan, K.H., 2014. *Humic Matter in Soil and the Environment: Principles and Controversies*. Second Edition. CRC Press. Taylor and Francis Group
- Vanino, S., et al., 2023. Barriers and opportunities of soil knowledge to address soil challenges: Stakeholders' perspectives across Europe. *Journal of Environmental Management* 325, 116581. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116581>
- Walter, C., Veenstra, J., Melot, R., Coquet, Y., 2024. Identification of soil-related professional profiles for the future from a survey of European stakeholders. *European Journal of Soil Science* 75(2), e13469. <https://doi.org/10.1111/ejss.13469>
- Weber, J., Mielnik, L., Leinweber, P., Hewelke, E., Kocowicz, A., Jamroz, E., Podlasiński, M., 2024. The Influence of Different, Long-Term Fertilizations on the Chemical and Spectroscopic Properties of Soil Organic Matter. *Agronomy* 14(4), 837. <https://doi.org/10.3390/agronomy14040837>
- Weber, J., Jamroz, E., Kocowicz, A., Debicka, M., Bekier, J., Ćwieląg-Piasecka, I., Ukalska-Jaruga, A., Mielnik, L., Bejger, R., Jerzykiewicz, M., 2022. Optimized isolation method of humin fraction from mineral soil material. *Environmental Geochemistry and Health* 44, 1289–1298. <https://doi.org/10.1007/s10653-021-01037-3>
- website 1: <https://ejpsoil.eu/>
 website 2: <https://glten.org/>
 website 3: <https://www.ilter.network/>
 website 4: <https://www.eionet.europa.eu/>
 website 5: <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/euso>
 website 6: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/lucas>
 website 7: <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/>
 website 8: <https://prepsoil.eu/>
 website 9: <https://ejpsoil.eu/knowledge-sharing-platform/ejp-soil-publications>
 website 10: <https://ejpsoil.eu/soil-research/internal-external-projects>
 website 11: <https://ejpsoil.eu/knowledge-sharing-platform/deliverables>
 website 12: <https://upwr.edu.pl/en/research/projects/european-funds/sompacs>
 website 13: <https://ejpsoil.eu/soil-research/first-external-call-projects-selected/sompacs>
 website 14: <https://ejpsoil.eu/knowledge-sharing-platform/policy-briefs>
 website 15: <https://catalogue.ejpsoil.eu/>
 website 16: <https://ejpsoil.github.io/soildata-assimilation-guidance>

Rational management of agricultural soils under climate change

Keywords

Agriculture soils
 Sustainable agriculture production
 Climate chance adaptation
 EJP SOIL
 Sustainable development

Abstract

Sustainable management of agricultural soils is crucial to improving their health, increasing food security, the quantity and quality of surface and groundwater, accumulating organic carbon, and improving the state of biodiversity. It also contributes to the mitigation of climate change and the adaptation of agriculture to these changes. The publication aims to present solutions for the sustainable use of agricultural soils in climate change conditions on the example of the European Common Soil Program (acronym EJP SOIL). The EJP SOIL project “Towards climate-smart sustainable development of agricultural soils” involving 26 scientific and research institutions from 24 European countries began its activity in 2020. The results of the undertaken activities, including surveys, meta-analyses, and extensive statistical research, as well as the effects of cooperation with officials, for five years initiated collaboration among over 400 scientists to improve knowledge about sustainable management of agricultural soils, taking into account the soil and climate zones of Europe. The publication presents the multi-threaded nature of the EJP SOIL project and related internal and external research projects, presents the scientific issues discussed, and makes recommendations for agricultural practice and shaping future European policy. In addition, it indicates the activities of the EJP SOIL project addressed to various stakeholder groups in the field of disseminating knowledge about soil health and the ecosystem services they provide, presenting the goals and scope of operation of the National Soil Hub, which was established in November 2023 on the initiative of the project and Mission SOIL.