

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA
I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT
BADAWCZY



**STUDIA
I
RAPORTY
IUNG - PIB**

12

PROGRAM WIELOLETNI
2005–2010

PULAWY, 2008

**WYBRANE ZAGADNIENIA SYSTEMÓW
INFORMACJI PRZESTRZENNEJ
I OBSZARÓW PROBLEMOWYCH
ROLNICTWA W POLSCE**

KSZTAŁTOWANIE
ŚRODOWISKA ROLNICZEGO POLSKI
ORAZ ZRÓWNOWAŻONY ROZWÓJ
PRODUKCJI ROLNICZEJ

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Dyrektor: *prof. dr hab. Seweryn Kukula*

Redaktor: *doc. dr hab. Adam Harasim*

Recenzenci: *prof. dr hab. Stanisław Białousz*
prof. dr hab. Antoni Faber
prof. dr hab. Tadeusz Filipek
dr Krystyna Filipiak
dr Jan Jadczyśzyn
prof. dr hab. Anna Józefaciuk
dr Jerzy Kozyra
prof. dr hab. Stanisław Krasowicz
prof. dr hab. Jan Kuś
dr Rafał Pudelko
doc. dr hab. Tomasz Stuczyński

Opracowanie redakcyjne i techniczne: *dr Irena Marcinkowska*

ISBN 978-83-7562-006-1

Egzemplarz bezpłatny

Nakład 300 egz., B-5, zam. 48/F/08
Dział Upowszechniania i Wydawnictw IUNG - PIB w Puławach
tel. (081) 8863421 w. 301 i 307; fax (081) 8864547
e-mail: iung@iung.pulawy.pl; <http://www.iung.pulawy.pl>

WYBRANE ZAGADNIENIA SYSTEMÓW INFORMACJI
PRZESTRZENNEJ I OBSZARÓW PROBLEMOWYCH ROLNICTWA
W POLSCE

SPIS TREŚCI

Wstęp	7
1. Marek Korcz – Wyznaczanie obszarów zdegradowanych chemicznie z zastosowaniem systemu informacji przestrzennej – stan wiedzy	9
2. Sławomir Sioma, Dariusz Gozdowski – Możliwości wykorzystania Systemu Informacji Geograficznej do weryfikacji wniosków o płatności powierzchniowe	21
3. Eike Stefan Dobers – Stworzenie nowej informacji o glebie przez kombinację źródeł danych o różnej treści i skali za pomocą SIP i struktur przekonań	31
4. Stanisław Białousz, Przemysław Kupidura – „Soil sealing” – zagrożenie gleb wymienione w europejskiej strategii ochrony gleb. Propozycja metodyki jego określania	45
5. Jan Jadczyzyn, Tomasz Stuczyński – Wykorzystanie numerycznej mapy glebowo-rolniczej do analizy obszarów wiejskich	55
6. Katarzyna Osińska-Skotak – Wykorzystanie zakresu termalnego zdjęć satelitarnych do określania temperatury gleby	65
7. Wiesław Musiał – Obszary problemowe rolnictwa w terenach górzystych Europy	81
8. Jerzy Bański – Problemy demograficzne obszarów wiejskich	93
9. Krystyna Filipiak, Jan Jadczyzyn – Kryteria wyboru i ocena obszarów problemowych rolnictwa w Polsce	103
10. Krystyna Filipiak – Uwarunkowania produkcji rolniczej na obszarach gleb silnie zakwaszonych	113
11. Grzegorz Siebielec, Tomasz Stuczyński i in. – Uwarunkowania produkcji rolniczej w regionach o dużym udziale gleb zanieczyszczonych metalami śladowymi	123
12. Krzysztof Jończyk, Jan Jadczyzyn, Krystyna Filipiak, Tomasz Stuczyński – Przestrzenne zróżnicowanie zawartości materii organicznej w glebach Polski w kontekście ochrony gleb i ich rolniczego wykorzystania	145
13. Jan Jadczyzyn – Ocena warunków przyrodniczo-ekonomicznych gospodarstw na obszarach zagrożonych erozją wodną w Polsce	155
14. Artur Łopatka, Tomasz Stuczyński, Jerzy Kozyra – Wykorzystanie metod modelowania w przestrzennej analizie zagrożeń gleb erozją wietrzną w kontekście Europejskiej Strategii Glebowej	165
15. Przemysław Turowski – Satelitarne systemy obserwacji ziemi – siła różnorodności	179
16. Jan Jadczyzyn, Krystyna Filipiak, Tomasz Stuczyński – Ocena przestrzennego rozmieszczenia gleb podlegających skrajnej marginalizacji na obszarach ONW w Polsce	191

Wstęp

Działania służące poprawie rolniczego wykorzystania obszarów wiejskich w Polsce wpisane są w Program Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2007–2013 (PROW). Znaczna część instrumentów PROW realizowana jest na obszarach podlegającym różnym formom marginalizacji i ma na celu utrzymanie ich walorów krajobrazowych oraz struktury społecznej wsi. Ocena efektywności tych instrumentów, jak również zasadność objęcia określonymi działaniami poszczególnych obszarów stanowią wyzwanie dla instytucji zajmujących się ich programowaniem i analizą. W tym kontekście istotną rolę odgrywają przestrzenne bazy danych i modele umożliwiające dokonywanie analiz wielokryterialnych, służących ocenie stanu warunków przyrodniczych i społeczno-gospodarczych przestrzeni rolniczej. Wzrasta również zainteresowanie analizą różnego rodzaju scenariuszy instrumentów i ich potencjalnym wpływem na sferę społeczną, ekonomiczną i środowiskową.

Zagadnienia przedstawione w zeszycie nr 12 z serii wydawniczej „Studia i Raporty IUNG-PIB” koncentrują się głównie na analizie obszarów problemowych rolnictwa w Polsce, które ze względu na uwarunkowania przyrodnicze i ekonomiczno-społeczne wymagają specjalnego wsparcia i bieżącego monitoringu działań realizowanych w ramach PROW. Dotyczy to przede wszystkim terenów o bardzo niskim potencjale produkcyjnym, zaliczonych do obszarów ONW o skrajnie niekorzystnych warunkach gospodarowania, terenów narażonych w największym stopniu na erozyjną degradację gleb, bardzo silnie zakwaszonych, czy też zanieczyszczonych metalami ciężkimi i zagrożonych wyludnianiem się. Problematyka zawarta w zeszycie była prezentowana podczas warsztatów naukowych, zorganizowanych w ramach zadań 1.1 i 1.3 programu wieloletniego IUNG-PIB w dniach 6 i 7 grudnia 2007 r.

Większość analizowanych tematów zrealizowana została w oparciu o przestrzenne bazy danych powstałe w IUNG-PIB i narzędzia analityczne Zintegrowanego Systemu Informacji o Rolniczej Przestrzeni Produkcyjnej. W analizach przestrzennych obszarów wiejskich wykorzystano informacje podstawowe charakteryzujące siedlisko glebowe w postaci mapy glebowo-rolniczej, dane dotyczące użytkowania terenu i pochodzące z monitoringu gleb oraz dane meteorologiczne i dane z GUS o warunkach ekonomiczno-społecznych wsi. Przedstawiono również źródła i przykłady wykorzystania wysokorozdzielczych zobrażeń satelitarnych i lotniczych do oceny zjawisk przestrzennych w środowisku, prognozowania zmian w sposobie użytkowania gruntów i wsparcia systemów informatycznych realizujących działania PROW. Zamieszczone opracowania i wyniki analiz przybliżają metodykę klasyfikacji obszarów problemowych, dają orientację w zakresie kryteriów marginalizacji oraz źródeł danych, posiadają jednocześnie wymiar praktyczny i mogą być wykorzystane w racjonalnym zarządzaniu przestrzenią rolniczą terenów wiej-

skich. W perspektywie zmian ekosystemowych, powodowanych w znacznej mierze zmianami klimatu, można się spodziewać, że przydatność rolnicza wielu obszarów problemowych ulegnie dalszemu ograniczeniu, co będzie wymagało opracowania adekwatnych instrumentów adaptacyjnych na podstawie ilościowych danych przestrzennych.

Kierownik zadania 1.1

doc. dr hab. Tomasz Stuczyński

Kierownik zadania 1.3

dr Jan Jadczyszyn

Marek Korcz

Zespół ds. GIS DNP3

Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych w Katowicach

WYZNACZANIE OBSZARÓW ZDEGRADOWANYCH CHEMICZNIE
Z ZASTOSOWANIEM SYSTEMU INFORMACJI PRZESTRZENNEJ
STAN WIEDZY

Wstęp

Zarządzanie środowiskiem i jego elementami z natury rzeczy jest zorientowane przestrzennie. Proces wyznaczania obszarów problemowych obejmuje między innymi zagadnienia delimitacji terenów zdegradowanych chemicznie. Zagadnienie identyfikacji i wyznaczania wysokich poziomów substancji chemicznych w glebach ma wieloletnią historię opisaną w rozległej literaturze geochemicznej, gleboznawczej i inżynierii środowiskowej (1, 7, 14, 15, 21), które częściowo zostało już ujęte w postaci norm i wytycznych (13, 28). W szeroko realizowanych pracach badawczych zwrócono uwagę na heterogeniczność środowiska i wynikające stąd potrzeby bardziej elastycznego dostosowania polityki i prawa do lokalnych uwarunkowań i lokalnie notowanych skutków (3, 32).

