



INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

**STUDIA I RAPORTY
IUNG-PIB**

51(5)

KRAJOWE BAZY DANYCH O GLEBACH

**PROGRAM WIELOLETNI
2016-2020**

**WSPIERANIE DZIAŁAŃ W ZAKRESIE OCHRONY
I RACJONALNEGO WYKORZYSTANIA
ROLNICZEJ PRZESTRZENI PRODUKCYJNEJ W POLSCE
ORAZ KSZTAŁTOWANIA JAKOŚCI SUROWCÓW ROŚLINNYCH**

Puławy 2017

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Dyrektor: *prof. dr hab. Wiesław Oleszek*

Redakcja naukowa:
dr Grzegorz Siebielec, dr Bożena Smreczak

Autorzy:
*dr Guillaume Debaene, dr Jan Jadczyzyn, dr Monika Kowalik,
mgr Artur Łopatka, dr Jacek Niedźwiecki, dr Grzegorz Siebielec,
dr Bożena Smreczak*

Recenzenci:
*prof. dr hab. Antoni Faber, prof. dr hab. Stanisław Krasowicz,
dr Jacek Niedźwiecki, dr Grzegorz Siebielec, prof. dr hab. Franciszek Woch*

Opracowanie redakcyjne i techniczne: *mgr Ewa Decka-Cywińska*
Okładka: krajobraz okolic Rogowa (fot. *dr Anna Nieróbca*)

ISBN 978-83-7562-240-9

Egzemplarz bezpłatny

Nakład 300 egz., B5, zam. 29/K/17
Dział Upowszechniania i Wydawnictw IUNG-PIB w Puławach
tel. (81) 47 86 720; fax (81) 47 86 721
e-mail: iung@pulawy.pl; <http://www.iung.pulawy.pl>

STUDIA I RAPORTY IUNG-PIB

KRAJOWE BAZY DANYCH O GLEBACH

SPIS TREŚCI

Wstęp	7
1. J. J a d c z y s z y n , B. S m r e c z a k – Mapa glebowo-rolnicza w skali 1:25 000 i jej wykorzystanie na potrzeby współczesnego rolnictwa	9
2. A. Ł o p a t k a – Bazy danych o glebach leśnych.....	29
3. B. S m r e c z a k , J. J a d c z y s z y n – Badania właściwości gleb użytkowanych rolniczo w latach 1992-1997 i ich wykorzystanie w ocenach rolniczej przestrzeni produkcyjnej	41
4. G. S i e b i e l e c – Stały monitoring gleb użytków rolnych Polski	57
5. A. Ł o p a t k a – Europejski monitoring użytkowania gruntów i baza danych glebowych LUCAS.....	73
6. J. N i e d ź w i e c k i , G. D e b a e n e , M. K o w a l i k – Spektralna biblioteka gleb użytków rolnych w Polsce – podstawowe założenia.....	91

Wstęp

W latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych ubiegłego stulecia, ogromnym nakładem pracy, powstały analogowe mapy glebowo-rolnicze dla powierzchni całego kraju. Postęp w dziedzinie technologii informatycznych pozwolił na początku XXI wieku na przeniesienie papierowych materiałów kartograficznych do formatu cyfrowego. O ile proces tworzenia map analogowych przed kilku dziesięcioleciaми stanowił milowy krok w dziedzinie poznania i skatalogowania pokrywy glebowej kraju, to proces cyfryzacji map spowodował przełom pod względem wykorzystania mapy glebowo-rolniczej.

Bazy danych o glebach to nie tylko cyfrowe mapy glebowo-rolnicze, zawierające informacje o kompleksach przydatności rolniczej, typach gleb i ich teksturze. Niezwykle ważne są również bazy danych punktowych, o znanych współrzędnych geograficznych, charakteryzujących cały profil glebowy lub wierzchnią warstwę gleby. Wszystkie te dane razem stanowią, przy wykorzystaniu zaawansowanych metod geostatystycznych, ogromnie cenny materiał do analiz stanu gleb i tworzenia innych pochodnych informacji w formacie przestrzennym, przydatnych w badaniach środowiskowych i rolniczych.

Należy stwierdzić, że na tle innych krajów Europy, Polska dysponuje bardzo dobrymi bazami danych, zarówno kartograficznych, jak i punktowych. Dzięki nim może w transparentny i metodycznie uzasadniony sposób wskazywać tereny o określonej charakterystyce do wsparcia z funduszy unijnych, np. obszary z ograniczeniami naturalnymi lub obszary do wsparcia w ramach Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich.

Stała budowa i aktualizacja baz danych o glebach ma kluczowe znaczenie dla właściwego gospodarowania zasobami glebowymi oraz przewidywania lub monitorowania zjawisk. Zastosowania baz danych o glebach są niezwykle szerokie. Są to analizy trendów zmian w jakości gleb (np. postępujące procesy zakwaszania gleb, stan zawartości węgla w glebach, skala utraty najcenniejszych gleb w procesach urbanizacji) lub modelowanie zjawisk w środowisku (transport zanieczyszczeń, procesy erozyjne, emisja gazów cieplarnianych). Wielokrotnie bazy danych o glebach były przez IUNG-PIB wykorzystywane do wyznaczania obszarów do wsparcia lub szczególnej ochrony na poziomie krajowym i regionalnym. Dane glebowe pozwalają na badanie i wyjaśnianie zależności pomiędzy zjawiskami obserwowanymi w rolnictwie (susza, poziom produkcji rolniczej) a warunkami naturalnymi. Ponadto umożliwiają wyznaczanie obszarów ryzyka dla ludzi, na przykład biorąc pod uwagę zależności pomiędzy poziomem zanieczyszczeń w glebach a ich odczynem lub składem granulometrycznym, można przewidywać biodostępność zanieczyszczeń i potencjalny poziom narażenia mieszkańców.

Bazy danych o glebach, szczególnie charakteryzujące różne okresy, są bezcenne dla możliwości oceny wpływu instrumentów polityki rolnej na jakość gleb i całego środowiska. Racjonalne planowanie przestrzenne rozwoju miast i wsi jest możliwe

jedynie przy wykorzystaniu baz danych o glebach w formacie przestrzennym tak, by minimalizować ryzyko powodzi i utrzymywać potencjał produkcyjny rolnictwa na wysokim poziomie. W Programie Wieloletnim IUNG-PIB 2016-2020, zadania 1.1, 1.2, 1.3, 1.5 oraz 1.9 wykorzystują bazy danych o glebach do tworzenia i rozwijania systemów monitorowania jakości gleb, rozwoju przestrzennego i skutków polityki rolnej oraz tworzenia koncepcji wielofunkcyjnego rozwoju obszarów wiejskich i problemowych.

W niniejszym opracowaniu przedstawiamy kluczowe bazy danych o glebach, zarówno wytworzone przez Instytut, jak i dostępne dla naszego kraju z innych źródeł. Artykuły o mapach glebowych zawierają cenny rys historyczny, przywołują założenia metodyczne powstania map, charakteryzują treść oraz przykłady zastosowań map cyfrowych. Podsumowujemy badania monitoringowe gleb użytków rolnych prowadzone od początku lat dziewięćdziesiątych do chwili obecnej. Charakteryzujemy międzynarodowy program monitorowania użytkowania gruntów i jakości gleb LUCAS oraz możliwości jego zastosowania do ocen krajowych. Rozwijana obecnie biblioteka danych spektralnych gleb Polski jest z kolei nowatorskim podejściem do rozbudowy baz danych o glebach na podstawie metod chemometrycznych, łączących klasyczne dane chemiczne i fizyczne z informacją spektralną.

Kierownik zadania 1.1
dr Grzegorz Siebielec

Kierownik zadania 1.3
dr Bożena Smreczak

Jan Jadczyzyn, Bożena Smreczak

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach

MAPA GLEBOWO-ROLNICZA W SKALI 1:25 000 I JEJ WYKORZYSTANIE
NA POTRZEBY WSPÓŁCZESNEGO ROLNICTWA*

Słowa kluczowe: mapa bonitacyjna, mapa gleb, mapa glebowo-rolnicza, kompleksy rolniczej przydatności gleb, rolnicza przestrzeń produkcyjna, Wspólna Polityka Rolna

Wprowadzenie

Odradzające się rolnictwo i leśnictwo oraz trudna sytuacja żywnościowa w powojennej Polsce prowadziły z jednej strony do nadmiernego wykorzystania gleb na cele produkcji żywności, a z drugiej do poszukiwania prób oceny potencjału produkcyjnego dla potrzeb fiskalnych oraz racjonalnego wykorzystania zasobów przyrodniczych. Olbrzymi dorobek polskich gleboznawców w zakresie genezy, typologii, bonitacji i kartografii gleb połączony z doświadczalnictwem rolniczym realizowany m.in. w puławskim ośrodku naukowym, stworzył podstawy do opracowania systemowych rozwiązań w zakresie optymalizacji produkcji rolniczej.

5 maja 1956 r. Prezydium Rządu podjęło uchwałę nr 224/56 o przeprowadzeniu gleboznawczej klasyfikacji gruntów (11). Mając na względzie ogromną ilość materiałów kartograficznych i informacji o glebach naszego kraju, która zostanie zebrana w trakcie prac klasyfikacyjnych, Polskie Towarzystwo Gleboznawcze (PTG) zapoczątkowało w latach 1958/59 dyskusję na temat możliwości ich wykorzystania na potrzeby opracowania mapy gleb Polski w skali 1:25 000 (17). Wnioski z dyskusji zostały wysłane przez Zarząd PTG do Ministerstwa Rolnictwa, które zleciło Instytutowi Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa (IUNG) przeprowadzenie próbnego opracowania takich map. W 1959 r. pracownicy IUNG oraz kilku Katedr Gleboznawstwa z różnych ośrodków naukowych wykonali badania terenowe

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.3 oraz 1.5 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

połączone z pracami kartograficznymi w zakresie wykonania map glebowych i glebowo-bonitacyjnych (17). W tym celu wybrano siedem powiatów o łącznej powierzchni ponad 140 tys. hektarów położonych w różnych województwach naszego kraju (14). Wyniki prac były na tyle obiecujące, że w czerwcu 1960 r. Ministerstwo Rolnictwa zleciło IUNG-owi opracowanie tego typu map i powołało w Instytucie Centralny Zakład Kartografii Gleb (14, 17). W 1961 r. ukazała się Instrukcja w sprawie wykonania pierworysów mapy gleb i mapy bonitacyjnej w skali 1: 25 000 według PTG opracowana pod kierunkiem mgr R. Truszkowskiej (14). W trakcie prac nad mapami glebowymi i glebowo-bonitacyjnymi w skali 1: 25 000, w IUNG powstała koncepcja mapy glebowo-rolniczej, która miała być odpowiedzią na realne potrzeby rolnictwa.

Na początku lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku nie istniała spójna koncepcja mapy glebowo-rolniczej, zarówno co do głównych treści jakie miała zawierać, stopnia szczegółowości informacji glebowej, jak i zasad syntetyzowania. Wstępne opracowania z tego zakresu pochodzą z przełomu 1961/62 r. (17). Wyniki dalszych prac w tym zakresie zaowocowały wypracowaniem kompromisu pomiędzy oczekiwaniami ze strony rolników, możliwościami kartograficznymi i dostępną informacją glebową. Zaproponowano, aby zasadniczą treść mapy glebowo-rolniczej stanowiły dwa elementy: kompleksy rolniczej przydatności gleb oraz jednostki glebowe. Mapy glebowo-rolnicze w skali 1:5 000 i 1:25 000 wykonano dla całego kraju na podstawie Instrukcji w sprawie wykonania map glebowo-rolniczych w skali 1: 5000 i 1: 25 000 oraz map glebowo-przyrodniczych w skali 1: 25 000 (1) jako efekt realizacji zarządzenia Nr 115 Ministra Rolnictwa z dnia 28 lipca 1964 r. (Dz. Urz. Min. Rol. nr 19, poz. 121) (1).

Pomimo, że od czasu wykonania pierwszych analogowych map glebowo-rolniczych w skali 1: 5 000 oraz 1: 25 000 minęło wiele dziesięcioleci to nadal stanowią one podstawowe źródło informacji o rolniczej przestrzeni produkcyjnej i zasobach glebowych naszego kraju (5, 6, 11-13). Współcześnie mają zastosowanie do wielu opracowań nie tylko z zakresu produkcji rolnej, rejonizacji upraw, ale planowania przestrzennego, scalania gruntów (18), oceny stanu gleb (13), wyznaczania obszarów ONW (9, 12), oceny suszy rolniczej (2) i ochrony środowiska (6) – nowego wyzwania dla rolnictwa, silnie akcentowanego we Wspólnej Polityce Rolnej (WPR).

W zasobach informacji o glebach Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowego Instytutu Badawczego znajduje się mapa glebowo-rolnicza w skali 1: 25 000, przetworzona w latach 2002-2010 do formatu wektorowego w Zakładzie Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów (4, 13). Wektorowy format mapy umożliwi jej szerokie wykorzystanie przy różnego rodzaju opracowaniach dotyczących regionalnego rozwoju (13) oraz ochrony i kształtowania obszarów wiejskich (5, 6). Wdrożenie specjalistycznych aplikacji oraz modeli matematycznych, a także łączenie i przeszukiwanie warstw informacji, stwarza nowe możliwości jej dalszego, szerokiego wykorzystania (13).

Celem opracowania jest przedstawienie zagadnień dotyczących zasad tworzenia mapy glebowo-rolniczej w skali 1:25 000 w wersji analogowej i cyfrowej oraz przykładów współczesnego wykorzystania mapy do opracowań z zakresu zarządzania rolniczą przestrzenią produkcyjną i ochrony środowiska.

Koncepcja i cele mapy glebowo-rolniczej

Koncepcja mapy glebowo-rolniczej powstawała w kilku etapach. Pomysł na wprowadzenie kompleksów przydatności rolniczej gleb jako najważniejszego elementu treści mapy zrodził się w Zakładzie Gleboznawstwa i Kartografii Gleb IUNG pod naukowym kierownictwem prof. Michała Strzemińskiego, a został udoskonalony i uszczegółowiony w Zakładzie Uprawy Roli i Płodozmianów IUNG we Wrocławiu (17). W powstającej koncepcji jednostki glebowe miały być dopasowane do wykazu gleb na mapach glebowych i glebowo-bonitacyjnych w skali 1:25 000 według Genetycznej klasyfikacji gleb Polski, wydanie II z 1959 r. (7). Należy zaznaczyć, że równocześnie z mapą glebowo-rolniczą w skali 1: 25 000 jako opracowanie autonomiczne powstawała koncepcja mapy glebowo-przyrodniczej w tej samej skali.

Mapa glebowo-rolnicza jest syntetycznym obrazem podziału przestrzeni produkcyjnej na zespoły gleb o zbliżonych właściwościach fizykochemicznych i użytkowych, zdolne do zaspokajania potrzeb żywieniowych i wydania optymalnego plonu określonych zespołów (grup) roślin uprawnych zebranych w kompleksy rolniczej przydatności gleb (1, 8, 10, 16, 17). Była koncepcją nowatorską, dostosowaną do warunków glebowych i specyfiki produkcji rolniczej naszego kraju. Cele mapy glebowo-rolniczej koncentrowały się na:

- rejonizacji upraw i zespołów zmianowań roślin rolniczych dla najlepszego wykorzystania rolniczej przestrzeni produkcyjnej ,
- ustaleniu właściwych systemów uprawy roli w zależności od warunków przyrodniczych występujących w różnych regionach,
- ułatwieniu prawidłowej dystrybucji nawozów sztucznych wg charakteru i jakości gleb,
- racjonalnej kontraktacji produkcji roślinnej i zwierzęcej,
- właściwej dystrybucji materiału siewnego,
- odpowiednim wykorzystaniu typów maszyn rolniczych i dostosowaniu ich do regionalnego zróżnicowania warunków glebowych, w tym trudności uprawy gleby.

Ze względu na wybitnie syntetyczną treść, mapa glebowo-rolnicza, w założeniu miała być uzupełniana przez inne mapy tematyczne, m.in. mapy potrzeb nawozowych roślin (1, 17) oraz aneksy dotyczące warunków przyrodniczej produkcji rolnej zawierających komentarze na temat nasilenia erozji, czy potrzeb melioracji dla poszczególnych obszarów (1).

Zasady powstawania analogowej mapy glebowo-rolniczej w skali 1: 25 000

Głównym źródłem wiedzy dotyczącym zasad wykonania map glebowo-rolniczych jest dwuczęściowa „Instrukcja w sprawie wykonania map glebowo-rolniczych w skali 1: 5 000 i 1: 25 000 oraz map glebowo-przyrodniczych w skali 1: 25 000” z 1965 r. (1). Przez długi czas opracowanie było objęte zasadą poufności i niedostępne dla szerszego grona odbiorców, a każdy egzemplarz opatrzony numerem. Biorąc pod uwagę fakt, że treść mapy glebowo-rolniczej była przedmiotem różnych opracowań (8, 10, 11, 13), w dalszej części pracy przedstawiamy mniej znane, wybrane zagadnienia dotyczące zasad tworzenia analogowej mapy glebowo-rolniczej w skali 1: 25 000. Warto podkreślić, że mapa glebowo-rolnicza nie była opracowaniem powstałym poprzez proste odwzorowanie treści mapy glebowej, ale zawierała nową jakość, ponieważ wprowadzono wiele zmian w sposobie syntetyzowania mapy z wykorzystaniem materiałów klasyfikacyjnych.

Osobą odpowiedzialną za opracowanie mapy glebowo-rolniczej w skali 1: 25 000 dla określonego obszaru był redaktor terenowy mapy (1). Zgodnie z obowiązującą metodyką miał on obowiązek przeprowadzić analizę środowiska przyrodniczego pod kątem rozwoju produkcji rolniczej na obszarze, za który odpowiadał. Zakres badań terenowych obejmował ocenę m.in. budowy geologicznej i rzeźby terenu, hydrografii i hydrologii, krajobrazu, warunków agroklimatycznych, zróżnicowania gleb, struktury użytkowania i warunków ekonomicznych produkcji rolniczej. Redaktor mapy oceniał materiały zgromadzone w operacji klasyfikacyjnym pod kątem ich przydatności do opracowania mapy glebowo-rolniczej i podejmował decyzję w sprawie wykonania w terenie uzupełniających badań gleboznawczych. Badania te polegały między innymi na: wyjaśnieniu wątpliwości oznaczenia typów gleb przez klasyfikatora, uzyskaniu uzupełniających danych dotyczących prawidłowego oznaczenia typów i podtypów gleb zgodnie z legendą do mapy glebowo-rolniczej (1). Zadaniem terenowego redaktora mapy było również wyjaśnienie wątpliwości wydzielenia zasięgów konturów glebowo-rolniczych oraz wyznaczenie i opisanie odkrywek glebowych charakterystycznych dla gleb kartowanego obiektu (minimum 4-6 odkrywek na 100 ha), pobranie próbek glebowych do wykonania oznaczeń chemicznych właściwości gleb, zebranie danych do oznaczenia wskaźnika ciężkości i trudności gleb do uprawy. W terenie wykonywano również prace dotyczące określenia stosunków wodno-powietrznych i potrzeb uregulowania stosunków wodnych kartowanych obszarów, oznaczenia terenów podlegających zalewom rzeczny, erozji wodnej w stopniu intensywnym, silnym i bardzo silnym; obszarów, na których występuje duża kamienistość gleb, określeniu potrzeb zmiany użytków gruntowych, w tym gruntów ornych na trwałe użytki zielone oraz gruntów ornych i pastwisk na grunty leśne. Jako materiały pomocnicze wykorzystywano m.in. mapy i pierworysy map glebowych i bonitacyjnych opracowanych w poprzednich latach przez IUNG i inne zakłady/ ośrodki naukowe, mapy gleb Polski w skalach od 1: 50 000 do 1:300 000 różnych wydań; mapy glebowe i rolnicze niemieckie w skali 1:25 000; mapy topograficzne w skali 1:25 000 i 1:100 000 różnych wydań; mapy geologiczne, hydrologiczne i geomorfologiczne oraz monografie gleboznawcze, dane meteorologiczne i dane statystyczne (1).

Pierworys mapy glebowo-rolniczej w skali 1:25 000 tworzono poprzez przeniesienie zgeneralizowanej treści glebowej z mapy roboczej w skali 1:5 000 na podkład mapy topograficznej, z uwzględnieniem szczegółów sytuacji terenowej jak np. drogi, rzeki czy skrzyżowania i załamania dróg. Fragment pierworysu mapy glebowo-rolniczej w skali 1:25 000 przedstawiono na Rys. 1. W efekcie generalizacji pomijano kontury glebowe o powierzchni mniejszej od 1,0 ha, co stanowiło 16 mm² dla mapy w skali 1:25 000. W przypadkach dużego podobieństwa gleb dopuszczano pomijanie konturów o powierzchni w przedziale 1,0-3,0 ha, włączając je do konturów sąsiednich lub otaczających. Kontury wąskie i trudne do przedstawienia w skali mapy, ale istotne z uwagi na charakterystykę występujących gleb, wnoszono na pierworys w nieco poszerzonym kształcie kosztem konturów przyległych. Treść glebowa i sytuacyjna mapy glebowo-rolniczej w skali 1:25 000 była w większości równoważna mapie w skali 1:5 000. Różnice dotyczyły lokalizacji profili glebowych oraz granic administracyjnych dla obrębów. Na mapie w skali 1:25 000 wykazywano wyłącznie tzw. profile wzorcowe, których przeciętne zagęszczenie wynosiło 1 profil na 2000 ha. Ich lokalizacje na podstawie badań terenowych ustalał redaktor mapy w porozumieniu z inspektorem IUNG. Profile wzorcowe opisywały gleby najbardziej charakterystyczne dla danego terenu.

Należy zaznaczyć, że ze względu na obowiązujące przepisy o tajemnicy państwowej, część podkładów topograficznych została miejscowo zniekształcona poprzez rozciąganie lub wycinanie małych fragmentów, a miejsca te uzupełniano „przypadkową” sytuacją topograficzną. Takie postępowanie oznaczało, że aktualną, zgeneralizowaną treść glebową z podstawowej mapy glebowo-rolniczej w skali 1:5 000 również przenoszono na zniekształconą sytuację topograficzną.



Rys. 1. Fragment arkusza mapy glebowo-rolniczej w skali 1:25 000 (powiat Łuków)

Źródło: zasoby IUNG-PIB

Kompleksy rolniczej przydatności gleb

Opracowanie podstaw wydzielania kompleksów rolniczej przydatności gleb nie było zagadnieniem prostym. Dla gleb ornych było to zestawienie różnych kryteriów m.in. klas bonitacyjnych i warunków wodnych, którym miał odpowiadać odpowiedni dobór roślin uprawnych. W Genetycznej klasyfikacji gleb Polski (7) gleby uprawne dzielono na występujące w terenach równinowych: wyżynnych i nizinnych, terenach górskich oraz terenach dolin rzecznych. Podział ten miał odzwierciedlenie nie tylko w klasyfikacji bonitacyjnej, ale też w kompleksach przydatności rolniczej gleb. Na mapie glebowo-rolniczej wydzielono 14 kompleksów gleb ornych. Na terenach wyżynnych i nizinnych, kompleksy gleb ornych oznaczono cyframi arabskimi od 1 do 9, w terenach górskich od 10 do 13. Dla obu obszarów wprowadzono kompleks 14 oznaczający gleby orne, które ze względu na warunki wodne powinny być przeznaczone pod użytki zielone. Hierarchia w nadawaniu kompleksów była następująca: najlepsze gleby, najczęściej I i II klasy bonitacyjnej na terenach nizinnych i wyżynnych zaliczono do kompleksu 1, a w górach klasy II do kompleksu 10. Kolejny, wyższy numer kompleksu oznaczał niższą klasę bonitacyjną i gorsze właściwości gleb wyrażające się np. gorszą strukturą poziomu próchnicznego, silniejszym odwapnieniem w profilu glebowym i gorszym układem stosunków wodnych ze względu na zbytnią przepuszczalność jak i nadmierną zwięzłość skały macierzystej, możliwość występowania silnego oglejenia w zasięgu systemu korzeniowego roślin uprawnych, czy położenie w rzeźbie terenu powodujące występowanie procesów erozyjnych, a w górach również niekorzystną wystawę i silniejsze nachylenie stoku oraz większą wysokość nad poziom morza (1, 10).

Każdy kompleks przydatności rolniczej gleb ornych miał ustalony odpowiedni dobór roślin wskaźnikowych i współwskaźnikowych, których uprawa była uwarunkowana nie tylko względami glebowymi, ale też ekonomicznymi (10, 16). Rośliny wskaźnikowe musiały spełniać kilka warunków: miały być charakterystyczne dla trwałego systemu zagospodarowania, musiały stanowić konieczne i jedno z podstawowych ogniw rotacji w płodozmianie, mogły być wykorzystane do ustalenia zależności pomiędzy rozmieszczeniem obszarów ich uprawy a zróżnicowaniem gleb z uwzględnieniem czynników ekonomicznych oraz musiały obejmować razem ogół gleb kraju o skrajnie różnych właściwościach (10). Rośliny wskaźnikowe wydzielono w oparciu o zboża ozime, w tym głównie pszenicę ozimą i żyto. Wyjątek stanowiły gleby murszowo-torfowe na obszarach wyżynnych i nizinnych, a w górach gleby położone powyżej strefy uprawy ozimin (1, 10, 17). W tych przypadkach roślinami wskaźnikowymi były pszenica jara i owies. Rośliny współwskaźnikowe wykazywały mniejszą lub większą elastyczność wymagań glebowych, ale nie mogły być uprawiane na wszystkich glebach o skrajnie różnych właściwościach, szczególnie składzie granulometrycznym. Do roślin współwskaźnikowych zaliczono rośliny zbożowe, jak np. jęczmień jary, rośliny okopowe (w tym ziemniaki i buraki cukrowe) oraz

motylkowate (obecnie bobowate), np. koniczynę czerwoną i łubin żółty. Na terenach wyżynnych i nizinnych wydzielono: 1- kompleks pszenny bardzo dobry, 2 – kompleks pszenny dobry, 3 – kompleks pszenny wadliwy, 4 – kompleks żytni bardzo dobry, 5 – kompleks żytni dobry, 6 – kompleks żytni słaby i 7 – kompleks żytni bardzo słaby oraz 8 – kompleks zbożowo-pastewny mocny i 9 – kompleks zbożowo-pastewny słaby. W terenach górskich: 10 – kompleks pszenny górski, 11 – kompleks zbożowy górski, 12 - kompleks owsiano-ziemniaczany górski, 13 – kompleks owsiano-pastewny górski (12).

Na terenach wyżynnych i nizinnych oraz górskich wydzielono 3 kompleksy dla trwałych łąk i pastwisk. Przy wydzielaniu kompleksów użytków zielonych zastosowano wyłącznie kryterium bonitacyjne bez różnicowania wydziałów dla terenów nizinnych i wyżynnych oraz górskich (1). Użytki zielone klas I i II na obszarze całego kraju zaliczono do kompleksu 1z (użytki zielone bardzo dobre i dobre), klasy III i IV do kompleksu 2z (użytki zielone dobre i średnie), a klasy V i VI do kompleksu 3z (użytki zielone słabe i bardzo słabe) (1, 10, 11, 16).

Jednostki glebowe

W trakcie prac przygotowawczych nad koncepcją mapy glebowo-rolniczej wiele uwagi poświęcono informacji glebowej, którą powinna zwierać legenda do tej mapy (17). Wykaz gleb został opracowany w oparciu o Genetyczną klasyfikację gleb Polski PTG z 1959 r. (7), ale nie był jej dokładnym odpowiednikiem, ponieważ dla potrzeb opracowania wprowadzono istotne zmiany. Jak podaje Witek (17), trudność wyodrębniania niektórych jednostek glebowych wiązała się z brakiem właściwie sprecyzowanych kryteriów ich wydzielenia oraz jakością materiałów klasyfikacyjnych. Za uproszczeniem zapisu również przemawiały cele, dla których tworzono mapę i rzeczywiste potrzeby rolników oraz fakt, że w tym samym czasie trwały prace nad mapą glebowo-przyrodniczą, której legenda zawierała kody dla 25 jednostek glebowych (typów i podtypów), podczas gdy dla mapy glebowo-rolniczej było ich 18 (1). Mapa glebowo-przyrodnicza miała zawierać również szczegółową informację dotyczącą rodzajów skał macierzystych gleb, podczas gdy na mapie glebowo-rolniczej informacja ta uległa daleko idącej generalizacji. Nie wprowadzono np. zapisu pochodzenia skały macierzystej dla utworów czwartorzędowych, a jedynie dla rędzin gipsowych i węglanowych oraz skał masywnych, które podzielono na krystaliczne, osadowe o spoiwie węglanowym i osadowe o spoiwie niewęglanowym (1). Szczegółowa informacja w zapisie dotyczyła natomiast składu granulometrycznego utworów glebowych i głębokości jego zmian w profilu w zakresach 0-50 cm, 50-100 cm i 100-150 cm, co miało istotne znaczenie dla praktyki rolniczej.

W przypadku jednostek glebowych zdecydowano, że na mapie glebowo-rolniczej w skali 1: 25 000 w typie gleb bielcowych będą wydzielane razem gleby bielcowe właściwe i pseudobielcowe (obecnie gleby te są w typie gleb płowych). W typie gleb brunatnych wyodrębniono w treści mapy gleby brunatne właściwe, a gleby brunatne wylugowane i kwaśne połączono w grupę podtypów opisanych oddzielnym

symbolem. W typie czarnoziemów wydzielono czarnoziemy właściwe i czarnoziemy deluwialne, a czarnoziemy zdegradowane łączono razem z szarymi ziemiemi leśnymi. W typie czarnych ziem jako podtypy wydzielano czarne ziemie właściwe, a czarne ziemie zdegradowane kartowano razem z czarnymi ziemiemi niedokształconymi. Mady kartowano łącznie jako jeden typ gleby, nie wydzielając podtypów. Na potrzeby opracowania mapy glebowo-rolniczej znaczące zmiany wprowadzono również w obrębie gleb hydrogenicznych. Wydzielano gleby glejowe oraz gleby murszowe na podłożu mineralnym i gleby murszowate (murszaste), natomiast połączono w grupę podtypów gleby mułowo-torfowe, gleby torfowo-mułowe i torfiaste, a także gleby torfowe i murszowe na torfach (1, 17).

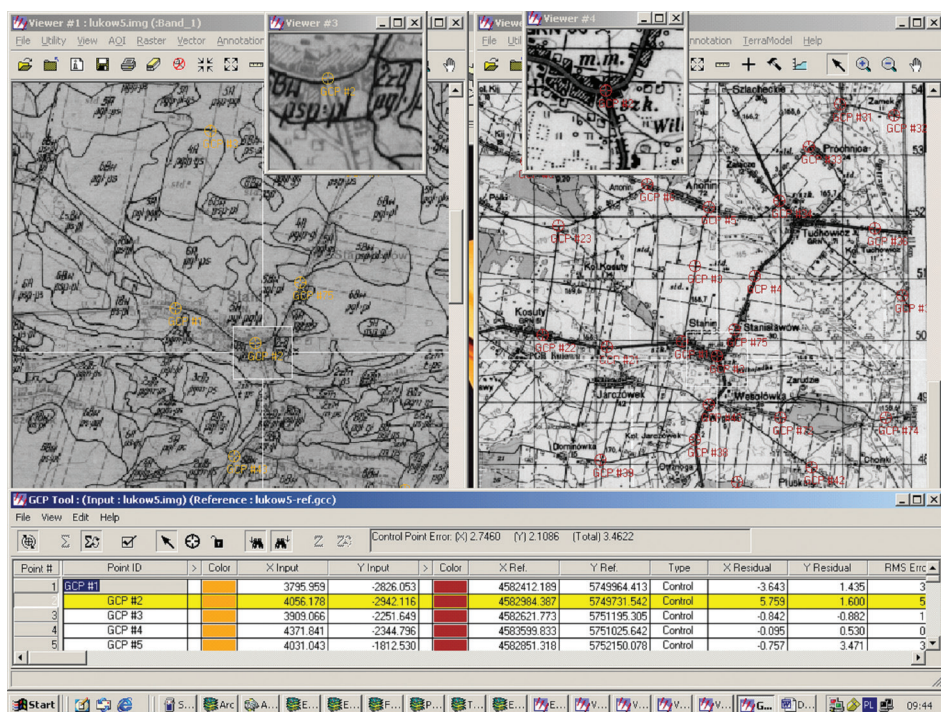
Aneksy do mapy glebowo-rolniczej

Uzupełnieniem mapy glebowo-rolniczej opracowanym dla potrzeb oceny potencjału rozwoju rolnictwa, planowania przestrzennego, wypracowania właściwych kierunków agrotechnicznych oraz strategii rozwoju rolnictwa były aneksy opisowe (1). Zawierały one zestawienia tabelaryczne występujących jednostek glebowych, syntezę wyników analiz laboratoryjnych oraz charakterystykę opisową warunków przyrodniczych rozwoju rolnictwa. Szczegółowy zakres treści, np. aneksu do mapy glebowo-rolniczej w skali 1:5 000, obejmował m.in. ogólną charakterystykę środowiska geograficznego, charakterystykę rolniczych właściwości gleb, zestawienie powierzchni poszczególnych klas bonitacyjnych, zestawienie powierzchni kompleksów rolniczej przydatności gleb, opisy reprezentatywnych odkrywek glebowych oraz ocenę zasobności i potrzeb nawozowych gleb. Szczegółowy zakres treści aneksu do mapy glebowo-rolniczej w skali 1:25 000 zawierał podobne informacje, uzupełnione o krótkie opisy środowiska geograficznego dla poszczególnych gromad. Aneksy do mapy glebowo-rolniczej w skali 1: 5 000 planowano opracować dla wszystkich obrębów, a w przypadku mapy w skali 1:25 000 – dla wszystkich powiatów. Zaplanowane zadania zrealizowano tylko częściowo. Aneksy do mapy glebowo-rolniczej w skali 1:5 000 w formie książkowej opracowano tylko dla pojedynczych obiektów w skali kraju, a do mapy w skali 1:25 000 wykonano opracowania średnio dla 6-7 powiatów na województwo, wg podziału administracyjnego 1950-1975. Należy zaznaczyć, że w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku w IUNG wydano aneksy do mapy glebowo-rolniczej w skali 1: 100 000. Syntetyczne opracowania dla województw zawierały m.in. ogólną charakterystykę środowiska przyrodniczego oraz szczegółową charakterystykę gleb i były wspólnym osiągnięciem m. in. Wojewódzkich Biur Geodezji i Terenów Rolnych, Okręgowych Stacji Chemiczno-Rolniczych i Zakładów Naukowych IUNG w Puławach.

Przekształcenie analogowej mapy glebowo-rolniczej w skali 1:25 000 do wersji numerycznej

Metodyka przetworzenia analogowej mapy glebowo-rolniczej w skali 1:25 000 do wersji numerycznej została opracowana w Zakładzie Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów IUNG w Puławach przez zespół pod kierunkiem dr Tomasza Stuczyńskiego i dr Jana Jadczyzna we współpracy z Instytutem Geodezji i Kartografii (4). Prace te obejmowały 3 główne etapy: 1) skanowanie arkuszy mapy analogowej i zapis w formacie rastrowym, 2) transformację (kalibrację) mapy rastrowej do matematycznie zdefiniowanego układu współrzędnych z jednoczesną eliminacją nieliniowych deformacji oraz 3) wektoryzację konturów glebowych i tworzenie bazy danych. Etap skanowania arkuszy mapy wykonany był na skanerze płaskim w opcji „skanowanie w skali szarości” z rozdzielczością optyczną 400 ppi (ang. *pixels per inch* - plamki na cal). Pliki skanowanych arkuszy zapisano w formacie .tiff. Transformację arkusza mapy glebowej (analogowej) w układzie obrębowym do formatu cyfrowego w układzie matematycznie zdefiniowanym realizowano poprzez sieć „punktów łącznych”. Proces matematycznego przeliczenia powierzchni mapy reprezentowanej przez „punkty łączne” wykonano wielomianem II stopnia. Jako punkty łączne wybierano szczegóły sytuacji terenowej występujące równocześnie na mapie glebowo-rolniczej oraz na mapie topograficznej o zdefiniowanym układzie współrzędnych takich jak: skrzyżowania i załamania dróg, przecięcia rzek i rowów melioracyjnych z drogami. Ilość punktów łącznych przypadająca na arkusz mapy w skali 1:25 000 wynosiła 100-120 w zależności od nasycenia treści sytuacyjnej (Rys. 2). Opracowana metoda transformacji matematycznej pozwoliła na równoczesną eliminację błędów deformacji nieliniowej występującej na mapie analogowej.

Proces transformacji poszczególnych arkuszy mapy do zdefiniowanego układu współrzędnych przeprowadzono w programie ERDAS IMAGINE. Po wprowadzeniu pierwszych kilku punktów łącznych na obu mapach program wspomagał identyfikację (lokalizuje) kolejnych i wyliczał automatycznie średni kwadratowy błąd położenia punktu (ang. *Root Mean Square Error*, RMSE) w stosunku do mapy topograficznej, co pozwalało zachować standardy dokładnościowe transformacji (4). Etap wektoryzacji (digitalizacji) konturów glebowych na ekranie monitora prowadzono metodą manualną z uwagi na lokalnie duże zagęszczenie szczegółów i niską czytelność mapy, wychodzące poza obwód opisy konturów, czy strzałki łączące opis z konturem. Zaproponowana metoda przekształcenia oraz przyjęta dokładność wektoryzacji rzędu 0,1mm w skali mapy pozwoliły zachować kartometryczność cyfrowej mapy glebowo-rolniczej w skali 1: 25 000. Opis konturów glebowych w relacyjnej bazie danych mapy prowadzono równocześnie z procesem wektoryzacji i był on zgodny z „Instrukcją do wykonania mapy glebowo-rolniczej” (1). Przekształcenie analogowej mapy glebowo-rolniczej w skali 1:25 000 do wersji cyfrowej dla obszaru całego kraju trwało 8 lat.