Ze względu na powszechność zanieczyszczenia gleb oraz duży wpływ tych zanieczyszczeń na inne elementy środowiska i bardzo duże koszty naprawy tego typu szkód projekt Ramowej Dyrektywy Glebowej (przywoływany dalej jako RDG) proponuje włączenie problematyki zanieczyszczenia gleb w obszar kontroli administracyjnej (23). RDG wskazuje praktycznie tylko jedno kryterium wydzielania terenów zdegradowanych chemicznie, a mianowicie kryterium ryzyka zdrowotnego i środowiskowego. Należy tu zwrócić uwagę, że kryterium to nie odnosi się do skali przestrzennej, charakteru procesu czy też źródła substancji, lecz do prawdopodobnego skutku w określonym miejscu, szacowanego dla długiego okresu. RDG stawia przed wszystkimi krajami członkowskimi wyzwanie polegające na inwentaryzacji i kontroli wszystkich obiektów zanieczyszczonych. Dotychczasowe rozpoznanie związków zanieczyszczenia gleb wraz z ich źródłami pozwoliło na opracowanie listy potencjalnych źródeł zanieczyszczenia powierzchni ziemi, która została włączona do projektu RDG jako otwarta lista obligatoryjna. Projekt Dyrektywy wymaga od każdego państwa wdrożenia procedur oceny ryzyka, które uwzględniać będą wszystkie formy władania i sposoby użytkowania ziemi, skutki wywoływane przez punktowe i rozproszone źródła substancji zanieczyszczających, czyli innymi słowy uwzględnią zjawisko zanieczyszczenia w całej jego złożoności.

Współczesna definicja określa teren zanieczyszczony jako obszar występowania substancji chemicznych w takim natężeniu, że stwarza ono ryzyko zdrowotne i/lub środowiskowe dla funkcji przypisanych lub spełnianych przez ten teren (23). Z definicji wynika zatem, że pomiar zawartości substancji chemicznych w mediach środowiskowych jest jedynie częścią procesu identyfikacji terenu zanieczyszczonego. Istotną częścią procesu identyfikacji jest określenie natężenia zanieczyszczenia poprzez wskazanie potencjalnego skutku jaki może wystąpić w odniesieniu do funkcji gleb. Miara skutków zanieczyszczenia może być reakcja wybranych receptorów, którymi są organizmy żywe lub w niektórych przypadkach funkcje. Ponieważ proces identyfikacji jest składową procesu zarządzania, identyfikacja obejmuje nie tylko skutek w postaci zanieczyszczenia, lecz cały proces zanieczyszczania – od źródła substancji przez drogi migracji, aż do potencjalnego skutku dla receptora (organizmu żywego lub funkcji); (18). Każdy z elementów procesu zanieczyszczania musi zostać zidentyfikowany i oceniony w przestrzeni i w czasie. Takie czterowymiarowe podejście wymaga zaangażowania odpowiednich środków zapewniających redukcję niepewności co do trafności podejmowanych decyzji zarządczych, w tym decyzji klasyfikacyjnych.

Rola GIS w procedurach identyfikacji terenów zanieczyszczonych

Procedury oceny ryzyka wymagają użycia dużej ilości różnotematycznych danych i informacji precyzyjnie określonych w przestrzeni i czasie. Duża ilość wymaganych danych i informacji, zróżnicowanie ich źródeł, a także zróżnicowanie procedur pomiarowych i heterogeniczność środowiska powoduje, że efektywne przeprowadzenie analizy i interpretacji danych staje się możliwe jedynie poprzez użycie technik informatycznych.

Stworzone kilkadziesiąt lat temu narzędzia budowy systemów informacji przestrzennej pozwalają na tworzenie infrastruktury dla gromadzenia, przechowywania, analizy, udostępniania i wizualizacji danych oraz uzyskiwania infrastruktury szczególnie przydatnej w zarządzaniu środowiskiem. Z punktu widzenia skuteczności polityki szczególnie znaczenie ma prawidłowe wyznaczanie obszarów problemowych (2, 15).

Narzędzia systemów informacji przestrzennej umożliwiają wizualizację zarówno danych i informacji pierwotnych, jak i danych i informacji wtórnych, tj. utworzonych w wyniku analiz statystycznych i symulacji. Odpowiednia wizualizacja ułatwia percepcję sytuacji, zmniejszając ryzyko powstawania niezamierzonych błędów w procesie decyzyjnym.

Systemy informacji przestrzennej są szczególnie przydatnym instrumentem zarządzania, gdyż mogą ewoluować od funkcji zbierania, integrowania i przechowywania danych i informacji w geograficzne systemy wspomaganie decyzji (22), w których olbrzymią rolę odgrywają ich możliwości analityczne.

Narzędzia GIS umożliwiają różnego typu analizy: od najprostszych pomiarów i operacji matematycznych, po bardziej złożone zabiegi reklasyfikacji, przestrzennego nakładania warstw informacyjnych, badania związków i sąsiedztwa cech. Najbardziej złożone operacje obejmują modelowanie statystyczne i matematyczne. W procesach

identyfikacji i wyznaczania terenów większość z tych operacji jest wykonywana w sposób automatyczny lub półautomatyczny, a o ich doborze decyduje cel i warunki prowadzenia analizy.

Współczesny GIS posiada możliwość komunikowania się z wyspecjalizowanymi serwerami, co pozwala na przyspieszenie i obiektywizację formułowania warunków brzegowych prowadzonych analiz. Systemy informacji przestrzennej o zanieczyszczeniu powierzchni ziemi powiązane z istniejącymi systemami ewidencji gruntów, ewidencją działalności gospodarczych, planami zagospodarowania przestrzennego i innymi systemami informacji o środowisku mogą stworzyć szkielet systemu zarządzania środowiskiem z uwzględnieniem jakościowych i ilościowych kryteriów jego oceny (20).

Zasadniczym problemem w procesach podejmowania decyzji o terenach zdegradowanych chemicznie jest jednoznaczne określenie obiektu oraz kryteriów, według których wyróżnione obiekty są następnie klasyfikowane. W procedurach ryzyka wyróżnia się co najmniej dwie skale decyzyjne. Jedna związana jest z formułowaniem tezy o degradacji i jest to najczęściej skala przeglądowa. Druga skala dotyczy konkretnych obiektów i jest ona szczegółowa. W obu przypadkach niezbędne jest wyznaczenie granic zakresu analizy oraz granic obiektu, w odniesieniu do którego podejmowana jest lub ma być podjęta konkretna decyzja.

Heterogeniczność przestrzenna i czasowa środowiska wymaga zgromadzenia odpowiedniej ilości danych, które będą reprezentowały dany obiekt jako obiekt opisany w trzech wymiarach (3D), zmienny w czasie. W procedurach ryzyka dane dotyczą trzech głównych składowych, tj. źródeł zanieczyszczenia, dróg migracji substancji zanieczyszczającej i receptorów. O ile źródła zanieczyszczenia i drogi migracji traktowane są w przybliżeniu jako cechy o stałej lokalizacji, to w przypadku receptorów mamy do czynienia z obiektami dynamicznymi.

Zgromadzone w systemie informacji przestrzennej dane pomiarowe służą do klasyfikacji obszaru. Dane pomiarowe obciążone są niepewnością wynikającą zarówno z procesu pomiarowego (błąd analityczny i poboru prób), jak i z rzeczywistej niepewności co do stanów występujących pomiędzy punktami pomiarowymi. Niepewność wynikająca z procesu pomiarowego jest przedmiotem klasycznej analizy statystycznej, a niepewność przestrzenna jest przedmiotem analizy geostatystycznej. Wyniki tych analiz mogą stanowić podstawę probabilistycznej klasyfikacji terenów zdegradowanych chemicznie. Najprostszy podział obejmuje wyróżnienie terenów, które z ryzykiem błędu 5% klasyfikowane są jako: tereny czyste lub niestwarzające dodatkowego ryzyka, zanieczyszczone lub stwarzające dodatkowe ryzyko oraz klasę trzecią o niepewnej przynależności (15, 16). W czteroklasowym podziale do wydzielenia klasy niepewnej stosuje się wartość środkową, która tworzy dwie podklasy terenów prawdopodobnie czystych i prawdopodobnie zanieczyszczonych (6, 31).

Podstawowym problemem procedury identyfikacji terenów zdegradowanych chemicznie jest stworzenie standardu odpornego na błędy pomiarowe i obiektywnego co do końcowych decyzji. Poziom zapewnienia i kontroli jakości winien uniemożliwiać odrzucenie decyzji administracyjnych podejmowanych na podstawie wyników postę-

powania identyfikacyjnego. Należy bowiem pamiętać, że zidentyfikowane zanieczyszczenie jest szkodą w środowisku, która wymaga naprawy (29).