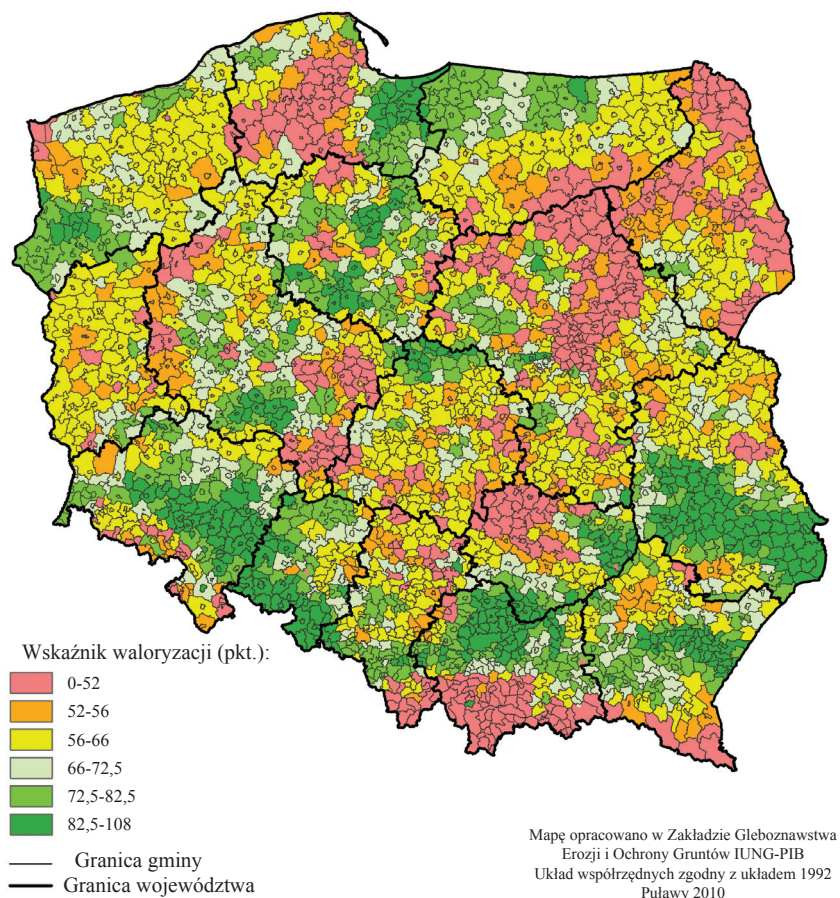
Rys. 2. Przykład wyboru punktów łącznych na mapie topograficznej i glebowo-rolniczej w skali 1:25 000

Źródło: Jadczyzyn, 2002 (4)

Przykłady wykorzystania cyfrowej mapy glebowo-rolniczej w skali 1:25 000 dla potrzeb rolnictwa i ochrony środowiska

Mapa glebowo-rolnicza w skali 1:25 000 jest powszechnie stosowana do waloryzacji zasobów przyrodniczych obszarów wiejskich, w tym do oceny potencjału produkcyjnego gleb, potrzeb nawożenia, oceny stosunków wodnych, podatności gleb na procesy degradacji, itp. Synteza i wnioski płynące z analizy informacji zawartej na mapie są wykorzystywane w szerokim zakresie przez administrację samorządową do opracowywania planów przestrzennego zagospodarowania, strategii rozwoju rolnictwa i kształtowania obszarów wiejskich oraz planów ochrony zasobów przyrodniczych. Na podstawie danych zawartych na mapie glebowo-rolniczej prowadzone są analizy przestrzenne dla potrzeb wdrażania w skali kraju Wspólnej Polityki Rolnej (WPR) i opracowania Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich (PROW), głównie działań rolno-środowiskowych i rolno-środowiskowo-klimatycznych oraz płatności dla obszarów z ograniczeniami naturalnymi lub innymi szczególnymi ograniczeniami.

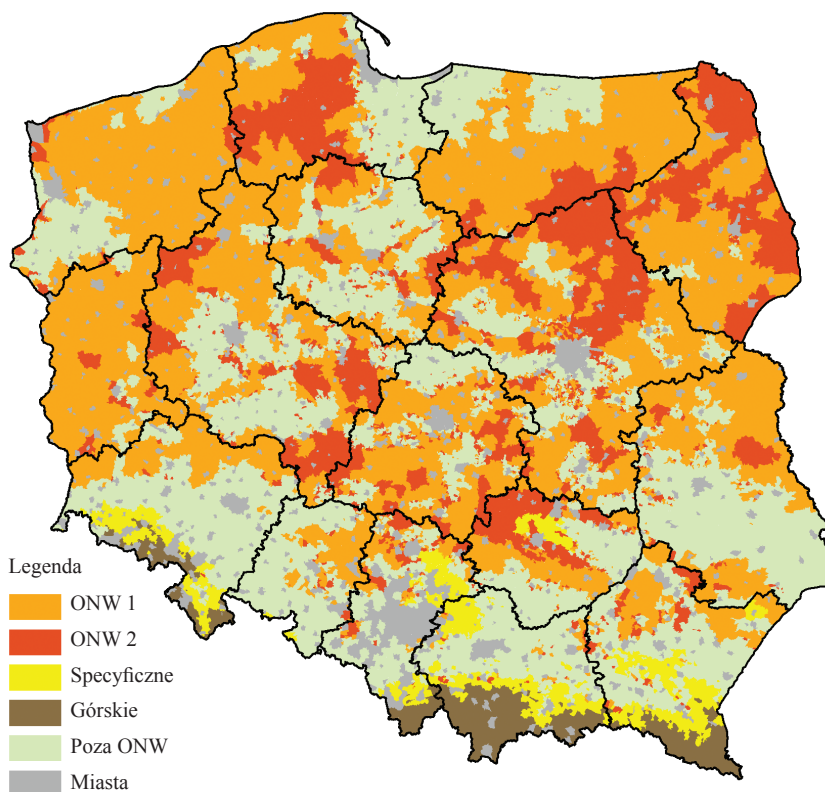
Kluczowym przykładem wykorzystania informacji zawartej na mapie glebowo-rolniczej w skali 1:25 000 było opracowanie w IUNG w Puławach wskaźnika waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej (WWRPP) (15) i wykonanie mapy waloryzacji dla obszaru kraju w podziale administracyjnym gminy, powiatu i województwa (13). Wskaźnik waloryzacji jest punktową wyceną czynników środowiska przyrodniczego, jak: jakość i przydatność gleb, agroklimat, rzeźba terenu oraz warunki wodne (Rys. 3).



Rys. 3. Mapa waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej

Źródło: zasoby IUNG-PIB

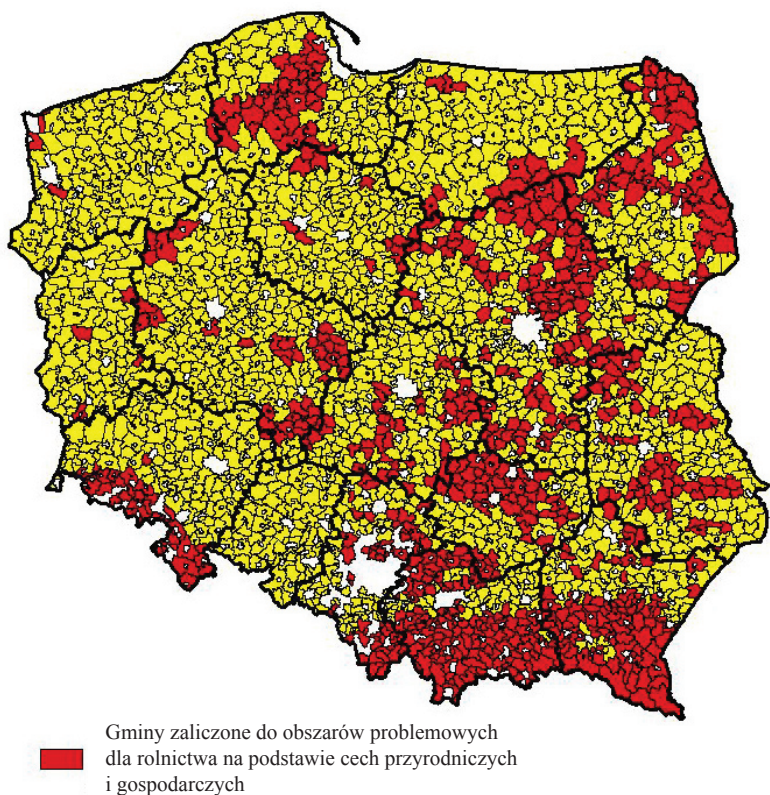
W WRPP w sposób syntetyczny przedstawia ocenę całego środowiska przyrodniczego obszarów wiejskich dla potrzeb prowadzenia działalności rolniczej. Wskaźnik waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej był podstawą dotychczasowego wydzielenia obszarów o niekorzystnych warunkach gospodarowania (ONW) realizowanego na podstawie wytycznych Unii Europejskiej zawartych w Rozporządzeniu Rady Europy WE 1257/99. Przyjęte kryteria przyrodnicze dla terenów nizinnych oparte na wskaźniku WWRPP i czynnikach demograficznych (12) umożliwiły włączenie do strefy ONW łącznie ze strefą terenów górskich i specyficznych ponad 56% użytków rolnych w Polsce (Rys. 4).



Rys. 4. Mapa obszarów o niekorzystnych warunkach gospodarowania (ONW), edycja PROW 2004-2014

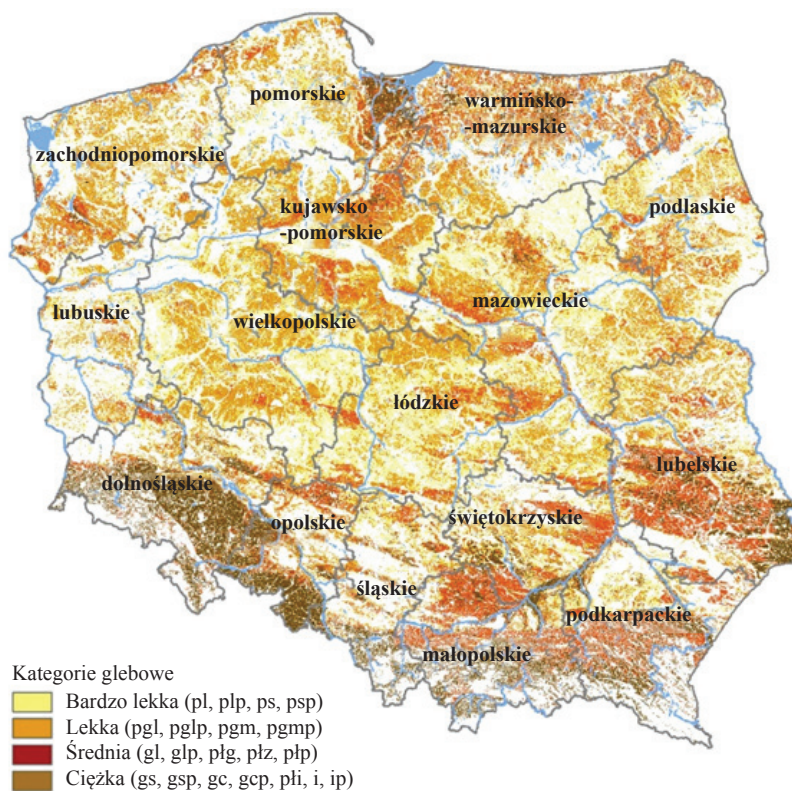
Źródło: Stuczyński i in., 2006 (12)

Wyniki wydzielenia obszarów ONW z pierwszej edycji wykorzystano do wyznaczenia w skali kraju obszarów problemowych rolnictwa (OPR) (Rys. 5). Kryteria wyznaczania obszarów OPR uwzględniają dodatkowo niekorzystne czynniki związane z procesami degradacji gleby jak: nasilenie erozji wodnej, bardzo niska zawartość próchnicy, zanieczyszczenie gleb pierwiastkami śladowymi, czy nadmierne rozdrobnienie struktury agrarnej (5).



Rys. 5. Obszary problemowe rolnictwa (OPR) wg liczby czynników limitujących produkcję rolniczą
Źródło: Jadczyzyn, 2009 (5)

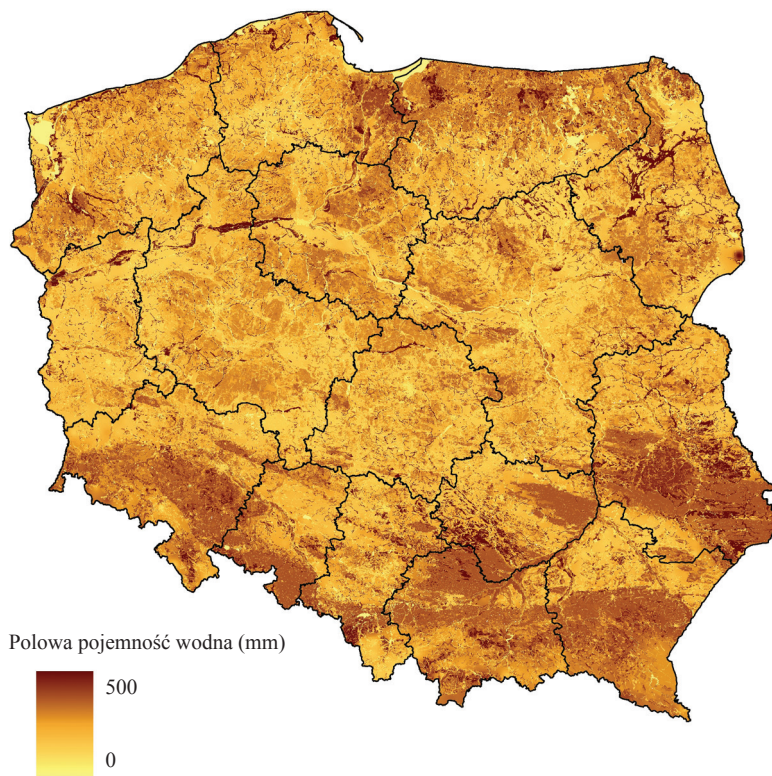
System Monitoringu Suszy Rolniczej (SMSR) w Polsce oparty jest na ocenie warunków pogodowych określonych za pomocą klimatycznego bilansu wodnego (KBW) oraz właściwości retencyjnych gleby wyrażonych w postaci kategorii podatności gleb na suszę rolniczą (2). Podstawą wyznaczenia właściwości retencyjnych gleb jest zawartość frakcji spławialnej ($< 0,02$ mm) określona dla poszczególnych gatunków i kategorii agronomicznych gleb przedstawionych na mapie glebowo-rolniczej. Najbardziej podatne na suszę są gleby bardzo lekkie zawierające najmniej frakcji spławialnych tj. od 0 do 10%, natomiast słabo podatne na wystąpienie suszy są gleby ciężkie o dużych możliwościach retencyjnych wody, zawierające powyżej 35% frakcji spławialnych (Rys. 6).



Rys. 6. Mapa kategorii podatności gleb na susze rolniczą

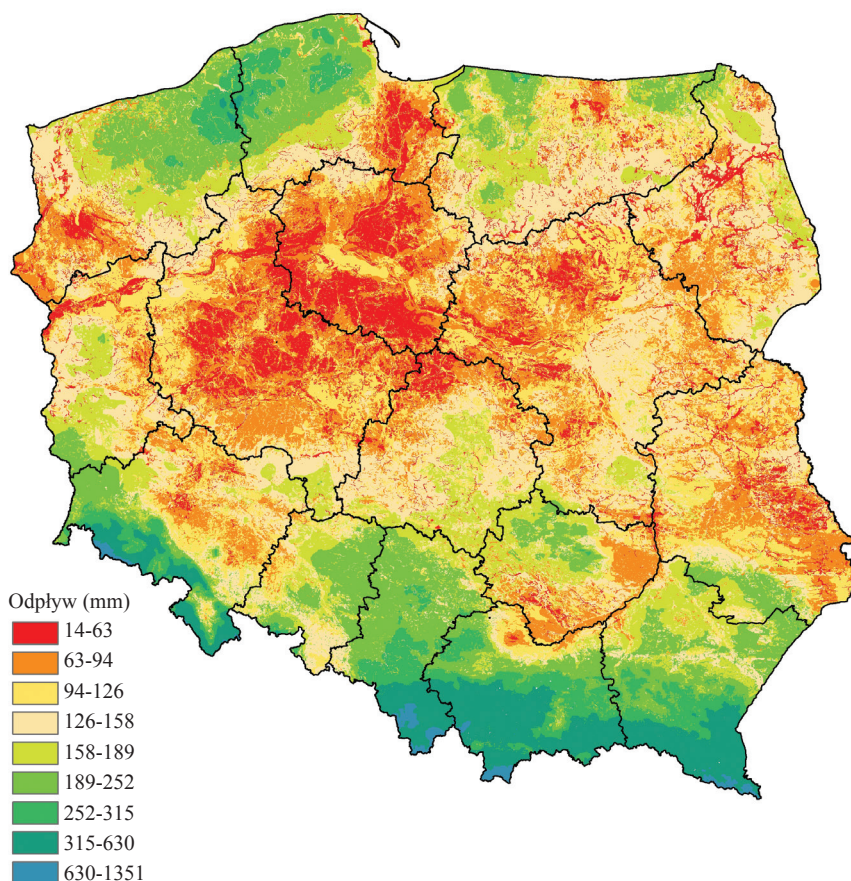
Źródło: Doroszewski i in., 2012 (2)

Kolejnym przykładem wykorzystania mapy glebowo-rolniczej dla potrzeb racjonalnego użytkowania użytków rolnych i ochrony środowiska zgodnie z wytycznymi Dyrektywy Azotanowej (3) jest opracowanie pt. „Ocena presji rolniczej na stan wód powierzchniowych i podziemnych oraz wskazanie obszarów szczególnie narażonych na zanieczyszczenia azotanami pochodzenia rolniczego” (6) zrealizowane na zamówienie MRiRW. Warstwa połowej pojemności wodnej gleb Polski (Rys. 7) została obliczona w oparciu o informację o uziarnieniu poszczególnych warstw profilu glebowego zapisaną na mapie glebowo-rolniczej w skali 1:25 000, a następnie wykorzystana do opracowania mapy odpływu wód (Rys. 8) oraz obliczenia stężenia azotu ($N-NO_3$) w ciekach wodnych i opracowania mapy presji rolnictwa na zanieczyszczenie wód azotem pochodzenia rolniczego (6).



Rys. 7. Wartość połowej pojemności wodnej gleb Polski

Źródło: Jadczyzyn i in., 2011 (6)



Rys. 8. Średni odpływ wód z profilu glebowego obliczony według przyjętego modelu
Źródło: Jadczyzyn i in., 2011 (6)

Potencjalne możliwości wykorzystania cyfrowej mapy glebowo-rolniczej w skali 1: 25 000

Przedstawione przykłady wykorzystania informacji zawartej na mapie glebowo-rolniczej w skali 1:25 000 dotyczą tylko wybranych analiz obszarów wiejskich i ocen środowiska glebowego, zrealizowanych dotychczas w IUNG-PIB. Praktyczne możliwości są o wiele większe i mogą obejmować wielokierunkowe analizy z zakresu produkcji rolniczej, oceny i przeciwdziałania degradacji środowiska glebowego i wodnego oraz racjonalnego wykorzystania zasobów glebowych na różne cele gospodarcze i społeczne. Obecnie w IUNG-PIB trwają prace nad oceną wpływu zmian klimatu na środowisko przyrodnicze, w których mapa glebowo-rolnicza 1:25 000 jest głównym źródłem informacji dla potrzeb oceny retencji wodnej i dostosowania produkcji rolniczej do nowych uwarunkowań klimatycznych.

Kolejne planowane zastosowania informacji zawartej na mapie glebowo-rolniczej w skali 1:25 000 związane są z oceną potencjału produkcji biomasy na cele energetyczne, lokalizacją inwestycji drogowych, kolejowych, czy liniowych inwestycji przesyłowych (gazociągi, ropociągi). Również kompleksowe prace urzędniowo-rolne realizowane w miejsce dotychczasowych scaleń gruntów będą wymagać wykorzystania informacji zawartej na mapie glebowo-rolniczej, ponieważ przewidują oprócz tzw. „szacunku gruntów” (18) wykonanie szczegółowej analizy oddziaływania nowych układów przestrzennych (układ, wielkość działek i dróg) na środowisko przyrodnicze.

Mapa glebowo-rolnicza w skali 1 : 25 000 stanowi ogromną bazę danych o glebach naszego kraju i jest szeroko wykorzystywana do różnego typu analiz przestrzennych dla Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi m.in. w ramach poszczególnych zadań w Programie Wieloletnim IUNG-PIB na lata 2016-2020 dotyczących np. problematyki gospodarki gruntami, wyznaczania obszarów ONW, w tym typ specyficzny i górski oraz wielu innych ocen. Informacja z mapy-glebowo-rolniczej, zintegrowana z dodatkowymi bazami danych posłuży do wyznaczenia obszarów cennych przyrodniczo (HNV) oraz analiz regionalnego zróżnicowania obszarów wiejskich, co pozostaje w zakresie prac przewidzianych do realizacji w zadaniu 1.5 „Ocena możliwości i kierunków wykorzystani środowiska rolniczego Polski z uwzględnieniem koncepcji wielofunkcyjnego rozwoju obszarów wiejskich, specyfiki obszarów problemowych oraz kierunków rozwoju infrastruktury”. Szczególnie cennym źródłem informacji o właściwościach gleb są pochodzące z lat 60. i 70. ubiegłego wieku tzw. „profile wzorcowe” (16). Zawarte w nich informacje o właściwościach fizykochemicznych i chemicznych poszczególnych poziomów genetycznych m.in. odczynie, zawartości węgla organicznego czy wysyceniu kompleksu sorpcyjnego jonami o charakterze zasadowym mogą być wykorzystane do szerszych ocen w zakresie np. zmian zawartości próchnicy glebowej pod wpływem działalności rolniczej, czy aktualnej zawartości węgla w glebach organicznych. Zagadnienia te zostały włączone w zakres zadania 1.3 „Monitorowanie różnych parametrów środowiska glebowego dla właściwej oceny WPR” oraz innych zadań Programu Wieloletniego (2016-2020) realizowanych w Zakładzie Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów IUNG-PIB.

Podsumowanie

Opracowanie mapy glebowo-rolniczej w skali 1 : 25 000 było wielkim osiągnięciem kartograficznym polskich gleboznawców i puławskiego ośrodka nauk rolniczych. Informacje zawarte na mapie glebowo-rolniczej bezpośrednio odnoszą się do jakości i przydatności rolniczej gleb oraz dały podstawę do opracowania jednolitej w skali kraju waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej i wyliczenia wskaźnika waloryzacji – WWRPP. Charakterystyka warstw profilu glebowego zawierająca informacje

o miąższości i uziarnieniu jest podstawą prowadzenia racjonalnej gospodarki rolnej, doboru odpowiednich roślin i płodozmianów, określenia poziomu nawożenia i wapnowania gleb.

Rola i znaczenie mapy obecnie znacznie wzrosło ze względu na jej numeryczny format i możliwość integracji w przestrzennych bazach danych systemów informacji geograficznej (GIS). Narzędzia analityczne standardowych programów GIS, aplikacje oraz modele matematyczne stwarzają dodatkową możliwość wykorzystania mapy do różnego typu analiz przestrzennych dla potrzeb ochrony środowiska i bioróżnorodności, kształtowania krajobrazu oraz poszukiwania alternatywnych funkcji gospodarczych dla obszarów wiejskich. Jednym z podstawowych zadań racjonalnej gospodarki gruntami rolnymi i całą przestrzenią wiejską jest przeciwdziałanie procesom degradacji. Mapa glebowo-rolnicza w skali 1: 25 000 w połączeniu z bieżącymi danymi monitoringu środowiska i intensywności produkcji rolniczej pozwala określić stopień degradacji glebi zagrożenia dla jakości wód gruntowych, podjąć decyzje w sprawie wprowadzenia odpowiednich działań ochronnych, np. potrzeby stosowania glebochronnych płodozmianów i glebochronnych systemów uprawy prowadzących do zwiększenia zawartości materii organicznej w glebie, czy zwiększenia retencji wody. Łatwość przekształcania danych zawartych na mapie glebowo-rolniczej poprzez funkcje pedotransferu i włączania ich do modeli symulacyjnych stwarza olbrzymie możliwości wielostronnego wykorzystania informacji zawartych na mapie do symulacji zjawisk fizycznych zachodzących w przyrodzie, określania trendów i prognozowania zmian w przestrzeni i w czasie. Jednym z wielu przykładów może być symulacja procesów erozji wodnej i wietrznej, określenie zasobów wody dostępnej dla roślin w sezonie wegetacyjnym, wydzielanie obszarów zagrożonych suszą glebową, czy opracowania mapy szacunku gruntów i oceny oddziaływania nowych układów przestrzennych na środowisko w procesie kompleksowego zarządzania obszarów wiejskich. Należy podkreślić, że mapa glebowo-rolnicza w skali 1: 25 000, ze względu na zakres informacji i jej szczegółowość, jest w skali świata unikatowym zbiorem danych o glebach.

Literatura

1. Bartoszewski Z., Czarnowski F., Dombek E., Siuta J., Strzemski M., Truszkowska R., Wittek T.: Instrukcja w sprawie wykonywania map glebowo-rolniczych w skali 1:5 000 i 1:25 000 oraz map glebowo-przyrodniczych w skali:1:25 000. Ministerstwo Rolnictwa, Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa, Warszawa 1965, cz. I.
2. Doroszewski A., Jadczyzyn J., Kozyra J., Pudełko R., Stuczyński T., Mizak K., Łopatką A., Kozą P., Górski T., Wróblewska E.: Podstawy systemu monitoringu suszy rolniczej. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. 2012, t. 12 z. 2(38), str. 77-91.
3. Dyrektywa azotanowa. Dyrektywa Rady 91/676/EWG z dnia 12 grudnia 1991 r. dotycząca ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego. 1991.
4. J a d c z y s z y n J.: Raport końcowy z realizacji tematu badawczego 1.9 „Adaptacja i optymalizacja procesu przetwarzania zdeformowanych nieliniowo map glebowo-rolniczych do postaci numerycznej”. IUNG, Puławy, 2002.

5. J a d c z y s z y n J.: Regionalne zróżnicowanie obszarów problemowych rolnictw (OPR) w Polsce. Instrukcja upowszechnieniowa nr 163. IUNG-PIB Puławy. 2009, ss. 80.
 6. J a d c z y s z y n T., Ł o p a t k a A., J a d c z y s z y n J., K o z a P.: Raport na zlecenie MRiRW „Ocena presji rolniczej na stan wód powierzchniowych i podziemnych oraz wskazanie obszarów szczególnie narażonych na zanieczyszczenia azotanami pochodzenia rolniczego”. IUNG-PIB Puławy, 2011.
 7. K o w a l k o w s k i A., K o w a l i Ń s k i S., K r ó l i k o w s k i L., K u ż n i c k i F., K w i n i c h i d z e M., M u s i e r o w i c z A., P r u s i n k i e w i c z Z., D o b r z a Ń s k i B., S t r z e m s k i M., U z i a k S.: Genetyczna klasyfikacja gleb Polski. Roczniki Gleboznawcze, 1959, ss.103.
 8. K u ż n i c k i F., B i a ł o u s z S., S k ł o d o w s k i P.: Podstawy gleboznawstwa z elementami kartografii i ochrony gleb, PWN, Warszawa, 1979, 365-390.
 9. K o z a P., S i e b i e l e c G., Ł o p a t k a A., S m r e c z a k B., N i e d ź w i e c k i J., J a d c z y s z y n J., K a c z y Ń s k i R., K a r k u s z e w s k a E., Ł y s i a k M., K o z a J., C h a b r o s E., W ó j t w i c z U., P o r ę b a L., B a r t o s i e w i c z B.: Raport końcowy z realizacji umowy z MRiRW „Ostateczne wyznaczenie obszarów z ograniczeniami naturalnymi w Polsce”. Nr umowy BDGzp-2125B-123/12. IUNG-PIB, 2016, ss. 108
 10. S t r z e m s k i M.: Przydatność rolnicza gleb Polski, PWRiL, Warszawa, 1973.
 11. S k ł o d o w s k i P., B i e n i e k B., B i e l s k a A.: Podstawy kartografii i klasyfikacji użytkowej gleb. Gleboznawstwo, PWN, 2015, ss. 467-478.
 12. S t u c z y Ń s k i T., F i l i p i a k K., K o z y r a J., G ó r s k i T., J a d c z y s z y n J.: Obszary o niekorzystnych warunkach gospodarowania w Polsce. Opracowanie zespołowe w ramach umowy z MRiOW. IUNG-PIB, Puławy 2006, ss. 42.
 13. S t u c z y Ń s k i T., B u d z y Ń s k a K., G a w r y s i a k L., J a d c z y s z y n J., K o r z e n i o w s k a - P a c u ł e k R., K o z a P., K o z y r a J., Ł o p a t k a A., P u d e ł k o R., S i e b i e l e c G.: Stan i zmiany właściwości gleb użytkowanych rolniczo w województwie dolnośląskim w latach 2000-2005, Puławy-Wrocław, 2007, ss. 223.
 14. T r u s z k o w s k a R.: Instrukcja w sprawie wykonania pierworysów mapy gleb i mapy bonitacyjnej w skali 1: 25 000 według wykazu PTG, Warszawa, 1961, ss. 114.
 15. W i t e k T., G ó r s k i T.: Przyrodnicza bonitacja rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa, 1977: 1-21.
 16. W i t e k T.: Mapy glebowo-rolnicze oraz kierunki ich wykorzystania. Seria P 18, IUNG, 1973, 74.
 17. W i t e k T.: Treść i metody sporządzania wielkoskalowych map glebowo-rolniczych, Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, Puławy-Kielce, 1965: ss. 16.
 18. W o c h F.: Metody szacowania gruntów . Wademekum klasyfikatora gleb. Praca zbiorowa pod red. F Wocha. IUNG-PIB Puławy, 2015: 294-309.
-

Adres do korespondencji:

dr Jan Jadczyzyn
Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów,
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. 81 4786 779
email: janj@iung.pulawy.pl

Artur Łopatka

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

BAZY DANYCH O GLEBACH LEŚNYCH*

Słowa kluczowe: gleby leśne, profil glebowy, Leśna Mapa Numeryczna, Bank Danych o Lasach, *Atlas gleb leśnych Polski*

Wstęp

Powierzchnia lasów w Polsce wynosi obecnie około 30,8% powierzchni lądowej i od kilkudziesięciu lat wykazuje trend wzrostowy (3). Aktualnie na użytkach rolnych zalesienia są subsydiowane w ramach Wspólnej Polityki Rolnej (WPR) w Programie Rozwoju Obszarów Wiejskich (PROW). Działania PROW: zalesienia gruntów ornych oraz gruntów innych niż rolne, realizowane są w celu powiększenia obszarów leśnych oraz utrzymania i wzmocnienia ekologicznej stabilności obszarów leśnych poprzez zmniejszenie fragmentacji kompleksów leśnych i tworzenie korytarzy ekologicznych. Ponadto oczekuje się zwiększenia udziału lasów w globalnym bilansie węgla oraz ograniczeniu zmian klimatu. Zalesienia muszą być wykonywane zgodnie z wymogami przepisów wykonawczych ustawy o lasach, z użyciem jedynie rodzimych gatunków drzew, krzewów. W celu dostosowania zalesień do lokalnych warunków siedliskowych i ustalając skład gatunkowy uprawy leśnej, uwzględnia się rolniczą klasyfikację gruntów rolnych oraz regionalizację przyrodniczo-leśną. Uwarunkowania siedliskowe w lasach, podobnie jak na użytkach rolnych, w znacznym stopniu determinują dobór sadzonek na etapie zakładania nowych upraw. Zapewnienie zgodności sposobu użytkowania terenu z potencjalnym siedliskiem jest warunkiem uzyskania dużej zdolności produkcyjnej, odporności na choroby i szkodniki oraz ograniczenia szkodliwych dla środowiska zabiegów ochronnych. Przestrzenne informacje o pokrywie glebowej i innych uwarunkowaniach siedliskowych terenów przeznaczonych pod zalesienia wraz z istniejącymi obszarami leśnymi zawierają mapy glebowo-rolnicza i leśne mapy siedliskowe. Dodatkowym źródłem informacji

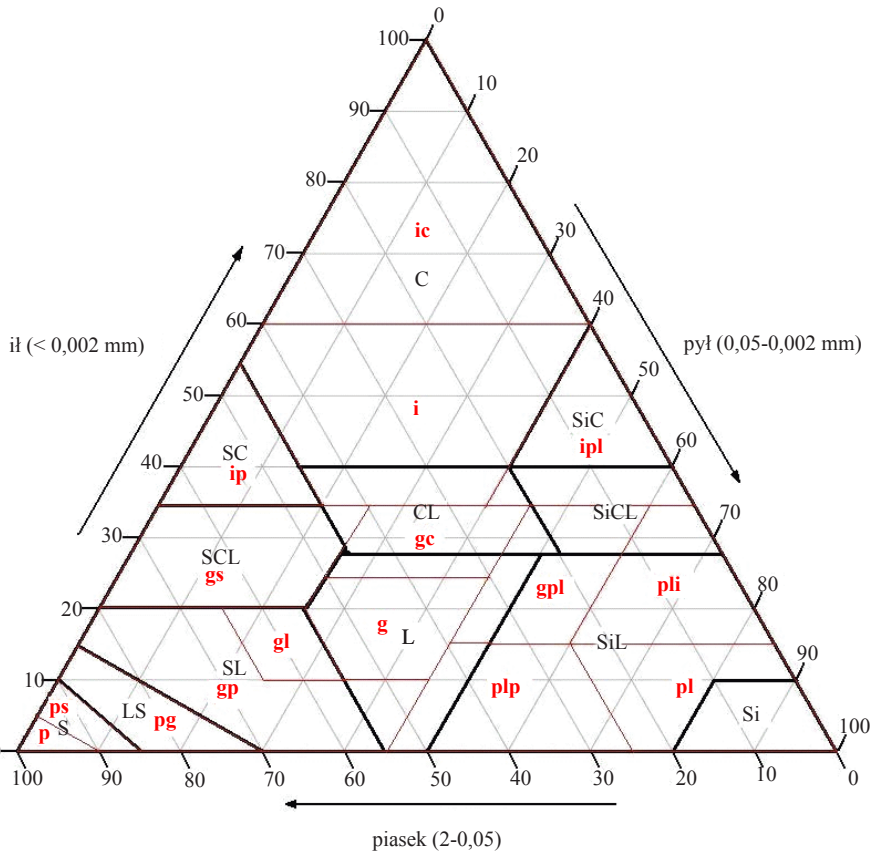
* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.9 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

o glebach leśnych są bazy profili glebowych. Z uwagi na różnice w strukturze baz danych, jak i stosowanych klasyfikacji gleb pomiędzy bazami dla lasów i bazami dla użytków rolnych, potrzebne jest ich szczegółowe omówienie i ustalenie praktycznych reguł konwersji zawartych w nich informacji. Potrzeba równoczesnego korzystania zarówno z glebowych baz danych dla użytków rolnych jak i lasów, oprócz prowadzenia racjonalnej gospodarki leśnej opartej o glebowe uwarunkowania siedliskowe wynika także z zastosowań w których nie jest możliwe oddzielenie użytków rolnych od lasów. Wśród nich są: modelowanie transportu biogenów w środowisku, a w szczególności azotu i fosforu, czy też modelowanie obiegu wody na potrzeby monitoringu suszy, oceny skutków poboru wód przez przemysł lub potencjalnych efektów renaturalizacji dolin rzecznych.

Klasyfikacja gleb leśnych i jej związki z innymi podziałami gleb

Klasyfikacja uziarnienia gleb leśnych (Rys.1) do roku 2012 wykonywana była w oparciu o normę PN-R-04033 (5, 6, 7) bazującą na trzech frakcjach granulometrycznych: cząstek o średnicach 2-0,05 mm (frakcja piasku), o średnicach 0,05-0,002 mm (frakcja pyłu) i o średnicach poniżej 0,002 mm (frakcja łu). Z kolei klasyfikacja uziarnienia na mapach glebowo rolniczych bazuje na frakcjach: 1-0,1 mm (frakcja piasku), 0,1-0,02 mm (frakcja pyłu), i poniżej 0,02 mm (frakcja cząstek spławialnych). Klasyfikacje na mapach gleb leśnych i na mapie glebowo-rolniczej są więc odmienne i nie da się wskazać dla tych podziałów gatunków gleb dokładnie sobie odpowiadających. Do celów dalszych porównań klasyfikacji uziarnienia gleb leśnych i gleb mapy glebowo-rolniczej oba podziały porównywano do powszechnie znanego podziału USDA, który z niewielkimi modyfikacjami (dodatkowy podział w obrębie piasków SANDS) został przyjęty w 2008 roku przez Polskie Towarzystwo Gleboznawcze (klasyfikacja PTG 2008) i obowiązuje obecnie przy sporządzaniu map gleb leśnych (6).

Podział USDA (Rys.1) oparty jest na tych samych grupach granulometrycznych (frakcja piasku: 2-0,05 mm; frakcja pyłu: 0,05-0,002 mm; frakcja łu: <0,002 mm) co podział stosowany przez leśników. Aby do poszczególnych gatunków na mapach przyporządkować gatunki USDA, na danych pomiarowych zawierających szczegółowe dane granulometryczne wykonano klasyfikację w porównywanych systemach a następnie wyliczono prawdopodobieństwa z jakimi gatunki na mapach należą do klas USDA (Tab. 1 i 2). Obliczenia dla klasyfikacji z mapy glebowo-rolniczej wykonano na danych pomiarowych z 948 próbek pobranych na użytkach rolnych do celów weryfikacji map glebowych użytych przy wyznaczaniu obszarów ONW w Polsce. Obliczenia dla klasyfikacji stosowanej na mapach siedliskowych lasów wykonano w oparciu o wyniki pomiarów składu 644 próbek z różnych warstw profili gleb leśnych które opublikowane zostały w *Atlasie gleb leśnych Polski* (2).



Rys.1. Trójkąt Fereta dla podziału PN-R-04033 (kolor czerwony) i USDA (kolor czarny)

Źródło: opracowanie własne

Tabela 1

Prawdopodobieństwa przynależności gleb mapy glebowo-rolniczej do grup USDA

Gatunek	S	LS	SL	SCL	L	CL	SiCL	SiL	Si	SC	SiC	C	HC	razem
pl	5,4													5,4
plp	0,5													0,5
ps	6,6	3,8												10,4
psp	0,3	1,2	0,1											1,6
pgl	0,4	10,7	0,2											11,3
pglp		3,0	1,5											4,4
pgm		4,7	5,3											10,0
pgmp		0,5	3,9											4,4
gl		0,3	18,8	0,3										19,4
gpl			8,5	0,1	0,8			0,7						10,2
gs			0,6	0,9	2,3	0,1								4,0
gsp				0,1	1,6	0,1		2,0						3,8
gc				0,1	0,4	1,6		0,2				0,1		2,4
gcp					0,1	0,3		0,8						1,3
i							0,1				0,1		0,1	0,3
ip					0,1	0,1	0,1	1,1						1,4
plz	0,1	0,7	2,4		0,6			2,3						6,2
pli					0,1			2,6	0,1					2,8
razem	13,4	24,9	41,4	1,6	6,1	2,2	0,2	9,8	0,1		0,1	0,1	0,1	100,0

Źródło: opracowanie własne

Tabela 2.

Prawdopodobieństwa przynależności gleb siedliskowej mapy leśnej do grup USDA

Gatunek	S	LS	SL	SCL	L	CL	SiCL	SiL	Si	SC	SiC	C	HC	razem
p	26,4													26,4
ps	7,9	1,6												9,5
pg		6,8												6,8
gp	1,7	2,6	19,6		0,8									24,7
gl			4,3											4,3
g			1,1	0,6	6,7									8,4
gs				0,6										0,6
gc				0,2	0,2	0,9								1,2
gpl					0,8	0,2	1,4	1,2						3,6
plp			1,2		0,6			5,4						7,3
pl								2,5	0,2					2,6
pli							0,2	1,9						2,0
ip														
ipl						0,2	0,9							1,1
i						0,3						0,6		0,9
ic													0,5	0,5
razem	36,0	11,0	26,2	1,4	9,0	1,6	2,5	11,0	0,2			0,6	0,5	100,0

Źródło: opracowanie własne

Aby móc łatwiej dokonać porównań pomiędzy podziałami gleb siedliskowych map leśnych i map glebowo-rolniczych, dokonano reklasyfikacji obu systemów na podział USDA, stosując zasadę przyporządkowania tego gatunku USDA który jest najczęstszym odpowiednikiem (Tab. 3).

Tabela 3

Przyporządkowanie gatunkom gleb na mapach gatunków podziału USDA

Gatunek USDA	Gatunki z mapy glebowo-rolniczej	Gatunki z mapy siedliskowej lasów
<i>sand</i> S	pl, plp, ps	p, ps
<i>loamy sand</i> LS	psp, pgl, pglp	pg
<i>sandy loam</i> SL	pgm, pgmp, gl, glp, plz	gp, gl
<i>sandy clay loam</i> SCL		gs
<i>loam</i> L	gs	g
<i>clay loam</i> CL	gc	gc
<i>silty clay loam</i> SiCL	i	gpl, ipl
<i>silt loam</i> SiL	gsp, gcp, ip, pli	plp, pl, pli
<i>clay</i> C		i
<i>heavy clay</i> HC		ic

Źródło: opracowanie własne

Zarówno podziały stosowane na mapach glebowo-rolniczych, jak i na leśnych mapach siedliskowych, zawierają bardziej szczegółowy podział gleb lekkich (piaszczystych). Związane jest to ze specyfiką gleb Polski położonej w większości na obszarach piasków naniesionych przez lodowiec w plejstocenie. Gleby leśne na obszarach nizinnych są w szczególności preferencyjnie zlokalizowane na glebach piaszczystych z uwagi na naturalny proces historycznego zajmowania przez rolnictwo gleb, w kolejności od tych o najwyższej produktywności rolniczej do najniższej, które obecnie są zalesiane. Zestawienie z Tab. 3 nie jest wystarczające do prawidłowej reklasyfikacji gleb z jednych podziałów na drugie z uwagi na ich niejednoznaczność i probabilistyczny charakter. Z tego powodu potrzebne są dalsze badania uziarnienia,

zwłaszcza w sąsiedztwie granicy rolno-leśnej, gdzie zachodzą najczęstsze zmiany użytkowania, pozwalające na ustalenie przybliżonych bezpośrednich reguł przejścia pomiędzy gatunkami gleb wyróżnianymi na mapach leśnych i rolniczych.

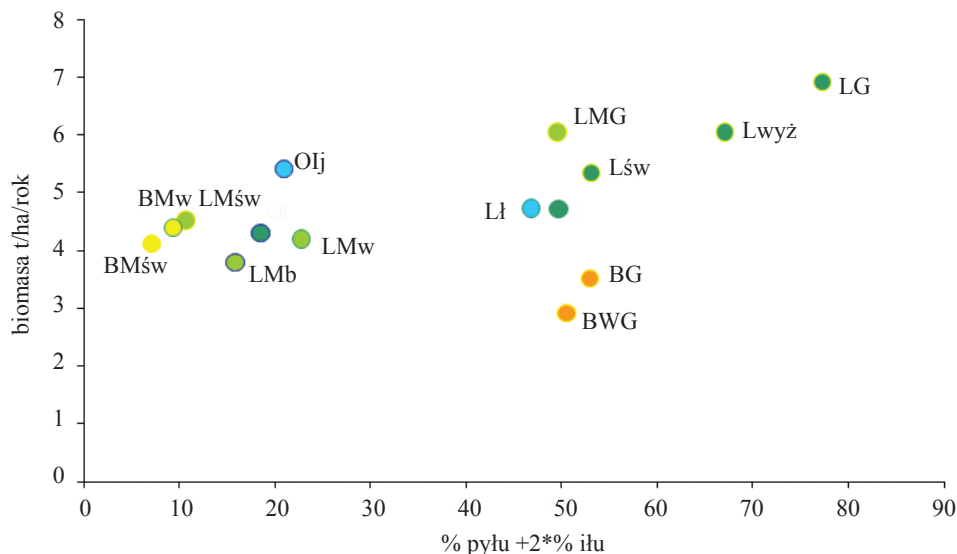
Siedliska leśne i ich związki z glebami

Typ siedliskowy lasu, podobnie jak kompleks przydatności rolniczej (11), jest jednostką klasyfikacji warunków siedliskowych wynikających z żyzności i warunków wilgotnościowych gleb oraz ukształtowania terenu, budowy geologicznej i warunków klimatycznych. Obszary o tym samym typie siedliskowym mają zbliżoną produktywność i przydatność do hodowli lasu. Siedliskowy typ lasu determinuje potencjalny skład gatunkowy drzewostanu i runa leśnego jaki ustaliły się po długim czasie na danym terenie po hipotetycznym ustaniu wpływu antropopresji. Prowadzenie gospodarki leśnej w zgodzie z uwarunkowaniami siedliskowym zapewnia długotrwałą stabilność produkcji, minimalizuje konieczność stosowania zabiegów ochronnych i aktualnie jest preferowane przy zakładaniu nowych upraw leśnych (2).

Wydzielono 15 typów siedlisk leśnych nizinnych, 8 wyżynnych i 13 terenów górskich (6). Symbol oznaczenia siedliskowego typu lasu składa się z 3 składników:

- 1) oznaczonej dużą literą grupy żyznościowej (troficznej) siedlisk: B- bory, BM - bory mieszane, LM - lasy mieszane, L- lasy, Lł - lasy łąkowe (wymieniono w kolejności od najmniej do najbardziej żyznych);
- 2) oznaczenia rodzaju terenu: WG wysokogórski (regiel górny), G - górski (regiel dolny), wyż – wyżyny;
- 3) oznaczonej małą literą grupy wilgotnościowej siedlisk: s-suche, św – świeże, w-wilgotne, b – bagienne.

Określenia typu siedliskowego obszarów leśnych dokonuje się na podstawie analizy typu i uziarnienia gleby, zawartości próchnicy, warunków wilgotnościowych oraz pomocniczo, zwłaszcza przy ustalaniu granic siedlisk poprzez rozpoznanie występowania w runie leśnym, tzw. różnicujących gatunków roślin. Zasobność gleby w składniki pokarmowe i wodę oraz zdolność do ich utrzymania determinuje produktywność rozumianą w przypadku hodowli lasu jako maksymalne roczne przyrosty grubizny lub też przyrosty biomasy po uwzględnieniu przeliczników wynikających z różnych gęstości drewna (liściaste gęstsze). Potencjalne przyrosty biomasy dla różnych typów siedliskowych lasu są szacowane przy uwzględnieniu zgodnego z siedliskiem potencjalnego składu gatunkowego drzewostanu i znanej produktywności poszczególnych gatunków drzew w różnych warunkach siedliskowych. Produkcyjność siedlisk leśnych rośnie więc podobnie jak na użytkach rolnych głównie wraz ze wzrostem zawartości w glebie frakcji drobnoziarnistych ograniczających wypłukiwanie z gleby składników pokarmowych i utratę wody (Rys. 2).



Rys. 2. Zależność potencjalnej produktywności siedlisk leśnych od zawartości frakcji drobnoziarnistych w glebie

Źródło: opracowanie własne

Przedstawione na Rys. 2 dane dotyczące średnich zawartości frakcji iłu oraz pyłu dla typów siedliskowych lasu zostały obliczone w oparciu o dane zawarte w *Atlasie gleb leśnych Polski* (2). Wartości średniej produkcji biomasy (9) w $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ są obliczone jako średnie ważone udziałami gatunków tworzących siedlisko iloczynny przeciętnych przyrostów produkcji w $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ i średniej gęstości drewna $t \cdot m^{-3}$. Zastosowana na rysunku 2 jako wskaźnik zawartości frakcji drobnoziarnistych, suma frakcji pyłu i podwojonej ilości frakcji iłu jest aktualnie używana jako jedno z kryteriów różnicowania produktywności gleb na potrzeby wydzielenia obszarów z naturalnymi ograniczeniami (dawne ONW) wg nowej jednolitej w całej UE metodyki (10).

Treść glebowa leśnych map siedliskowych

Od roku 2012 Państwowe Gospodarstwo Leśne „Lasy Państwowe” udostępniło swoje bogate zasoby map leśnych w formie cyfrowej poprzez portal internetowy Bank Danych o Lasach (8). Portal zawiera przeglądarkę numerycznych map leśnych pozwalającą na ich podgląd oraz udostępnia usługę *World Map Service* (WMS) umożliwiającą analizy map leśnych z wykorzystaniem profesjonalnego oprogramowania GIS. Numeryczne mapy leśne sporządzane oryginalnie w wersjach analogowych w skalach od 1:5000 (mapy gospodarcze) do 1:20000 (mapy przeglądowe) oprócz informacji o podziałach administracyjnych, formach

własności, przeznaczeniu gospodarczym lasu zawierają także informacje analogiczne do danych zawartych na mapie glebowo-rolniczej: o uwilgotnieniu siedliska, stopniu przekształcenia siedliska w stosunku do stanu naturalnego, strukturze dominującego drzewostanu, pochodzeniu geologicznym skał macierzystych gleb, podtypie gleby oraz gatunkach w poszczególnych warstwach profilu glebowego. Ten komponent map leśnych określany jest jako leśne mapy siedliskowe.

Na leśnych mapach siedliskowych poszczególne gatunki warstw podłoża zapisane są w kolejnych kolumnach, przy czym głębokość zmiany składu nie jest związana z pozycją kolumny (jak w cyfrowych mapach glebowo-rolniczych) lecz z informacją zapisaną w formie określonej liczby ukośników w dodatkowych kolumnach. Zapis ten dla utworów mineralnych oznacza następujące przedziały głębokości:

- / – zmiana uziarnienia na głębokości pomiędzy 0-40 cm
- // – zmiana uziarnienia na głębokości pomiędzy 40-80 cm
- /// – zmiana uziarnienia na głębokości pomiędzy 80-160 cm
- //// – zmiana uziarnienia na głębokości poniżej 160 cm

w utworach organicznych są one nieco inne:

- / – zmiana uziarnienia na głębokości pomiędzy 0-80 cm
- // – zmiana uziarnienia na głębokości pomiędzy 80-130 cm
- /// – zmiana uziarnienia na głębokości poniżej 130.

Leśne mapy siedliskowe zawierają także informacje o poziomie próchnicznym charakteryzowane zgodnie z „Klasyfikacją gleb leśnych Polski” (5). Wyróżnia się tam następujące typy próchnicy:

- próchnica typu mull OI-A która wykształca się w wielogatunkowych lasach liściastych na glebach eutroficznych o silnej aktywności biologicznej,
- próchnica typu moder OI-Ofh-A wykształcana głównie w jedno lub wielogatunkowych lasach liściastych i mieszanych na glebach mezotroficznych,
- próchnica typu mor OI-Of-Oh-Ees lub AEes wykształcana na glebach oligotroficznych i mezotroficznych w lasach iglastych,
- próchnica typu psychromor wykształcana w chłodnym spowalniającym jej rozkład klimacie górskim typu alpejskiego.

Niestety mapy, których pobranie umożliwia portal BDL, nie zawierają wszystkich informacji z leśnych map siedliskowych – informacje o glebach dotyczą jedynie ich typów oraz uwilgotnienia. Inne udostępniane informacje dotyczą charakterystyki gospodarczej lasu: nazw leśnictw, gospodarstw leśnych, funkcji lasu, pionowej budowy drzewostanu, wieku rębności, powierzchni, dominującej kategorii ochronności, gatunku panującego oraz jego wieku i udziału w drzewostanie.

Informacje o gatunkach gleb można uzyskać jedynie za pomocą zamieszczonej na stronie BDL przeglądarki (Rys. 3). Umożliwia ona podgląd kilku warstw tematycznych takich jak np. mapa podstawowa z granicami leśnictw, mapa form własności lasów, mapa składu drzewostanu (Rys. 4), mapa zbiorowisk leśnych i mapa obwodów łowieckich, jednak nie pozwala na bardziej zaawansowane analizy z użyciem innych źródeł danych.

Atlas gleb leśnych Polski

Cennym uzupełnieniem map gleb leśnych są bazy danych profili wzorcowych. Jedną z takich powszechnie dostępnych baz jest *Atlas gleb leśnych Polski*. Opracowanie to zawiera opisy i dokładne charakterystyki 173 profili glebowych pobranych z naturalnych lub możliwie najmniej zmienionych przez człowieka powierzchni leśnych, rozmieszczonych w kilkunastu skupiskach na powierzchni całego kraju. Układ atlasu jest zgodny z aktualną klasyfikacją gleb leśnych (5) opartą na metodyce WRB (4) i zawiera kolejno przegląd profili glebowych z następujących typów: litosole (3 profile), rankery (4), arenosole (3), rędziny (10), pararędziny (3), czarnoziem wylugowany (1), czarne ziemie (7), gleby brunatne (33), gleby płowe (12), gleby rdzawe (18), gleby bielcowe (26), gleby gruntowoglejowe (10) i opadowo-glejowe (9), gleby torfowe (9), gleby murszowe (6), gleby murszowate (4), mady rzeczne (8) i gleby deluwialne (5). Na początku każdego z rozdziałów odpowiadających typom gleb zamieszczono schemat blokowy metody ich klasyfikacji.

W atlasie brak jest informacji o dokładnych współrzędnych poboru profili glebowych, jednak położenie profili zobrazowano na poglądowej mapce i podano słownie wskazówki ułatwiające bardziej szczegółową lokalizację. Każdy z profili glebowych oraz teren przyległy do jego lokalizacji został zobrazowany na wyraźnym zdjęciu. Opis każdego profilu zawiera informacje o typie, składzie gatunkowym zarówno drzewostanu jak i runa siedliska, jego lokalizacji, wysokości npm, nachyleniu i wystawie stoku. Część tabelaryczna zawiera następujące parametry gleb w kolejnych poziomach profilu:

- udział procentowy frakcji: części szkieletowych >2 mm, piasku 2,0-0,05 mm, piasku bardzo drobnego 0,1-0,05 mm, pyłu grubego 0,05-0,02 mm, pyłu średniego 0,02-0,005 mm, pyłu drobnego 0,005-0,002 mm oraz łu <0,002 mm (zawartość części ziemistych oznaczono metodą areometryczną Bouyoucosa-Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego)
- zawartość całkowitą węgla organicznego C (metoda Turina)
- zawartość azotu całkowitego N (metoda Kjeldahla)
- odczyn gleby pH (w H₂O i w KCl oznaczony metodą potencjometryczną)
- zawartość węglanów (metoda Scheiblera)
- kwasowość wymienna i zawartość glinu wymiennego (metoda Sokołowa)
- kwasowość hydrolityczna (metoda Kappena)
- suma zasad wymiennych (metoda Kappena)
- suma zasadowych kationów wymiennych (wyliczono z zawartości wymiennych form Ca, K, Mg i Na oznaczonych w wyciągu 1M CH₃COONH₄ metodą ASA)
- pojemność sorpcyjną
- wysycenie kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi
- zawartość pierwiastków: Ca, K, Mg, Na, P, Mn, Zn, Cu, Co, Mo, Fe, Pb, Cr, Ni, Cd
- skład mineralny skały macierzystej (minerały ilaste metodą rentgenowską, pozostałe optycznie metodą mikroskopową).

Dla każdego z profili obliczono ponadto indeks trofizmu gleb leśnych (ITGL) będący syntetyczną miarą żyzności siedlisk leśnych (1). Indeks trofizmu gleb leśnych został zdefiniowany jako suma wskaźników cząstkowych dla zawartości frakcji pyłu, części spławialnych, odczynu, wymiennych kationów zasadowych i stopnia rozkładu materii organicznej minus wskaźnik cząstkowy zawartości części szkieletowych. Wskaźniki cząstkowe przyjmują wartości całkowite z zakresu od 1 do 10 a w przypadku części szkieletowych od 0 do 5 i zostały przyporządkowane do swoich parametrów bazowych w określonych przedziałach.

Podsumowanie

1. Programy zwiększania lesistości i naturalna sukcesja lasu na użytkach rolnych sprawiają, że rośnie znaczenie zrozumienia wzajemnych relacji baz danych o glebach na użytkach rolnych i w lasach dla prowadzenia racjonalnej gospodarki leśnej, opartej o glebowe uwarunkowania siedliskowe lasów.
2. Leśne mapy siedliskowe w skali 1:5000 określają oprócz typu siedliska leśnego i składu gatunkowego drzew, także typ, gatunek gleby oraz jej warunki wilgotnościowe. *Atlas gleb leśnych Polski* jest wydana w formie albumowej bazą danych zawierającą szczegółowe informacje o siedlisku, składzie i właściwościach chemicznych 173 leśnych profili glebowych.
3. Potrzebne są dalsze badania uziarnienia gleb zwłaszcza w sąsiedztwie granicy rolno-leśnej, pozwalające na ustalenie przybliżonych bezpośrednich reguł przejścia pomiędzy gatunkami gleb wyróżnianymi na leśnych mapach siedliskowych i mapach glebowo-rolniczych.

Literatura

1. Brożek S.: Indeks trofizmu gleb leśnych, *Acta Agr. et Silv. Ser. Silv.*, 2001, **39**: 15-33.
2. Brożek S., Zyda M.: *Atlas gleb leśnych Polski*, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych (CILP), Warszawa, 2010, ss. 467.
3. GUS: *Leśnictwo 2015, Informacje i Opracowania Statystyczne*, Warszawa, 2015, ss. 325.
4. IUSS Working Group WRB: *World reference base for soil resources 2006*, *World Soil Resources Reports*, FAO, Rome, 2006, No. 103, ss. 132.
5. *Klasyfikacja gleb leśnych Polski*, Praca zbiorowa, CILP, Warszawa, 2000, ss. 122.
6. Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe: *Instrukcja urządzania lasu. Część II. Instrukcja wyróżniania i kartowania w Lasach Państwowych typów siedliskowych lasu oraz zbiorowisk roślinnych*, Warszawa, 2012, ss. 148.
7. Polskie Towarzystwo Gleboznawcze: *Siedliskowe podstawy hodowli lasu*, Załącznik nr 1 do *Zasad hodowli i użytkowania lasu wielofunkcyjnego*, CILP, Warszawa, 2003, ss. 253.
8. Portal BDL: strona www: <http://www.bdl.lasy.gov.pl/portal/mapy>
9. Sikorska E.: *Siedliska leśne cz.I: Siedliska obszarów niżowych*, Kraków, Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Krakowie, 1999, ss. 136.
10. Van Orshoven J., Terres J.-M., Toth T.: *Updated common bio-physical criteria to define natural constraints for agriculture in Europe*, *JRC Science and Policy Reports*, 2014, EUR 26638 EN, ss. 67.

11. Witk T.: Mapy glebowo-rolnicze oraz kierunki ich wykorzystania, Seria (P18), IUNG Puławy, 1973.

Adres do korespondencji:

mgr Artur Łopatka
Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. 81 4786 781
email: artur@iung.pulawy.pl

Bożena Smreczak, Jan Jadczyzyn

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

BADANIA WŁAŚCIWOŚCI GLEB UŻYTKOWANYCH ROLNICZO
W LATACH 1992-1997 I ICH WYKORZYSTANIE
W OCENACH ROLNICZEJ PRZESTRZENI PRODUKCYJNEJ*

Słowa kluczowe: zanieczyszczenie, zrównoważony rozwój, monitoring, ochrona gleb

Wstęp

Druga połowa XX w. to okres powstania wielu inicjatyw, które miały zwrócić uwagę światowej opinii publicznej na potrzebę racjonalnej gospodarki glebami i ich ochrony dla przyszłych pokoleń. Podkreślano konieczność podjęcia szeroko zakrojonych działań w zakresie oceny oddziaływania przemysłu i rolnictwa na jakość siedliska glebowego i wodnego. 30 maja 1972 r. Rada Europy przyjęła Europejską Kartę Gleb, a w 1981 r. Organizacja Narodów Zjednoczonych do spraw Wyżywienia uchwaliła Światową Kartę Gleb (14). W obu dokumentach podkreślano, że gleba jest jednym z najcenniejszych dóbr człowieka oraz zdefiniowano jej funkcje i czynniki degradujące gleby. Po raz pierwszy oficjalne dokumenty o tak szerokiej skali wskazywały jak ważne są działania na rzecz właściwego planowania i gospodarowania zasobami glebowymi, ochrony gleb oraz pogłębiania wiedzy i podejmowania działań edukacyjnych w tym zakresie (14). Bardzo ważne znaczenie dla późniejszych działań politycznych w zakresie ochrony gleb miały konferencje Organizacji Narodów Zjednoczonych. 14 czerwca 1972 r. na konferencji ONZ w Sztokholmie podjęto uchwałę zwaną potocznie Deklaracją Sztokholmską, która uznała prawo ludzi do życia w czystym środowisku, ale również ich pełną odpowiedzialność za jego ochronę. Wyraźnie stwierdzono, że nieodnawialne zasoby środowiska przyrodniczego, w tym gleby, muszą być wykorzystywane w sposób racjonalny, który nie powoduje ich nadmiernego wyczerpywania. Podkreślano również, że emisja substancji szkodliwych do powietrza i wód musi zostać powstrzymana, aby nie powodować nieodwracalnych szkód w ekosystemach

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.3 oraz 1.5 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

(10). Kolejnym bardzo ważnym krokiem ludzkości w zakresie ochrony środowiska była Konferencja ONZ „Środowisko i Rozwój”, która odbyła w Rio de Janeiro w czerwcu 1992 r. nazywana potocznie Szczytem Ziemi (10). Konferencja wprowadziła nowy styl myślenia o środowisku przyrodniczym i jego związkach z rozwojem gospodarczym. Promowała w skali globalnej potrzebę rozwoju zrównoważonego. Efektem konferencji był m.in.: Globalny Plan Działań, Agenda 21. W II części tego dokumentu podkreślono potrzebę ochrony gleb (1). Jednym z najważniejszych przesłań tej konferencji było stwierdzenie, że w skali globalnej należy zapobiegać szkodom, nie zaś usuwać skutki degradacji środowiska (10).

Na początku lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku brakowało wystarczająco szerokiej i rzetelnej wiedzy na temat skali degradacji gleb na świecie, dlatego w ramach Programu Środowiskowego Organizacji Narodów Zjednoczonych powstał projekt „*Global Assessment of Soil Degradation*”, akronim GLASOD, który był koordynowany przez International Soil Reference and Information Centre (ISRIC) z siedzibą w Wageningen, Holandia (13). Wynikiem realizacji tego projektu była mapa „*World Map of the Status of Human-Induced Soil Degradation*” wydana w 1990 r. (30). Mapa ta przedstawiała przestrzenne rozmieszczenie obszarów, które są narażone na degradację lub w różnym stopniu uległy degradacji na skutek działalności człowieka. Opracowanie miało zwrócić uwagę polityków oraz osób zarządzających środowiskiem na skalę problemów związanych z degradacją gleb, ale przede wszystkim wskazać obszary, na których muszą zostać wdrożone programy naprawcze (13). W legendzie mapy wyróżniono cztery grupy procesów w największym stopniu degradujących środowisko: 1) procesy powodujące przemieszczanie się materiału glebowego z wierzchniej warstwy gleb, głównie w wyniku występowania erozji wodnej i erozji wietrznej, 2) procesy powodujące zmiany właściwości chemicznych gleb m.in. w wyniku ubytku makro i mikroelementów, ubytku materii organicznej, zasolenia, zakwaszania się gleb oraz zanieczyszczenia 3) procesy prowadzące do zmiany właściwości fizycznych gleb, w tym m.in. zasklepienie i zagęszczanie gleb pod wpływem używania m.in. ciężkich maszyn rolniczych oraz 4) procesy powodujące zmiany właściwości biologicznych gleb, w tym utratę równowagi mikrobiologicznej w powierzchniowej warstwie spowodowaną nadmiernym wylesianiem terenów czy stosowaniem nadmiernej ilości nawozów (13). Na mapie tej obszar Polski był przedstawiony jako silnie zdegradowany (21, 22, 25, 26), w tym głównie w wyniku zanieczyszczenia pierwiastkami śladowymi z dodatkowym wskazaniem, że gleby na tych obszarach mają znacznie ograniczone możliwości produkowania wysokiej jakości płodów rolnych. Jak podaje T e r e l a k i n. (26) wiązało się to z poważnymi konsekwencjami oraz zagrażało ograniczeniu eksportu krajowych produktów rolnych na rynki zagraniczne. W odpowiedzi na opublikowaną mapę, ówczesne Ministerstwo Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej podjęło decyzję o przeprowadzeniu szczegółowych badań właściwości gleb i roślin z terenów użytkowanych rolniczo w ramach pracy *Właściwości gleb użytków rolnych i zawartość pierwiastków toksycznych w glebach i roślinach*, którą realizowano w latach 1992-1997.

Celem opracowania jest przedstawienie zakresu prac wykonanych w latach 1992-1997, ze szczególnym uwzględnieniem utworzonej bazy danych o właściwościach gleb oraz przykładów jej wykorzystania do opracowań i analiz przestrzennych na potrzeby rolnictwa i ochrony środowiska.

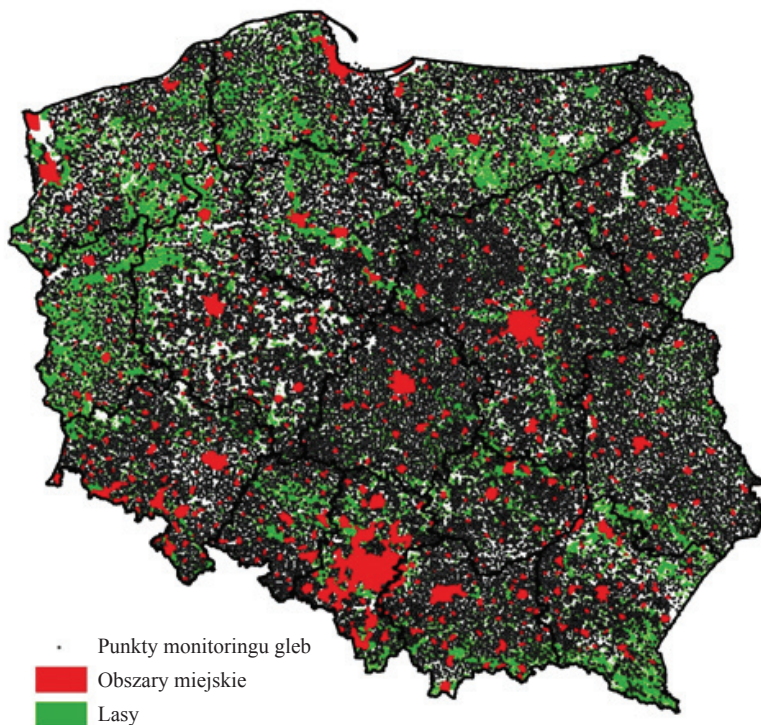
Zakres prac dotyczących badań właściwości chemicznych gleb i roślin w latach 1992-97

Intensywny rozwój przemysłu energetycznego, chemicznego i hutniczego emitującego do atmosfery znaczne ilości pyłowych i gazowych zanieczyszczeń spowodował w niektórych regionach kraju znaczny wzrost zanieczyszczenia gleb pierwiastkami śladowymi i siarką (Terelak i in., 1998). Publikacja *World Map of the Status of Human-Induced Soil Degradation* (30) oraz informacje prasowe i głosy organizacji ekologicznych ugruntowały w krajowej opinii publicznej przeświadczenie o silnym zanieczyszczeniu gleb Polski (21, 22, 25, 26) i ich małej przydatności do uzyskiwania wysokiej jakości płodów rolnych (4). Pomimo, że środowiska naukowe w kraju wielokrotnie podkreślały, że *World Map of the Status of Human-Induced Soil Degradation* (30) wykonano na podstawie wybiórczych i niepełnych danych przestrzennych, które następnie uogólniono do użytków rolnych w całym kraju, to potrzebne były aktualne i niepodważalne dane w tym zakresie.

Badania właściwości gleb i roślin oficjalnie rozpoczęły się w 1992 r. i były realizowane etapami do 1997 r. (15). Prace terenowe i analizy właściwości chemicznych gleb i roślin Ministerstwo Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej powierzyło Stacjom Chemiczno-Rolniczym, a nadzór merytoryczny nad programem pracownikom Zakładu Gleboznawstwa i Ochrony Gruntów IUNG pod kierownictwem prof. dr T. Witka, a następnie prof. dr hab. H. Terelaka. Program realizowano w bardzo dużej skali, ponieważ docelowa liczba punktów do badań gleb i roślin miała osiągnąć ponad 45 000 (26). Miejsca pobierania próbek glebowych i roślin były wyznaczane co roku z wykorzystaniem informacji z mapy glebowo-rolniczej w skali 1:5000 i 1:25 000 oraz dodatkowych danych terenowych, uwzględniających lokalizacje zakładów przemysłowych, które mogą oddziaływać na tereny rolnicze. W czasie realizacji programu niedostępne były urządzenia GPS, dlatego nowatorskim podejściem było wykorzystanie map topograficznych w skali 1:100 000, udostępnionych przez Wojskowy Instytut Geograficzny (WIG). Z map topograficznych odczytywano współrzędne geograficzne dla punktów pobierania próbek gleb i roślin. Tego typu rozwiązanie umożliwiło w późniejszym okresie wykonanie interpolacji wyników badań i opracowanie cyfrowych map obrazujących zawartości pierwiastków śladowych, siarki czy odczynu gleb w skali kraju.

Skala prac terenowych i laboratoryjnych zrealizowanych przez Stacje Chemiczno-Rolnicze była imponująca. W ciągu pięciu lat na gruntach ornych i trwałych użytkach zielonych wyznaczono ponad 48 000 punktów kontrolnych (Rys. 1), pobrano ponad 60 000 próbek glebowych, w tym głównie z warstwy orno-próchnicznej (0-20 cm) oraz dla wybranych lokalizacji również z warstwy podornej (20-40 cm).

W wyznaczonych lokalizacjach pobrano do badań ponad 22 000 próbek materiału roślinnego, w tym ziarno i sianę zbóż, trawy, ziemniaki, buraki cukrowe i pastewne, warzywa i inne (15).



Rys. 1. Przestrzenne rozmieszczenie punktów badań na potrzeby oceny stanu ekologicznego gleb użytków rolnych w Polsce, w latach 1992-1997 (n=45 278)
Źródło: Terelak i Motowicka-Terelak, 2000 (15)

Wynikiem realizacji programu była obszerna baza danych, zawierająca następujące właściwości chemiczne i fizyczne gleb: zawartość węgla organicznego, odczyn w 1 mol KCl·dm⁻³, skład granulometryczny, zawartość żelaza, manganu oraz pięciu pierwiastków śladowych: kadmu, miedzi, niklu, ołowiu i cynku, jak również siarki siarczanej S-SO₄ (15). W niektórych punktach kontrolnych przeprowadzono również pomiar radioaktywności. Równoległe z pracami monitoringowymi, w IUNG trwały prace pod kierunkiem prof. dr hab. A. Kabaty-Pendias nad opracowaniem kryteriów oceny stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin pierwiastkami śladowymi (9). Opracowanie kryteriów było w tamtych czasach bardzo ważnym osiągnięciem. Należy dodać, że dopuszczalne zawartości dla poszczególnych pierwiastków były znacznie niższe, a limity bardziej restrykcyjne niż w innych krajach Europy. Podobne liczby graniczne zawartości siarki w glebach i roślinach opracował zespół pod kierunkiem prof. dr hab. T. Motowickiej-Terelak (12).

W trakcie realizacji programu Ministerstwo Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej zobowiązywało IUNG do opracowania programów komputerowych dla

Stacji Chemiczno-Rolniczych pozwalających na utworzenie bazy danych o glebach i roślinach w sposób jednolity dla całego kraju. Baza ta jest archiwizowana w IUNG-PIB pod nazwą *Monitoring chemizmu gleb*.

Korygowanie złej opinii, w kraju i za granicą, o stanie zanieczyszczenia gleb Polski nie tylko pochłonęło znaczne nakłady finansowe, ale zajęło wiele lat (6). Ocena stanu ekologicznego gleb użytków rolnych w Polsce, przeprowadzona w latach 1992-1997, jednoznacznie wykazała, że informacja zawarta na *World Map of the Status of Human-Induced Soil Degradation* jest nieprawdziwa (26). Znaczne obszary gleb zanieczyszczonych metalami i siarką stwierdzono np. w byłym województwie katowickim, ale nawet w tym regionie skala zanieczyszczenia była mniejsza niż zakładano (26). W przypadku siarki, program wskazał nie tylko obszary, na których gleby zawierały znaczne ilości tego pierwiastka, ale również tereny, które zdaniem Terelaka i in. (26) będą w przyszłości wykazywać deficyt $S-SO_4$. Warto zaznaczyć, że stan zanieczyszczenia gleb na terenach rolniczych jest nieprzerwanie kontrolowany od 1995 r. w ramach programu „*Monitoring chemizmu gleb ornych w Polsce*” realizowanego na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska (20).

W trakcie programu i po jego zakończeniu powstały liczne publikacje naukowe (11, 21, 22, 25-27) oraz mapy tematyczne prezentujące m.in. zawartość pierwiastków śladowych (28) i siarki (24) odczynu gleb (29) i zawartości materii organicznej w glebach Polski (23). W 1996 r. Minister Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej przyznał nagrodę I stopnia za pracę pt: „*Rozpoznanie i określenie stopnia zanieczyszczenia środowiska przyrodniczego (gleby i rośliny) metalami ciężkimi i siarką*” zespołowi w składzie: prof. dr hab. H. Terelak (kierownik zespołu), mgr K. Budzyńska, prof. dr hab. A. Kabata-Pendias, prof. dr hab. T. Motowicka-Terelak, mgr Cz. Pietruch, dr W. Sroczynski, prof. dr T. Witek i prof. dr hab. M. Piotrowska.

Przykłady wykorzystania bazy danych *Monitoring chemizmu gleb* do analiz przestrzennych w skali kraju i regionów

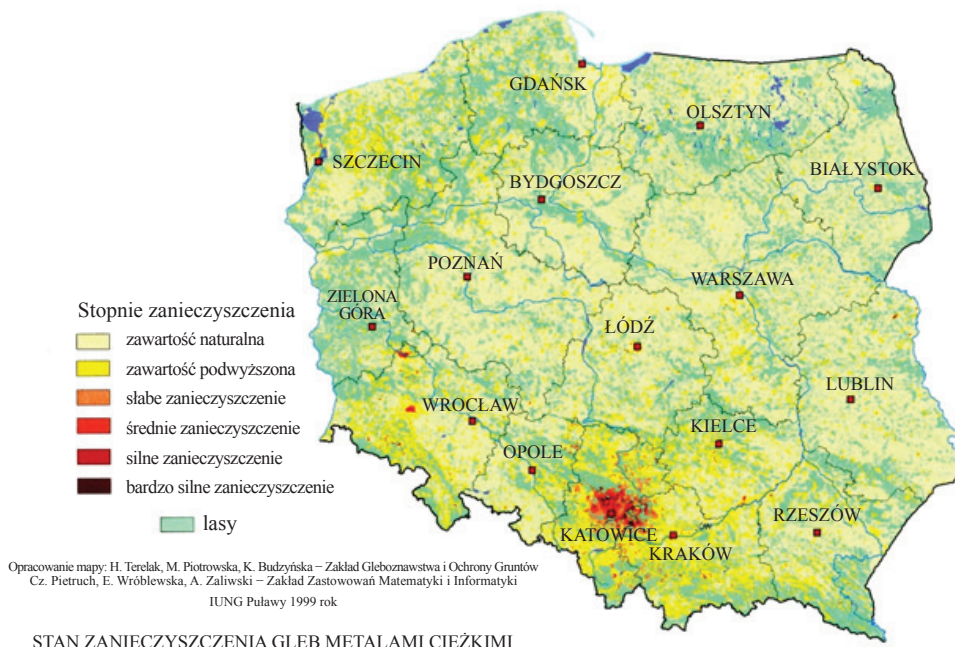
Dynamiczny rozwój narzędzi analitycznych w postaci geograficznych systemów informacji (GIS) pod koniec lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku stwarzał dobre warunki do szczegółowej analizy przestrzennej bazy danych *Monitoring chemizmu gleb* i wielowarstwowej prezentacji wyników. W latach 1998-2000 we współpracy z Instytutem Geodezji i Kartografii oraz Geosystems Polska Sp. z o.o. IUNG tworzył podstawy Zintegrowanego Systemu Informacji o Rolniczej Przestrzeni Produkcyjnej w Polsce (5, 6, 19, 30). Wdrażane w ramach tego projektu standardowe aplikacje GIS, specjalnie opracowane dla potrzeb analiz środowiskowych i rolniczych, oraz dodatkowe bazy danych charakteryzujące warunki przyrodnicze i potencjał produkcji rolniczej, dały jeszcze większe możliwości analizy danych przestrzennych zgromadzonych podczas prac w latach 1992-1997 i wykorzystanie ich w kontekście oceny degradacji środowiska glebowego i oddziaływania rolnictwa na środowisko.

Baza danych *Monitoring chemizmu gleb* ze względu na duże zagęszczenie punktów i jednolity system gromadzenia informacji w skali kraju umożliwiła prowadzenie analiz

i ocen przestrzennych w różnych skalach. W dotychczasowych analizach stosowano zarówno oceny pojedynczych czynników, tj. wybranych cech charakteryzujących właściwości chemiczne gleb, jak i podejmowano próby łączenia cech z bazy monitoringu z np. informacją zawartą na mapie glebowo-rolniczej, czy danymi pogodowymi itp. Metody badawcze przetwarzania i prezentacji danych były zróżnicowane w zależności od zakresu informacji czy specyfiki analizowanych procesów i zjawisk zachodzących w środowisku, a także oddziaływania przemysłu i produkcji rolniczej na zasoby glebowe i wodne. Dane z monitoringu w pierwszej kolejności zostały wykorzystane do oceny stanu zanieczyszczenia gleb użytków rolnych pierwiastkami śladowymi (9).

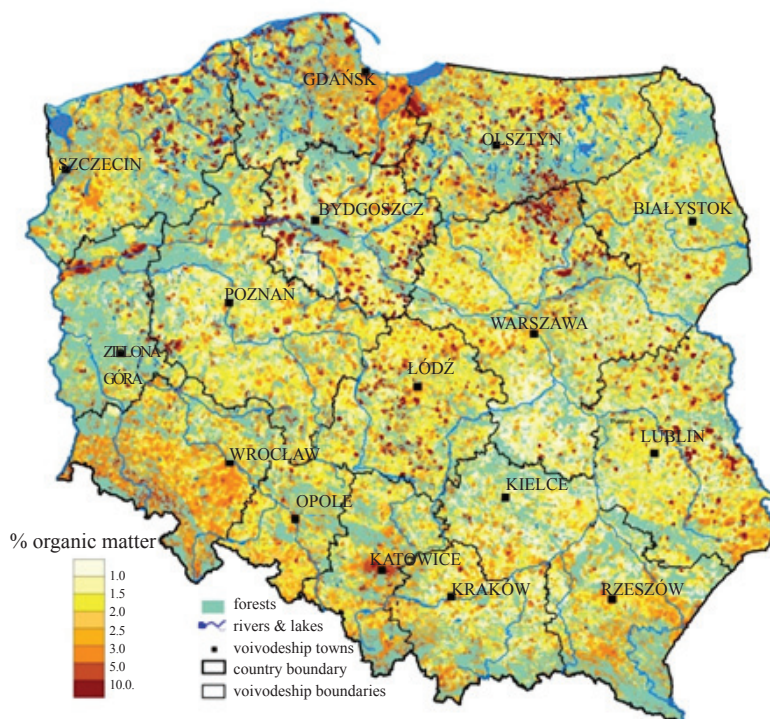
W oparciu o geostatystyczną metodę interpolacji danych przestrzennych opracowano dla Polski mapy zanieczyszczenia gleb poszczególnymi pierwiastkami Cd, Cu, Ni, Pb, Zn oraz mapę syntetyczną zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi łącznie (28) – Rys. 2, mapę zawartości materii organicznej (23) – Rys. 3, oraz mapę odczynu gleb użytków rolnych (29) – rys. 4.