W celu redukcji kosztów społecznych procesu identyfikacji obiektów zanieczyszczonych przyjmuje się, że ma on charakter kilkustopniowy i przebiega na różnych, lecz połączonych poziomach organizacyjnych (27, 28). Najczęściej wyróżnia się dwa poziomy, jeden o charakterze regionalnym i drugi o charakterze lokalnym obiekto- wym. Poziom regionalny, nazywany też etapem wstępnym identyfikacji lub etapem stawiania hipotezy o zanieczyszczeniu, służy zawężeniu rozmiarów problemu identyfikacji w skali kraju. Proces identyfikacji przebiega tu na podstawie danych społeczno-gospodarczych oraz danych regionalnych (najczęściej archiwalnych) charakteryzujących środowisko (16, 17).

W procesie wyznaczania pojedynczych obiektów na poziomie lokalnym korzysta się z danych i informacji uzyskanych na poziomie pierwszym oraz z lokalnych danych pomiarowych. Najczęściej dzieli się go na dwa etapy, tj. etap pomiarów wstępnych (potwierdzających hipotezę o zanieczyszczeniu, wytworzoną na poziomie regionalnym) i etap pomiarów szczegółowych. Na etapie pomiarów wstępnych za pomocą niewielkiej liczby pomiarów dokonuje się dalszego ograniczenia listy obiektów zanieczyszczonych oraz ustalenia listy substancji chemicznych specyficznych dla danego obiektu. Uporządkowanie i skodyfikowanie tych procesów zapewni spełnienie kryteriów jakościowych zarządzania w skali kraju, regionu i pojedynczego obiektu.

Szczególnie istotne staje się zagadnienie ujednolicenia podejścia do schematu pomiarowego i klasyfikacji uzyskanych pomiarów. Wspomniane powyżej probabilistyczne podejście do klasyfikacji terenów zanieczyszczonych może być stosowane do poszczególnych substancji lub też, obliczonych zgodnie z procedurami analizy i charakteryzowania ryzyka, minimalnych i maksymalnych wartości odpowiednich wskaźników (30).

Niepewność jako podstawa klasyfikacji terenów zanieczyszczonych

Proponowany schemat jest ściśle powiązany z lokalną zmiennością danych i stosowanymi metodami poboru prób i analizy substancji oraz niepewnością ustalenia tych parametrów. Poniżej omówiono sposób powiązania ich ze sobą dla uzyskania dobrego obrazu rozgraniczenia obszaru problemowego.

Dane pomiarowe mają charakter czterowymiarowy, tj. każdy pomiar odnosi się do wybranego punktu w przestrzeni o wymiarach X , Y , Z w czasie t . Każdy z pomiarów może być traktowany jako deterministyczny, tj. określający mierzoną wartość w tych czterech wymiarach z pewną dokładnością. Pomiedzy punktami pomiarowymi występuje obszar, gdzie wartości cechy nie są znane i mogą być jedynie szacowane, również z pewnym błędem. Ich suma tworzy obszar niepewności danej cechy. Mając pewien zestaw pomiarów odnoszących się do danego obiektu możemy dokonać oszacowania struktury zmienności, tj. rozdzielić niepewność na wynikającą z błędów analitycznych i lokalizacyjnych (poboru prób) oraz niepewność wynikającą z przestrzennych współzależności punktów pomiarowych i błędów wyznaczenia tej współzależności.

Analiza udziału błędów pomiarowych w ogólnej zmienności (tj. błędu laboratoryjnego i błędu poboru próby) możliwa jest w oparciu o klasyczną analizę wariancji. Zadanie to rozwiązywane jest przez geochemię stosowaną od wielu lat, a w odniesieniu do zagadnień zanieczyszczenia środowiska opisane zostało przez H o l c o m b e'a (11). Połączenie klasycznej analizy wariancji i zagadnienia kontroli jakości w tej dziedzinie opisane zostało przez R a m s e y'a (24, 25). Określenie niepewności przestrzennej wymaga zastosowania znanej w geochemii analizy geostatystycznej (12, 15). Różnica pomiędzy klasyczną analizą wariancji i analizą zmienności przestrzennej wynika z założeń stojących u podstawy obu podejść. W analizie geostatystycznej, w przeciwieństwie do analizy statystycznej, zakłada się, że zmienność cech przestrzennych zależy od wzajemnego położenia punktów pomiarowych, podczas gdy w analizie klasycznej zakłada się niezależność poszczególnych pomiarów. W modelu geostatystycznym zmienność rozkładana jest na trzy składowe, tj. tzw. zmienność mikro (zależna od warunków lokalnych, zastosowanych narzędzi pomiarowych i właściwości sieci pomiarowej), zmienność zależną od wzajemnego położenia punktów (zależna od warunków lokalnych) i błąd losowy (4). Oba podejścia można uznać za komplementarne, gdyż jedno opisuje nam niepewność pomiarową, uznając pozostałą część za niepewność geochemiczną, podczas gdy w drugim szczegółowej analizie podlega charakter zmienności geochemicznej i błąd losowy.

Ocena jakości pomiarów bazująca na klasycznej analizie statystycznej stwarza znakomite podstawy do osiągnięcia celu decyzyjnego, tj. klasyfikacji zanieczyszczenia obiektu w sposób powtarzalny i dający się weryfikować. Stąd też wyniki uzyskane przy zastosowaniu procedury bazującej na takim podejściu mogą zostać przeniesione w obszar prawa, czyli stać się podstawą do podejmowania decyzji o konieczności naprawy szkody.

Z praktycznego punktu widzenia istotne są koszty wyznaczenia obszarów problemowych. Zaproponowany przez R a m s e y'a (26) schemat pomiarowy jest istotnie tańszy niż proponowany w geochemii stosowanej schemat pomiarowy G a r r e't'a (8-10).

Dla zbadania obiektu niezbędne jest co najmniej 8 lokalizacji pomiarowych, w których pobiera się próbę rutynową i jej duplikat przestrzenny. Duplikat przestrzenny pobiera się w odległości 1 do 2 m od próby rutynowej. W ten sposób uzyskiwane są dwie grupy po 8 prób, które analizuje się dwukrotnie celem określenia zmienności analitycznej. Łącznie wykonuje się 32 analizy (24). W schemacie klasycznej analizy wariancji G a r r e't'a (24, 25) zalecano pobranie 30 prób rutynowych i 30 duplikatów przestrzennych, tj. łącznie 60 prób dla każdej substancji z zaleceniem wykonania powtórzeń laboratoryjnych. Wybrane 8 lokalizacji powinno zapewnić reprezentację zarówno wysokich, średnich, jak i niskich zawartości danej substancji chemicznej. Schemat pomiarowy dostosowany jest do obiektów niewielkich. Dla obiektów dużych o znacznej heterogeniczności konieczne jest zwiększenie liczby prób.

Od strony technicznej zmienność całkowitą zapisać można jako sumę poszczególnych źródeł zmienności, tj. jako:

$$s_{\text{total}}^2 = s_{\text{samp}}^2 + s_{\text{anal}}^2 + s_{\text{geoch}}^2 \quad (1)$$

$$s_{\text{total}}^2 = \text{micro} + \text{model zmienności} + \text{błąd} \quad (2)$$

Niepewność pomiarową zapisać można jako zmienność pomiarową, tj. sumę zmienności wywołanej metodą poboru prób i zmienności laboratoryjnej:

$$u = s_{\text{pomiarowa}} = \sqrt{s_{\text{samp}}^2 + s_{\text{analit}}^2} \quad (3)$$

co po uwzględnieniu statystyki rozkładu (k) dla populacji przy ryzyku błędu 5% dostarczy oceny niepewności populacyjnej:

$$U = k \times u = 1,96 \times \sqrt{s_{\text{samp}}^2 + s_{\text{analit}}^2} \quad (4)$$

a w postaci populacyjnej lub rozszerzonej niepewności pomiarowej względnej:

$$U_{\%} = 100 \times \frac{1,96 \times \sqrt{s_{\text{samp}}^2 + s_{\text{analit}}^2}}{\bar{x}} \quad (5)$$

Odpowiednie przedziały ufności niepewności przy tym samym 5% ryzyku błędu wynosić będą:

$$U_{\text{dodat.}} = c + U - c \times \left(1 + \frac{U_{\%}}{100}\right) \quad (6)$$

$$U_{\text{negat.}} = c - U - c \times \left(1 - \frac{U_{\%}}{100}\right) \quad (7)$$

Korzystając z tych przedziałów ufności, w obecności wartości normatywnej, można dokonać klasyfikacji punktów pomiarowych na następujące podzbiory:

- należące z 5% ryzykiem błędu do grupy punktów niezanieczyszczonych (gwarancja czystości), tj. gdzie $c + U < T$ (obustronne prawdopodobieństwo, że zawartość substancji w środowisku przekroczy wartość normatywu wynosi 0,025);
- prawdopodobnie czyste z 5% ryzykiem błędu, tj. gdzie $c > T > c - u$ (obustronne prawdopodobieństwo, że zawartość substancji w środowisku przekroczy wartość normatywu wynosi 0,025-0,5);
- prawdopodobnie zanieczyszczone z 5% ryzykiem błędu, tj. gdzie $c < T < c + u$ (obustronne prawdopodobieństwo, że zawartość substancji w środowisku przekroczy wartość normatywu wynosi 0,5-0,975);