Na Rys. 2 przedstawiono syntetyczną mapę zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi, z której wynika, że problem zanieczyszczenia w różnym stopniu występuje na około 3% powierzchni użytkowanych rolniczo w Polsce, przy czym degradacja w stopniu dużym i bardzo dużym (28) obejmuje tylko 0,5% ich powierzchni (25). Areał gleb zanieczyszczonych skupiony jest w większości w południowej części kraju obejmując swym zasięgiem teren woj. śląskiego, a w mniejszym stopniu północno-zachodnią część woj. małopolskiego – Rys. 2.



Rys. 2. Syntetyczna mapa zanieczyszczenia gleb użytkowanych rolniczo metalami ciężkimi
 Źródło: Terelak i in., 1999 (28)

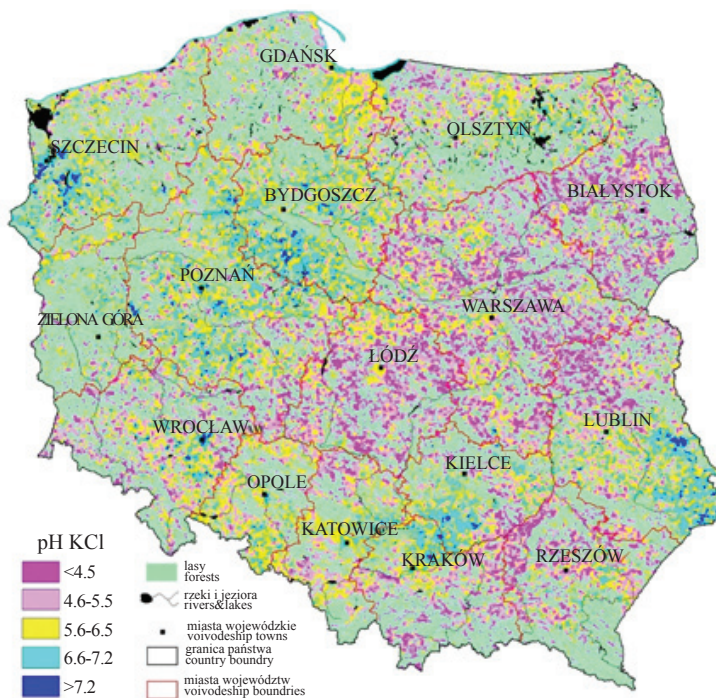
Analizy przeprowadzone na podstawie bazy danych *Monitoring chemizmu gleb* wykazały bardzo duże przestrzenne zróżnicowanie zawartości materii organicznej (MO) w warstwie orno-próchnicznej gleb (Rys. 3). Średnia zawartość MO w skali kraju wynosi 1,95%, przy czym ponad 60% gleb mineralnych lekkich i bardzo lekkich zawiera w warstwie ornej mniej niż 2% próchnicy (8, 18, 23).



Rys. 3. Mapa zawartości substancji organicznej w glebach użytkowanych rolniczo w Polsce
Źródło: Terelak i in. 2001 (23).

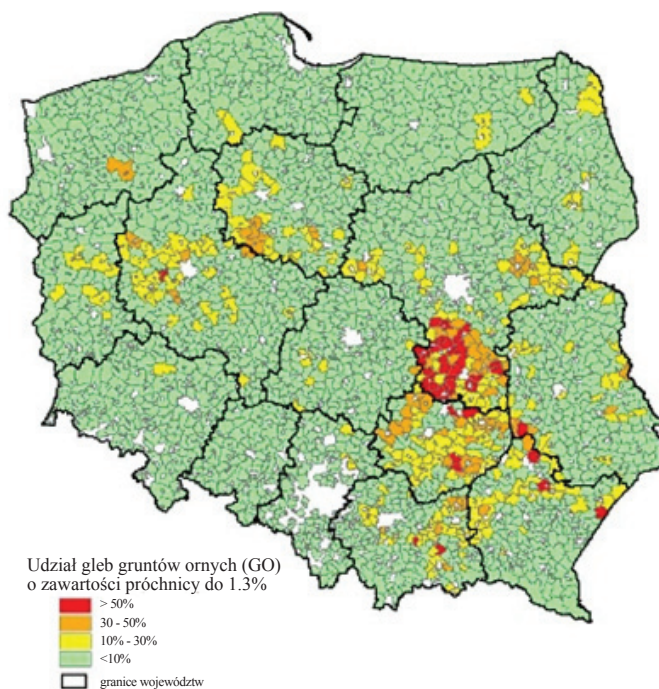
Dane z *Monitoringu chemizmu gleb* wykorzystywano wielokrotnie do analizy jakości i waloryzacji użytków rolnych (18) oraz oceny zagrożeń i degradacji środowiska (17). Wykorzystano je również do wydzielenia w skali kraju obszarów problemowych rolnictwa (OPR); (2, 3, 7). Zgodnie z przyjętymi kryteriami opracowano mapy tematyczne w odniesieniu do granic gmin, w tym: mapę użytków rolnych o bardzo niskiej zawartości próchnicy $< 1,3\%$ (Rys. 5); (8), mapę użytków rolnych o glebach silnie zakwaszonych o $\text{pH} < 4,5$ (Rys. 6); (3), oraz mapy zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi w gminach z uwzględnieniem kryteriów rozporządzenia Ministra Środowiska z 9 września 2002 roku (Rys. 7); (17).

Szczegółowa analiza zawartości materii organicznej wykazała, że w 37 gminach w kraju gleby o zawartości próchnicy do 1,3 % zajmują ponad 50% powierzchni gruntów ornych (Rys. 5), a w kolejnych 61 gminach stanowią od 30 do 50% użytków rolnych (8). W oparciu o mapę zakwaszenia gleb w ujęciu gminnym stwierdzono, że gleby o odczynie bardzo kwaśnym ($\text{pH} < 4,5$) aż w 176 gminach zajmują ponad 50 % użytków rolnych, a w kolejnych 220 gminach ich udział zawiera się w przedziale 30 – 50% UR (Rys. 6).



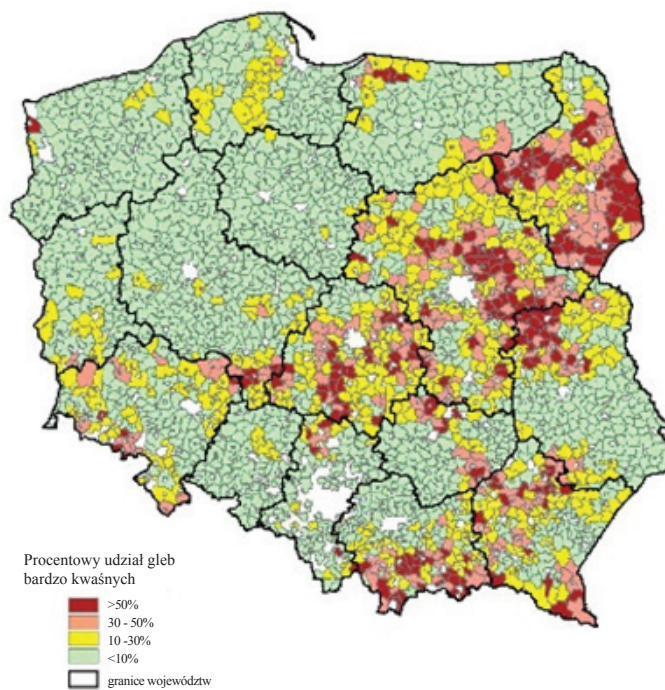
Rys. 4. Mapa odczynu gleb użytkowanych rolniczo w Polsce

Źródło: Terelak i in., 2001 (29)



Rys. 5. Mapa udziału gleb o bardzo niskiej zawartości próchnicy w glebie < 1.3% wg gmin, obszary OPR – próchnica

Źródło: Jończyk i in., 2008 (8)



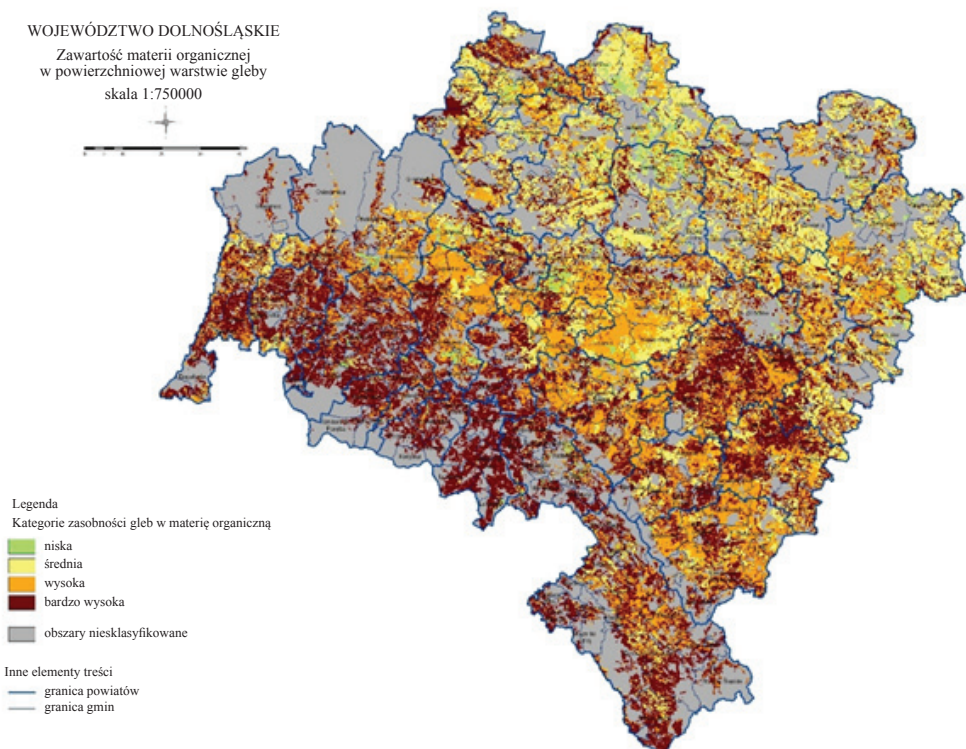
Rys. 6. Mapa gleb bardzo kwaśnych pH < 4.5 wg gmin, obszary OPR – pH

Źródło: Filipiak, 2008 (2)



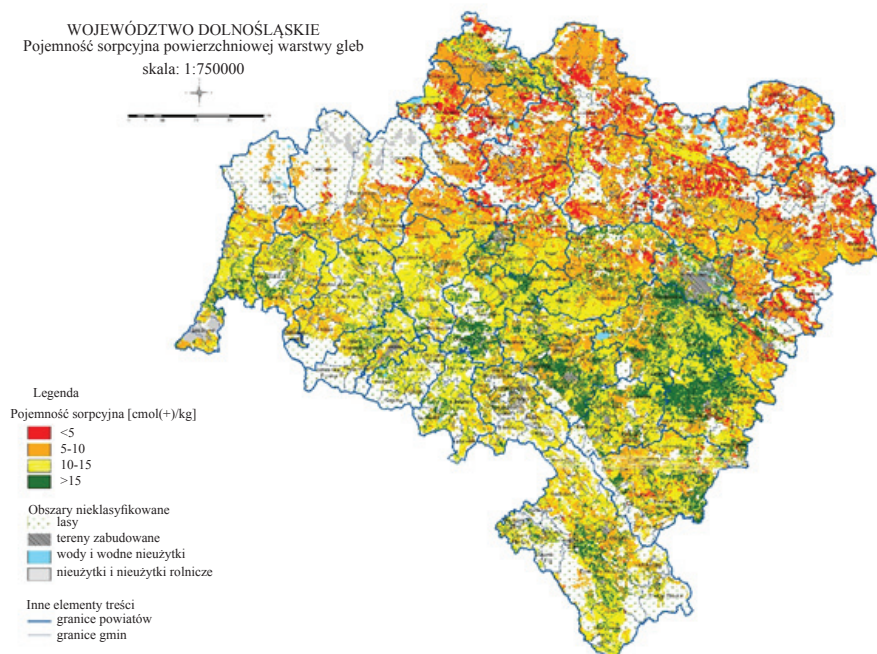
Rys. 7. Mapa zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi wg gmin, obszary OPR- zanieczyszczenia
Źródło: Siebielec i in., 2008 (17)

Dane z bazy *Monitoring chemizmu gleb* były szeroko wykorzystywane do oceny stanu środowiska glebowego również w ujęciu regionalnym. W ramach współpracy IUNG-PIB z Urzędem Marszałkowskim Województwa Dolnośląskiego wykonano kompleksową ocenę właściwości fizykochemicznych i wybranych wskaźników żyzności gleb (18). Na podstawie bazy danych dla woj. dolnośląskiego (ponad 3000 pkt.) oraz mapy glebowo-rolniczej w skali 1:25000 opracowano mapę zawartości materii organicznej w wierzchniej warstwie gleby (Rys. 8). Na podstawie tego samego zbioru danych opracowano również mapę pojemności sorpcyjnej gleb w województwie dolnośląskim (Rys. 9). Do obliczenia pojemności sorpcyjnej wykorzystano równanie regresji wielokrotnej opisującej jej zależność od udziału części spławalnych (< 0,02 mm), części koloidalnych (< 0,002 mm) zawartości próchnicy i odczynu gleby (16), tj. właściwości gleb, które nie ulegają szybkim zmianom w czasie.



Rys. 8. Mapa zawartości materii organicznej w wierzchniej warstwie gleby w woj. dolnośląskim

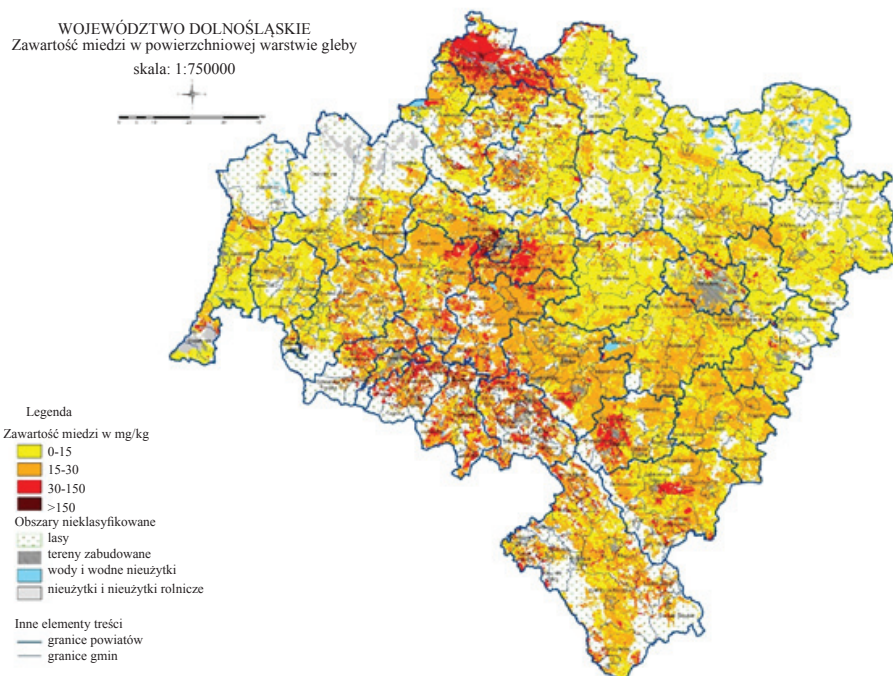
Źródło: Stuczyński i in., 2007 (18)



Rys. 9. Mapa pojemności sorpcyjnej wierzchniej warstwy gleb w województwie dolnośląskim
Źródło: Stuczyński i in., 2007 (18)

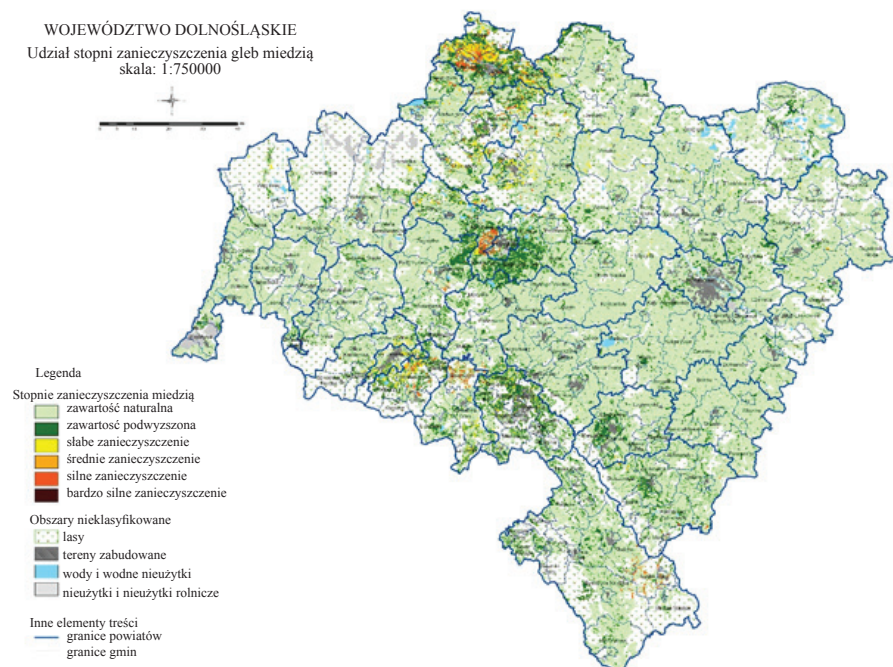
W woj. dolnośląskim wykonano również szczegółową analizę zawartości poszczególnych pierwiastków śladowych w glebie (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn). Do analizy przestrzennego rozmieszczenia pierwiastków wykorzystano zarówno dane z bazy *Monitoring chemizmu gleb* jak i dane badań regionalnych w zakresie zanieczyszczenia gleb. Badania regionalne przeprowadzono głównie w latach 2004-2005 w powiatach: wołowskim, średzkim, zgorzeleckim, głogowskim i polkowickim (18). Łącznie do oceny stanu zanieczyszczeń gleb metalami śladowymi wykorzystano 4245 próbek. Mapy zawartości pierwiastków śladowych powstały poprzez przyporządkowanie analizowanych punktów monitoringu do reprezentatywnych poligonów na mapie glebowo-rolniczej w skali 1:25 000 o najbardziej zbliżonych właściwościach fizycznych i produkcyjnych.

Na podstawie map zawartości pierwiastków śladowych opracowano mapy zanieczyszczenia gleb zgodnie ze standardami rozporządzenia Ministra Środowiska (Dz. U. Nr 165, poz. 1359). Na Rys. 10 przedstawiono mapę zawartości miedzi w glebach województwa dolnośląskiego, a na Rys. 11 mapę zanieczyszczenia gleb tym pierwiastkiem. Przykład analizy przestrzennej zawartości miedzi w glebie i poziomu jej zanieczyszczenia przedstawiono z uwagi na występujące złoża, przemysł wydobywczy i ryzyko przemieszczania pierwiastka w środowisku.



Rys. 10. Mapa zawartości miedzi w wierzchniej warstwie gleby

Źródło: Stuczyński i in., 2007 (18)



Rys. 11. Mapa zanieczyszczenia gleb miedzią

Źródło: Stuczyński i in., 2007 (18)

Podsumowanie

Badania stanu ekologicznego gleb użytków rolnych w Polsce, przeprowadzone w latach 1992-1997 odegrały bardzo istotną rolę w ocenie stanu środowiska glebowego, zarówno w skali kraju jak i poszczególnych regionów. Dostarczyły jednoznacznych dowodów dla opinii publicznej w kraju i na świecie, że tylko niewielkie obszary gleb użytkowanych rolniczo w Polsce można uznać za zanieczyszczone pierwiastkami śladowymi. Ponadto uzyskane dane były podstawą oceny zasobów materii organicznej i oceny stanu zakwaszenia gleb użytkowanych rolniczo w Polsce. Stały się nieocenionym źródłem informacji w zakresie oceny stopnia zanieczyszczenia gleb metalami śladowymi oraz siarką, szczególnie w regionach zwiększonego ryzyka emisji tych pierwiastków. Oceny przestrzennej zmienności analizowanych czynników dały podstawy do tworzenia ogólnokrajowych oraz regionalnych strategii w zakresie racjonalnej gospodarki materią organiczną, programu wapnowania i podnoszenia odczynu gleb zakwaszonych. Były szeroko wykorzystywane przy opracowywaniu działań ochronnych w ramach programów rolnośrodowiskowych i realizacji całego PROW. Stały się podstawą oceny ryzyka przemieszczania metali śladowych do roślin i produkcji żywności nie spełniającej obecnych standardów jakościowych na obszarach zanieczyszczonych. Przyczyniły się do ograniczenia emisji przemysłowych i przyspieszenia badań oraz prac wdrożeniowych nad opracowaniem skutecznych metod rekultywacji terenów poprzemysłowych i zdegradowanych stwarzających ryzyko uciążliwego oddziaływania na środowisko przyrodnicze i zdrowie człowieka. Dane zgromadzone w bazie *Monitoring chemizmu gleb* są materiałem porównawczym do oceny bieżących zmian zachodzących w środowisku glebowym naszego kraju.

Literatura

1. Berkowska E., Sobolewski M.: Realizacja polityki ekologicznej w kontekście postanowień Szczytu Ziemi w Rio, Kancelaria Sejmu, Biuro Studiów i Ekspertyz, 1995. http://biurose.sejm.gov.pl/teksty_pdf_95/i-291.pdf; tekst z dnia 01.02.2017 r.
2. Filipiak K., Jadczyzyn J.: Kryteria wyboru i ocena obszarów problemowych rolnictwa. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2008, **12**: 103-111.
3. Filipiak K.: Uwarunkowania produkcji rolniczej na obszarach gleb silnie zakwaszonych. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2008, **12**: 113-122.
4. Fotyma M., Igras J.: Narodowy program wapnowania gleb w Polsce na lata 2007-2013. Raporty PIB "Wybrane aspekty agrochemicznych badań gleby", 2006, **1**: 45-48.
5. Jadczyzyn J., Stuczyński T., Kukuła S., Zawadzka B., Korzeniowska-Puculek R.: Wykorzystanie zintegrowanego systemu informacji w województwie świętokrzyskim do opracowania programu ochrony gruntów na przykładzie powiatu sandomierskiego, (w:) Wybrane problemy geografii społeczno-ekonomicznej i regionalnej, Prace Instytutu Geografii AŚ w Kielcach, 2003, **10**: 97-109
6. Jadczyzyn J., Stuczyński T.: Wykorzystanie numerycznej mapy glebowo-rolniczej do analizy obszarów wiejskich. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2008, **12**: 55-64.
7. Jadczyzyn J.: Regionalne zróżnicowanie obszarów problemowych rolnictwa (OPR) w Polsce. Wyd. IUNG-PIB Puławy, 2009, **P(163)**, ss. 80.

8. Jończyk K., Jadczyzyn J., Filipiak K., Stuczyński T.: Przestrzenne zróżnicowanie zawartości materii organicznej w glebach Polski w kontekście ochrony gleb i ich rolniczego wykorzystania. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2008, **12**: 145-154.
9. Kabata-Pendias A., Motowicka-Terelak T., Piotrowska M., Terelak H., Witek T.: Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi i siarką. Ramowe wytyczne dla rolnictwa. Wyd. IUNG Puławy, 1993, Seria **P(53)**: ss. 20
10. Kordulska I.: Poradnik prawny obrońcy środowiska, Kraków, 1999: <http://www.zb.eco.pl/bzb/34/rozd1.htm#1> tekst z dnia 08.03.2017.
11. Motowicka-Terelak T., Terelak H. Sulphur contamination of soils: a threat to agroecosystems. *Polish Journal of Soil Science*, 2000, **XXXIII/2**: 39-45.
12. Motowicka-Terelak T., Terelak H., Witek T.: Liczby graniczne do wyceny zawartości siarki w glebach i roślinach, Puławy Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach, 1992, ss.5.
13. Oldeman L.R., Hakkeling R.T.A., Sombroek W.G.: World map of the status of human-induced soil degradation. An Explanatory note. 1990, http://www.isric.org/sites/default/files/Explan-Note_1.pdf tekst z dnia 1.02.2017.
14. Piasecka J.: Problemy erozji gleb w prawie unijnym i polskim. *Przegląd Geograficzny*, 2014, **86(3)**: 393-403.
15. Pietruch Cz.: Utworzenie w poszczególnych Okręgowych Stacjach Chemiczno-Rolniczych relacyjnych baz danych ze zbiorów znajdujących się w stacjach. Opracowanie wykonane w ramach Umowy Nr 1/96/Pr-OSChR z dnia 5 lipca 1996 punkt 2, Puławy 1999, ss.10.
16. Pondel H., Terelak H., Terelak T., Wilkos S.: Właściwości chemiczne gleb Polski. *Pam. Puł.* 1979, Sup. do z. 71. 1979.
17. Siebielec G., Stuczyński T., Terelak H., Filipiak K., Koza P., Korzeniowska-Puculek R., Łopatka A., Jadczyzyn J.: Uwarunkowania produkcji rolniczej w regionach o dużym udziale gleb zanieczyszczonych metalami śladowym. *Raporty IUNG-PIB*, 2008, **12**: 123-143.
18. Stuczyński T. (praca zbiorowa): Stan i zmiany właściwości gleb użytkowanych rolniczo w Województwie Dolnośląskim w latach 2000-2005, Puławy-Wrocław, 2007.
19. Stuczyński T., Kukuła S., Kukuła H., Jadczyzyn J., Zaliwski A., Gawrysiak L., Federowicz-Jackowski W., Bielecka E.: System informacji o rolniczej przestrzeni produkcyjnej podstawą strategii rozwoju regionalnego. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej im. H. Kołłątaja w Krakowie*, 2001, **377**: 69-86.
20. Terelak H., Motowicka-Terelak T., Pondel H., Maliszewska-Kordybach B., Pietruch Cz.: Monitoring chemizmu gleb ornych Polski – Program badań i wyniki wstępne: Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa, 1999, ss. 70.
21. Terelak H., Motowicka-Terelak T., Stuczyński T., Pietruch C.: Pierwiastki śladowe (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) w glebach użytków rolnych Polski. *Biblioteka Monitoringu Środowiska*. Warszawa, 2000, ss. 69.
22. Terelak H., Motowicka-Terelak T., Stuczyński T.: Zawartość metali ciężkich i siarki w glebach użytków rolnych Wielkopolski na tle ich występowania w glebach Polski. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 1998, **460**: 23-39.
23. Terelak H., Motowicka-Terelak T., Wróblewska E., Gawrysiak L., Pietruch Cz.: Mapa zawartości substancji organicznej w glebach użytków rolniczych Polski. IUNG, Puławy, 2001.
24. Terelak H., Motowicka-Terelak T., Wróblewska E., Gawrysiak L., Pietruch Cz.: Mapa zawartości siarki w glebach użytków rolniczych Polski. IUNG, Puławy, 2001.
25. Terelak H., Motowicka-Terelak T.: The heavy metals and sulphur status of agricultural soils in Poland, M.J. Wilson and B. Maliszewska-Kordybach, [in:] *Soil Quality., Sustainable Agriculture and Environmental Security in Central and Eastern Europe*, Kluwer Academic Publisher, 2000: 37-47.
26. Terelak H., Stuczyński T., Motowicka-Terelak T., Piotrowska M.: Zawartość Cd, Cu, Ni, Pb, Zn i S w glebach województwa katowickiego i Polski, *Archiwum Ochrony Środowiska*, 1997, **3-4**: 167-180.

27. Terelak H., Motowicka-Terelak T.: Występowanie pierwiastków śladowych i siarki w glebach użytków rolnych byłego województwa konińskiego i Polski. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, 2000, **CCCXVII**: 65-75.
28. Terelak H. Piotrowska M., Budzyńska K., Pietruch Cz.: Mapa stanu zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi. IUNG, Puławy, 1999.
29. Terelak H. Piotrowska M., Wróblewska E., Pietruch Cz.: Polska. Odczyn gleb użytków rolnych, IUNG, Puławy, 2001.
30. World map on human-induced degradation. 1990. UNEP/ISRIC, Wageningen, Holandia.
31. Zaliwski A., Stuczyński T., Jadczyżyn J., Bielecka E., Federowicz-Jackowski W.: Zintegrowany system informacji o rolniczej przestrzeni produkcyjnej Polski. Geodeta, 2000, **10(185)**: 35-39.

Autorzy składają serdeczne podziękowania: prof. dr hab. Teresie Motowickiej-Teralak, mgr Krystynie Budzyńskiej i mgr Czesławowi Pietruchowi za sugestie, informacje i materiały wykorzystane w pracy.

Adres do korespondencji:

*dr Bożena Smreczak
Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. 81 4786 918
e-mail: bozena@iung.pulawy.pl*

Grzegorz Siebielec

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

STAŁY MONITORING GLEB UŻYTKÓW ROLNYCH POLSKI*

Słowa kluczowe: użytki rolne, grunty orne, monitoring, zanieczyszczenia

Podstawa monitoringu

Stale wzrasta zainteresowanie informacjami na temat stanu i zmian jakości gleb, w szczególności gleb użytkowanych rolniczo. Zasoby gleb użytków rolnych decydują o bezpieczeństwie żywnościowym, jakości żywności a także funkcjach środowiskowych obszarów wiejskich. Szczególnie istotne są zagadnienia dotyczące wpływu działalności człowieka na jakość gleb, w tym wpływu instrumentów Wspólnej Polityki Rolnej, prowadzonej od lat w krajach Unii Europejskiej. Podstawowym instrumentem kontroli jakości gleb w skali krajowej i regionalnej są badania monitoringowe, w których w określonych odstępach czasu prowadzone są pomiary w stałych punktach kontrolnych. Wieloletnie programy monitorowania gleb w skali krajowej funkcjonują w kilku krajach Europy, w tym w Szwajcarii, Słowacji, Austrii i Republice Czeskiej (2, 5, 9).

W Polsce od roku 1995 funkcjonuje stały monitoring pod nazwą „Monitoring chemizmu gleb ornych Polski”. Program ten stanowi podsystem Państwowego Monitoringu Środowiska w zakresie jakości gleb i ziemi. Celem badań jest kontrola szerokiego zakresu parametrów gleb użytkowanych rolniczo, szczególnie właściwości chemicznych, zachodzących pod wpływem rolniczej i pozarolniczej działalności człowieka. Obowiązek prowadzenia monitoringu, obserwacji zmian i oceny jakości gleby i ziemi w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska wynika z zapisów art. 26 ustawy *Prawo ochrony środowiska*. Zakres badań „Monitoring chemizmu gleb ornych Polski” określają trzyletnie Programy Państwowego Monitoringu Środowiska.

Monitoring chemizmu gleb ornych Polski jest realizowany od roku 1995 przez Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach na zamówienie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska (GIOŚ). W 5-letnich odstępach czasowych próbki glebowe są pobierane z 216 stałych punktów

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.1 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

pomiarowo-kontrolnych, zlokalizowanych na gruntach ornych charakterystycznych dla pokrywy glebowej kraju. Wyniki badań są prezentowane na stronach internetowych GIOŚ. Kolejna, piąta tura realizacji Monitoringu przypada na lata 2015-2017.

Sieć punktów monitoringowych

Monitoring chemizmu gleb wykorzystuje sieć stałych punktów pomiarowo-kontrolnych (profilu glebowych) w liczbie 216, zlokalizowanych na rolniczo użytkowanych glebach całego kraju. W latach poprzednich punkty pomiarowo-kontrolne lokalizowano za pomocą szkiców sytuacyjnych powstałych podczas I cyklu monitoringowego, map glebowych w skali 1:5000 oraz wojskowych map topograficznych. Ponieważ współrzędne punktów pomiarowo-kontrolnych znajdujące się w bazie danych miały charakter orientacyjny (były pierwotnie odczytywane manualnie z map topograficznych) i charakteryzowały się pewną niedokładnością, w edycji Monitoringu 2010-2012 Monitoringu dokonano ich aktualizacji i cyfryzacji. Wspomniane powyżej materiały w wersji analogowej (szkice sytuacyjne, mapy glebowe 1:5000, mapy topograficzne) z zaznaczonymi punktami oraz znajdujące się w bazach IUNG-PIB informacje przestrzenne w wersji cyfrowej (sieć drogowa, mapy glebowo-rolnicze i topograficzne, zdjęcia lotnicze) zostały wykorzystane przy pomocy programu ArcGIS do dokładnego zlokalizowania miejsc pobierania próbek, a następnie aktualizacji współrzędnych geograficznych.

Położenie geograficzne punktów

Najwięcej punktów (20) zlokalizowanych jest w województwach dolnośląskim, lubelskim i mazowieckim (Tab. 1, Rys. 1). Liczba punktów w poszczególnych województwach została w I edycji Monitoringu zaplanowana tak, by odzwierciedlać wielkość województwa, udział użytków rolnych, różnorodność pokrywy glebowej i występowanie potencjalnych zagrożeń dla jakości gleb.

Tabela 1

Liczba punktów pomiarowo-kontrolnych w poszczególnych województwach

Województwo	Liczba próbek
dolnośląskie	20
kujawsko-pomorskie	13
lubelskie	20
lubuskie	11
łódzkie	16
małopolskie	17
mazowieckie	20
opolskie	6

Tabela 1 c.d.

podkarpackie	14
podlaskie	6
pomorskie	9
śląskie	18
świętokrzyskie	9
warmińsko-mazurskie	11
wielkopolskie	17
zachodniopomorskie	9

Źródło: Siebielec i in. 2012 (16)

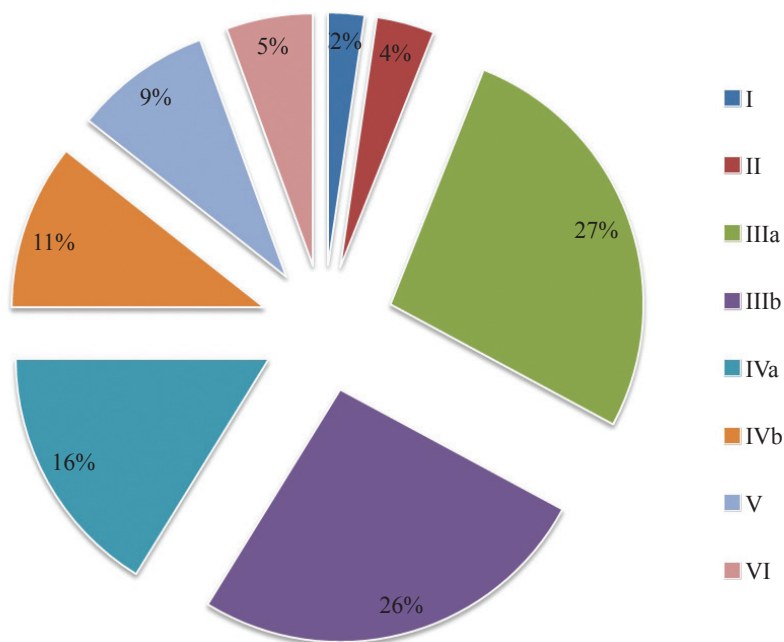


Rys. 1. Rozmieszczenie 216 punktów pomiarowo-kontrolnych

Źródło: opracowanie własne

Różnorodność i reprezentatywność gleb w punktach monitoringowych

Sieć punktów badawczych zapewnia różnorodność utworów glebowych i typów gleb charakterystycznych dla pokrywy glebowej Polski. Spośród typów gleb najczęściej reprezentowane są gleby płowe. Klasa bonitacyjna i kompleks przydatności rolniczej charakteryzują wartość użytkową gruntu w zakresie funkcji produkcyjnej. Najczęściej reprezentowana była klasa IIIa i b – razem 53% wszystkich lokalizacji (Rys. 2). Są to gleby średnio dobre, o gorszych niż w przypadku klas I i II warunkach fizycznych i chemicznych, charakteryzujące się wahaniami poziomu wody w zależności od opadów atmosferycznych. Klasa IVa i IVb były reprezentowane przez, odpowiednio, 16 i 11% punktów. Gleby klas najbardziej urodzajnych (I i II) były nieliczne i występowały w 6% punktów.



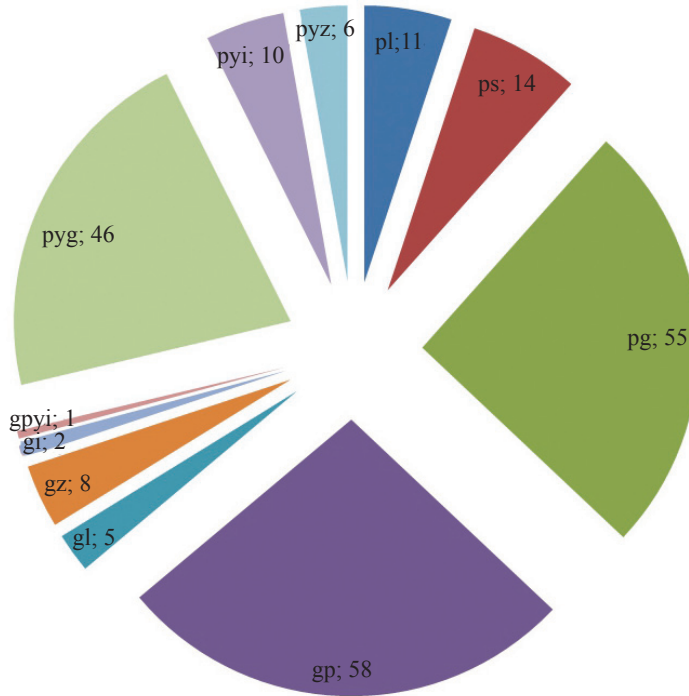
Rys. 2. Udział poszczególnych klas bonitacji w punktach monitoringowych

Źródło: Siebielec i in., 2012 (16)

Najliczniej reprezentowany spośród kompleksów przydatności rolniczej był kompleks 2 (pszenny dobry) – 29% wszystkich punktów. Udział większy niż 10% wszystkich lokalizacji miały ponadto kompleksy 4 (żytni bardzo dobry), 5 (żytni dobry) i 6 (żytni słaby).

Gatunek gleby, związany z jej składem granulometrycznym, ma istotne znaczenie dla kształtowania fizycznych i chemicznych cech gleb, w tym naturalnej zawartości zanieczyszczeń w glebie oraz pojemności sorpcyjnej, wpływającej bezpośrednio na procesy migracji zanieczyszczeń w środowisku. Wśród gleb reprezentujących punkty

monitoringowe przeważają gatunki z grupy piasków. Stosując klasyfikację wg normy BN-78/9180-11, najliczniejsze gatunki to: piasek gliniasty lekki (31 profili), piasek słabogliniasty (25 profili) i piasek gliniasty mocny (19 profili). Gatunki gleb z grupy pyłów były reprezentowane są przez 44 profile, natomiast gliny i ropy przez 74 profile. Udział gatunków gleb według klasyfikacji PTG z 2008 roku przedstawiono natomiast na Rys. 3.



Rys. 3. Udział gatunków gleb określonych według klasyfikacji PTG z 2008 roku (pl- piasek luźny, ps – piasek słabogliniasty, pg – piasek gliniasty, gp – glina piaszczysta, gl – glina lekka, gz – glina zwykła, gi – glina ropy, gpyi – glina pylasto-ropy, pyg – pył gliniasty, pyz – pył zwykły, pyi – pył ropy)

Źródło: Siebielec i in., 2012 (16)

Monitoring chemizmu gleb obejmuje użytki rolnicze, ze zdecydowanym akcentem położonym na grunty orne, dla których istnieje bezpośrednia zależność pomiędzy jakością gleby a jakością produkowanej żywności. Należy zaznaczyć, że w porównaniu z wyjściowym rokiem 1995 w części punktów pomiarowo-kontrolnych nastąpiły zmiany sposobu użytkowania ziemi. Stale użytkowane grunty orne stanowiły w 2010 roku 80% wszystkich punktów, natomiast użytki zielone 6%. Dość znaczny odsetek (13%) punktów reprezentował użytki odłogowane (16).

Zmiany położenia punktów pobierania próbek

W przypadku konieczności zmiany położenia punktów pomiarowo-kontrolnych kierowano się zasadą, że nowe położenie punktu musi reprezentować użytek rolny oraz ten sam gatunek i typ gleby oraz znajdować się w możliwie najmniejszej odległości od punktu wyjściowego. W celu uzyskania jak największej precyzji w wyborze nowej lokalizacji punktów, wykorzystywana jest cyfrowa mapa glebowo-rolnicza oraz oceniany jest skład granulometryczny gleby w terenie. Na Rys. 4 przedstawiono dwa przypadki przeniesienia punktów z powodu pojawienia się prywatnej zabudowy lub budowy traktów komunikacyjnych w lokalizacjach pierwotnych. Z reguły dystans o jaki nowa lokalizacja różni się od pierwotnej nie przekracza kilkuset metrów. Inne przyczyny przesunięć punktów w kampaniach pobierania próbek w latach 2010 i 2015 wynikały z budowy zakładów przemysłowych lub wykonania zalesień.





Rys. 4. Zmiany położenia punktów monitoringowych z powodu pojawienia się zabudowy jednorodzinnej i ogrodzenia terenu (powyżej) oraz budowy szlaków komunikacyjnych (u dołu). Punkt o barwie różowej oznacza nową lokalizację.

Źródło: Siebielec i in. 2012 (16)

Metodyka pobierania próbek glebowych i dokumentacji punktów monitoringowych

Próbki glebowe pobierane są przez osoby z doświadczeniem oraz przeszkolone w zakresie klasyfikacji gleb. Od roku 2010 nawigacja do punktów odbywa się za pomocą urządzeń GPS (ang. *Global Positioning System*). Punkt o określonych współrzędnych stanowi centralny punkt kwadratu 10 m x 10 m, w którym za pomocą stalowej sondy glebowej pobieranych jest z głębokości 0-20 cm dwadzieścia równomiernie rozmieszczonych próbek indywidualnych. Kombinacja próbek indywidualnych stanowi próbkę zbiorczą, reprezentatywną dla punktu pomiarowo-kontrolnego. W miejscu pobrania próbek wypełniany jest protokół pobrania próbki, w którym umieszczane są takie informacje jak: nr punktu, zaktualizowane współrzędne, położenie geograficzne oraz położenie względem widocznych z miejsca pobierania elementów antropopresji, manualnie określony skład granulometryczny, typ gleby z mapy glebowo-rolniczej, głębokość pobrania próbki.

Od roku 2010 przeprowadzana jest dokumentacja fotograficzna miejsc pobrania próbek w liczbie 3-4 zdjęć cyfrowych wykonanych w różnych kierunkach.

Lista analizowanych właściwości gleb

W próbkach glebowych w edycjach 1995-2010 oznaczano następujące właściwości gleb, z wykorzystaniem opisanych obok metodyk oznaczeń:

1. **Skład granulometryczny** – metodą Casagrande’a w modyfikacji Prószyńskiego (11);
2. **Próchnica-substancja organiczna** – zmodyfikowaną metodą Tiurina (14);
3. **Węgiel organiczny** – wartość uzyskana z pomnożenia zawartości substancji organicznej przez współczynnik 0,58;
4. **Węglany** – metodą Scheiblera (11);
5. **Odczyn „pH”** w zawiesinie 1M KCl oraz w zawiesinie H₂O – metodą potencjometryczną (12);
6. **Kwasowość hydrolityczna (Hh)** – metodą Kappena (12);
7. **Kwasowość wymienna** – metodą Daikuhary (12);
8. **Glin wymienny** – metodą Sokołowa (14);
9. **Fosfor przyswajalny** – metodą Egnera-Riehma (12);
10. **Potas przyswajalny** – metodą Egnera-Riehma (12);
11. **Magnez przyswajalny** – metodą Schachtschabela (12);
12. **Siarka przyswajalna** – metodą Ensmingera w modyfikacji Skłodowskiego. Siarczany w roztworze po ekstrakcji gleby za pomocą roztworu Ca(H₂PO₄)₂ oznacza się metodą nefelometryczną (3, 17);
13. **Azot ogólny** – zmodyfikowaną metodą Kjeldahla. W roztworze po mineralizacji gleby za pomocą H₂SO₄ i H₂O₂, zawartość N ogólnego oznaczana jest metodą kolorymetryczną;
14. **Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne „WWA”**. Ekstrakcja z gleby chlorkiem metylenu w aparacie Soxtec (Büchi Universal Extraction System). Uzyskany ekstrakt oznaczany metodą chromatografii gazowej z detektorem masowym (GC/MS Agilent System) zgodnie z zasadami podanymi w normie ISO 18287 (7, 8). Wyniki zawartości WWA podawano w edycjach 1995-2010 jako sumę tych związków, a od 2015 roku podawane są zawartości pojedynczych związków: naftalen, fluoren, fenantren, antracen, fluoranten, piren, benzo(a) antracen, chryzen, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, benzo(a)fluoranten, benzo(a)piren, indeno(1,2,3-cd)piren, dibenzo(a,h)antracen, benzo(ghi)perylene;
15. **Proporcja C:N** - z przeliczenia ilości węgla organicznego przez zawartość azotu ogólnego;
16. **Radioaktywność**. Według metody Overmana i Clarka (13);
17. **Przewodnictwo elektryczne właściwe** – w ekstrakcie wodnym z gleby (masa gleby:objętość wody = 1:5) – wg normy ISO 7888. Jakość wody – oznaczanie przewodnictwa elektrycznego właściwego;
18. **Zasolenie** - z przeliczenia wartości przewodnictwa elektrycznego właściwego ekstraktu wodnego na stężenie roztworu wodnego KCl o takim samym przewodnictwie, przy uwzględnieniu proporcji gleba:woda = 1:5;

19. **Kationy wymienne o charakterze zasadowym:** Ca, Mg, K i Na. Dla gleb o $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ poniżej 7,0 do ekstrakcji stosuje się roztwór $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ o stężeniu $c = 1 \text{ mol/l}$ i $\text{pH} = 7,0$. Dla gleb o $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ powyżej 7,0 i zawierających węglany do ekstrakcji zastosuje się roztwór NH_4Cl o stężeniu $c = 0,5 \text{ mol/l}$ i $\text{pH} = 8,2$;
20. **Suma zawartości kationów o charakterze zasadowym („S”)** - suma zawartości wymiennych form Ca, Mg, K i Na;
21. **Pojemność sorpcyjna gleby („T”)** - suma wartości „S” i „Hh”;
22. **Wysycenie kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi („V”)** – procentowe wysycenie wynika z podzielenia „S” przez „T” i pomnożenia ilorazu przez 100;
23. **Całkowita zawartość fosforu.** Po mineralizacji gleby za pomocą kwasu siarkowego i H_2O_2 . Fosfor oznaczono spektrofotometrycznie metodą wanadowo-molibdenianową (14);
24. **Całkowita zawartość siarki.** Siarkę organiczną utlenia się do siarczanów podczas reakcji w fazie stałej w temperaturze 500°C za pomocą azotanu magnezowego. Siarczany po przeprowadzeniu do roztworu za pomocą kwasu azotowego oznacza się nefelometrycznie (14);
25. **Zawartość sodu, potasu, magnezu, wapnia, żelaza, manganu, glinu, miedzi, niklu, chromu, cynku, wanadu, kadmu, kobaltu, ołowiu, baru, berylu, lantanu, litu i strontu** - metodą spektrometrii absorpcji atomowej (1995-2005) lub spektrometrii mas w plazmie wzbudzonej indukcyjnie (ICP-MS) (od 2010 roku), w roztworze po mineralizacji gleby wodą królewską. Mineralizację gleby wodą królewską wykonuje się zgodnie z normą międzynarodową ISO-11466: Jakość gleby – Ekstrakcja metali śladowych rozpuszczalnych w wodzie królewskiej.

Od 2015 roku analizowane są ponadto:

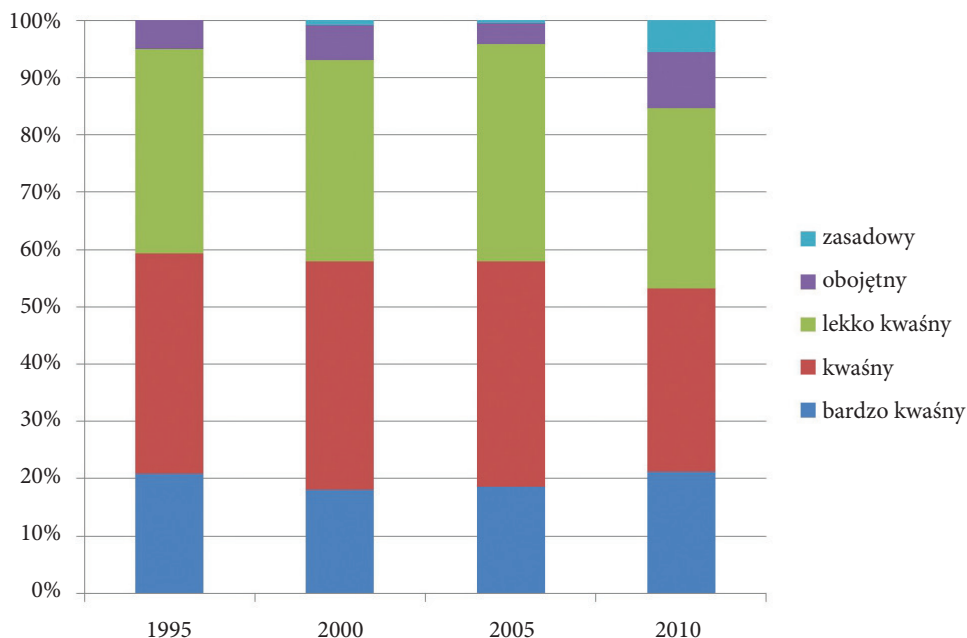
26. **Zawartość rtęci** – metodą termicznego rozkładu, amalgamacji i detekcji techniką absorpcyjnej spektrometrii atomowej;
27. **Zawartość azotu mineralnego amonowego i azotanowego** - metodą ciągłej analizy przepływowej z segmentowanym strumieniem i detekcją spektrofotometryczną na analizatorze przepływowym po ekstrakcji za pomocą 1% roztworu K_2SO_4 w stosunku wagowo-objętościowym 1:10;
28. **Zawartość pestycydów – związków niechlorowych: carbaryl, carbofuran, maneb, atrazin** - Pestycydy związku niechlorowe tj.: atrazyna, carbofuran, carbaryl po ekstrakcji z gleby mieszaniną rozpuszczalników organicznych (dichlorometan:aceton, 50:50 v/v) metodą chromatografii gazowej z podwójnym detektorem masowym. Maneb ekstrahowano z gleby acetonem (1:1 v/v). Otrzymaną zawiesinę filtrowano na jakościowym sączku twardym, a następnie oznaczano z zastosowaniem metody chromatografii gazowej z podwójnym detektorem masowym (GC QQQ Agilent System);
29. **Zawartość pestycydów chloroorganicznych: DDT/DDE/DDD, Aldryna, Dieldryna, Endryna, α -HCH, β -HCH, γ -HCH** oznaczano według zmodyfikowanej metody PN-ISO 10382:2007. Oznaczanie zawartości pestycydów chloroorganicznych i polichlorowanych bifenyli. Stosowano metodę chromatografii gazowej z detekcją wychwytu elektronów.

Wyniki badań monitoringowych

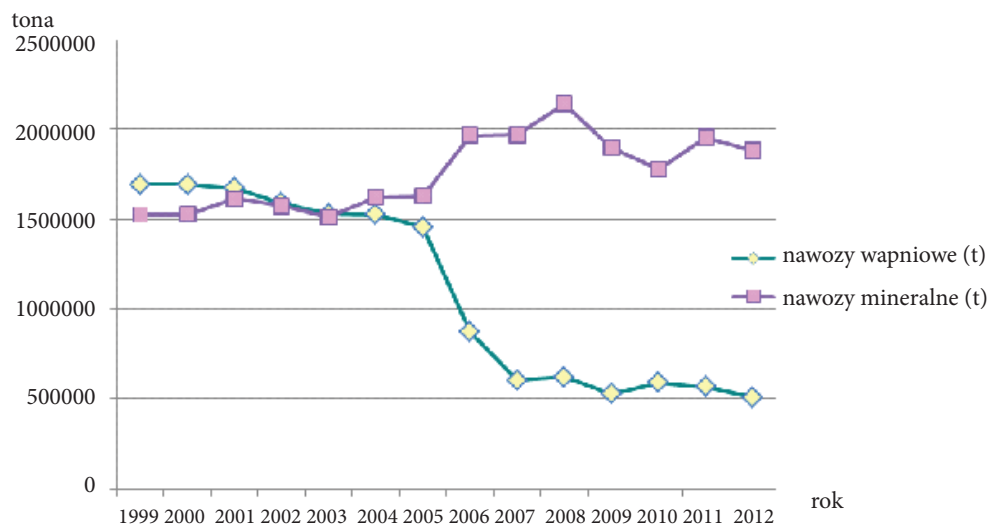
Podstawowe właściwości gleb

Wieloletni charakter Monitoringu pozwala na długoterminową ocenę jakości gleb i kierunków zmian ich właściwości. **Odczyn** gleb decyduje o wielu biologicznych i fizykochemicznych procesach zachodzących w glebach. Kształtowanie wartości odczynu gleb związane jest głównie z ich składem mineralogicznym (kwaśnym bądź zasadowym charakterem skał macierzystych), przemianami i zawartością materii organicznej oraz warunkami klimatycznymi decydującymi o wymyciu składników zasadowych. Z kolei spośród przyczyn antropogenicznych największe znaczenie ma obecnie stosowanie nawozów azotowych (4). Na glebach kwaśnych odczyn jest czynnikiem ograniczającym plonowanie większości roślin uprawnych a spadek plonu zależy od wrażliwości poszczególnych gatunków. W warunkach zbyt niskiego odczynu zmniejsza się pobranie składników nawozowych przez rośliny, które w wyniku wymywania przedostają się do wód gruntowych (azot) lub uwsteczniają (fosfor).

Udział gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych przez cały okres badań monitoringowych pozostaje bardzo duży i wynosi ponad 50% wszystkich profili (Rys. 5). Fakt ten wynika z przyczyn naturalnych (skład mineralogiczny skały macierzystej) oraz wieloletnich zaniedbań w zakresie wapnowania gleb. Niepokojącym zjawiskiem jest zmniejszanie się zużycia nawozów wapniowych przy jednoczesnym zwiększeniu ilości stosowanych nawozów azotowych (Rys. 6). Procesy zakwaszania gleb związane ze stosowaniem nawozów fizjologicznie kwaśnych powinny być systematycznie neutralizowane stosowaniem wapna.



Rys. 5. Udział profili w poszczególnych klasach odczynu (pH w 1M KCl) w latach 1995-2010



Rys. 6. Zużycie nawozów mineralnych i wapniowych w Polsce w latach 1999-2012

Źródło: Kozyra i Siebielec, 2014 (10)

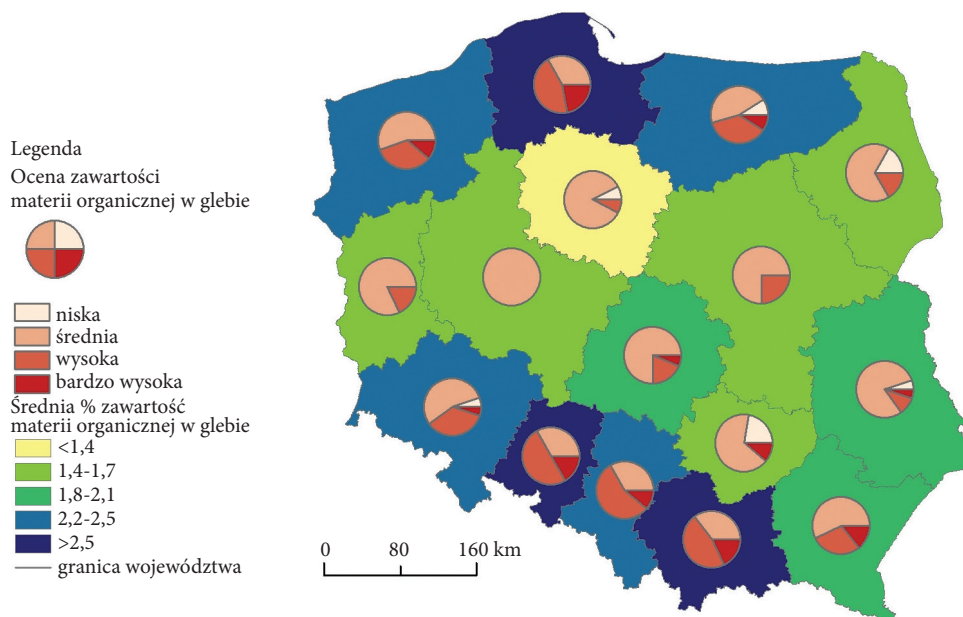
W roku 2010 dawka wapna niezbędna do neutralizacji zakwaszenia wynosiła od 0,47 do 8,57 tony CaO na hektar, przy średniej 2,36. Przyjmuje się, że nie ma konieczności wapnowania gleb, w przypadku których dawka wapna CaO wyliczona na podstawie kwasowości hydrolitycznej nie przekracza $1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Przy takim założeniu, wapnowanie o różnej pilności jest wymagane w przypadku prawie 87% profili (187 profili) a dla 8% profili konieczna dawka CaO przekracza $4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (16).

Odczyn gleby ma podstawowe znaczenie dla procesów uruchamiania lub immobilizacji pierwiastków śladowych, badanych w ramach Monitoringu chemizmu gleb ornych w Polsce. Mobilność potencjalnie toksycznych metali, takich jak np. kadm, ołów, nikiel, zmniejsza się wraz ze wzrostem pH gleby na skutek reakcji adsorpcji, okluzji lub wytrącania trudno rozpuszczalnych soli metalu. Dlatego szczególnie niekorzystnym zjawiskiem jest zaobserwowany spadek wartości pH gleb woj. śląskiego, o znacznym udziale gleb o podwyższonej zawartości metali śladowych. W 2010 r. w połowie profili w woj. śląskim pH w KCl wynosiło poniżej 5,4 (16). Istnieje zatem potrzeba bardziej szczegółowej oceny (na większej liczbie próbek) procesów zakwaszania gleb w województwie śląskim, z uwagi na ryzyko uruchamiania metali i zwiększenia związanej z tymi procesami ekspozycji mieszkańców na zanieczyszczenia.

Materia organiczna gleb jest podstawowym wskaźnikiem jakości gleb decydującym o ich właściwościach fizykochemicznych, takich jak zdolności sorpcyjne i buforowe oraz procesach biologicznych, warunkujących wiele przemian, określanych mianem aktywności biologicznej. 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. Ubytek próchnicy

jest ważnym wskaźnikiem pogorszenia warunków siedliskowych oraz żyzności gleb. W roku 2010 zawartość próchnicy w punktach monitoringowych kształtowała się w zakresie 0,76 – 6,05%. Średnia zawartość próchnicy wynosiła 1,97% i nie różniła się istotnie od przeciętnej zawartości w latach poprzednich. Również rozkład zawartości materii organicznej w poszczególnych okresach badawczych nie różnił się istotnie. W grupie analizowanych profili zdecydowanie przeważały gleby klasyfikowane w Polsce w przedziale średniej zawartości (1-2% s.m.). Stanowiły one ponad 60% wszystkich profili. Profile o zawartości bardzo wysokiej (>3,5%) są nieliczne i w 2010 r. stanowiły niecałe 10 % wszystkich punktów monitoringowych. Średnia zawartość węgla organicznego w roku 2010 wynosiła 1,14% a zakres zawartości 0,44 – 3,51% (16).

Analizując przestrzenną zmienność zawartości próchnicy, wyraźnie zaznaczają się dwie strefy: (1) województwa pasa środkowego oraz (2) strefy północnej i południowej, w których średnie zawartości próchnicy były wyższe (Rys. 7). Fakt ten można wiązać z warunkami klimatycznymi – korzystniejszym bilansem wodnym w regionach południowych i nadmorskich, który sprzyja gromadzeniu się próchnicy lub ogranicza procesy rozkładu materii organicznej. W województwach pasa środkowego nieznaczny był udział gleb o wysokiej i bardzo wysokiej zawartości, występowały w nich natomiast gleby o bardzo niskiej zasobności.



Rys. 7. Przestrzenna zmienność zawartości próchnicy w 2010 r.
na podstawie statystyk dla województw

Źródło: Siebielec i in., 2012 (16)

Przeciętna zawartość **fosforu przyswajalnego** w 2010 r. nie przekraczała 17 mg $P_2O_5 \cdot 100g^{-1}$ a mediana wynosiła 12 mg $P_2O_5 \cdot 100g^{-1}$. Wskaźniki te, podobnie jak rozkład zawartości w badanej grupie profili, nie uległy istotnej zmianie od roku 1995. Udział gleb o bardzo niskiej i niskiej (poniżej 10 mg $P_2O_5 \cdot 100g^{-1}$) zasobności w przyswajalny fosfor w czterech okresach badawczych wynosił 38-42% wszystkich profili (16).

Zasobność gleb w **przyswajalne formy potasu** charakteryzowała się we wszystkich okresach pobrania próbek znaczną zmiennością i w 2010 r. mieściła się w przedziale 2,3-66,8 mg $K_2O \cdot 100g^{-1}$. Zawartości średnie i środkowe nieco wzrosły w latach 2005 i 2010 w porównaniu z zasobnością początkową w badanych profilach. Udział profili o niskiej i bardzo niskiej zasobności w potas przyswajalny (wg klasyfikacji uwzględniającej uziarnienie gleby) w roku 2010 wynosił 47% (101 profili) i zmniejszył się w porównaniu z rokiem 1995 (55%) (16).

Z kolei zawartość **przyswajalnego magnezu** w roku 2010 r. mieściła się w przedziale 0,5 – 38 mg $Mg \cdot 100g^{-1}$, była zatem mocno zróżnicowana. Wartości środkowe zasobności w magnez pozostawały na podobnym poziomie w kolejnych latach, natomiast średnia zawartość Mg nieco wzrosła w roku 2005 i pozostała na tym poziomie w roku 2010 (16). Wzrost ten wynikał z większego udziału próbek o wysokiej zawartości Mg (w latach 2005 i 2010 w 10% próbek zawartość Mg przekraczała 20 mg $\cdot 100g^{-1}$). Zawartość niską lub bardzo niską magnezu stwierdzono w 2010 r. w 26% lokalizacji.

Średnia zawartość **siarki siarczanowej** oraz jej wartość środkowa zmniejszyły się w 2010 r. w porównaniu do poprzednich okresów. Jej rozkład zawartości uległ również zwięźeniu. Obecnie w 90% próbek zawartość siarki przyswajalnej nie przekracza 1,65 mg $S \cdot 100g^{-1}$. W roku 2010 aż 94% zbioru profili glebowych zostało zakwalifikowanych do niskiej zawartości siarki siarczanowej, co sugeruje możliwość wystąpienia deficytów siarki u wrażliwych gatunków roślin uprawnych (16).

Zanieczyszczenie gleb

Pierwiastki śladowe są naturalnymi składnikami środowiska glebowego. Ich zdecydowana większość to pierwiastki niezbędne, pełniące w roślinach i organizmach ludzi i zwierząt istotne funkcje fizjologiczne, jedynie pierwiastki takie jak kadm, ołów, arsen i rtęć nie pełnią żadnych funkcji fizjologicznych (1, 6). Zanieczyszczenie gleb metalami może mieć wpływ na ich przydatność rolniczą, właściwości biologiczne oraz jakość płodów rolnych. Konsekwencją zanieczyszczenia gleb są zagrożenia związane z migracją zanieczyszczeń do wody i powietrza. Badania zawartości pierwiastków śladowych w 2010 r. wykazały, że w przypadku zaledwie 4 profili odnotowano przekroczenia zawartości dopuszczalnych określonych w ówczesnych przepisach (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi, Dz.U. Nr 165, poz. 1359), w 3 przypadkach zanieczyszczenie miało kompleksowy charakter (więcej niż jeden

pierwiastek). Oznacza to, że 212 profili (98,1%) należało wówczas uznać jako niezanieczyszczone metalami śladowymi (16).

Na podstawie wytycznych IUNG-PIB, określających 6-stopniową skalę poziomu zawartości, 96,8% profili zostało w 2010 roku zakwalifikowanych do 0 (zawartość naturalna) lub I (zawartość lekko podwyższona) stopnia zanieczyszczenia w odniesieniu do wszystkich metali, w obrębie których gleby traktowane są jako niezanieczyszczone i mogą być wykorzystywane do produkcji rolniczej bez żadnych ograniczeń. Nieliczne profile (7 lokalizacji – 3,2% zbioru), kwalifikowane do wyższych stopni zanieczyszczenia przynajmniej jednym z metali, zlokalizowane są w województwach śląskim (kadm, cynk, ołów), dolnośląskim (miedź) i małopolskim (nikiel).

Rozpatrując poszczególne metale, udział gleb 0 i I stopnia wynosił w 2010 r. 98,6 – 99,5% wszystkich punktów monitoringowych i nie uległ zasadniczej zmianie w porównaniu z poprzednimi okresami badawczymi (Tab. 2). Ponadto nie zaobserwowano wzrostu zawartości żadnego z analizowanych metali śladowych w okresie 15 lat objętych Monitoringiem. Zawartości pierwiastków śladowych w zdecydowanej większości przyjmują poziomy naturalne dla gleb niezanieczyszczonych.

Tabela 2

Udział profili klasyfikowanych jako zanieczyszczone i niezanieczyszczone według wytycznych IUNG-PIB w poszczególnych latach (w nawiasach udział procentowy w całkowitym zbiorze profili)

Pierwiastek	Stopień	1995	2000	2005	2010
Kadm	0-I	212 (98,1%)	211 (97,7%)	214 (99,1%)	213 (98,6%)
	II-V	4 (1,9%)	5 (2,3%)	2 (0,9%)	3 (1,4%)
Miedź	0-I	214 (99,1%)	214 (99,1%)	214 (99,1%)	214 (99,1%)
	II-V	2 (0,9%)	2 (0,9%)	2 (0,9%)	2 (0,9%)
Ołów	0-I	214 (99,1%)	213 (98,6%)	213 (98,6%)	213 (98,6%)
	II-V	2 (0,9%)	3 (1,4%)	3 (1,4%)	3 (1,4%)
Cynk	0-I	213 (98,6%)	212 (98,1%)	213 (98,6%)	213 (98,6%)
	II-V	3 (1,4%)	4 (1,9%)	3 (1,4%)	3 (1,4%)
Nikiel	0-I	214 (99,1%)	214 (99,1%)	215 (99,5%)	215 (99,5%)
	II-V	2 (0,9%)	2 (0,9%)	1 (0,5%)	1 (0,5%)

Źródło: Siebielec i in. 2012 (16)

Podsumowanie

Należy podkreślić, że sieć punktów badawczych wykorzystywanych w Monitoringu Chemizmu Gleb Ornych Polski zapewnia różnorodność i reprezentatywność naturalnych warunków glebowych, informuje o intensywności produkcji rolniczej oraz presji antropogenicznej na obszary użytkowane rolniczo. Ilość punktów pomiarowych oraz okres trwania Monitoringu (od 1995 r.) czynią go jednym z cenniejszych instrumentów monitorowania pokrywy glebowej w Europie.

W przypadku większości cech opisujących właściwości i jakość gleby, nie doszło od 1995 r. do drastycznych zmian w porównaniu ze stanem wyjściowym,

a zaobserwowane zmiany niektórych parametrów nie obniżyły w istotny sposób zdolności gleb do pełnienia ich funkcji. Nie zaobserwowano wyraźnych zmian odczynu gleb, jednak udział gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych jest znaczący i przekracza 50%. Wyniki badań w 2010 r. potwierdzają potrzebę wprowadzenia programów wapnowania. Zakwaszenie gleb wydaje się być istotniejszym zagrożeniem niż poziom potencjalnie toksycznych zanieczyszczeń.

W okresie trwania Monitoringu poziom zawartości węgla organicznego nie uległ zasadniczym zmianom w skali kraju. Przeważają (ponad 60% zbioru) profile o średniej zawartości próchnicy, przy czym w województwach pasa środkowego kraju notowane są niższe zawartości średnie. Wiele gleb wykazuje niską zasobność w przyswajalne formy składników nawozowych (fosfor, potas, magnez), co wynika z przyczyn naturalnych oraz stosowanego niskiego poziomu nawożenia. W roku 2010 zaobserwowano nieco niższe wartości wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami niż w poprzednich okresach. Trudno w tym przypadku mówić o wyraźnym procesie degradacji, obserwacja ta wskazuje jednak na potrzeby uzupełniania kationów zasadowych, szczególnie wapnia poprzez zabieg wapnowania. W 120 profilach (56% zbioru) w 2010 r. zmierzono niższe wartości wysycenia kompleksu zasadami niż w roku 1995. Zawartości siarki w glebach nie należy już rozpatrywać pod kątem zanieczyszczenia gleb, a raczej niedoborów pierwiastka. Zawartości siarki przyswajalnej w 94% profili jest niska, co w przypadku wrażliwych roślin może skutkować deficytami siarki. Niezależnie od zastosowanej metody klasyfikacji, gleby użytków rolnych nie są w większej skali zanieczyszczone metalami śladowymi i WWA a przekroczenia dopuszczalnych zawartości występowały w pojedynczych punktach. W przypadku metali takich jak kadm, cynk i ołów nadmierne zawartości występowały w miejscach historycznego oddziaływania przemysłu hutniczego cynku i ołowiu. W przypadku WWA brak było wyraźnej przestrzennej prawidłowości.

Literatura

1. Chaney R.L., Brown S., Stuczyński T., Daniels W.L., Henry C.L., Li Y.M., Siebielec G., Malik M., Angle J.S., Ryan J.A., Compton H.: Risk assessment and remediation of soils contaminated by mining and smelting of lead, zinc and cadmium. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 2000, **16(4)**: 175-192.
2. Desaules A., Ammann S., Schwab P.: Advances in long-term soil-pollution monitoring of Switzerland. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, 2010, **173**: 525-535.
3. Ensminger L.E.: Some factors affecting the adsorption of sulphates by Alabama soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 1954, **18**: 259-264.
4. Filipek T., Chwil S., Domańska J., Kaczor S., Kozłowska-Stawska J.: *Chemia rolna: podstawy teoretyczne i analityczne*, Wydawnictwo Akademii Rolniczej, 2006.
5. Havlíková Š., Klement V.: Monitoring of Agricultural Soils and Inputs into Soils in The Czech Republic. *J. Arch. Agron. Soil Sci.*, 2002, **48**: 161-169.
6. Kabata-Pendias A., Pendias H.: *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1999.
7. Klimkiewicz-Pawlas A.: Wpływ wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych na aktywność mikrobiologiczną gleb i na rośliny. Praca doktorska. IUNG, Puławy, 2005.

8. Klimkowicz-Pawlas A., Maliszewska-Kordybach B.: Effect of anthracene and pyrene on dehydrogenases activity in soils exposed and unexposed to PAHs. *Water Air Soil Poll.*, 2002, **145**: 169-186.
9. Kobza J.: Permanent soil monitoring system as a basic tool for protection of soils and sustainable land use in Slovakia. *Soil Change Matters 2014. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 25. (2015, 012011, <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/25/1/012011/pdf>)
10. Kozyra J., Siebielec G.: Stan środowiska przyrodniczego na obszarach wiejskich. W: Nurzyńska I., Poczta W. *Polska Wieś 2014. Raport o Stanie Wsi. Fundacja na rzecz Rozwoju Polskiego Rolnictwa*, Warszawa, 2014, s. 175-198.
11. Lityński T., Jurkowska H.: *Żywność gleby i odżywianie się roślin*. PWN Warszawa, 1982.
12. Lityński T., Jurkowska H., Gorlach E.: *Analiza chemiczno-rolnicza, Gleba i Nawozy*, PWN, Warszawa, 1976, s. 83-84.
13. Overman R.T., Clark H.M.: *Izotopy promieniotwórcze – metodyka stosowana*. WNT Warszawa, 1994.
14. Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z.: *Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin*, IOŚ Warszawa, 1991, s. 59-61.
15. *Polskie Towarzystwo Gleboznawcze: Klasyfikacja uziarnienia gleb PTG-2008. Roczn. Glebozn.*, 2008, **LX(2)**: 5-16.
16. Siebielec G., Smreczak B., Klimkowicz-Pawlas A., Maliszewska-Kordybach B., Terelak H., Koza P., Łysiak M., Gałązka R., Pecio M., Suszek B., Miturski T., Hryńczuk B.: *Monitoring chemizmu gleb ornych w Polsce w latach 2010-2012. Biblioteka Monitoringu Środowiska*. Warszawa, 2012, ss. 196.
17. Skłodowski P.: Rozmieszczenie siarki w profilach niektórych typów gleb Polski. *Roczn. Glebozn.*, 1968, **19(1)**: 99-119.

Adres do korespondencji:

dr Grzegorz Siebielec
Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
Tel 81 47 86 910
e-mail: gs@iung.pulawy.pl

Artur Łopatka

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

EUROPEJSKI MONITORING UŻYTKOWANIA GRUNTÓW
I BAZA DANYCH GLEBOWYCH LUCAS*

Słowa kluczowe: monitoring LUCAS, baza danych glebowych

Wstęp

W naukach przyrodniczych początkiem jakichkolwiek odkryć jest obserwacja. Badania rolnicze są wśród nich na pozycji uprzywilejowanej z powodu łatwości testowania hipotez na drodze przeprowadzania powtarzalnych eksperymentów. Wynika to z możliwości izolacji w szklarniowych badaniach wazonowych, czy nawet badaniach polowych czynników, które podejrzewa się o istotny wpływ na przebieg obserwowanego procesu od wszelkich pozostałych czynników. Badania takie podlegają jednak wielu ograniczeniom. Należy do nich zaliczyć trudności w analizach interakcji wielu czynników z powodu multiplikatywnego charakteru liczebności ich kombinacji. Kolejną trudnością są ograniczone możliwości testowania interakcji z działaniami antropogenicznymi. Badania tego typu nie dostarczają bowiem informacji o tym, jakie strategie działania podejmie rolnik w danych warunkach. Z tego powodu trudno jest badać doświadczalnie wszelkie zjawiska antropogenicznych przekształceń gleb takich jak przenawożenie i zakwaszenie czy też rzeczywiste zagęszczenie gleb w wyniku przejazdów ciężkiego sprzętu rolniczego. Do badań takich interakcji niezbędne są obserwacje i pomiary w terenie. Obserwacje takie prowadzone są od wielu lat w licznych ośrodkach badań rolniczych, ale mają one wiele wad. Pierwszą z nich jest ich ograniczona stosowalność wynikających z nich wniosków dla innych regionów badań, powodowana adaptacją rolników do lokalnych warunków środowiskowych i ekonomicznych. Próba pokonania tego ograniczenia na drodze zebrania wyników badań z obszarów kilku państw napotyka na trudności związane z różnicami w metodyce pomiarów, niewielkiej liczbie mierzonych parametrów

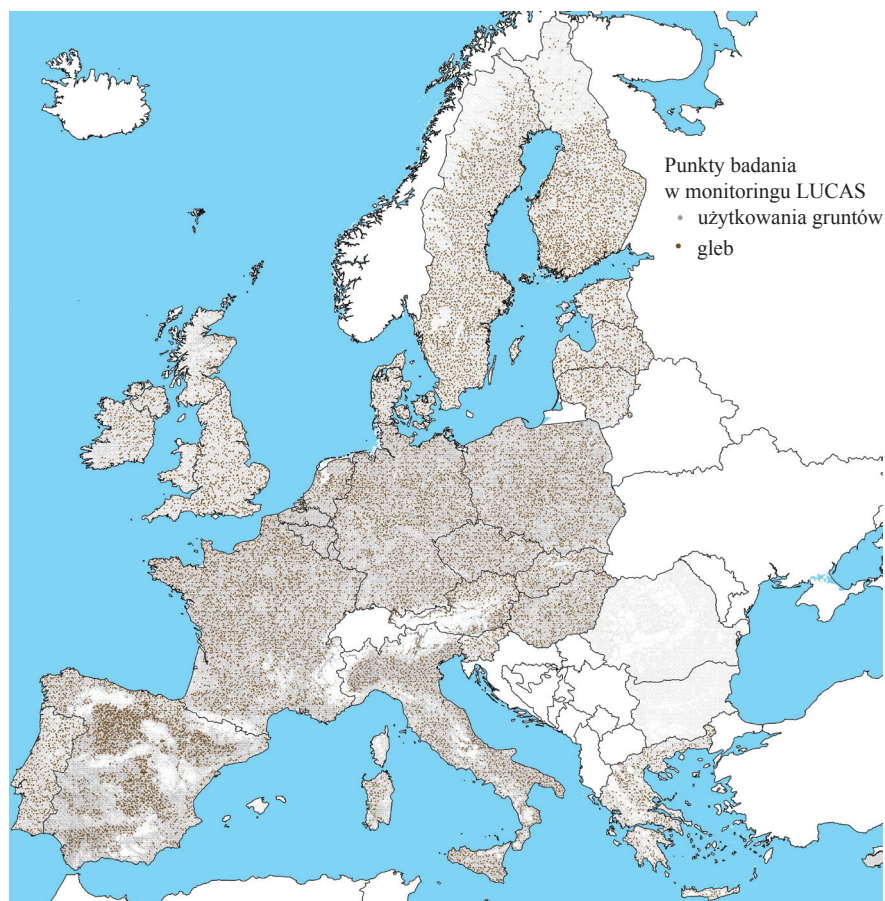
* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.9 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

wspólnych, nie wspominając już o kosztach tego typu międzynarodowych projektów integracyjnych. Optymalnym rozwiązaniem są w tym zakresie międzynarodowe programy monitoringu, w których poboru próbek dokonuje się tą samą metodyką, analizy wykonywane są w tym samym laboratorium, a wyniki udostępniane są wszystkim badaczom. Zapewniona przez dużą rozpiętości geograficzną zmienność warunków środowiskowych i ekonomicznych oraz łatwość weryfikacji analiz przez innych badaczy powoduje, że małe jest ryzyko akceptacji hipotez fałszywych. Wydaje się, że to właśnie możliwość obserwacji zmienności gleb na olbrzymim obszarze carskiej Rosji doprowadziła w 1879 roku Wasilija Dokuczajewa do rewolucyjnej na owe czasy koncepcji klimatu jako czynnika glebotwórczego (12). Wielkozasięgowe, ogólnodostępne pomiary monitoringowe, poza ich olbrzymią wartością naukową, wyzwalają też efekty synergii w środowisku pracujących nad tymi samymi zagadnieniami badaczy, tak jak ma to miejsce od kilkudziesięciu lat w dziedzinie teledetekcji środowiska za sprawą nieodpłatnego udostępniania zdjęć satelitarnych z satelity Landsat. Z tego powodu podjęta w 2009 inicjatywa Komisji Europejskiej aby rozszerzyć rozpoczęty 2006 roku na obszarze Unii Europejskiej okresowy monitoring użytkowania gruntów LUCAS (ang. *Land Use/Land Cover Area Frame Survey*) o analizę właściwości gleb w tych samych punktach jest jednym z najbardziej obiecujących naukowo przedsięwzięć w dziedzinie gleboznawstwa ostatnich lat.