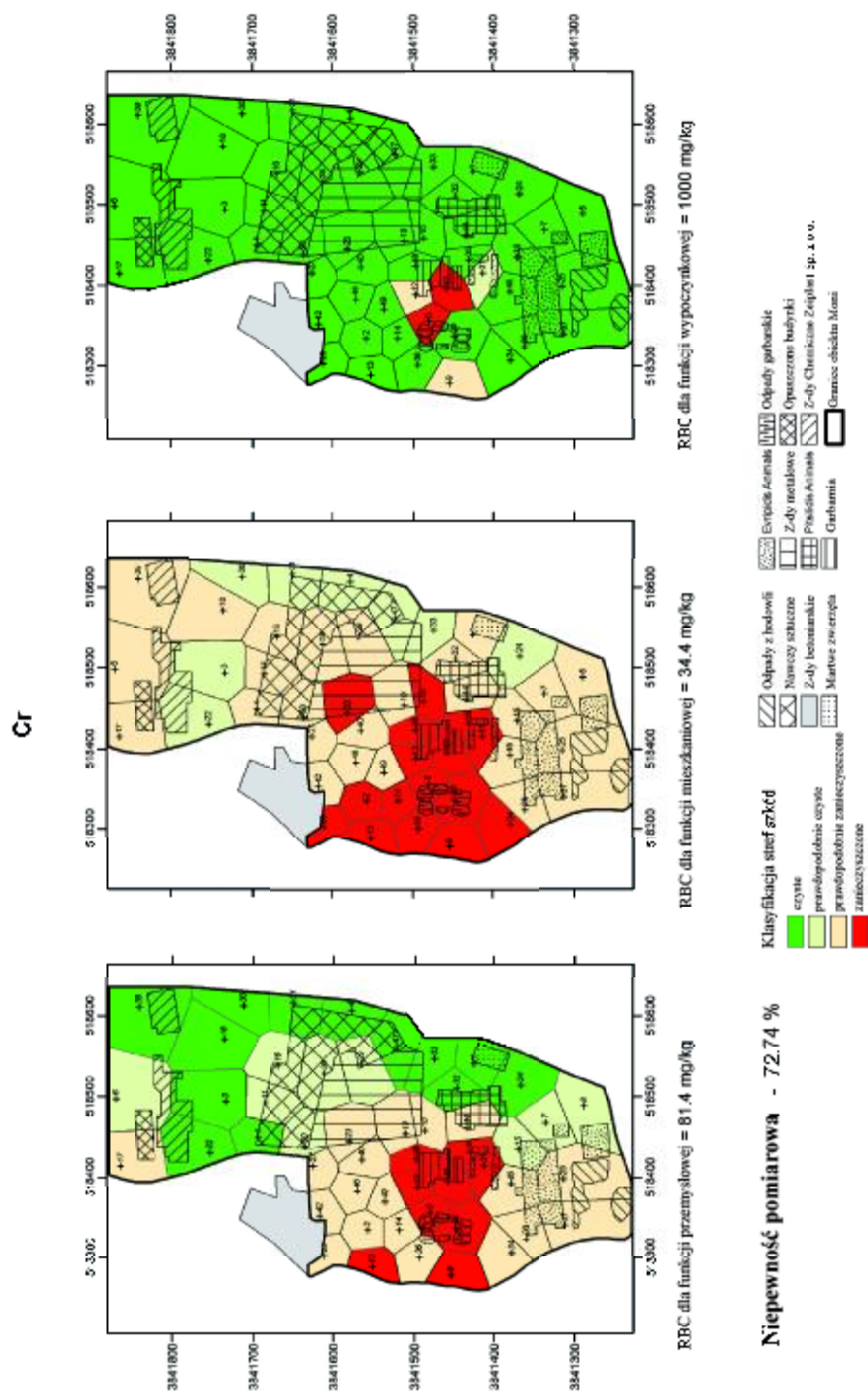
- należące z 5% ryzykiem błędu do grupy punktów zanieczyszczonych (gwarancja zanieczyszczenia), tj. gdzie $c - U > T$ (obustronne prawdopodobieństwo, że zawartość substancji w środowisku przekroczy wartość normatywu wynosi $>0,975$).

W podobny sposób użyć można ocenę błędu wyznaczenia średniej przestrzennej przy zastosowaniu metod geostatystycznych, gdzie dwukrotność błędu wyznacza rozmiar niepewności. Należy zwrócić jednak uwagę, że podejście obejmujące jedynie niepewność pomiarową jest w rzeczywistości znacznie tańsze, gdyż w klasyfikacji stosowane są parametry oceniane rutynowo na podstawie niewielkiej liczby prób, bez wnikania w zależności wyjaśniające zmienność geochemiczną. Natomiast w analizie geostatystycznej rozłożenie zmienności geochemicznej na składnik modelowany i błąd losowy wymaga obecności dużej liczby pomiarów (powyżej 60).

Podsumowanie i dyskusja

Przedstawiony schemat pomiarowy w stosunku do dotychczasowych propozycji krajowych (16, 28) wyróżnia się ładunkiem informacji wynikającym z zastosowanego uwikłania replikacji. Schemat proponowany przez *Stuczyskiego* i in. (28) określa jedynie minimalną liczbę prób dostosowaną raczej do terenów o niewielkiej zmienności ($4 + 1n$). Schemat proponowany wcześniej przez *Korcia* i in. (16) skupiał się natomiast na minimalnej liczbie prób uzależnionej od minimalnej objętości lub minimalnej powierzchni zanieczyszczonej, która powinna być wykryta przez sieć pomiarową. W dalszym etapie postępowania proponował probabilistyczne wydzielenie trzech klas. Żaden ze schematów nie wykorzystywał natomiast samego procesu identyfikacji jako wewnętrznej procedury kontroli jakości. W tym sensie proponowany schemat wnosi nową wartość, która ogranicza możliwość podważenia ustaleń podjętych na jego podstawie. Schemat ten był z powodzeniem zastosowany do przeprowadzenia identyfikacji i oceny terenów zanieczyszczonych na Cyprze (6, 31), a wcześniej w Grecji (5, 26). Przykład zastosowania schematu do klasyfikacji terenu zanieczyszczonego i wyznaczenia stref naprawy szkód w środowisku na podstawie przeprowadzonych pomiarów jednego wskaźnika zanieczyszczenia (chromu) przedstawiono na rysunku 1. Zamieszczone na nim mapki opracowane zostały w środowisku GIS z przypisaniem każdemu punktowi pomiarowemu wieloboku Voronoi'a (*Thiessen'a*). Ten sam obiekt oceniony został dla trzech różnych potencjalnych scenariuszy (funkcji), tj. przemysłowego (a), mieszkaniowego (b) i rekreacyjnego (c). Widoczne jest, że najbardziej wymagającym co do pożądanego poziomu czystości jest scenariusz mieszkaniowy oraz scenariusz przemysłowy. Najmniejsza powierzchnia szkód wskazywana jest dla scenariusza rekreacyjnego (31).

Ciekawym aspektem pojawiającym się na przemysłowych bądź poprzemysłowych terenach zdegradowanych chemicznie jest fakt występowania dużych zmienności i ewidentnych nieciągłości zanieczyszczenia wywoływanych działaniem czynników antropogenicznych. Odróżnia to ten rodzaj terenów zdegradowanych chemicznie od terenów rolnych, na których degradacja spowodowana była przez źródła obszarowe



Rys. 1. Przykład zastosowania schematu klasyfikacji probabilistycznej do oceny terenu o spodziewanym zanieczyszczeniu

Źródło: Weislo E., Korcz M., Długosz J., Owczarska I., 2007 (31).

(nawożenie, opad substancji zanieczyszczających). Na takich terenach nieciągłości w występowaniu zanieczyszczenia należą do rzadkości, chociaż zmienność występowania poszczególnych substancji może być bardzo duża (15).

Zwrócić należy też uwagę, że w praktyce zarządzania obiektami zanieczyszczonymi wyznaczanie obszaru problemowego przeprowadzone na etapie weryfikacji hipotezy o zanieczyszczeniu kontynuowane jest na kolejnym etapie postępowania, czyli na etapie szczegółowego dokumentowania zanieczyszczenia.