Metodyka monitoringu i bazy gleb LUCAS

Monitoring użytkowania gruntów i pokrycia terenu LUCAS (2) rozpoczął się w 2006 roku i jest powtarzany okresowo co trzy lata (dotychczas 2006, 2009, 2012 i 2015). Zasięg badań obejmuje każdorazowo aktualny obszar Unii Europejskiej (UE) co sprawia że ilość powtórzeń badań w poszczególnych krajach jest różna. W 2015 roku po raz pierwszy monitoring objął Chorwację. Większość krajów (oprócz Bułgarii i Rumunii) była objęta monitoringiem więcej niż trzy razy. W każdej turze monitoringu badania wykonywane są w około 270 tys. tych samych lokalizacji (Rys. 1) przeważnie w okresie od kwietnia do września.

Badania terenowe obejmują między innymi określenie wokół wyznaczonych punktowych lokalizacji, w kole o promieniu 1,5 m, pokrycia terenu (ang. *land cover*) przez rośliny oraz sposobu użytkowania terenu (ang. *land use*) w sensie społeczno-ekonomicznym. W przypadku zbiorowisk roślinnych takich jak las lub sad, klasyfikacja jest dokonywana w tzw. rozszerzonym oknie obserwacji, tzn. w kole o promieniu 20 m. Klasyfikacja pokrycia terenu (1) dokonywana jest na trzech poziomach generalizacji (Tab. 1).



Rys. 1. Lokalizacje punktów monitoringu LUCAS na obszarze UE (bez Chorwacji)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych EUROSTAT (2)

Tabela 1

Kody i klasyfikacja pokrycia terenu LUCAS zredukowana do jednostek pozostających
w obszarze zainteresowania badań rolniczych

A00 obszary zurbanizowane		
B00 uprawy rolnicze	B10 zboża	B11 pszenica zwyczajna
		B12 pszenica twarda
		B13 jęczmień
		B14 żyto
		B15 owies
		B16 kukurydza
		B17 ryż
		B18 pszenżyto
		B19 pozostałe zboża
	B20 okopowe	B21 ziemniak
		B22 burak cukrowy
		B23 pozostałe okopowe
	B30 przemysłowe nie-wieloletnie	B31 słonecznik
		B32 rzepak i rzepik
		B33 soja
		B34 bawełna
		B35 pozostałe przemysł.
	B40 strączkowe jadalne, warzywa i kwiaty	B41 strączkowe jadalne
		B42 pomidory
		B43 inne warzywa
		B44 kwiaty i rośliny ozd. obne
		B45 truskawki
	B50 pastewne	B51 koniczyny
		B52 lucerna
		B53 pozostałe motylkowate i mieszanki pastewne
		B54 trawy na GO
	B70 wieloletnie – drzewa owocowe	B71 jabłonie
		B72 grusze
		B73 wiśnie
		B74 orzechy
		B75 inne drzewa owocowe i jagody
		B76 pomarańcze
B77 pozostałe cytrusy		
B80 pozostałe wieloletnie	B81 gaje oliwne	
	B82 winnice	
	B83 szkółki	
	B84 wieloletnie rośliny przemysłowe	
C00 lasy		
D00 zarośla		
E00 obszary trawiaste	E10 trawiaste z rzadkimi drzewami/krzewami	
	E20 trawiaste bez drzew/krzewów	
	E30 spontanicznie zarośnięte	
F00 obszary pozbawione wegetacji	...	
	F40 pozostałe gleby odkryte (w tym ugory)	
G00 wody		
H00 mokradła		

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych EUROSTAT (2)

Z kolei klasyfikacja użytkowania terenu dokonywana jest na dwóch poziomach generalizacji (Tab. 2).

Tabela 2

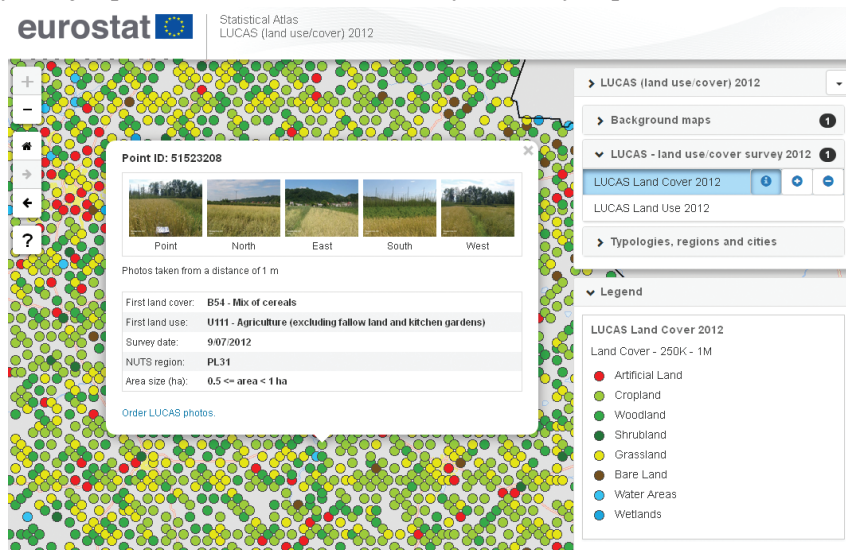
Kody i klasyfikacja użytkowania terenu LUCAS zredukowana do jednostek pozostających w obszarze zainteresowania badań rolniczych.

U110 rolnictwo	U111 rolnictwo (z wyłączeniem odłogów, ugorów i ogródków działkowych)
	U112 odłogi i ugory
	U113 ogródki działkowe
U120 leśnictwo	
U130 rybactwo i wędkarstwo	
U140 kopalnie	
U210 produkcja energii	
U220 przemysł i przetwórstwo	
U310 transport i komunikacja	
U320 obiekty wodne i składowiska odpadów	
U330 budowy	
U340 usługi i finanse	
U350 obiekty użyteczności publicznej	
U360 sport i rekreacja	
U370 mieszkania	
U400 nie użytkowane	

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych EUROSTAT (2)

Rozdzielenie klasyfikacji na dwie osobne – pokrycia terenu i użytkowania terenu – sprawia, że nie występuje przykładowo problem klasyfikacji pszenicy rosnącej na pasie rozdzielającym drogę szybkiego ruchu jak i zakrzaczeń na polu gospodarstwa rolnego będących efektem sukcesji lasu. Rozróżnienie to jest wyróżnikiem monitoringu LUCAS i znacznie ułatwia interpretację zastosowanej klasyfikacji. Efektem tego rozróżnienia jest chociażby możliwość stosowania monitoringu LUCAS do weryfikacji wyników interpretacji zdjęć satelitarnych.

W trakcie badań terenowych wykonywano także zdjęcia w czterech kierunkach – północ, południe, wschód i zachód (Rys. 2), co umożliwiła kontrolę poprawności klasyfikacji i prawidłowości dotarcia do wyznaczonych punktów.



Rys. 2. Przykładowe zdjęcia wykonywane w trakcie monitoringu LUCAS (obszar pomiędzy Puławami a Kazimierzem Dolnym) w ogólnodostępnej przeglądarce wyników monitoringu

Źródło: strona EUROSTAT <http://ec.europa.eu/eurostat/web/lucas/lucas-photo-viewer>

W roku 2009 próbki glebowe o masie 0,5 kg pobrano z wierzchniej warstwy gleb (0-20 cm) dla około jednej dziesiątej punktów objętych monitoringiem użytkowania - ich łączna liczba na obszarze 23 państw członkowskich UE wynosiła 19967 z czego w Polsce pobrano 1648 próbek. Na obszarze Bułgarii i Rumunii (664 i 1427) próbki pobrano w roku 2012 jednak wyniki ich analiz nie są jeszcze dostępne. Próbka składała się z pięciu zmieszanych ze sobą sub-próbek pobranych z punktów na planie krzyża odległych od jego środka o 2m. Wszystkie analizy wykonano powszechnie akceptowanymi metodami (Tab.3) w jednym centralnym certyfikowanym laboratorium (15, 16).

Tabela 3

Metodyka oznaczeń właściwości gleb LUCAS oraz formaty danych w bazie

Parametr	Jednostka	Liczba miejsc dziesiętnych	Metoda / Standard
części szkieletowe 2mm	%	0	ISO 11464. 2006
frakcje ziemiste <2 mm (frakcje piasku, pyłu i iltu)	%	0	ISO 11277. 1998
pH (CaCl ₂)	-	2	ISO 10390. 1994
pH (H ₂ O)	-	2	ISO 10390. 1994
węgiel organiczny	g/kg	1	ISO 10694. 1995
zawartość węglanów CaCO ₃	g/kg	0	ISO 10693. 1994
zawartość fosforu P	mg/kg	1	ISO 11263. 1994
zawartość azotu ogólnego N	g/kg	0	ISO 11261. 1995
zawartość potasu ekstrahowalnego P	mg/kg	1	USDA, 2004
pojemność wymiany kationów	cmol(+)/kg	1	ISO 11260. 1994
charakterystyki multispektralne			FOSS Manual, 2009

Źródło: Tóth i in., 2013 (16)

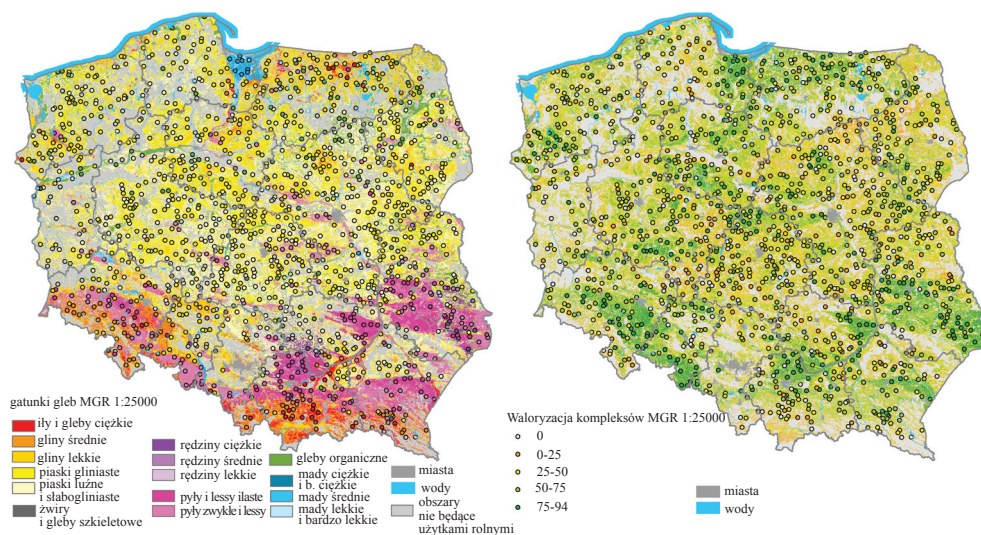
W próbkach oznaczono zawartości frakcji cząstek szkieletowych (>2 mm), frakcji piasku, pyłu i iltu oraz zawartości węgla organicznego, N ogólnego, ekstrahowalnych P i K, węglanów, pojemności wymiany kationów oraz pH (oznaczone w H₂O i CaCl₂). Dokonano także pomiarów ciągłego spektrum reflektancji wszystkich próbek glebowych w przedziale od 400 to 2500 nm z rozdzielczością spektralną 0,5 nm. Oznaczono ponadto zawartości następujących pierwiastków: Ag, Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, V, Zn jednak wyniki te dotychczas nie są dostępne. Dane dotyczące wszystkich pozostałych pomiarów parametrów gleb LUCAS są od roku 2013 udostępniane nieodpłatnie po wypełnieniu krótkiego formularza na stronach Joint Research Centre JRC (5).

Badania wykorzystujące bazę gleb LUCAS

Celem bazy danych o glebach LUCAS jest dostarczanie aktualnych danych dotyczących użytkowania gruntów oraz zmienności przestrzennej gleb na potrzeby oceny zmian w środowisku, aktualizacji map glebowych w UE, walidacji modeli czy też pomiaru ilości węgla retencjonowanego w glebach. Pomimo tak szerokich zastosowań analizy naukowe wykorzystujące bazę danych glebowych LUCAS są dotychczas nieliczne i ograniczają się głównie do autorów z JRC. Wśród tych prac znajdują się oszacowania ilości węgla organicznego w glebach (8, 11, 7), analizy zawartości fosforu w glebach (14) oraz oceny podatności gleb na erozję (9). W Polsce baza danych o glebach LUCAS była dotychczas wykorzystywana jedynie do analiz zawartości materii organicznej gleb (3, 6).

Reprezentatywność bazy gleb LUCAS w warunkach Polski

Próbie oceny reprezentatywności glebowej części monitoringu LUCAS na obszarze Polski podjęto w oparciu o odczyt własności gleb z cyfrowej Mapy Glebowo Rolniczej (MGR) w skali 1:25000 (17) w 1647 lokalizacjach poboru próbek gleb LUCAS (Rys. 3).



Rys. 3. Lokalizacje próbek glebowych LUCAS na tle zmienności gleb MGR

Źródło: opracowanie własne

Analiza polegała na sprawdzeniu czy liczebności punktów monitoringu LUCAS na poszczególnych gatunkach oraz kompleksach gleb odpowiadają ich udziałom w powierzchni UR (tab. 4 i 5).

Tabela 4

Zestawienie liczebności punktów glebowych LUCAS na powierzchni kompleksów MGR i ich udziałów w UR

Kompleks przydatności gleb MGR	Powierzchnia MGR (ha)	Udział w pow. UR (%)	Liczba punktów LUCAS	Udział punktów LUCAS w pow. UR (%)
1	559816	2,9	48	3,6
2	2954007	15,3	204	15,4
3	670303	3,5	35	2,6
4	2247990	11,7	177	13,4
5	2432203	12,6	188	14,2
6	2754077	14,3	202	15,3
7	1618899	8,4	115	8,7
8	844987	4,4	63	4,8
9	546417	2,8	30	2,3
10	261463	1,4	17	1,3
11	265712	1,4	19	1,4
12	154342	0,8	11	0,8
13	60729	0,3	4	0,3
14	22728	0,1	0	0
1z	67603	0,4	3	0,2
2z	2428070	12,6	141	10,7
3z	1360150	7,1	66	5
UR razem	19249496	100	1323	100

Źródło: opracowanie własne

Tabela 5

Zestawienie liczebności punktów glebowych LUCAS na powierzchni gatunków gleb MGR i ich udziałów w UR

Gatunek gleby MGR	Powierzchnia MGR (ha)	Udział w pow. UR (%)	Liczba punktów LUCAS	Udział punktów LUCAS w pow. UR (%)
pl	1708977	7,38	109	7,52
plp	3987	0,02	1	0,07
ps	4556813	19,68	270	18,62
psp	188545	0,81	15	1,03
pgl	3614300	15,61	253	17,45
pglp	725644	3,13	46	3,17
pgm	1737370	7,50	121	8,34
pgmp	684523	2,96	54	3,72
gl	1182657	5,11	75	5,17
glp	871498	3,76	56	3,86
gs	269733	1,17	17	1,17
gsp	912353	3,94	52	3,59
gc	137895	0,60	8	0,55
gcp	194653	0,84	9	0,62
plz	1345244	5,81	86	5,93
pli	529969	2,29	32	2,21
i	75912	0,33	3	0,21
ip	157932	0,68	11	0,76
l (less)	1022626	4,42	62	4,28
li	667006	2,88	43	2,97
mady - bl	15872	0,07	1	0,07
mady -l	42568	0,18	2	0,14
mady - s	78635	0,34	3	0,21
mady - c	109572	0,47	7	0,48
mady - bc	44576	0,19	2	0,14
redziny - l	52689	0,23	7	0,48
redziny - s	102466	0,44	4	0,28
redziny - c	164547	0,71	12	0,83
zwiry i gl szkieletowe	36345	0,16	2	0,14
gl. organiczne	1916562	8,28	87	6
UR razem	19249496	100	1450	100

Źródło: opracowanie własne

Analiza Tab. 4 i 5 pokazuje, że monitoring LUCAS dobrze reprezentuje powierzchnie zarówno poszczególnych gatunków gleb jak i kompleksów przydatności rolniczej. Słabo reprezentowane są, jak należało się spodziewać, jednostki zajmujące bardzo małe powierzchnie (poniżej 1% UR), takie jak kompleksy 14 i 1z, ility, gliny ciężkie pylaste oraz poszczególne gatunki rędzin i mad. Ponadto niedostatecznie reprezentowane są gleby organiczne – prawdopodobnie z uwagi na trudność dotarcia do lokalizacji na ich terenie.

Przegląd danych glebowych LUCAS dla obszaru Polski

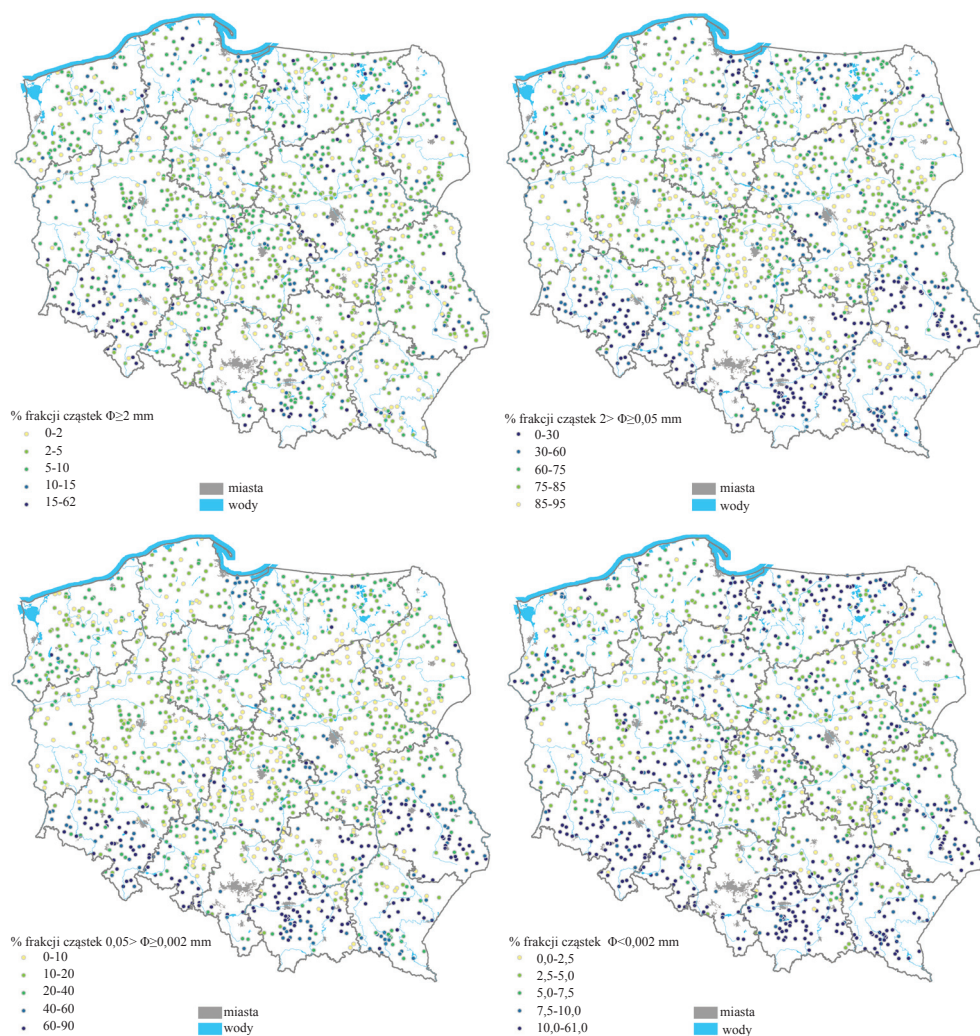
Na obszarze Polski znajduje się 1647 lokalizacji w których oznaczono parametry gleb w bazie LUCAS z czego około 1490 znajduje się na obszarze UR. W dalszych analizach ograniczono się tylko do 1488 punktów poboru gleb LUCAS dla których frakcje piasku, pyłu i iltu sumują się do 100% oraz w latach 2006, 2009 i 2012 określono pokrycie terenu i jego użytkowanie. Przeglądu danych glebowych dokonano bez różnicowania użytkowania terenu – są więc na poniższych mapkach zobrazowane oprócz gleb UR także gleby lasów i terenów zurbanizowanych. Na Rys. 4 przedstawiono zróżnicowanie uziarnienia w podziale na 4 frakcje: części szkieletowych o średnicach cząstek powyżej 2 mm, piasku 2-0,05 mm, pyłu 0,05-0,002 mm i iltu poniżej 0,002 mm. Występowanie frakcji szkieletowych nie ogranicza się do terenów górskich i wykazuje podobieństwo do rozkładu przestrzennego gleb o wysokiej zawartości frakcji iltu. Frakcje drobnoziarniste pyłu i iltu są tak jak należało oczekiwać skorelowane z występowaniem gleb o wysokiej waloryzacji (Rys. 3, Tab. 6).

Tabela 6

Parametry grup gleb bazy LUCAS

	pH H ₂ O	CaCO ₃	N	P	K	CEC	OM	waloryzacja kompleksów	n
piaski luźne	5,1±0,9	2,2±11	0,9±1,1	35±23	38±29	4,4±9,2	2,2±2,3	26±13	90
piaski słaboglin.	5,1±0,8	0,4±0,6	1,1±0,6	44±27	47±31	4,1±3,2	2,4±1,6	30±14	150
piaski gliniaste	5,6±1,0	1,3±4,1	1,4±1,3	43±26	78±75	6,2±6,4	2,8±3,4	42±18	352
gliny	6,1±1,0	7±35	1,9±1,8	36±29	127±115	10,7±10,1	3,5±4,1	59±19	640
ility	6,8±0,9	56±88	3,9±2,8	39±35	349±215	32,5±13,9	6,9±4,6	69±14	14
pyły glin. i ilaste	6,1±1,0	4±13	1,6±1,2	38±26	158±90	10,5±7,5	2,8±2,6	70±18	196
pyły zwykłe	5,9±0,8	1,6±4,2	1,2±0,2	26±19	104±44	6,9±2,6	1,9±0,4	76±17	25
organiczne	5,5±0,8	5±11	25,2±6,8	21±15	157±150	103±53	63±10	48±12	21

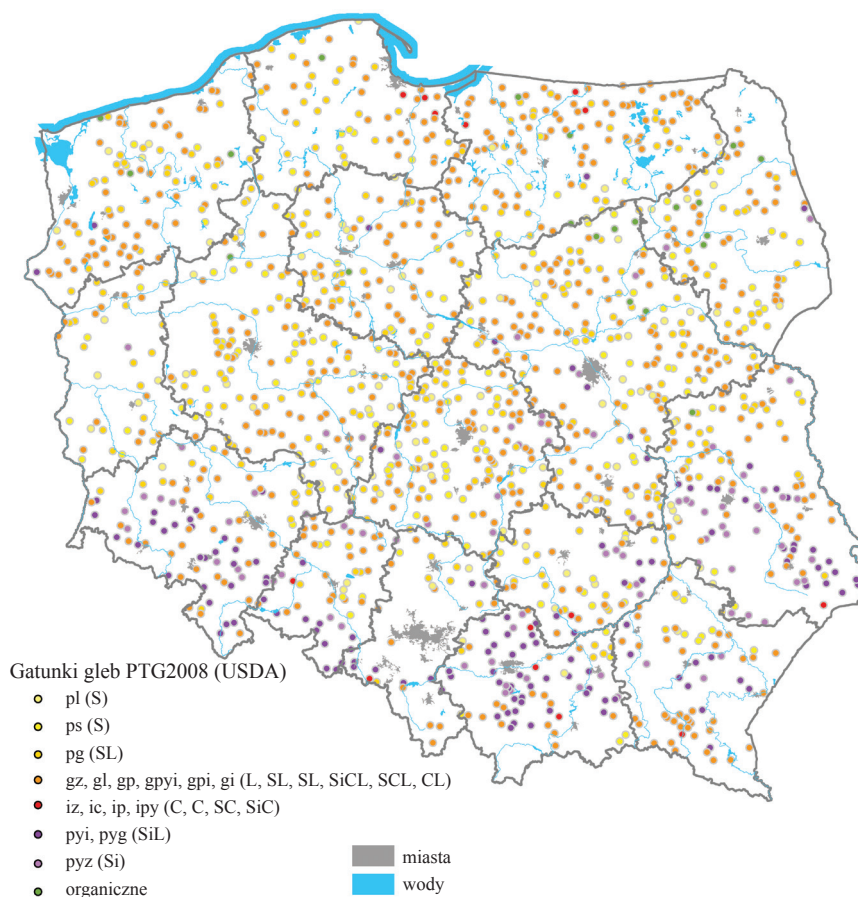
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych JRC (5)



Rys. 4. Przestrzenna zmienność frakcji uziarnienia gleb bazy LUCAS w Polsce

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych JRC (5)

W oparciu o zawartość powyższych frakcji dokonano klasyfikacji gleb do dwu niemal identycznych systemów klasyfikacji gatunków glebowych – podziału USDA i podziału Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego z roku 2008 (10). Dla grup gatunków gleb z obu wspomnianych klasyfikacji obliczono wartości średnie i odchylenia standardowe pozostałych mierzonych w bazie LUCAS parametrów glebowych i waloryzacji kompleksów gleb (17) odczytanych z MGR (Tab. 6). Wyniki klasyfikacji zobrazowano na mapie (Rys. 5).



Rys. 5. Gatunki gleb bazy LUCAS wg klasyfikacji USDA i PTG2008.

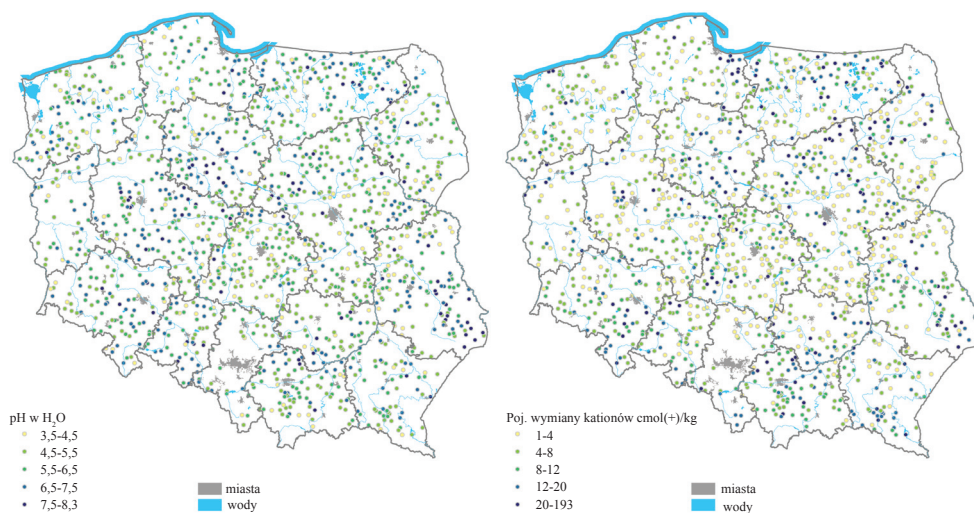
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych JRC (5)

Na kolejnych mapkach zobrazowano przestrzenne zróżnicowanie zawartości próchnicy (Rys. 6) oraz odczynu gleb i pojemności wymiany kationów (Rys. 7). Zawartość próchnicy wydaje się nie wykazywać znaczących tendencji przestrzennych, jednak analiza średnich poziomów próchnicy w poszczególnych grupach gleb potwierdza jej wyraźne powiązanie z występowaniem gleb cięższych (13); (Tab. 6). W następnym rozdziale pokazany zostanie związek zawartości próchnicy w glebach z roślinnością.



Rys. 6. Zawartość próchnicy gleb LUCAS w Polsce

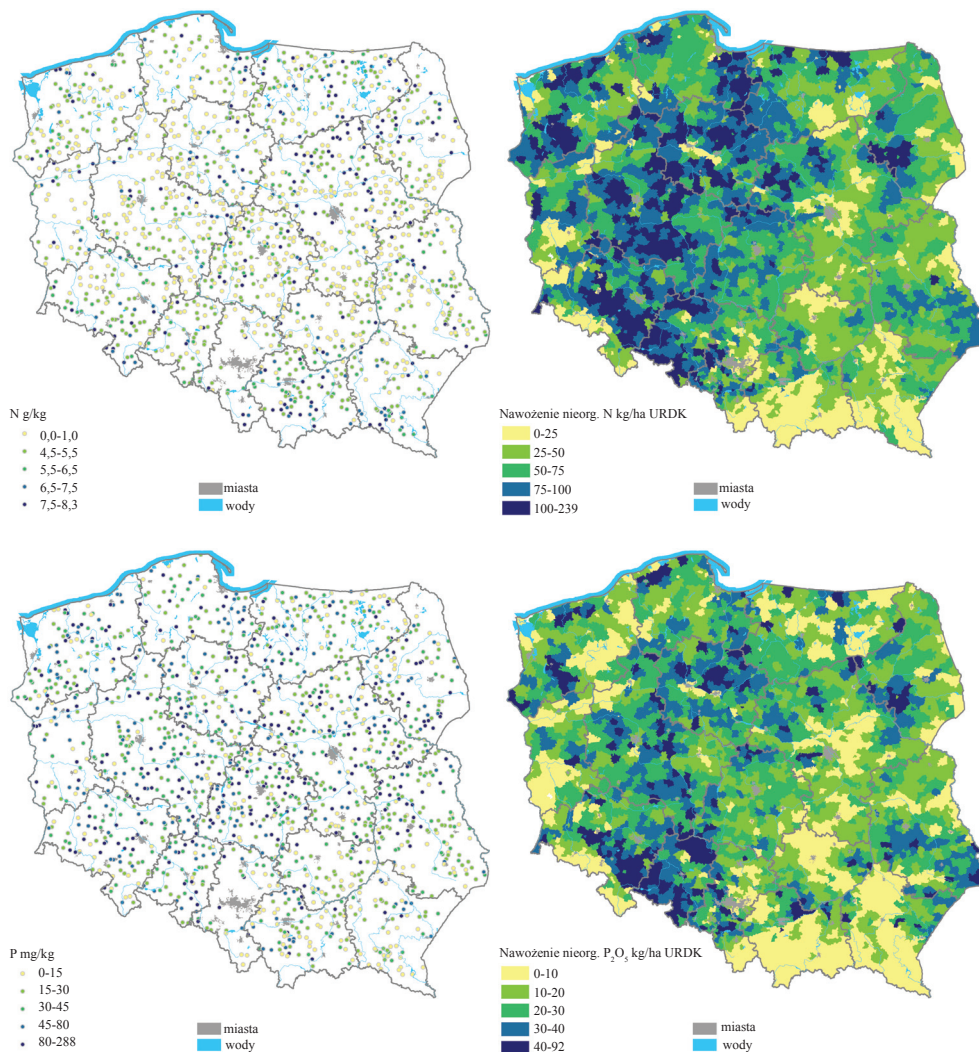
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych JRC (5)

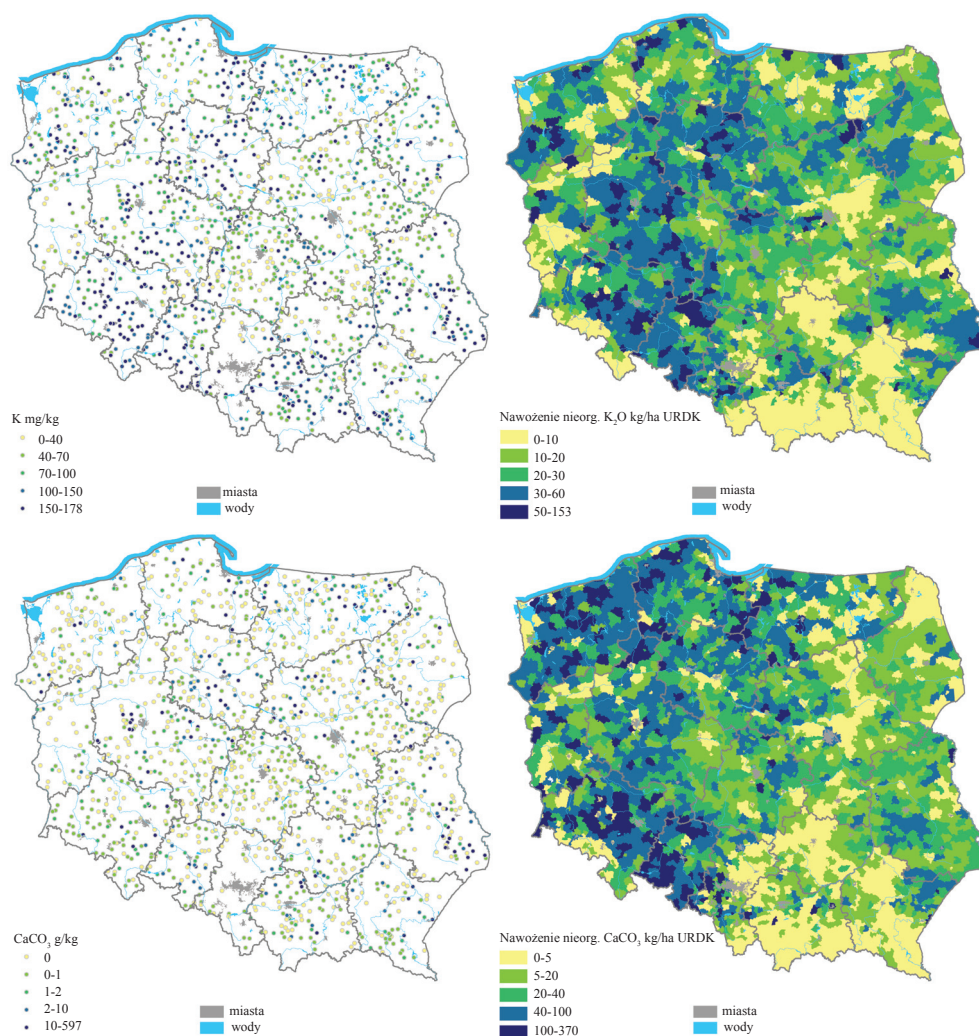


Rys. 7. Odczyn pH i pojemność wymiany kationów gleb LUCAS w Polsce

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych JRC (5)

Z uwagi na zainteresowanie eutrofizacją wód w Polsce kolejne dane LUCAS dotyczące zawartości azotu ogólnego (N), fosforu (P), potasu (K) oraz zawartości węglanów CaCO_3 w glebach zestawiono z danymi dotyczącymi poziomu nawożenia nieorganicznego (4) (Rys.8). Jak widać dla N i P i węglanów brak jest jawnego przestrzennego powiązania pomiędzy poziomem nawożenia i zawartością tych pierwiastków w glebie. Oczywiście temat ten wymaga staranniejszych analiz uwzględniających bilanse tych składników.



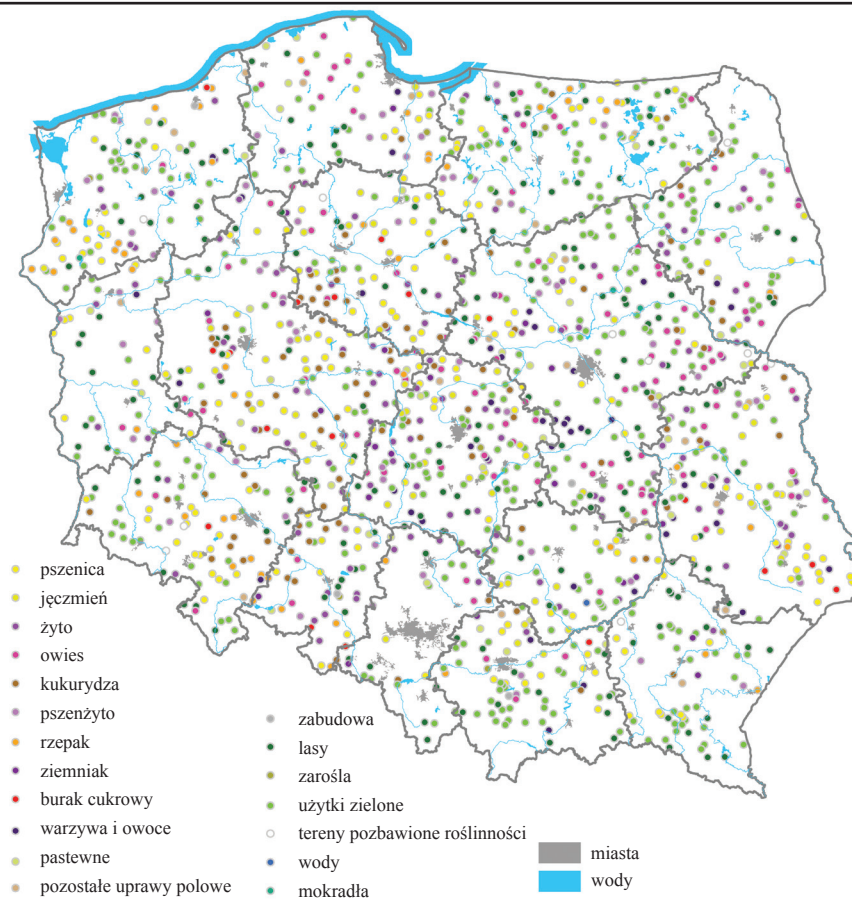


Rys. 8. Zawartość N, P, K i CaCO₃ dla gleb LUCAS w Polsce w zestawieniu z poziomem nawożenia nieorganicznego (mineralnego)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych JRC (5) i GUS (4)

Związki gleb z uprawami na obszarze Polski na podstawie danych LUCAS

Związki parametrów gleb uwzględnionych w bazie monitoringu LUCAS z roślinami uprawnymi przeanalizowano dla trzech tur monitoringu LUCAS (lata 2006, 2009 i 2012) łącznie. Rozmieszczenie upraw w punktach monitoringu LUCAS w 2012 roku przedstawiono na mapce (Rys. 9). Podobnie jak w przypadku grup gatunków gleb dokonano zestawień średnich wartości parametrów glebowych dla poszczególnych upraw (Tab. 7).