Wynikające z rozpoznania wstępnego ustalenia tworzą podstawę do opracowania nowej strategii dokumentowania zanieczyszczenia. Do najciekawszych zaliczyć należy dylemat dotyczący weryfikacji rozpoznania granic terenów wydzielonych jako prawdopodobnie zanieczyszczone i prawdopodobnie czyste. Z ekonomicznego punktu widzenia najbardziej atrakcyjne wydaje się podejście, w którym badania rozpoczyna się od obszarów prawdopodobnie czystych. Na nich bowiem występuje największa szansa sukcesu, tj. znalezienia wycinków terenu wolnych od zanieczyszczenia. Z drugiej strony występuje dążenie do szczegółowego rozgraniczenia terenów zanieczyszczonych. Podejmowanie badań na terenach prawdopodobnie zanieczyszczonych zwiększa dokładność wydzielenia terenów zanieczyszczonych, lecz szanse na znalezienie tu wycinków czystych są niewielkie. Dlatego też proponuje się na tym etapie odwrócenie strategii dokumentowania, w przeciwieństwie do etapu drugiego, gdzie nacisk kładziony był na identyfikację najbardziej zanieczyszczonych lokalizacji. Do kontroli jakości i końcowej interpretacji może zostać użyty schemat opisany powyżej lub też w jego miejsce wprowadzona interpretacja geostatystyczna. Liczba prób na tym etapie w przypadku obiektów większych nie powinna stanowić istotnego ograniczenia, przynajmniej w odniesieniu do obiektów rozległych. Na tym etapie konieczne jest również podjęcie decyzji o zakresie naprawy szkód. Trzy- lub czteroklasowa klasyfikacja probabilistyczna powinna być przekształcona w klasyfikację dwuklasową typu obiekt wymagający naprawy szkód i obiekt niewymagający naprawy szkód, zgodnie z aktualnym stanem wiedzy o zagrożeniach zdrowia i środowiska. Konserwatywne podejście nakazuje włączenie terenów prawdopodobnie zanieczyszczonych i prawdopodobnie czystych do klasy terenów zanieczyszczonych. Jest to kwestia umowy społecznej wpisanej w system prawa. Etap badań szczegółowych powinien zmienić proporcje pomiędzy powierzchnią terenów wymagających naprawy a ilością terenów traktowanych jako czyste.

Szczegółowość dokumentowania zanieczyszczenia jest problemem o charakterze społeczno-gospodarczym. Wartość terenu wyznacza bowiem granice akceptowalnych przez inwestora kosztów rozgraniczania stref wymagających i niewymagających naprawy. Wysoki potencjał gospodarczy terenu będzie uzasadniał zwiększoną szczegółowość rozpoznania celem redukcji powierzchni wymagających naprawy. Przy braku potencjału gospodarczego szczegółowość rozpoznania może być sterowana jedynie wymogami technologii naprawy szkód. W obu przypadkach przedstawione podejście do problemów interpretacji i klasyfikacji terenów zanieczyszczonych dostarcza jasnego obrazu podejmującym decyzje, umożliwiając optymalizację decyzji remediacyjnych z uwzględnieniem kosztów rozpoznania.

Literatura

1. Bosman R.: Sampling strategies and the role of geostatistics in the investigation of soil contamination. Contaminated Soil '93, maj 1993 Berlin - Arendt F., Annoke G. J., Bosman R., van den Brink W. J. (ed.). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht; 1993, 587-597.
2. Burrough P. A.: Principles of Geographical Information Systems for Land Resource Assessment. Clarendon Press, Oxford, 1986.
3. Carlone C.: Derivation methods of soil screening values in Europe. A review and evaluation of national procedures towards harmonization. JRC Scientifics and technical reports, EUR 22805 EN – 2007, Ispra, Italy, 2006.
4. Cressie N. A. C.: Statistics for spatial data. J. Wiley and Sons, Inc., New York.
5. Demetriades A. (ed): Geochemical atlas of the Lavrion urban area for environmental protection and planning: Explanatory text. Institute of Geology and Mineral Exploration, Athens, Greece, Open File Report, 1999, 1.
6. Demetriades A. (ed): National inventory of potential sources of soil contamination in Cyprus. Part 4 - Quality assurance and quality control, estimation of measurement uncertainty and compilation of probability risk assessment maps; Institute of Geology and Mineral Exploration, Athens, Greece, 2006.
7. Dudka S.: Ocena całkowitych zawartości pierwiastków głównych i śladowych w powierzchniowej warstwie gleb Polski. IUNG Puławy, 1992, **R(293)**: 1-71.
8. Garrett R. G.: The determination of sampling and analytical errors in exploration geochemistry. Econ. Geol., 1969, **64**: 568-574.
9. Garrett R. G.: The determination of sampling and analytical errors in exploration geochemistry - a reply. Econ. Geol., 1973, **68**: 282-283.
10. Garrett R. G.: Sampling methodology. R. J. Howarth (ed.), Statistics and Data Analysis in Geochemical Prospecting, Vol. 2, Chapter 4. G. J. S. Govett (ed.), Handbook of Exploration Geochemistry. Elsevier, Amsterdam, 1983, 83-110.
11. Holcomb L. J.: Effects of sampling design to analytical precision estimates. L. H. Keith (ed.), Principles of Environmental Sampling, Chapt. 28. American Chemical Society, 1988, 395-408.
12. Isaaks E. H., Srivastava R. M.: An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press, Oxford, 1989.
13. ISO, ISO/DIS 10381-5 Soil quality – Sampling – Part 5 Guidance on the investigation on soil contamination of urban and industrial sites. ISO/TC 190/SC2 N158, 1999.
14. Kabata-Pendias A., Pendias H.: Pierwiastki śladowe w środowisku biologicznym. Wyd. Geologiczne, Warszawa, 1979.
15. Korcz M.: Zastosowanie systemu informacji przestrzennej do analizy i oceny zanieczyszczenia gleb kadmem i ołowiem na przykładzie gminy Olkusz. Praca doktorska, WNoZ UŚI, Sosnowiec, 1999.
16. Korcz M., Mańko T., Bronder J., Słowikowski D., Długosz J., Owczarska I., Wadelik A.: Opracowanie materiałów dla potrzeb przygotowania procedur zarządzania środowiskiem na terenach zanieczyszczonych. Raport IETU nr 104/DO-GIS/02, IETU, Katowice, 2002.
17. Korcz M., Długosz J., Bronder J.: Identyfikacja terenów zdegradowanych chemicznie. W: Janikowski R. (red.) Środowisko i zdrowie. Polityka, zarządzanie, komunikowanie. Wyd. Ekonomia i Środowisko, Białystok, 2004, 117-127.
18. Korcz M., Długosz J., Słowikowski D.: Zarządzanie rekultywacją a ryzyko zdrowotne. W: Janikowski R. (red.) Środowisko i zdrowie. Polityka, zarządzanie, komunikowanie. Wyd. Ekonomia i Środowisko, Białystok, 2004, 104-116.
19. Korcz M.: Narzędzia techniczne warunkujące równoprawność podmiotów działających w systemie rekultywacji terenów zdegradowanych. W: Janikowski R., Starzewska-Sikorska A. (red.) Środowisko a Zdrowie – informacje, oceny, strategie, zastosowania. Wyd. Ekonomia i Środowisko, Białystok, 2005, 141-171.

20. K o r c z M., D ł u g o s z J.: System zarządzania powierzchnią ziemi. Opis systemu informacji. W: Janikowski R., Starzewska-Sikorska A. (red.) Środowisko a Zdrowie – informacje, oceny, strategie, zastosowania. Wyd. Ekonomia i Środowisko, Białystok, 2005, 141-171.
21. L i s J., P a s i e c z n a A.: Atlas geochemiczny Górnego Śląska. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa, 1995.
22. M a l c z e w s k i J.: GIS and multicriteria decision analysis. J. Wiley and Sons, Inc, New York, 2002.
23. Projekt Ramowej Dyrektywy Glebowej, 2006. Directive of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the protection of soil and amending Directive 2004/35/EC. COM(2006) 232 final, Bruksela 22.9.2006 http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/com_2006_0232_en.pdf
24. R a m s e y M. H.: Sampling and analytical quality control (SAX) for improved estimation in the measurement of Pb in the environment using robust analysis of variance. Applied Geochem., 1992, **2** (suppl.): 149-153.
25. R a m s e y M. H.: Sampling as a source of measurement uncertainty: techniques for quantification and comparison with analytical sources. J. Analytical Atomic Spectrometry, 1998, **13**: 97-104.
26. R a m s e y M. H., A r g y r a k i A.: Estimation of measurement uncertainty from field sampling: implications for the classification of contaminated land. The Science of the Total Environment, 1997, **198**: 243-257.
27. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleb i standardów jakości ziemi. Dz. U. z 2002 r. Nr 165, poz. 1359.
28. S t u c z y Ń s k i T., S i e b i e l e c G., M a l i s z e w s k a - K o r d y b a c h B., S m r e c z a k B., G a w r y s i a k L.: Wyznaczanie obszarów, na których przekroczone są standardy jakości gleb. GIOŚ, Warszawa, 2004.
29. Ustawa z dnia 13 kwietnia 2007 r. o zapobieganiu szkodom w środowisku i ich naprawie. Dz. U. z 2007 r. Nr 75, poz. 493.
30. W c i s ł o E., D ł u g o s z J., K o r c z M.: A human health risk assessment software for facilitating management of urban contaminated sites: A Case Study: The Massa Site, Tuscany, Italy. Human and Ecological Risk Assessment, 2005, **11(5)**: 1005-1024.
31. W c i s ł o E., K o r c z M., D ł u g o s z J., O w c z a r s k a I.: Human health risk assessment for the Moni industrial area. Cyprus in National Inventory of Potential Sources of Soil Contamination in Cyprus Part 10; IETU, Katowice, 2007.
32. V e g t e r J. J., L o w e J., K a s a m a s H. (ed.): Sustainable management of contaminated land: An Overview, Austrian Federal Environment Agency, on behalf of CLARINET, 2003.