Rys. 9. Rośliny uprawiane w 2012 w punktach poboru gleb LUCAS w Polsce

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych JRC (5)

Tabela 7

Parametry gleb dla wybranych upraw w punktach poboru gleb LUCAS

Uprawa	pył+2*il koloidalny	pH H ₂ O	N	P	K	CEC	OM	walor	n	%n dla UR
pszenica	64±33	6,3±1	1,4±0,6	42±27	161±117	9,8±7	2,3±1,2	69±17	491	12,9
jęczmień	51±31	6,2±0,9	1,3±0,8	40±24	128±98	7,8±5,6	2,2±1,6	61±20	365	9,6
pszenżyto	41±25	5,8±0,8	1,2±0,7	41±23	96±63	6,7±5,3	2,1±1,5	51±21	277	7,3
żyto	35±25	5,5±0,9	1,2±1,6	42±25	85±70	5,6±7,9	2,1±3,4	44±21	371	9,7
owies	43±28	5,6±1	1,2±0,6	38±25	91±70	6,1±5,3	2,1±1,2	50±21	268	7,0
kukurydza	48±29	6±0,9	1,5±2,4	51±27	136±96	9±12	2,7±5,4	58±20	175	4,6
ziemniak	54±33	5,6±1	1,4±0,9	44±28	113±73	7,9±5,5	2,5±2,1	56±22	100	2,6
burak cukrowy	68±36	6,7±0,9	1,4±0,4	52±32	218±157	10,2±6,5	2,2±0,8	73±16	54	1,4
rzepak	65±34	6,4±0,9	1,3±0,6	46±24	174±106	8,8±6,6	2,3±1,3	68±16	143	3,8
strączkowe jadalne	68±36	6,1±1,1	1,3±0,7	38±31	134±121	9±8,2	2,2±1,3	65±21	19	0,5
warzywa	62±31	6,1±1,2	2±2	67±38	193±151	13,8±15,4	3,8±4,3	67±19	29	0,8
owoce	57±31	5,8±0,9	1,1±0,4	34±18	105±65	7±4,4	1,9±0,7	61±22	76	2,0
pastewne	46±30	5,9±1	1,6±2,8	37±22	122±121	9,3±13	2,9±6	55±22	117	3,1
użytki zielone	47±34	5,8±0,9	3,2±5,2	32±30	91±94	15,4±24,9	6,6±12,3	46±20	1286	33,7
UR	49±32	5,9±1	1,9±3,3	39±27	113±97	10,3±15,7	3,7±7,6	51±24	3813	100

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych JRC (5)

Zestawione dane pokazują, jak należało oczekiwać, większą zawartość próchnicy w glebach użytków zielonych, ale także, co nieco zaskakujące, większą od średniej zawartość dla upraw takich jak warzywa i kukurydza. Uprawy o wysokich wymaganiach glebowych takie jak warzywa, burak cukrowy, rzepak czy pszenica są, zgodnie z oczekiwaniami, zlokalizowane na glebach o wysokiej waloryzacji oraz o większych od średnich zawartościach frakcji drobnoziarnistych (mierzonych wskaźnikiem frakcja pyłu + 2* frakcja iłu), większym pH gleby i większej zawartości potasu K.

Podsumowanie

- 1) Baza danych o glebach LUCAS jest największą ogólnie dostępną bazą danych dotyczących gleb zarówno w Polsce (1647 punktów) jak i w Europie (19967).
- 2) Wszystkie analizy parametrów gleb (zawartości frakcji cząstek szkieletowych, piasku, pyłu i iłu oraz zawartości węgla organicznego, N ogólnego, ekstrahowalnych P i K, węglanów, pojemności wymiany kationów oraz pH) wykonano powszechnie akceptowalnymi metodami w jednym laboratorium.
- 3) Dane glebowe pobrano w tych samych punktach, w których co 3 lata monitorowane jest pokrycie i użytkowanie terenu, co pozwala na różnorakie analizy związków pokryw glebowej z uprawami rolniczymi.
- 4) Dane glebowe są w sensie pokrycia przestrzeni reprezentatywne dla gleb Polski.
- 5) Dotychczasowe wykorzystanie naukowe bazy gleb LUCAS jest niewielkie.

Literatura

1. EUROSTAT : LUCAS 2012 Land Use / Cover Area frame statistical Survey, Technical Reference Document: C-3 Land use and Land Cover Classification (revised): 79.
2. EUROSTAT: strona www projektu LUCAS: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/lucas>.
3. Faber A., Jarosz Z., Łopatka A., Siebielec G.: Ocena zmian zawartości węgla organicznego w glebach na podstawie danych monitoringu chemizmu gleb ornych w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2015, **46(20)**: 9-20.
4. GUS: strona www bazy danych PSR 2010: <https://bdl.stat.gov.pl/BDL/dane/podgrup/temat>.
5. JRC: strona www bazy danych glebowych LUCAS: <http://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/lucas-2009-topsoil-data>.
6. Łopatka A.: Związek pomiędzy zawartością glebowej materii organicznej na gruntach ornych a strukturą upraw i obsadą zwierząt ustalony w oparciu o dane monitoringu LUCAS, *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2015, **46(20)**: 21-43.
7. Nocita, M, Stevens, A., Toth, G., Panagos, P., van Wesemael, B., Montanarella, L.: Prediction of soil organic carbon content by diffuse reflectance spectroscopy using a local partial least square regression approach. *Soil Biology and Biochemistry*, 2013, **68**: 337-347, DOI: 10.1016/j.soilbio.2013.10.022.
8. Panagos P., Ballabio, C., Yigini, Y., Dunbar M. : Estimating the soil organic carbon content for European NUTS2 regions based on LUCAS data collection, *Sci. Total Environ.*, 2013, **442**: 235–246.

-
9. Panagos, P., Meusburger, K., Alewell, C., Montanarella, L.: Soil erodibility estimation using LUCAS point survey data of Europe, *Environmental Modelling & Software*, 2012, **30**: 143-145, doi:10.1016/j.envsoft.2011.11.002.
 10. PTG: Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych, 2008: 10.
 11. Stevens, A., Nocita, M., Toth, G., Montanarella, L., Van Wesemael, B.: Prediction of Soil Organic Carbon at the European Scale by Visible and Near InfraRed Reflectance Spectroscopy. *PLoS ONE*, 2013, **8(6)**: e66409.
 12. Strzemiński M.: Myśli przewodnie systematyki gleb. PWRiL Warszawa, 1971, ss. 580.
 13. Stuczyński T., Kozyra J., Łopatka A., Siebielec G., Jadczyński J., Koza P., Doroszewski A., Wawer R., Nowocień E.; Przyrodnicze uwarunkowania produkcji rolniczej w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2007, **7**: 77-115.
 14. Tóth G., Guicharnaud R.A., Tóth B., Hermann T.: Phosphorus levels in croplands of the European Union with implications for P fertilizer use. *Eur. J. Agron.*, 2014, **55**: 42-52, <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2013.12.008>.
 15. Tóth G., Jones A., Montanarella L.: The LUCAS topsoil database and derived information on the regional variability of cropland topsoil properties in the European Union. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2013, **185(9)**: 7409-7425.
 16. Tóth G., Jones A., Montanarella L. (eds.): LUCAS Topsoil Survey. Methodology, data and results. JRC Technical Reports. Luxembourg. Publications Office of the European Union, Scientific and Technical Research series, 2013, EUR26102, ISSN 1831-9424 (online); doi: 10.2788/97922.
 17. Wittek T.: Mapy glebowo-rolnicze oraz kierunki ich wykorzystania. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, 1973.
-

Adres do korespondencji:

mgr Artur Łopatka
Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów
IUNG-PIB, Puławy
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. 81 4786 781
email: artur@iung.pulawy.pl

Jacek Niedźwiecki, Guillaume Debaene, Monika Kowalik

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

**SPEKTRALNA BIBLIOTEKA GLEB UŻYTKÓW ROLNYCH W POLSCE –
PODSTAWOWE ZAŁOŻENIA***

Słowa kluczowe: spektralna biblioteka gleb, chemometria, spektroskopia VIS-NIR,
modele cząstkowe najmniejszych kwadratów (PLS)

Wstęp

Informacje o pokrywie glebowej świata zbierane są od dziesięcioleci przez naukowców oraz służby krajowe na różnych poziomach administracji. Szerokie możliwości ich wykorzystania w znacznym stopniu ograniczone są znacznym zróżnicowaniem w standardach, metodach analiz, definicjach oraz metodach kartowania map glebowych. Jednym z pomysłów na zgromadzenie w jednym miejscu danych spektralnych gleb na poziomie światowym jest utworzenie Globalnej Bazy Danych Spektralnych (ang. *Global Soil Spectral Library (GSSL)*). Taka baza tworzona jest od 2008. Początkowo w formie wolontariatu naukowców z 8 krajów reprezentujących Europę, Azję, Afrykę, Australię, Północną i Południową Amerykę, dziś jest to projekt naukowy wspierany różnymi źródłami finansowania (16, 7). Baza ta zawiera informacje spektralne o glebach z ponad 90 krajów świata dotyczące właściwości takich jak: zawartość żelaza, pojemność sorpcyjna, pH, tekstura, zawartość materii organicznej. Wykorzystanie spektralnej bazy danych w zakresie bliskiej podczerwieni oraz światła widzialnego przyczynia się do rozwoju spektroskopii gleb i stworzeniu nowoczesnych narzędzi badawczych (algorytmów) służących modelowaniu, monitorowaniu i mapowaniu różnych właściwości gleb (3, 5, 18, 9, 10, 12). Obszerna baza danych próbek glebowych wraz z ich georeferencjami, która jest w posiadaniu IUNG-PIB, została wykorzystana przy tworzeniu Spektralnej Biblioteki Gleb Polski (SBGP). Biblioteka jest rozbudowywana o nowe dane, które

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.2 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

są stale dostarczane w wyniku prac badawczych w IUNG-PIB. Działania te wpisują się w najnowsze trendy zastosowania metod chemometrycznych w modelowaniu, monitorowaniu i mapowaniu właściwości gleb.

Spektroskopia bliskiej podczerwieni (ang. *NIRS*) jest niedestrukcyjną analityczną techniką badania interakcji pomiędzy światłem odbitym bądź pochłoniętym przez materiał a powierzchnią materiału. Technika ta jest szeroko wykorzystywana w przemyśle dzięki łatwości zastosowania, szybkości i braku konieczności skomplikowanego przygotowania próbek. Została ona po raz pierwszy użyta ponad trzy dekady temu i wykorzystana do szybkiej analizy wilgotności zboża (2). Jest ona stosowana nadal w szeregu analiz materiału roślinnego (1). Badania przy zastosowaniu techniki NIRS do analizy gleby stosowane są od niedawna. Niemniej jednak poddane już zostały analizie wybrane właściwości gleby jak np. wilgotność, węgiel organiczny, przewodność elektryczna, pojemność wymienna kationowa, pH, N, C, P, S, Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn oraz skład granulometryczny gleb (8, 11, 13, 14, 17, 9,10). Szerokie możliwości zastosowań NIRS w analizach gleby przedstawione zostały w pracach *Viscarra Rossel i in.* (17) oraz w *Cécillon i in.* (7).

Kilkadziesiąt tysięcy próbek, szczególnie gleb piaszczystych o niskiej zawartości materii organicznej, wykorzystano do tworzenia Duńskiej Bazy Danych Spektralnych (12). Istniejące biblioteki spektralne mogą być również podstawą do rozwoju technologii – doskonalenia sensorów w nowych modelach urządzeń wykorzystujących technologię spektrometrii VIS-NIR, np. do bardziej precyzyjnego określenia korekty wilgotnościowej w analizie spektralnej gleb (19).

Najnowsze światowe badania nad rozwojem technik NIRS w badaniach gleb skupiają się na tworzeniu spektralnych bibliotek gleb. Dotychczas przeprowadzono nieliczne badania właściwości gleb za pomocą NIRS na skalę krajową (4, 18). Stworzona w Australii globalna biblioteka spektralna gleb, <http://groups.google.com/group/soil-spectroscopy>, jest stale rozbudowywana o nowe krajowe biblioteki.

Od 2010 roku również w Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – PIB tworzona jest Baza Danych Spektralnych Gleb. Początkowe zasoby informacyjne tworzyły próbki gleb zgromadzone w ramach Monitoringu Chemizmu Gleb Ornych Polski (216 próbek), prowadzonego co 5 lat oraz tzw. Dużego Monitoringu Chemizmu Gleb Ornych Polski, w którym zgromadzono kilkadziesiąt tysięcy próbek gleb z całego obszaru Polski. Ujęcie w bazie danych spektralnych istniejących już informacji o glebie w zakresie szczegółowych analiz chemicznych jest istotne również ze względów ekonomicznych – wg danych (15) koszt analizy ok. 500 próbek w zakresie podstawowych parametrów chemicznych w akredytowanym laboratorium, może przekroczyć koszty zakupu samego spektrometru.

Do budowania bazy danych spektralnych (SBGP) w różnych skalach – od skali lokalnej, przez regionalną do krajowej, porównano właściwości spektralne w celu przewidywania poszczególnych właściwości fizyko-chemicznych gleb (skład granulometryczny, całkowita zawartość węgla C, zawartość węgla organicznego

C_{org} , odczyn pH, zawartość całkowitych form K, P, Mg i in.). Należy nadmienić, że tworzenie spektralnej biblioteki gleb jest procesem ciągłym i uzupełnianym o kolejne dane spektralne gleb pochodzących z różnych rejonów kraju.

Metodyka

a) Wybór próbek do badań spektralnych

Dotychczas zeskanowano ponad 2000 próbek z użyciem spektrofotometru pracującego w zakresie widma elektromagnetycznego w paśmie widzialnym (VIS) oraz w bliskiej podczerwieni (NIR). Powyższe próbki gleb uzyskano z zasobów zgromadzonych w IUNG-PIB (istniejąca baza danych), zawierających wyniki badań analitycznych. Część próbek została wykorzystana do walidacji modelu (pojedyncze lub serie próbek w skali lokalnej). Dodatkowo w badaniach wykorzystano próbki pochodzące z różnych projektów realizowanych w IUNG-PIB (część z nich nie zawiera informacji dot. lokalizacji punktu w terenie – GPS).

Do włączenia próbki z bazy danych IUNG-PIB i innych oraz poddania jej skanowaniu, poza jej fizyczną obecnością, niezbędne były dane otrzymane w wyniku klasycznych analiz właściwości fizycznych i chemicznych gleb. Wyniki te były niezbędne do stworzenia modeli predykcyjnych. Wybrane próbki pochodziły z kilku okresów badań monitoringowych IUNG prowadzonych w różnych skalach (skala krajowa: monitoring suszy rolniczej, monitoring chemizmu gleb ornych; skala regionalna: mapa glebowo-geologiczna; skala lokalna: Rolnicze Zakłady Doświadczalne IUNG-PIB – Baborówko, Grabów, Osiny). Większość próbek posiadała informację o odczynie gleb, zawartości węgla organicznego, składzie granulometrycznym oraz współrzędne geograficzne miejsca pobrania próbki glebowej (Tab. 1).

Wszystkie próbki zostały pobrane z warstwy ornej gleb (0-30 cm), jednak włączono również serie próbek, pochodzących z kilku głębokości profilu. Takie postępowanie może być pomocne w badaniu wpływu poziomów zróżnicowania na właściwości spektralne gleb.

Tabela 1

Opis bazy danych próbek glebowych wykorzystanych do utworzenia biblioteki spektralnej

Rodzaj bazy	Liczba próbek	Dane GPS	pH	Węgiel organiczny (SOC)	Skład granulometryczny	Inne właściwości
Lokalna RZD-IUNG	952	+	+	+	+	+
Regionalna (IUNG)	180	+	+	+	+	+
Krajowa (IUNG)	987	+	+	+	+	+
Niezależna (walidacyjna)	134	+/-	+/-	+/-	+	+/-
Suma	2253					

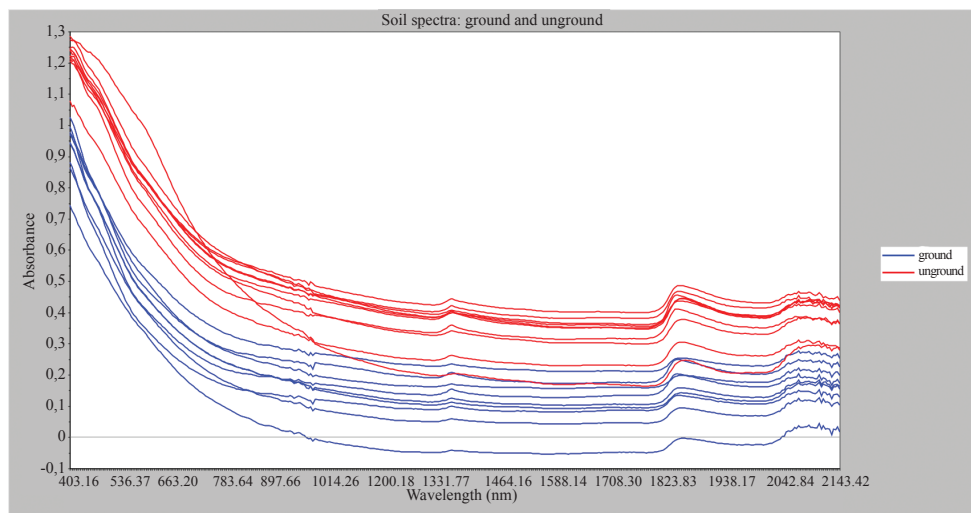
Źródło: opracowanie własne, Jacek Niedźwiecki

Z uwagi na bardzo dużą liczbę próbek (część wykresów pokrywa się ze sobą), przykłady przedstawione na wykresach reprezentują grupy próbek, a nie całą bazę danych. Niemniej jednak, modele predykcyjne opracowane zostały dla całej SBGP.

b) Gromadzenie i skanowanie próbek z bazy danych IUNG-PIB

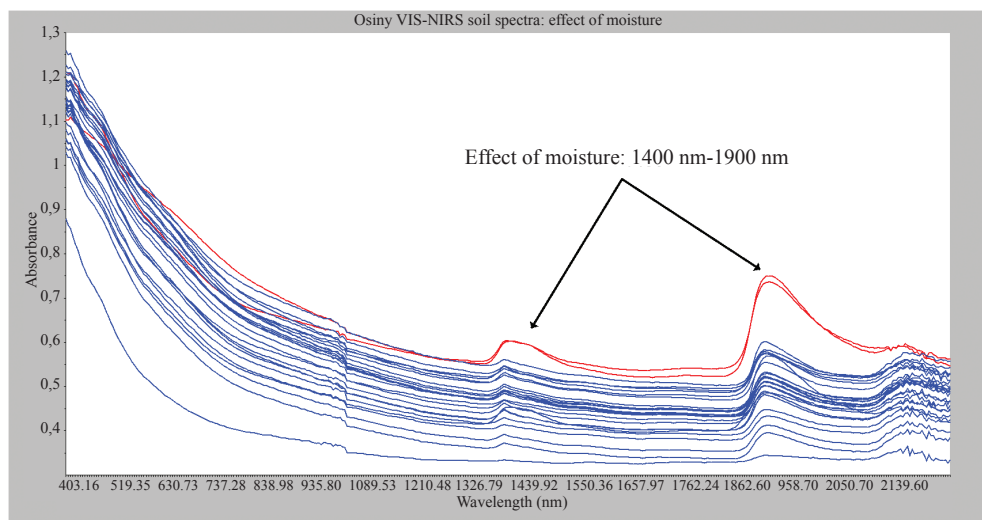
Do skanowania próbek w zakresie VIS-NIR wykorzystano spektrofotometr Veris (Veris Technologies, Salina, KS, Stany Zjednoczone). Próbki były skanowane 20-krotnie i uśredniane z użyciem oprogramowania (Veris w wersji V1.83). Rozdzielczość spektralna wynosiła 5 nm. Absorbancja skanowanej próbki została przedstawiona w formie logarytmu $\log(1/R)$, gdzie R oznacza współczynnik odbicia. Widma zostały pogrupowane w paśmie widzialnym i bliskiej podczerwieni w zakresie 349-2223 nm. W ten sposób otrzymano 384 dane spektralne dla każdej próbki.

W trakcie tworzenia SBGP, przebadano również wpływ sposobu przygotowania próbki glebowej na jej właściwości spektralne (Rys. 1). W tym celu niektóre próbki przed skanowaniem zmielono na młynkach agatowych, pozostałe skanowano po przesianiu przez sito < 2 mm. Wszystkie skanowane próbki były w stanie powietrzno-suchym. Zmieszanie próbek miało na celu zmniejszenie efektu absorpcji VIS-NIR poprzez homogenizację próbki (światło w próbce odbija się w mniej chaotyczny sposób). Podczas skanowania, zaobserwowano jednak, że niektóre próbki (niezmielone) pochłaniały wilgoć z powietrza (Rys. 2), taka anomalia mogła wpłynąć na osłabienie zdolności predykcyjnej modeli. Z tego powodu próbki te zostały odrzucone, a do budowy SBGP wykorzystano tylko próbki przesiane przez sito.



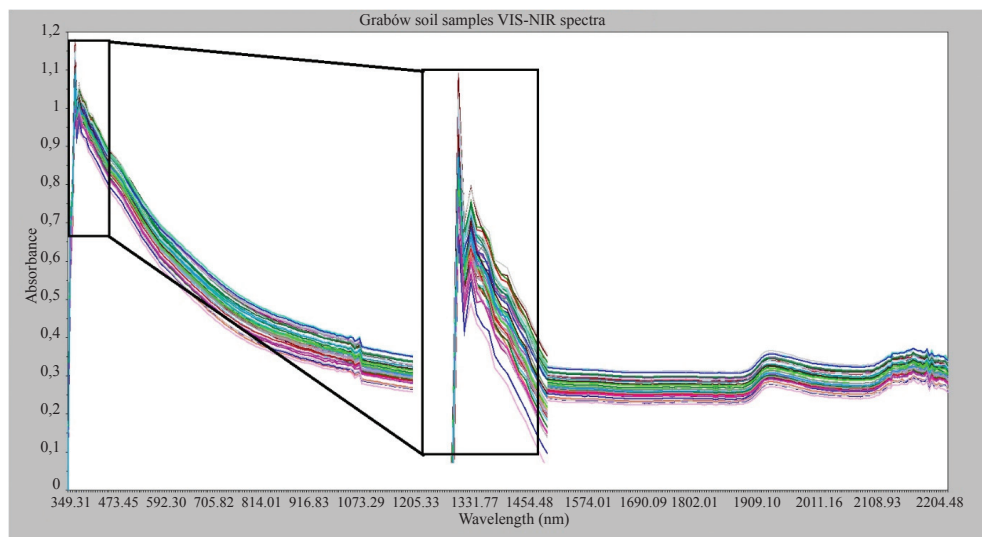
Rys. 1. Wpływ mielenia próbek na kształt widma glebowego (te same próbki pobrane przed zmieleniem – kolor czerwony i po zmieleniu- kolor niebieski)

Źródło: opracowanie własne, Guillaume Debaene



Rys. 2. Wpływ wilgotności gleby na widmo: 2 próbki wilgotne przygotowane w odmienny sposób

Źródło: opracowanie własne, Guillaume Debaene

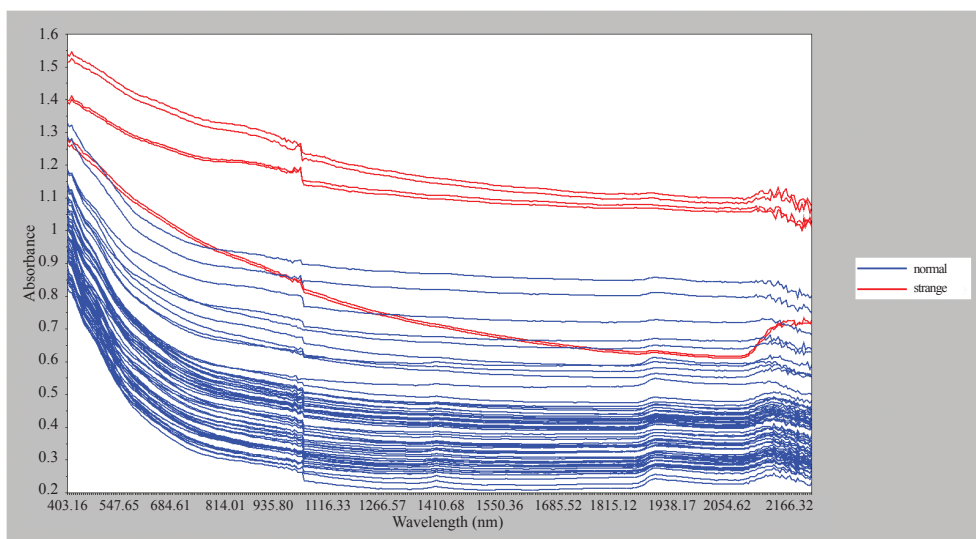


Rys. 3. Szum tła w zakresie 350-400 nm widma elektromagnetycznego

Źródło: opracowanie własne, Guillaume Debaene

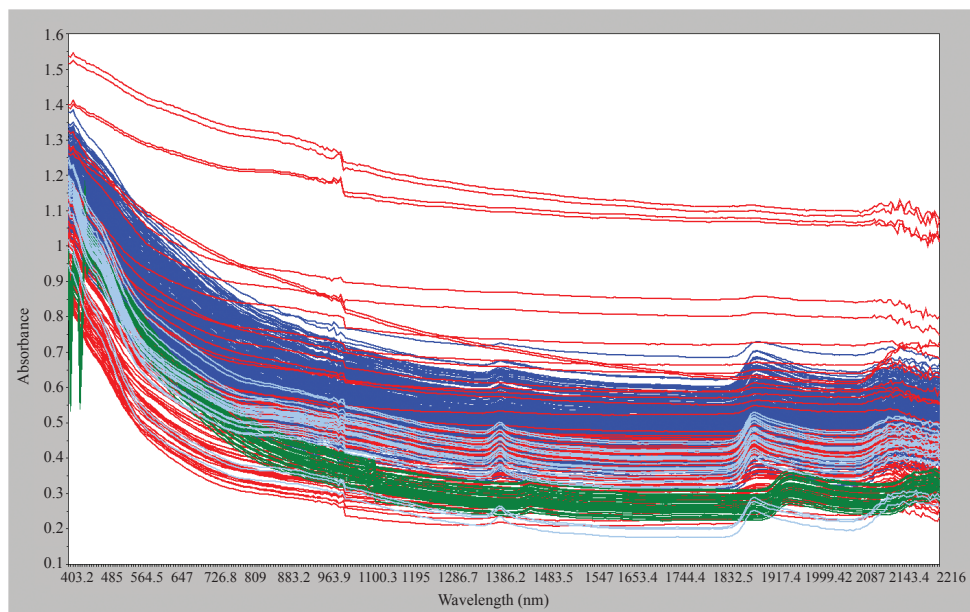
c) Wstępna analiza widm glebowych i analiza głównych składowych (PCA)

Wygląd oraz kształt widm glebowych daje wstępną informację o wartościach odstających, szumach tła czy wilgotności próbki (Rys. 2-4). Jednak zwykle bardzo trudno jest odróżnić widmo jednej próbki od drugiej (podobieństwo kształtu widm i ich nakładanie się). Przykład podano na Rys. 5, gdzie pokazano na jednym wykresie kilka przykładowych widm glebowych (z różnych lokalizacji) – poszczególne kolory oznaczają różne lokalizacje widm glebowych. W takim przypadku konieczne jest wykorzystanie zaawansowanych metod kompresji danych (np. PCA), aby możliwe było wydobycie interesujących informacji ze zbioru danych. Dzięki analizie PCA, można w łatwy sposób obserwować np. dane odstające i grupować widma (Rys. 7-8).



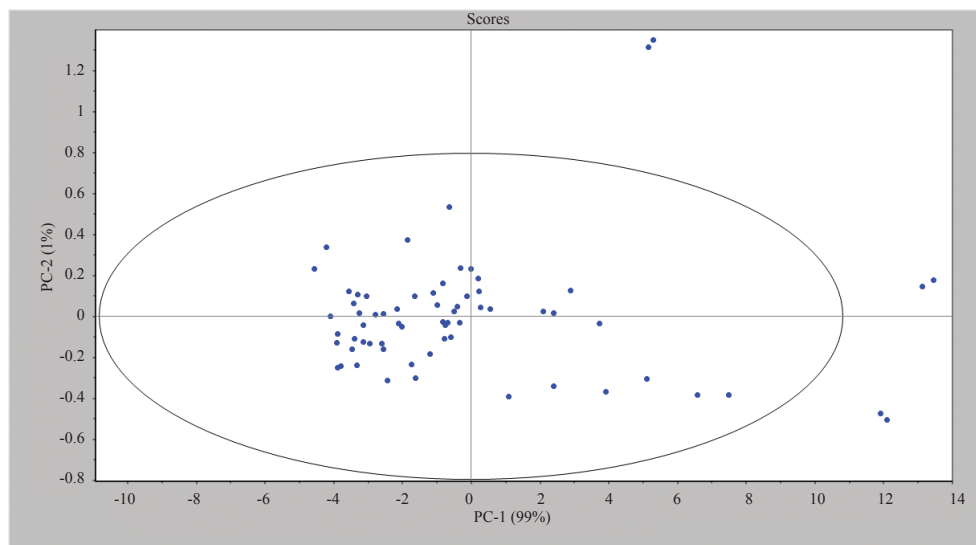
Rys. 4. Przykład widm nietypowych oraz odstających dla próbek pochodzących z obszaru G. Śląska. Dokładne badania wykazały że, były to materiały pokopalniane (kolor niebieski – widmo normalne, kolor czerwony – widmo nietypowe)

Źródło: opracowanie własne, Guillaume Debaene



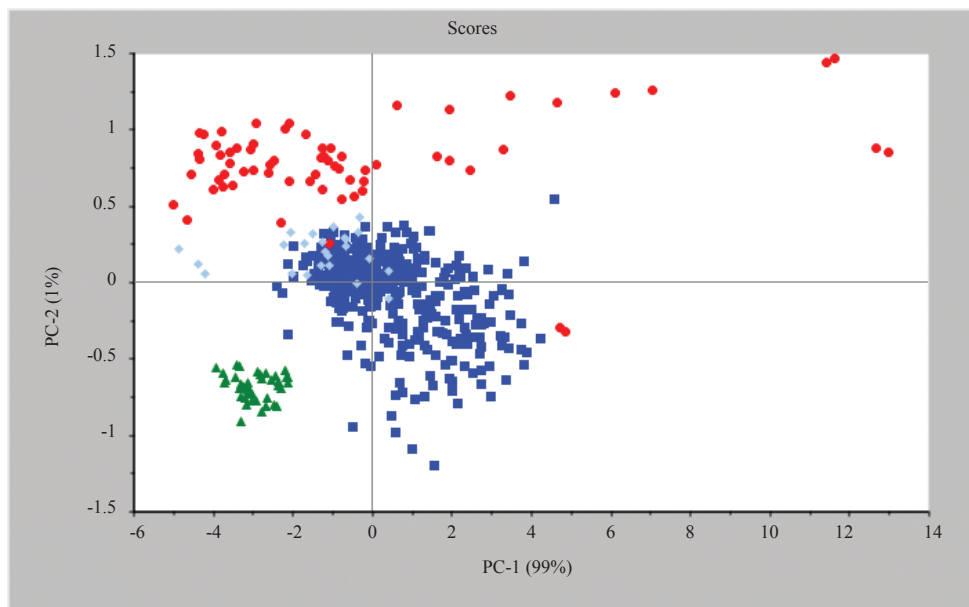
Rys. 5. Widma glebowe w zakresie VIS-NIR kilkuset próbek (528). Ze względu nakładanie się widm (2253 próbki) nie zaprezentowano wszystkich

Źródło: opracowanie własne, Guillaume Debaene



Rys. 6. Analiza PCA, test Hotelling T^2 (95% przedział ufności w oparciu o próbki z Rys. 4, z widocznymi wartościami odstającymi)

Źródło: opracowanie własne, Guillaume Debaene



Rys. 7. Analiza PCA, test Hotelling T^2 (95% przedział ufności w oparciu o próbki z Rys. 5). Kolor niebieskim i zielonym zaznaczono próbki pochodząc z pól, błękitnym profile glebowe, czerwonym – próbki reprezentujące różne regiony kraju.

Źródło: opracowanie własne, Guillaume Debaene

d) **Opracowanie metod statystycznych i modeli predykcyjnych w skali lokalnej**

Ilość promieniowania NIR, która jest absorbowana, określona jest przez właściwości i ilość wiązań obecnych w badanym materiale. Stąd widma w zakresie bliskiej podczerwieni zawierają szczegółowe informacje na temat składu chemicznego badanych substancji.

Oprócz składu chemicznego materiału, na właściwości spektralne ma również wpływ fizyczna struktura materiału. Rozmiar i kształt cząstek, puste przestrzenie pomiędzy cząstkami, gdyż wpływają na długość transmisji światła przechodzącego przez próbkę. Wszystkie te czynniki wpływają na współczynnik odbicia.

Widma NIR są bardzo złożone i niezwykle rzadko zdarza się, aby dwa różne związki chemiczne miały w całym zakresie identyczne widma, co praktycznie uniemożliwia jednoznaczną ich identyfikację. W tej sytuacji, konieczna jest wstępna obróbka matematyczna, która ułatwi identyfikację związku. Jest w tym celu specjalistyczne oprogramowanie.

Niespecyficzność widm światła odbitego i rozproszonego spowodowana jest w dużej mierze zakłóceniami i szumami wynikającymi z nakładania się widm zróżnicowanych składników glebowych, które są ze sobą powiązane, oraz tła wytwarzanego przez pracujące urządzenie.

Wszystkie te czynniki zakłócające, muszą być metodami matematycznymi odseparowane od widma tak, żeby mogły być skorelowane z konkretną właściwością gleby. Zatem, analiza spektralna gleby w zakresie VIS-NIR wymaga stosowania technik chemometrycznych i kalibracji wielowymiarowych. Chemometria dotyczy stosowania technik matematycznych lub statystycznego w analizowaniu danych chemicznych. Metody chemometrii stosowane są m.in. do: klasyfikacji obiektów badań, interpretacji widm, określania zależności pomiędzy budową chemiczną a aktywnością biologiczną związków chemicznych, modelowania przemian chemicznych. Podczas kalibracji wielowymiarowej, wykorzystuje się dane empiryczne do przewidywania nieznannej właściwości glebowej – y na podstawie wielu pomiarowych danych spektralnych x_1, x_2, \dots, x_K .

Poniższe testowanie procedur wykonano na 398 próbkach pobranych z pól produkcyjnych RZD IUNG w Baborówku. Procedury te zostały szczegółowo opisane przez D e b a n e i in. (9):

1. Losowy wybór próbek kalibracyjnych.
2. Wybór według stężeń chemicznych.
3. Wybór według grupowaniu metodą k -średnich.
4. Wybór według analizy głównych składowych – PCA.

Najlepszą procedurą kalibracji okazał się wybór próbek metodą k -średnich. Dzięki tej procedurze, możemy uzyskać lepsze wyniki predykcji z zestawu danych walidacji. To także pozwala nam zmniejszyć ilość próbek kalibracyjnych do budowy modelu, a tym samym zmniejszyć koszty analiz laboratoryjnych lub mapowania. Dzięki tej metodzie można było zmniejszyć liczbę kalibracji do 30% z ilości próbek i uzyskanie modeli o zadowalającej predykcji.

e) **Regresja metodą częściowych najmniejszych kwadratów (PLS)**

Regresja metodą cząstkowych (częściowych) najmniejszych kwadratów (PLS) dotyczy dwóch macierzy danych X i Y poprzez model liniowy wielowymiarowy. Jest metodą powszechnie stosowaną w analizie odbicia danych spektralnych. PLS rozkłada zarówno zmienną X i Y , i znajduje nowe komponenty (punkty), zwane zmiennymi ukrytymi. Następnie obliczana jest regresja pomiędzy tymi nowymi składnikami zmiennych X i Y , gdzie X jest odbiciem gleby, a Y mierzoną właściwością gleby.

$$X = TP + E \quad (1)$$

X tutaj to macierze absorpcji światła

$$Y = UQ + F \quad (2)$$

Y to są dane chemiczne i skład granulometryczny

gleby

$$U = BT \quad (3)$$

gdzie T i U oznaczają macierze wyników, X i Y macierze zmiennych, P i Q są ładunkami czynnikowymi macierzy X i Y , odpowiednio. B jest współczynnikiem regresji pomiędzy U i T . E i F to składniki błędu (szumu).

Analizę PLS przeprowadzono dla wszystkich istniejących w bazie spektralnej danych, przy użyciu programu Unscrambler X[®], wersja 10.3.

Oceny statystyk dokonano na podstawie współczynnika determinacji r^2 pomiędzy wartościami przewidywanymi a mierzonymi oraz RMSE (średniego błędu kwadratowego) i RPD (ang. *ratio of performance to deviation*).

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})(y_i - \bar{y}_i) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2}$$

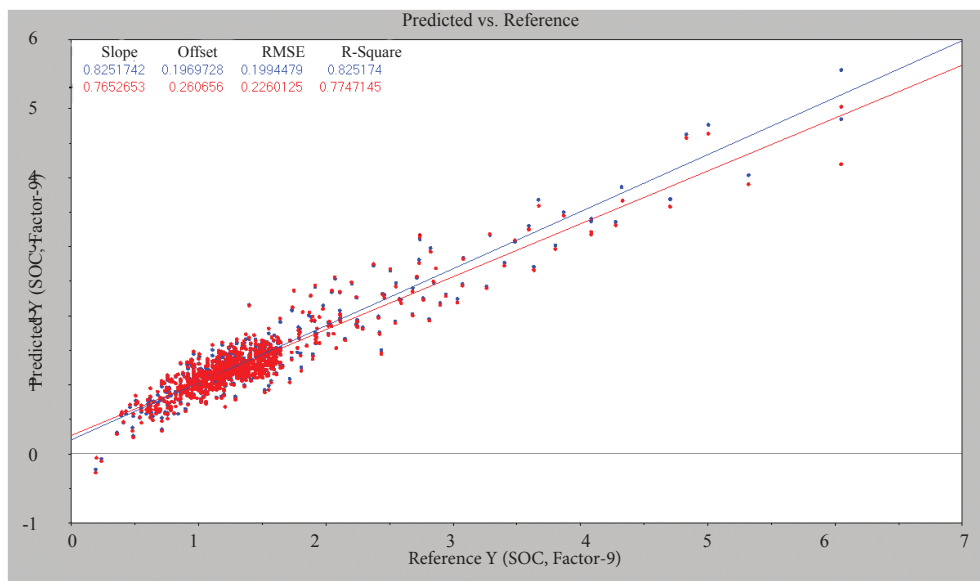
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}$$

$$RPD = SD/RMSE$$

Rys. 8

gdzie \hat{y}_i jest wartością przewidywaną i y_i wartością zmierzoną; \bar{y}_i średnia z wartości zmierzonej; $\bar{\hat{y}}_i$ średnia z wartości przewidywanej dla n ilość próbek.

Na rysunku 9 przedstawiono zależność regresyjną pomiędzy przewidywaną i mierzoną wartością SOC, dla zestawu danych pochodzących z pól Rolniczego Zakładu Doświadczalnego w Baborówku (10).