Adres do korespondencji:

dr Marek Korcz
Zespół ds. GIS DNP3
Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowych
40-844 Katowice
ul. Kossutha 6
tel.: (0-32) 254-60-31; 254-01-64
fax: (0-32) 254-17-17
e-mail: korcz@ietu.katowice.pl

Sławomir Sioma^{1,2}, Dariusz Gozdowski³

*¹ Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa w Warszawie,
Departament Kontroli na Miejscu*

*² Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa,
Zakład Systemów Informacji Przestrzennej i Geodezji Leśnej, SGGW Warszawa*

³ Katedra Biometrii, SGGW Warszawa

MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA SYSTEMU INFORMACJI GEOGRAFICZNEJ DO WERYFIKACJI WNIOSKÓW O PŁATNOŚCI POWIERZCHNIOWE

Wstęp

Wspólna Polityka Rolna prowadzona przez kraje członkowskie Unii Europejskiej wymaga bardzo szczegółowej kontroli wszystkich producentów rolnych, którzy deklarują chęć korzystania z poszczególnych programów pomocowych. Jednym z największych takich programów, finansowanym z Europejskiego Funduszu Orientacji i Gwarancji Rolnej (EFOGR), jest program płatności powierzchniowych, w ramach którego rolnicy otrzymują dopłaty do użytkowanych gruntów rolnych. Zakres pomocy, która dotyczy niemal wszystkich producentów rolnych zajmujących się produkcją roślinną wymaga sprawnego i bardzo wydajnego systemu kontroli, zapewniającego właściwe funkcjonowanie tego programu pomocowego pod kątem rzetelności przyznawania i zgodności z założeniami wsparcia. W warunkach Polski jest to tym bardziej istotne, że liczba producentów rolnych, którzy korzystają z płatności powierzchniowych, a tym samym liczba składanych corocznie wniosków do Agencji Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa jest jedną z największych spośród wszystkich krajów UE i wynosi ok. 1,5 mln (tab. 1). Łączna powierzchnia działek rolnych obejmowana dopłatami, to w każdym roku około 14 mln ha, przy średniej powierzchni działki nieco więcej niż 1 ha, daje to liczbę około 13 mln działek rolnych.

Właściwe działanie systemu dopłat bezpośrednich jest związane z gromadzeniem i analizą olbrzymiej ilości danych o charakterze przestrzennym. Spełnienie wymagań co do właściwego funkcjonowania programów pomocowych możliwe jest jedynie poprzez implementację rozwiązań systemowych opartych na technologii GIS.

Uwarunkowania i podstawy prawne wprowadzania GIS w systemach IACS

Obecnie funkcjonuje około 40 systemów IACS w 27 krajach członkowskich UE; łącznie obsługiwały one w roku 2005 około 5 mln producentów rolnych, gospodarują-

Tabela 1

Wybrane dane o Systemach Identyfikacji Działek Rolnych w niektórych krajach członkowskich Unii Europejskiej

Kraj	Powierzchnia użytków rolnych (mln ha)*	Informacje o zasobach LPIS			
		liczba gospodarstw ubiegających się o dopłaty (tys.)	liczba działek ewidencyjnych (mln)	liczba działek rolnych (mln)	średnia powierzchnia działki rolnej (ha)
Bułgaria ¹ **	7,99	-	-	0,38	10,2
Czechy ²	3,7	30	0,3	0,5	7,6
Finlandia ³	2,3	75	5,0	1,0	2,4
Polska ⁴	18,4	1 400 – 2004 r. 1 487 – 2007 r.	9,7	13	1,1
Rumunia ⁵ **	14,8	1400	-	ok. 5	ok. 1,0

* łączna powierzchnia użytków rolnych, nie tylko użytków zgłaszanych we wnioskach o płatności

** gospodarstwa zgłoszone do systemu IACS w roku 2006; w związku z przystąpieniem Rumunii i Bułgarii do UE z początkiem roku 2007 systemy LPIS są w fazie rozbudowy

Źródła:

¹ Ivanova R., 2006 (3)

² Trojáček P., 2003 (11)

³ Vertanen A., 2001 (12)

⁴ Orlińska J. i Wasilewska Z., 2004 (5)

⁵ Blenesi-Dima A. i Rusu M., 2006 (1), Gacichevici S., 2006 (2).

cych na 50 mln działek rolnych. Zatem wielkość polskiego systemu IACS pod względem liczby producentów i działek rolnych stanowiła około 30% wszystkich tego typu systemów w krajach UE (4, 9). Przystąpienie Rumunii do UE z początkiem roku 2007 i wprowadzanie w tym kraju IACS o wielkości porównywalnej z polskim odpowiednikiem tego systemu spowodowało znaczne zwiększenie łącznej wielkości tych systemów w UE pod względem liczby działek. Wymagania stawiane systemom ciągle rosną i skupiają się na zapewnieniu wysokiej wydajności. Nieodłącznym elementem każdego systemu IACS jest System Identyfikacji Działek Rolnych (ang. LPIS – Land Parcels Identification System) utworzony i funkcjonujący obecnie w oparciu o technologię GIS.

Podstawowymi celami, które spełnia LPIS są:

- określenie geograficznej lokalizacji działek rolnych,
- identyfikacja tych działek i ich granic,
- określenie powierzchni uprawnionej do płatności powierzchniowych w ramach tych działek.

Innymi zadaniami wynikającymi pośrednio z w/w celów podstawowych są m.in. ustalenie wielkości dopłat bezpośrednich oraz weryfikacja zgodności zadeklarowanych obszarów z ich rzeczywistą powierzchnią i sposobem użytkowania.

Duża ilość danych o charakterze przestrzennym wymaga właściwego i sprawnego przetwarzania. Rozporządzenie nr 1593/2000 Rady Europy nałożyło na kraje członkowskie UE obowiązek wykorzystania technologii GIS bazującej na obrazowych da-

nych fotogrametrycznych w systemie kontroli IACS z początkiem roku 2005. W poszczególnych krajach UE rozwój IACS w oparciu o technologię GIS różni się m.in. ze względu na odmienny sposób prowadzenia systemów katastralnych, tym samym różne formy dostępnych danych źródłowych oraz strukturę agrarną. Jednak wspólnym elementem implementacji technologii GIS w IACS w poszczególnych krajach członkowskich UE są ortofotomapy powstałe głównie na bazie zdjęć lotniczych oraz obrazów satelitarnych o bardzo wysokiej rozdzielczości przestrzennej i wysokiej rozdzielczości radiometrycznej.

Tworzenie, funkcjonowanie i aktualizacja LPIS w Polsce

Na podstawie danych przestrzennych, w tym istniejących baz danych systemów katastralnych, ortofotomap, jak również informacji pochodzących z corocznie składanych wniosków o płatności, powstaje zestaw danych, warstw informacyjnych pozwalający na sprawną identyfikację obszaru podlegającego dopłatom. Warstwa wektorowa granic działek ewidencyjnych pozwala na jednoznaczną identyfikację działki referencyjnej poprzez unikalny w skali kraju numer TERYT, uzupełniony o nazwę obrębu oraz numer arkusza mapy. Warstwa działek ewidencyjnych charakteryzuje się stosunkowo niewielkimi zmianami w czasie, niemniej jednak wymaga corocznej aktualizacji na podstawie zasobów Powiatowych Ośrodków Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej lub poprzez aktualizację w trakcie trwania kontroli administracyjnej w przypadku lokalnych zmian w Ewidencji Gruntów i Budynków (EGiB) w ramach tzw. importu interwencyjnego. Warstwa działek rolnych podlega znacznym zmianom w kolejnych latach (związane jest to z ich wykorzystaniem rolniczym, jak również ze zmianami granic poszczególnych działek rolnych) i powstaje corocznie jako wynik połączenia informacji ze składanych wniosków, kontroli realizowanej poprzez pomiar bezpośredni w terenie bądź jako wynik interpretacji obrazu ortofotomapy.

W Polsce rolę akredytowanej agencji płatniczej pełni Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa (ARiMR), która jako jednostka administracji państwowej odpowiedzialna jest za wdrożenie i funkcjonowanie Zintegrowanego Systemu Zarządzania i Kontroli (ZSZiK; ang. IACS). Jednym z podstawowych elementów ZSZiK jest System Identyfikacji Działek Rolnych (ang. LPIS), zapewniający możliwość obsługi i kontroli płatności powierzchniowych. Podstawą działania systemu LPIS jest baza danych działek referencyjnych, zaś podstawową bazą odniesienia jest baza danych ewidencji gruntów i budynków. W warunkach polskich ustawodawca w przepisach prawnych ustalił państwowy zasób ewidencji gruntów i budynków jako źródło danych dla założenia i prowadzenia krajowego systemu ewidencji producentów, ewidencji gospodarstw rolnych i wniosków o przyznanie płatności.

W systemie LPIS za podstawową jednostkę referencyjną (jednostkę odniesienia) przyjęto działkę ewidencyjną. Elementy bazy LPIS powstałe w oparciu o zasób ewidencji gruntów i budynków, to: wektorowe granice działek ewidencyjnych wraz z numerami oraz wektorowe granice powierzchni nieuprawnionych, raster mapy ewi-

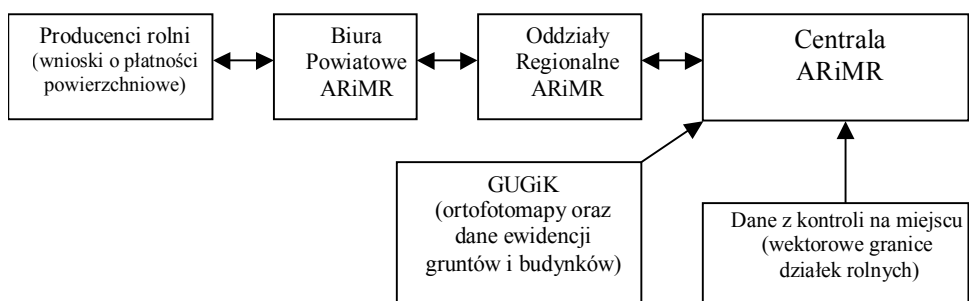
dencyjnej wraz z częścią opisową ewidencji gruntów i budynków. Bardzo istotnym elementem LPIS jest cyfrowa ortofotomapa rolniczej przestrzeni produkcyjnej. Ortofotomapy służą głównie do tworzenia i aktualizacji baz danych ZSZiK i jako dane źródłowe aktualizowane są w Polsce w cyklu 5-letnim. Z uwagi na warunki technologiczne towarzyszące wykonaniu ortofotomap przyjęto w Polsce stopniową aktualizację danych obrazowych, po około 20% powierzchni kraju rocznie, opierając się głównie na zdjęciach lotniczych. Ortofotomapy wykorzystywane są głównie w kontroli wniosków, dlatego też dla wybranych obszarów wymagane jest coroczne wykonywanie aktualnych ortofotomap.

LPIS obejmuje swoim zasięgiem działania niemal wszystkie podstawowe moduły ZSZiK, tj. ewidencję producentów, ewidencję gospodarstw rolnych, ewidencję wniosków o przyznanie płatności, zintegrowany system kontroli, budując złożony system administracyjno-informatyczny, dzięki któremu możliwa jest sprawna dystrybucja i kontrola wypłacanych środków finansowych.

System LPIS dzięki rozbudowanym bazom danych oraz mechanizmom kontroli zapewnia realizację płatności powierzchniowych przy jednoczesnym przestrzeganiu praw i obowiązków zarówno ze strony producentów, jak również ARiMR. Schemat transferu informacji w systemie IACS w Polsce przedstawiono na rysunku 1.

Obieg informacji umożliwia ciągłą aktualizację danych przestrzennych na podstawie złożonych wniosków o płatności, wyników kontroli na miejscu, tj. na podstawie porównania powierzchni deklarowanej działek rolnych z wynikami pomiarów bezpośrednich na gruncie. Mechanizm kontroli na miejscu realizowany jest corocznie u co najmniej 5% liczby wszystkich rolników ubiegających się o objęcie systemem jednolitej płatności obszarowej. W roku 2007 w Polsce kontroli podlegało ponad 6% wniosków, co daje wielkość ponad 100 tys. realizowanych kontroli u podmiotów ubiegających się o płatności powierzchniowe.

Aktualizacja danych ewidencyjnych odbywa się poprzez import danych z zasobu ewidencji gruntów i budynków z zachowaniem standardu wymiany danych ewidencyjnych „SWDE”. Wykorzystanie technologii GIS umożliwia jednoznaczną identyfi-



Rys. 1. Schemat transferu informacji w polskim systemie IACS

Źródło: Opracowanie własne.

kację działek w terenie, ustalenie rzeczywistej powierzchni podlegającej wsparciu finansowemu oraz weryfikację poprawności złożonych wniosków. Możliwe jest sprawdzenie czy działka ewidencyjna istnieje oraz czy dana działka rolna związana położeniem z działkami ewidencyjnymi znajduje się na obszarach uprawnionych do dopłat, a także czy suma powierzchni częściowych działki rolnej, obejmującej swoim zasięgiem kilka działek ewidencyjnych, nie przekracza powierzchni uprawnionej do dopłat. Kolejnym ważnym elementem jest mechanizm, który na podstawie bazy danych pozwala na kontrolę czy płatności nie zostały zrealizowane wielokrotnie dla tej samej powierzchni. Innym obszarem wykorzystania technologii GIS jest kontrola na miejscu, podczas której ostatecznie weryfikuje się prawidłowość sporządzonej deklaracji. Obecnie w Polsce kontrola wniosków obszarowych realizowana jest metodą inspekcji terenowych lub metodą „foto”. Zgodnie z Rozporządzeniem Komisji (WE) nr 972/2007 z dnia 20 sierpnia 2007 r. obie metody traktowane są jako równorzędne. Ustalenie rzeczywistej powierzchni działek rolnych odbywa się na podstawie bezpośredniego pomiaru w terenie lub pomiaru na obrazie aktualnej ortofotomapy opracowywanej corocznie na podstawie wysokorozdzielczych zdjęć satelitarnych. W 2007 r. do kontroli metodą „foto” przekazano obrazy zarejestrowane poprzez sensory wysokorozdzielcze satelity Quick Bird i Ikonos, przetworzone do postaci ortofotomap w konwencji barw naturalnych. Do wykonawców kontroli przekazano ponadto zortorektyfikowane na poziomie scen obrazy satelitarne panchromatyczne i wielospektralne. Zortorektyfikowane sceny satelitarne stanowią produkty wspomagające kontrolę poprzez dostęp do szerszego zakresu informacji uzyskiwanej z kolejnych przetworzeń kompozycji barwnych jako narzędzi do ustalenia wiarygodnego przebiegu granic działek rolnych. Łączna powierzchnia wykonanych ortofotomap dla celów kontroli metodą „foto” realizowanej w roku 2007 wynosi około 9700 km². Wynik pomiaru terenowego lub digitalizacji działek na obrazie ortofotomapy odnoszony jest do powierzchni deklarowanej. W trakcie bezpośredniego pomiaru działek w terenie wykorzystywane są ortofotomapy uzupełnione treścią map ewidencyjnych, które ułatwiają inspektorowi orientację w terenie i poprawną weryfikację granic działki rolnej, w tym również gatunku rośliny uprawnej. W trakcie kontroli działek rolnych następuje również weryfikacja pod kątem położenia zadeklarowanych gruntów na terenach uprawnionych do konkretnego rodzaju wsparcia.

Aktualizacja ortofotomap na potrzeby LPIS w warunkach polskich, podobnie jak ma to miejsce w większości krajów europejskich, odbywa się co 5 lat. Ze względu na warunki gospodarowania (częste występowanie działek o małej powierzchni i wydłużonych kształtach) w warunkach polskich istnieje konieczność zachowania szczególnie wysokiej jakości zarówno geometrycznej, jak i radiometrycznej materiałów wyjściowych przy produkcji ortofotomap. Wymagania stawiane ortofotomapom są rygorystyczne i spełnienie ich możliwe jest przy wykorzystaniu zdjęć lotniczych, rzadziej wykorzystywane są obrazy satelitarne (6). Dane z pomiaru w terenie lub na obrazie ortofotomapy służą do ostatecznego określenia powierzchni uprawnionej do dopłat i są wprowadzane do systemu w celu archiwizacji wyników kontroli lub aktualizacji

danych w LPIS również w postaci warstw numerycznych, tj. map cyfrowych z pomiarów GPS lub powstałych w wyniku digitalizacji.

Perspektywy rozwoju systemów GIS wspomagających IACS

Kolejne działania ARiMR skupiają się na uzupełnianiu systemu o nowe warstwy informacyjne niezbędne do realizacji działań tam, gdzie płatność przyznana zostanie do danego fragmentu powierzchni gruntu. Wzbogacenie systemu o kolejne warstwy przestrzenne skupiać się będzie między innymi wokół kolejnych działań realizowanych w ramach PROW 2007–2013. Niezbędnym elementem systemu pozwalającym sprawnie realizować program zalesiania gruntów rolnych, który oparty został na założeniach Krajowego Programu Zwiększania Lesistości Kraju, będzie warstwa „zalesień” obejmująca działki zalesione w ramach minionego i obecnie realizowanego projektu. W ramach PROW 2004–2006 na zalesianie gruntów rolnych wydatkowano kwotę 84 mln EUR, w tym 67,72 mln stanowiło dofinansowanie z budżetu Unii Europejskiej. Wysokość wydatkowanych na ten cel kwot wymusza skrupulatną kontrolę realizacji zadań, sprawdzenie czy takie działania zostały zrealizowane oraz czy w przyszłości nie zostanie złożona deklaracja o płatność z tytułu użytkowania rolniczego na obszarze zgłoszonym pod zalesienia. Obecność i wiarygodność tego rodzaju warstwy informacyjnej w systemie przełoży się na efektywne, a zarazem niezbędne narzędzie do weryfikacji zasadności przyznawania środków z tytułu wyłączania gruntów z produkcji rolnej i stanowić będzie skuteczne narzędzie poprzedzające proces windykacyjny.