Rys. 9. Przewidywane vs. mierzone wartości SOC (%), niebieski – kalibracja, czerwony – walidacja (10)

Źródło: opracowanie własne, Guillaume Debaene

f) **Modele predykcyjne w skali lokalnej (RZD IUNG -PIB Baborówko)**

Wyniki modeli predykcyjnych (SOC i zawartości iłu) dla pól produkcyjnych w RZD IUNG Baborówko przedstawiono w Tab. 2 i 3. Dwieście próbek glebowych (z zestawu danych liczącego 400 próbek) było wykorzystanych do walidacji modelu. W celu zbadania wpływu ilości próbek kalibracyjnych na PLS, użyto od 10 do 100% próbek kalibracyjnych do budowy modeli węgla organicznego (SOC) oraz frakcji iłu. Wszystkie modele predykcyjne zostały zbudowane przy użyciu minimalnej liczby próbek kalibracyjnych niezbędnych do uzyskania modeli o dużej sile predykcyjnej.

Tabela 2

Metoda k-średnich w analizie PLS. Wyniki kroswalidacji i walidacji dla SOC

Ilość próbek wykorzystanych do kalibracji	Kroswalidacja		Walidacja			
	r ²	RMSE	r ²	RMSE	RPD	NF
10%	0,48	0,20	0,42	0,27	1,0	4
20%	0,57	0,15	0,47	0,17	1,3	10
30%	0,45	0,16	0,48	0,16	1,3	10
40%	0,53	0,14	0,63	0,13	1,5	7
50%	0,55	0,14	0,62	0,13	1,5	7
60%	0,58	0,14	0,70	0,12	1,9	7
70%	0,62	0,13	0,70	0,12	1,9	7
80%	0,58	0,14	0,68	0,12	1,8	8
90%	0,61	0,14	0,68	0,12	1,8	8
100%	0,66	0,13	0,70	0,12	1,9	8

Źródło: Debaene i in., 2014 (9)

Tabela 3

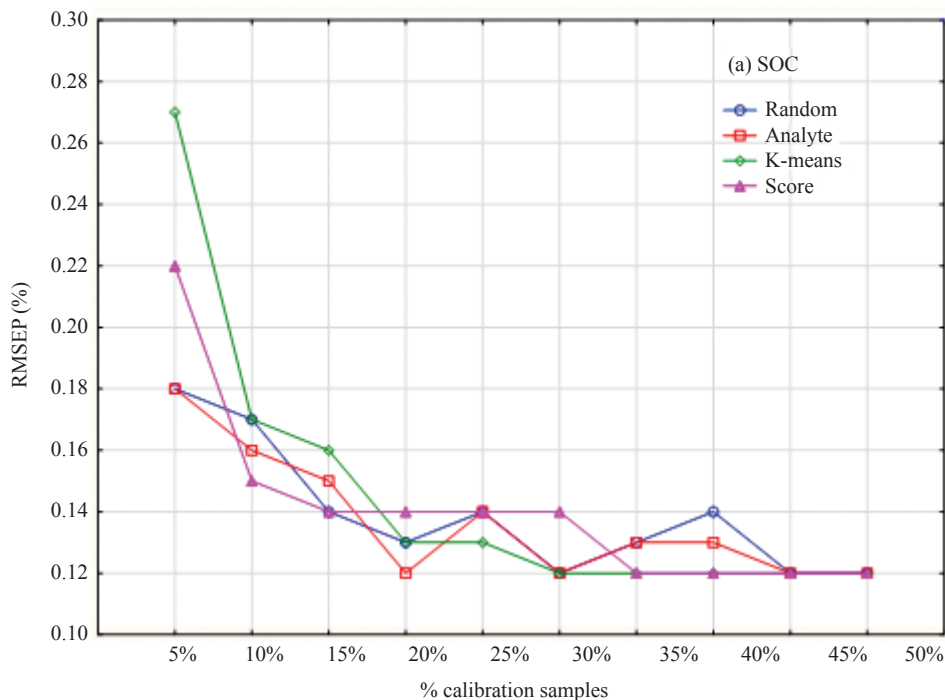
Metoda k-średnich w analizie PLS. Wyniki kroswalidacji i walidacji dla frakcji iłu

Ilość próbek wykorzystanych do kalibracji	Kroswalidacja		Walidacja			
	r ²	RMSE	r ²	RMSE	RPD	NF
5%	0,37	0,42	0,22	0,62	1,0	2
10%	0,47	0,48	0,50	0,43	1,4	4
15%	0,72	0,38	0,69	0,37	1,6	10
20%	0,75	0,34	0,71	0,36	1,7	9
25%	0,74	0,35	0,71	0,35	1,8	9
30%	0,73	0,34	0,72	0,33	1,9	9
35%	0,74	0,33	0,73	0,34	1,9	9
40%	0,75	0,32	0,73	0,32	1,9	9
45%	0,76	0,31	0,72	0,32	1,9	9
50%	0,77	0,31	0,73	0,32	1,9	9

NF = ilość czynników

Źródło: Debaene i in., 2014 (9)

Zgodnie z uzyskanymi wynikami, 20% próbek kalibracyjnych (z zestawu danych 400 próbek) jest niezbędnych do budowania dobrych modeli (Rys. 10). Tab. 4 przedstawia wyniki modeli predykcyjnych dla innych właściwości gleby.



Rys. 10. Wpływ liczby próbek kalibracyjnych na średni błąd kwadratowy szacowania (RMSEP)
Źródło: Debaene i in., 2014 (9)

Tabela 4

Analiza PLS (kalibracja próbek metodą k-średnich 20% próbek kalibracyjnych i 50% próbek kalibracyjnych): pozostałe badane właściwości gleb

Właściwości	Krosvalidacja			Walidacja			
	N	r ²	RMSE	r ²	RMSE	RPD	NF
frakcja piasku	50%	0,79	2,60	0,79	2,52	2,2	9
	20%	0,80	2,79	0,76	2,88	1,9	9
frakcja pyłu	50%	0,78	2,33	0,79	2,25	2,2	9
	20%	0,77	2,64	0,75	2,52	2,0	7
P ₂ O ₅	50%	0,36	6,50	0,39	6,27	1,3	5
	20%	0,42	5,37	0,37	6,46	1,3	7
K ₂ O	50%	0,46	3,67	0,46	3,31	1,4	7
	20%	0,34	4,62	0,28	3,87	1,2	1
Mg	50%	0,48	1,67	0,54	1,53	1,5	4
	20%	0,44	1,68	0,53	1,54	1,4	4
pH	50%	0,46	0,36	0,51	0,34	1,4	8
	20%	0,41	0,38	0,52	0,34	1,4	8

Źródło: Debaene i in., 2014 (9), zmodyfikowano

g) Kalibracja modeli

Skala regionalna

Aby zbadać efekt głębokości próbki na modele predykcyjne węgla organicznego (SOC), zbiór danych z bazy danych mapy glebowo-geologicznej został użyty jako model regionalny. Próbki pochodzą z regionu Górnego Śląska i zostały pobrane na trzech głębokościach. Zbiór danych składa się ze 180 próbek pochodzących z 60 profili. Głębokości na jakich zostały pobrane wynosiły: 15, 30 i 50 cm. Kalibracji dokonano z wykorzystaniem dwóch procedur: procedura 1 – używając jednej głębokości do kalibracji i procedura 2 – 60 próbek wyselekcjonowanych według metody grupowania k-średnich spośród 180 próbek. Z algorytmu otrzymano 20 próbek każdej głębokości do wykorzystania do kalibracji modelu.

Wyniki kalibracji są bardzo podobne w obu procedurach ($r^2 = 0,81$; RMSE = 0,41; RPD = 1,70 przy kalibracji dla jednej głębokości, $r^2 = 0,78$; RMSE = 0,48; RPD = 1,62 dla próbek z różnej głębokości).

Różnice błędów (RMSE) wynikają z faktu, że próbki pochodzą z różnych głębokości. Warstwa powierzchniowa zawierająca wyższą zawartość SOC charakteryzuje się większym odchyleniem standardowym. Schemat 2 został w następnej kolejności użyty do walidacji.

Skala krajowa

Przed wykonaniem kalibracji liczba próbek została zredukowana drogą wykluczenia identycznych próbek pochodzących z tej samej lokalizacji. Uśredniono dane spektralne próbek pochodzących z tej samej lokalizacji (320 próbek z RZD Baborówka i RZD Grabowa) aby otrzymać próbkę uśrednioną. Ponadto, próbki o wartościach ekstremalnych zostały usunięte, jak również próbki odstające od reszty (jedyne w swoim rodzaju) – np. próbki z koncentracją węgla organicznego > 5%, próbki o bardzo wysokiej zawartości iłu koloidalnego i inne niereprezentatywne dla SBGP (prawie 100 próbek). Z powodu zróżnicowanego charakteru gleb w skali kraju, 1200 próbek zostało użytych jako próbki kalibracyjne.

Wyniki kalibracji są następujące:

$r^2 = 0,69$; RMSE = 0,59%; RPD = 1,38 dla węgla organicznego,

$r^2 = 0,73$; RMSE = 0,89%; RPD = 1,42 dla frakcji iłu koloidalnego.

$r^2 = 0,59$; RMSE = 0,40 jednostki pH; RPD = 1,29 dla pH w KCl.

h) Walidacja modeli – Zbiór danych walidacji

W Tab. 5 przedstawione zostały wyniki walidacji w skali regionalnej i krajowej z użyciem, odpowiednio, 120 i 600 próbek.

Tabela 5

Wyniki modelu walidacji dla regionalnej i krajowej bazy danych

Właściwości glebowe	Skala	Walidacja			
		r^2	RMSE	RPD	NF
Węgiel organiczny	R	0,74	0,48	1,60	5
	N	0,67	0,60	1,38	7
Fracja ilasta	R	0,71	0,82	1,60	5
	N	0,72	0,88	1,41	7
pH _{KCl}	R	0,51	0,55	1,19	8
	N	0,62	0,43	1,27	8

Źródło: opracowanie własne, Guillaume Debaene

Zawartość węgla organicznego i frakcji ilastej zostały prawidłowo prognozowane, a pH przewidziano ze znaczną dokładnością.

i) Weryfikacja modeli – Zbiór danych niezależnych

Utworzono dwa niezależne zbiory danych, [1] próbki z profilu glebowego (różne głębokości) i [2] 60 próbek z warstwy wierzchniej z niezależnego projektu. Próbki zostały zeskanowane, a prognozy części właściwości dokonano z wykorzystaniem modelu opisanego wyżej.

Rys. 11 przedstawia wyniki predykcji węgla organicznego. Model jest bardzo skuteczny dla zbioru danych z $r^2 = 0,81$; RMSEP = 0,14; RPD = 1,85. Nie stworzono żadnych innych modeli dla tego zbioru.

W Tab. 6 przedstawiono wyniki predykcji z drugiego niezależnego zbioru danych (zawartość węgla organicznego, pH, frakcji ilastej). Również dla tego zbioru danych predykcja była bardzo dokładna.

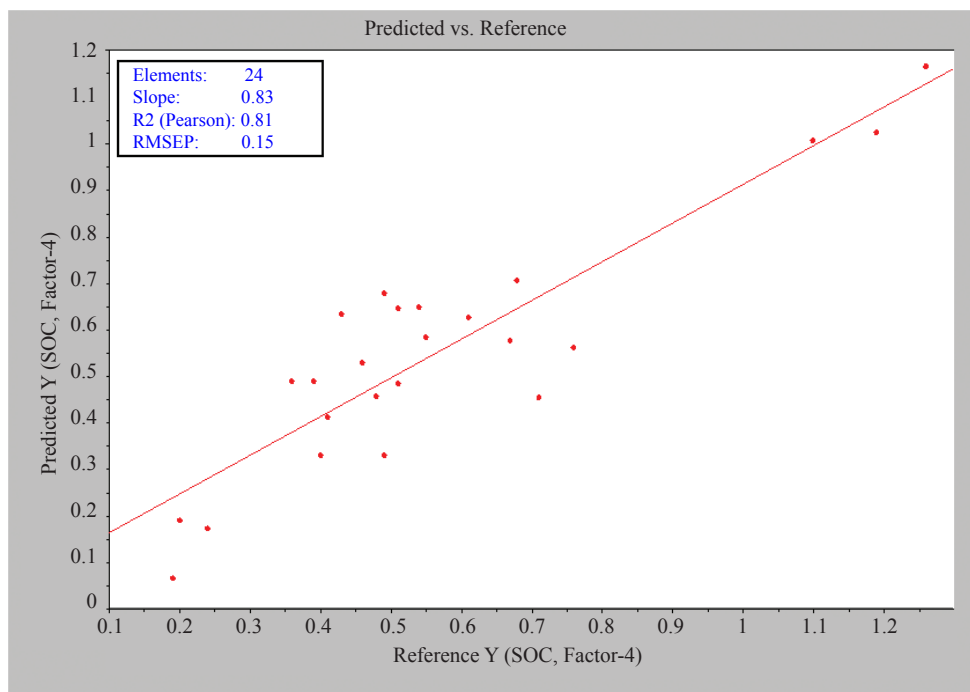
Tabela 6

Wyniki predykcji dla niezależnego zbioru danych 2

Właściwości glebowe	Walidacja			
	r^2	RMSE	RPD	NF
Węgiel organiczny	0,63	0,48	1,61	9
Fracja ilasta	0,67	0,78	1,69	8
pH _{KCl}	0,55	0,75	1,39	8

Źródło: opracowanie własne, Guillaume Debaene

Co istotne, w wyniku dodania niektórych próbek z niezależnego zbioru danych do modelu kalibracji (zbiór danych 1), wyniki ulegają znacznej poprawie, np. $r^2 = 0,71$; RMSE = 0,41; RPD = 1,72. Wymaga to poddania dalszej analizie.



Rys. 11. Przewidywane vs. zmierzone wartości węgla organicznego dla niezależnego zbioru danych 1

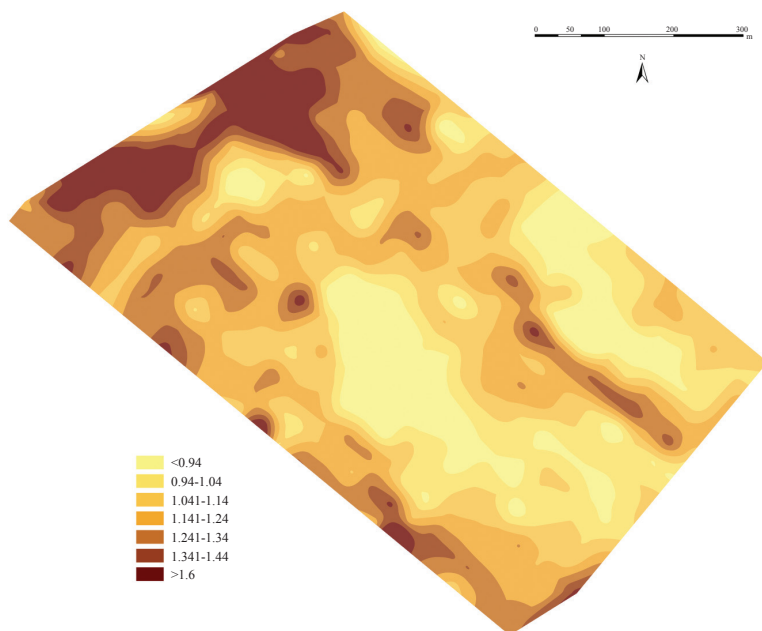
Źródło: opracowanie własne, Guillaume Debaene

Wyniki te potwierdzają użyteczność metody VIS-NIR dla prognozowania niektórych właściwości glebowych. Po przeprowadzeniu kalibracji jest to szybka i niekosztowna metoda analizy próbek glebowych.

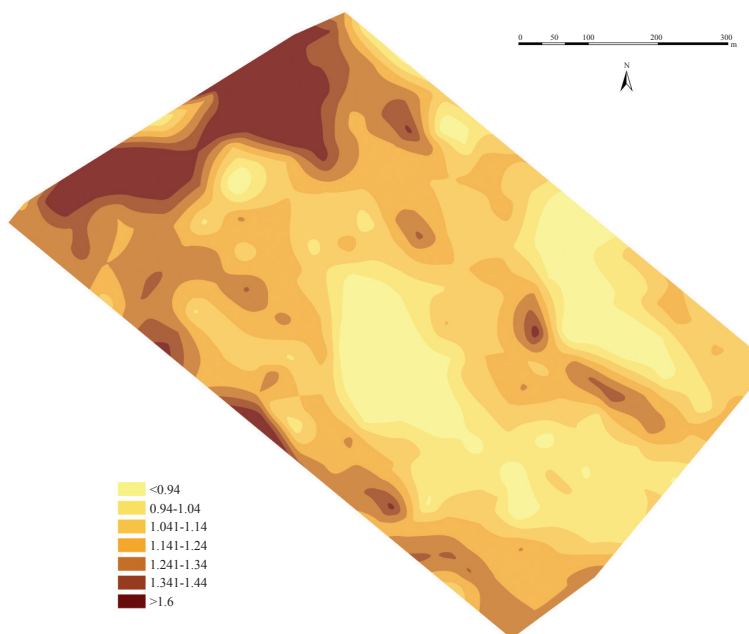
j) Mapowanie

Niektóre mapy uzyskane na podstawie wyników naszych modeli przedstawione zostały poniżej. Mapy dla Rolniczego Zakładu Doświadczalnego (IUNG) w Baborówku opublikowane zostały przez Debaene i in. (10). W tej predykcji mapy właściwości węgla organicznego dla SB Baborówko, 93% terenu było identyczne (poniżej 0,1% różnicy w zawartości węgla organicznego) jak na mapie otrzymanej za pomocą klasycznego poboru próbek ze stałej siatki punktów (Rys. 12-14). Mapy zawartości pH i węgla organicznego zostały przedstawione w Rys. 15-16. Te dwie mapy są zgodne z naszym stanem wiedzy (badania na terenie RZD IUNG w Baborówku, (10)) i zostały sporządzone na podstawie 250 skanowanych próbek (zestaw walidacyjny), na podstawie modelu krajowego (1200 próbek glebowych).

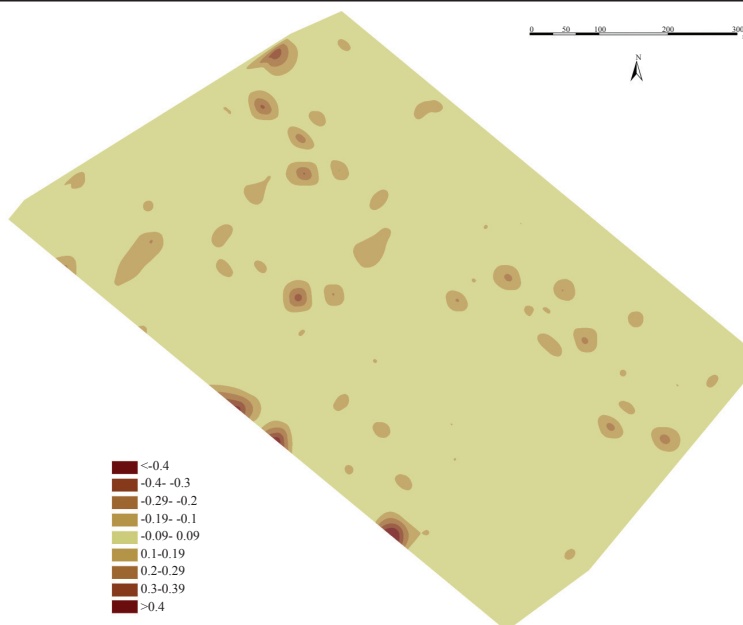
Aby zwiększyć „rozdzielczość mapy”, należy włączyć do modelu więcej próbek. Brak precyzji wynika ponadto z faktu, że model bierze pod uwagę jedynie gleby mineralne.



Rys. 12. Mapa dystrybucji przestrzennej węgla organicznego na podstawie analizy 398 próbek
Źródło: Debaene i in., 2014 (9)

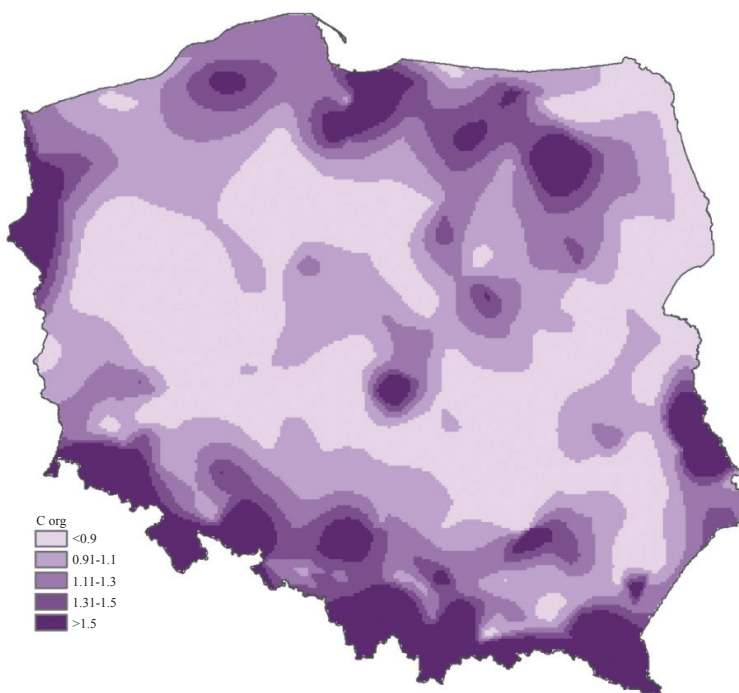


Rys. 13. Mapa dystrybucji przestrzennej węgla organicznego na podstawie próbek predykcyjnych
VIS-NIRS (79 próbek poddanych kalibracji, 319 predykcyjnych)
Źródło: Debaene i in., 2014 (9)



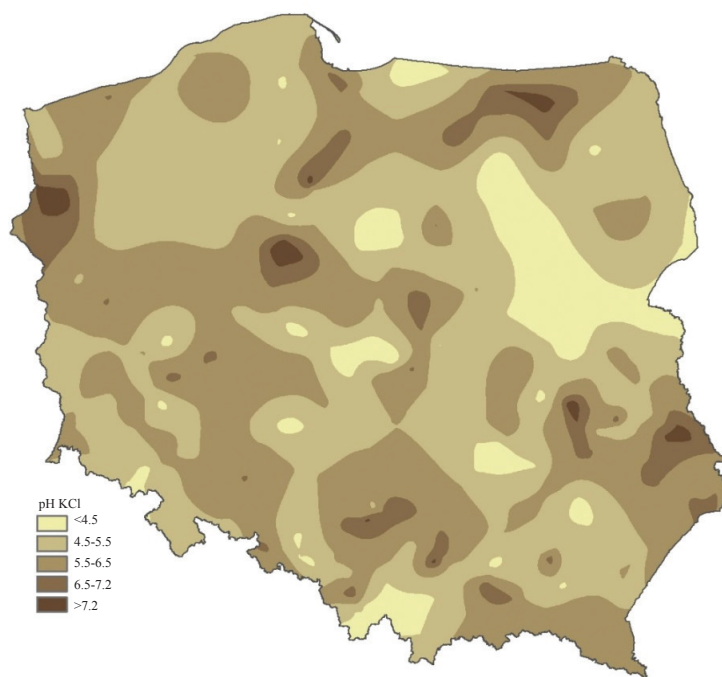
Rys. 14. Mapa dystrybucji przestrzennej różnicy pomiędzy prognozowaną a zmierzoną zawartością węgla organicznego

Źródło: Debaene i in., 2014 (9)



Rys. 15. Mapa dystrybucji przestrzennej węgla organicznego na podstawie próbek predykcyjnych VIS-NIRS

Źródło: opracowanie własne, Guillaume Debaene



Rys. 16. Mapa dystrybucji przestrzennej pH w KCl na podstawie próbek predykcyjnych VIS-NIRS
Źródło: opracowanie własne, Guillaume Debaene

Podsumowanie

Uzyskano bardzo dokładne modele predykcyjne dla zawartości węgla organicznego i frakcji ilastej w skalach: lokalnej, regionalnej i krajowej. Wyniki predykcji (zawartość węgla organicznego i frakcji ilastej) w skali lokalnej są porównywalne z wynikami otrzymanymi klasycznymi (laboratoryjnymi) metodami analizy próbek glebowych. Niezależny nowy zbiór danych może być prognozowany z dużą dokładnością kiedy dodajemy próbki nie pochodzące z badanego zbioru danych, do istniejącego modelu kalibracyjnego.

Wykorzystanie spektralnej bazy danych w zakresie bliskiej podczerwieni oraz światła widzialnego może przyczynić się do rozwoju spektroskopii gleb i stworzenia nowoczesnych narzędzi badawczych (modeli predykcyjnych) służących modelowaniu, monitorowaniu gleb i mapowaniu właściwości glebowych. Dodatkową korzyścią z posiadania Spektralnej Biblioteki Gleb jest możliwość wykorzystania opracowanych w ramach projektu modeli kalibracyjnych do przewidywania właściwości fizykochemicznych gleb w skali kraju bądź regionalnej, oraz generowania baz przestrzennych w oparciu o sceny satelitarne, co pozwala na szersze wykorzystanie modeli

symulacyjnych i analiz przestrzennych związanych zarówno z glebą, jak i szeroko pojętym środowiskiem. Stworzona w Australii Globalna Biblioteka Spektralna Gleb <http://groups.google.com/-/group/soil-spectroscopy> jest stale rozbudowywana o nowe krajowe biblioteki. Uzyskane wyniki badań dają w perspektywie możliwość integracji krajowej bazy danych spektralnych z Globalną Biblioteką Spektralną Gleb.

Literatura

1. Batten G.D.: Plant analysis using near infrared reflectance spectroscopy: the potential and the limitations. *Aust. J. Exp. Agric.* 1998, **38**:697–706.
2. Ben-Gera I., Norris K.H.: Direct Spectrophotometric Determination of Fat and Moisture in Meat Products. *J. Food Sci.*, 1968, **33**: 64–67.
3. Brodský L., Klement A., Penížek V., Kodešová R., Borůvka L.: Building soil spectral library of the Czech soils for quantitative digital soil mapping. *Soil Water Res*, 2011, **6(4)**: 165-172.
4. Brown D.J., Shepherd K.D., Walsh M.G., Dewayne Mays M., Reinsch T.G.: Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy. *Geoderma*, 2006, **132**: 273–290.
5. Cambule A.H., Rossiter D.G., Stoorvogel J.J., Smaling E.M.A.: Building a near infrared spectral library for soil organic carbon estimation in the Limpopo National Park, Mozambique. *Geoderma*, 2012, **183–184**: 41-48.
6. Cécillon L., Cassagne N., Czarnes S., Gros R., Brun J.J.: Variable selection in near infrared spectra for the biological characterization of soil and earthworm casts. *Soil Biol. Biochem.*, 2008, **40**: 1975–1979.
7. Cécillon L., Barthès B. G., Gomez C., Ertlen D., Genot V., Hedde M.: Assessment and monitoring of soil quality using near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS). w: *Eur. J. Soil Sci.*, 2009, **60(5)**: 770–784.
8. Chang C.W., Laird D.A., Mausbach M.J., Hurburgh C.R.: Near-Infrared Reflectance Spectroscopy–Principal Components Regression Analyses of Soil Properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2001, **65**: 480.
9. Debaene G., Niedźwiecki J., Pecio A., Żurek A.: Effect of the number of calibration samples on the prediction of several soil properties at the farm-scale. *Geoderma*, 2014, **214–215**: 114–125.
10. Debaene G., Pikula D., Niedźwiecki J.: Use of VIS-NIRS for land management classification with a support vector machine and prediction of Soil Organic Carbon and other soil properties. *Ciencia e Investigación Agraria*, 2014, **41**: 5–6.
11. Dunn B.W., Batten G.D., Beecher H.G., Ciavarella S.: The potential of near-infrared reflectance spectroscopy for soil analysis — a case study from the Riverine Plain of south-eastern Australia. *Aust. J. Exp. Agric.* 2002, **42**: 607–614.
12. Deng F., Knadel M., Thomsen A.G., Greve M.H.: Development of near infrared spectral library of Danish soils. Adamshuk V.I., Rossel R.A.V. (red.), *The Second Global Workshop on Proximal Soil Sensing: Program and Proceedings*. Monreal, Quebec, Canada, 2011, IUSS Working Group on Proximal Soil Sensing: 96-99.
13. Sørensen L.K., Dalsgaard S.: Determination of Clay and Other Soil Properties by Near Infrared Spectroscopy. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2005, **69**: 159.
14. Velasquez E., Lavelle P., Barrios E., Joffre R., Reversat F.: Evaluating soil quality in tropical agroecosystems of Colombia using NIRS. *Soil Biology and Biochemistry*, 2005, **37**: 889–898.
15. Viscarra Rossel R.A., McBratney A.B.: Diffuse Reflectance Spectroscopy as a Tool for Digital Soil Mapping, w: *Digital Soil Mapping with Limited Data*, red. Alfred E. Hartemink, Alex McBratney i Mendonça-Santos, Maria de Lourdes. Dordrecht: Springer Netherlands, 2008. : 165–172
16. Viscarra Rossel R.A., Behrens T., Ben-Dor E., Brown D.J., Demattê J.A.M., Shepherd K. D.: A global spectral library to characterize the world's soil. w: *Earth-Science Reviews*, 2016, **155**: 198–230.

17. Viscarra Rossel R.A., Walvoort D.J.J., McBratney A.B., Janik L.J., Skjemstad J.O.: Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. *Geoderma*, 2006, **131**: 59–75.
 18. Viscarra Rossel R.A., Webster R.: Discrimination of Australian soil horizons and classes from their visible-near infrared spectra. *Eur. J. Soil Sci.*, 2011, **62**: 637–647.
 19. Wijewardane N.K., Ge Y., Morgan C.L.S.: Prediction of soil organic and inorganic carbon at different moisture contents with dry ground VNIR: a comparative study of different approaches. *Eur. J. Soil Sci.*, 2016., **67(5)**: 605–615.
-

Adres do korespondencji:

dr Jacek Niedźwiecki
Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. 81 4786 780
e-mail: jacekn@iung.pulawy.pl

W serii wydawniczej „RAPORTY PIB”, a od 2007 r. „STUDIA I RAPORTY IUNG-PIB” ukazały się następujące pozycje:

1. *Wybrane aspekty agrochemicznych badań gleby*. Puławy, 2006.
2. *Zasady wprowadzania nawozów do obrotu*. Puławy, 2006.
3. *Regionalne zróżnicowanie produkcji rolniczej w Polsce*. Puławy, 2006.
4. *Monitoring skutków środowiskowych planu rozwoju obszarów wiejskich*. Puławy, 2007.
5. *Sprawdzenie przydatności wskaźników do oceny zrównoważonego gospodarowania zasobami środowiska rolniczego w wybranych gospodarstwach, gminach i województwach*. Puławy, 2007.
6. *Możliwości rozwoju rolnictwa ekologicznego w Polsce*. Puławy, 2007.
7. *Współczesne uwarunkowania organizacji produkcji w gospodarstwach rolniczych*. Puławy, 2007.
8. *Efektywne i bezpieczne metody regulacji zachwaszczenia, nawożenia i uprawy roli*. Puławy, 2007.
9. *Wybrane elementy technologii produkcji roślinnej*. Puławy, 2007.
10. *Problem erozji gleb w procesie przemian strukturalnych na obszarach wiejskich*. Puławy, 2008.
11. *Uprawa roślin energetycznych a wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce*. Puławy, 2008.
12. *Wybrane zagadnienia systemów informacji przestrzennej i obszarów problemowych rolnictwa w Polsce*. Puławy, 2008.
13. *Tworzenie postępu biologicznego w hodowli tytoniu i chmielu*. Puławy, 2008.
14. *Kierunki zmian w produkcji roślinnej w Polsce do roku 2020*. Puławy, 2009.
15. *Wybrane elementy regionalnego zróżnicowania rolnictwa w Polsce*. Puławy, 2009.
16. *Systemy wspomagania decyzji w zrównoważonej produkcji roślinnej*. Puławy, 2009.
17. *Stan i kierunki zmian w produkcji rolniczej (wybrane zagadnienia)*. Puławy, 2009.
18. *Produkcyjne i środowiskowe aspekty współczesnych metod nawożenia i regulacji zachwaszczenia*. Puławy, 2009.
19. *Oddziaływanie rolnictwa na środowisko przyrodnicze w warunkach zmian klimatu*. Puławy, 2010.
20. *Ocena zrównoważenia gospodarowania zasobami środowiska rolniczego w wybranych gospodarstwach, gminach, powiatach i województwach*. Puławy, 2010.
21. *Możliwości rozwoju obszarów problemowych rolnictwa (OPR) w świetle PROW 2007–2013*. Puławy, 2010.
22. *Możliwości rozwoju gospodarstw o różnych kierunkach produkcji rolniczej w Polsce*. Puławy, 2010.
23. *Związki fitogeniczne jako naturalna alternatywa antybiotykowych promotorów wzrostu*. Puławy, 2010.
24. *Wybrane aspekty przemian strukturalnych na obszarach wiejskich*. Puławy, 2010.
25. *Stan obecny i perspektywy nawożenia roślin w Polsce w aspekcie regulacji prawnych*. Puławy, 2010.
26. *Stan obecny i perspektywy rozwoju rolnictwa ekologicznego w Polsce*. Puławy, 2010.
- 27(1). *Środowiskowe skutki działalności rolniczej i wdrażania PROW na obszarach problemowych rolnictwa*. Puławy, 2011.

- 28(2).** *Techniki i technologie stosowane w produkcji roślinnej a środowisko przyrodnicze.* Puławy, 2012.
- 29(3).** *Problemy zrównoważonego gospodarowania w produkcji rolniczej.* Puławy, 2012.
- 30(4).** *Doskonalenie integrowanych technologii produkcji zbóż jarych i roślin pastewnych ze szczególnym uwzględnieniem początkowych elementów agrotechniki.* Puławy, 2012.
- 31(5).** *Rola badań naukowych w kształtowaniu postępu w produkcji chmielu i tytoniu.* Puławy, 2012.
- 32(6).** *Wybrane aspekty zrównoważonego rozwoju i specjalizacji gospodarstw rolniczych.* Puławy, 2013
- 33(7).** *Działalność Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa-PIB w Puławach w zakresie wspierania doradztwa i praktyki rolniczej.* Puławy, 2013.
- 34(8).** *Problemy gospodarki nawozowej w Polsce.* Puławy, 2013.
- 35(9).** *Zagrożenia dla prawidłowego funkcjonowania gleb użytkowanych rolniczo – wybrane zagadnienia.* Puławy, 2013.
- 36(10).** *Zmiany w technologiach produkcji roślinnej – oceny i wpływ na środowisko rolnicze.* Puławy, 2014.
- 37(11).** *Dobre praktyki w nawożeniu.* Puławy, 2014.
- 38(12).** *Jakość informacji w systemach wspomagania decyzji.* Puławy, 2014.
- 39(13).** *Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii pochodzenia rolniczego i ich wpływ na środowisko.* Puławy, 2014.
- 40(14).** *Wybrane problemy rolnictwa polskiego z uwzględnieniem stanu jego zrównoważenia.* Puławy, 2014.
- 41(15).** *Technologie produkcji zbóż i roślin pastewnych warunkujące wysoki plon i dobrą jakość.* Puławy, 2014.
- 42(16).** *Podstawy nowoczesnego doradztwa nawozowego w Polsce.* Puławy, 2015.
- 43(17).** *Wybrane problemy produkcji rolniczej z uwzględnieniem aspektu dóbr publicznych.* Puławy, 2015.
- 44(18).** *Wybrane zagadnienia produkcji roślinnej w Polsce.* Puławy, 2015.
- 45(19).** *Kształtowanie żyzności gleby.* Puławy, 2015.
- 46(20).** *Wybrane zagadnienia związane z ochroną gleb przed degradacją.* Puławy, 2015.
- 47(1).** *Problemy produkcji rolniczej w Polsce w kontekście ich oddziaływania na środowisko.* Puławy, 2016.
- 48(2).** *Innowacje w nawożeniu.* Puławy, 2016
- 49(3).** *Siedliskowe i agrotechniczne uwarunkowania produkcji roślinnej w Polsce.* Puławy, 2016
- 50(4).** *Technologie produkcji roślinnej w warunkach zmieniającego się klimatu.* Puławy, 2016.

WSKAZÓWKI DLA AUTORÓW

W serii wydawniczej „**STUDIA I RAPORTY IUNG-PIB**” publikowane są recenzowane prace z zakresu agronomii oraz ochrony i kształtowania środowiska rolniczego, wykonane w ramach zadań programów wieloletnich pn. „Kształtowanie środowiska rolniczego Polski oraz zrównoważony rozwój produkcji rolniczej” (2005-2010) oraz „Wspieranie działań w zakresie kształtowania środowiska rolniczego i zrównoważonego rozwoju produkcji rolniczej w Polsce” (2011-2015). W zeszytach problemowych o charakterze monografii, wydawanych w ramach tej serii, mogą być zamieszczane również prace autorów spoza IUNG-PIB, które merytorycznie mieszczą się w tematyce zadań programu wieloletniego. **Publikowane są prace problemowe, głównie mające charakter przeglądowy, z podkreśleniem znaczenia omawianych zagadnień dla rolnictwa polskiego.**

Wydruk tekstu do recenzji:

czcionka 12 p., z odstępem 1,5-wierszowym.

Przygotowanie do druku:

- tekst i tabele w programie Word, wersja 6.0 lub wyższa
- czcionka – Times New Roman
- układ pracy: słowa kluczowe, wstęp, wyniki i dyskusja bądź omówienie wyników, podsumowanie lub wnioski, literatura

tekst

- czcionka – 11 p. (spis pozycji literatury – 9 p.)
- wcięcie akapitowe – 0,5 cm

tabele

- podział na wiersze i kolumny (z funkcji tworzenia tabel)
- szerokość dokładnie 13 cm (tabele w pionie) lub 19 cm (tabele w poziomie)
- czcionka 9 p., pojedyncze odstępy międzywierszowe
- pod tabelą przypis ze wskazaniem źródła danych (autorstwa)

rysunki

- czarno-białe
- wykresy w programie Word lub Excel
- wymiary w zakresie 13 cm × 19 cm
- w podpisach czcionka 9 p.
- na płycie lub innym nośniku w oddzielnych plikach
- pod rysunkiem przypis ze wskazaniem źródła danych (autorstwa)

jednostki miary

- system SI
- jednostki zapisywać potęgowo (np. t·ha⁻¹)

literatura

- spis literatury na końcu pracy w układzie alfabetycznym wg nazwisk autorów, w kolejności: nazwisko (pismo rozstrzelone), pierwsza litera imienia, tytuł pracy, miejsce publikacji: tytuł wydawnictwa (wg ogólnie przyjętych skrótów tytułów czasopism), rok, numer (pismo pogrubione), strony,
- cytowanie w tekście – jako numer pozycji ze spisu literatury (w nawiasach okrągłych) lub dodatkowo z nazwiskiem autora (pismo rozstrzelone).

Pracę do recenzji należy złożyć w 1 egzemplarzu. Po recenzji oryginalny egzemplarz recenzowany złożyć/przesłać do Redakcji, a ostateczną wersję pracy, uwzględniającą uwagi recenzenta i redaktora, przesłać e-mailem.

Dane kontaktowe:

mgr Ewa Decka-Cywińska

Dział Upowszechniania i Wydawnictw IUNG-PIB

ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy

e-mail: edeka@iung.pulawy.pl