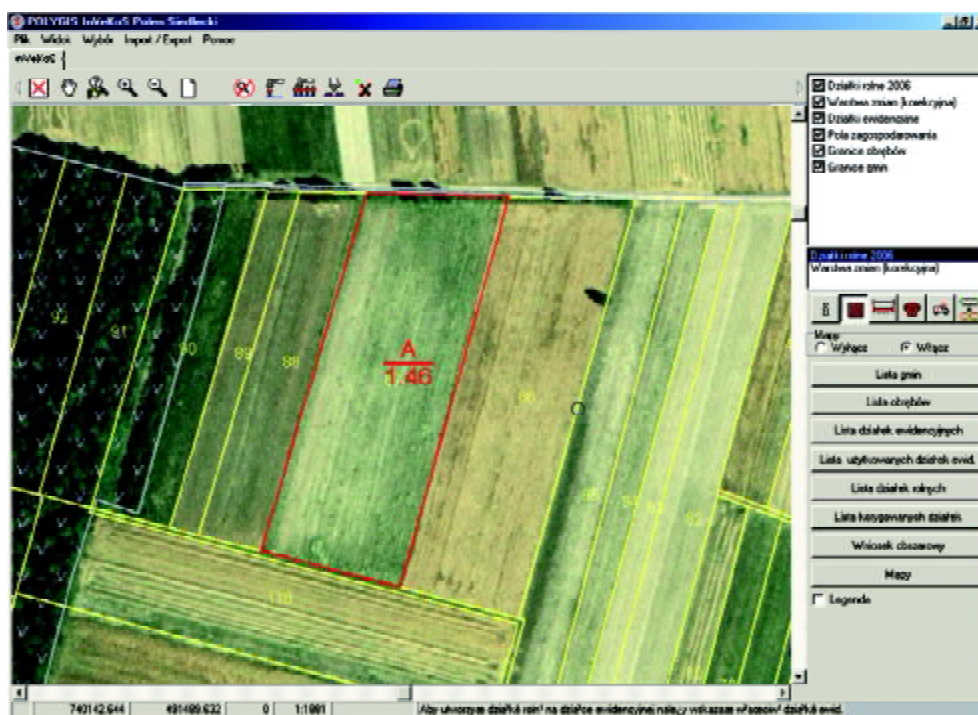
Ważnym elementem systemu IACS są wektorowe warstwy Natura 2000 opracowane i obecnie aktualizowane przez Ministerstwo Środowiska. Z uwagi na cenne z punktu widzenia przyrodniczego elementy środowiska naturalnego oraz konieczność prowadzenia racjonalnego sposobu gospodarowania niezbędne jest ciągle monitorowanie tych fragmentów przestrzeni rolniczej kraju. Podobnie wygląda sprawa stref azotanowych, gdzie szczególną rolę odgrywa ustalenie i kontrola stref zagrożonych przedostawaniem się azotu ze zwiększonych dawek do gleby, wód gruntowych i powierzchniowych. Obecność w systemie warstw wektorowych stref azotanowych wynika z konieczności identyfikacji i monitorowania systemu produkcji żywności na tych obszarach, zachowania bezpieczeństwa ludzi i środowiska naturalnego. Niezmiernie ważne jest zatem uzupełnienie systemu IACS o warstwę spadków wygenerowaną na podstawie numerycznego modelu terenu NMT (ang. Digital Terrain Model), pozwalającego na wyodrębnienie i kontrolę wybranych obszarów ze szczególną uwagą.

Informacja przestrzenna jako powszechny obecnie element w wielu rozwiązaniach informatycznych udostępniana jest użytkownikowi końcowemu do bezpośredniego wykorzystania bez potrzeby przekazywania rozległej wiedzy na temat sposobu funkcjonowania takiego systemu. Podobne rozwiązanie przyjęto przy realizacji projektów mających na celu wykorzystanie informacji przestrzennej w obsłudze wniosków o płatności powierzchniowe. Z uwagi na dbałość o przejrzystość całego procesu ubiegania się i przyznawania wsparcia finansowego w ramach płatności powierzchniowych potencjalny beneficjent powinien mieć dostęp do informacji o działce, co do

której ubiega się o dofinansowanie. Wymóg ten z powodzeniem może być realizowany również w oparciu o technologię GIS, niemniej jednak w Polsce w 2007 r. realizowany był poprzez dystrybucję drukowanych map. Wychodząc naprzeciw informatyzacji (obecnie dostępnych jest szereg dedykowanych programów rolniczych) Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa opracowała na własne potrzeby i przekazała do testowania w warunkach pilotażowych rozwiązanie informatyczne pod roboczą nazwą POLYGIS (10). Tego typu oprogramowanie zostało zaprojektowane i przetestowane przez ARiMR jako narzędzie wspierające proces składania wniosków obszarowych. Oprogramowanie jest przeznaczone do zainstalowania w komputerach osobistych lub w biurach instytucji doradczych i posiada niezbędny zestaw danych oraz narzędzi do przygotowania kompletnego wniosku.

Praca z tego typu oprogramowaniem pozwala na wydruk wniosku i przesłanie go w formie papierowej, jak ma to miejsce obecnie lub też przesłanie pliku wyjściowego, wyeksportowanego z aplikacji w formacie rozpoznawalnym dla ZSZiK.

Praca użytkownika z aplikacją skupia się na zarządzaniu niezbędnym, a zarazem identycznym zestawem danych przestrzennych zarówno graficznych, jak i opisowych dostępnym w bazach ZSZiK. Poprzez podstawowy, a zarazem typowy zestaw narzędzi dostępnych w aplikacjach GIS możliwe jest wybranie właściwej działki ewidencyjnej i zadeklarowanie na niej działki rolnej (rys. 2). Faza testów wskazuje, iż wprowa-



Rys. 2. Okno testowej aplikacji POLYGIS prezentujące działkę rolną

Źródło: Opracowanie własne.

dzenie technologii GIS już na etapie składania wniosków o płatności bezpośrednie ułatwia i zdecydowanie upraszcza komunikację z administracją w trakcie deklarowania właściwych powierzchni działek rolnych. Powstające w trakcie pracy z aplikacją warstwy działek rolnych podlegają wstępnej weryfikacji dzięki wewnętrznym mechanizmom kontroli. Zaprojektowanie właściwego systemu autokontroli umożliwi wskazanie i korektę błędów już na etapie przygotowania wniosków, szczególnie tych rozpoznanych dotychczas jako najczęściej popełniane. Prace nad doskonaleniem rozwiązań informatycznych bazujących na technologii GIS pracujących na platformie internetowej oraz rozwiązań niezależnych od sieci internet skupiają się na uproszczeniu komunikacji z administracją państwową poprzez utworzenie i propagowanie rozwiązań typowych dla eAdministracji, obecnie funkcjonującej z powodzeniem w wielu krajach. W dalszej perspektywie rozwiązania tego typu będzie można wdrażać również przy obsłudze innych wniosków pomocowych, gdzie niezbędne jest wykorzystanie informacji o charakterze przestrzennym. Szerokie możliwości wykorzystania tego typu narzędzi rysują się w programach rolnośrodowiskowych, gdzie pomoc przyznawana jest do powierzchni gruntu, dla którego wymagany jest przepisami prawa szczególnie sposób użytkowania, tj. stosowanie odmiennych technologii produkcji rolnej, uwzględnienie wytycznych odnośnie terminów ich realizacji lub np. zaniechanie uprawy prowadzonej prostopadle do warstw.

Oczekiwana funkcjonalność rozwiązań bazujących na technologii GIS powinna umożliwiać, między innymi, przygotowanie kompletnego prawidłowego wniosku, łącznie z wygenerowaniem niezbędnych załączników oraz wykonaniem wstępnej kontroli o charakterze administracyjnym. W rozwiązaniu dotyczącym płatności powierzchniowych przewidziano między innymi import danych z pomiarów GPS, automatyczne wprowadzenie danych bezpośrednio do wniosku oraz eksport kompletnego wniosku w postaci pliku. Dla zarejestrowanych użytkowników przewiduje się również możliwość przygotowania wniosku w oparciu o dane przestrzenne poprzez sieć Internet. Wykorzystanie w tych rozwiązaniach arkuszy ortofotomap o wysokiej rozdzielczości pozwala na precyzyjne i wiarygodne określenie powierzchni obszarów uprawnionych do płatności bez konieczności prowadzenia pomiarów w terenie.

Podsumowanie

Wykorzystanie technologii GIS w polskim systemie IACS staje się obecnie coraz bardziej wszechstronne poprzez dostosowanie kolejnych rozwiązań do nowych działań podejmowanych w ramach Wspólnej Polityki Rolnej (ang. CAP – Common Agricultural Policy) podlegającej kolejnym reformom, które wymagają kolejnych zmian systemowych.

Rozwój systemów informacji przestrzennej w sektorze rolnym zarówno poprzez realizację płatności obszarowych i szeroko rozumianej ochrony przyrody w skali całego kraju, jak i w skali pojedynczego gospodarstwa rolniczego następuje samoistnie poprzez wdrażanie wymogów wynikających z WPR. Na rynku pojawiają się firmy

komercyjne świadczące usługi w zakresie pomiarów działek rolnych, oferujące jednocześnie narzędzia i oprogramowanie, które usprawniają zarządzanie gospodarstwem rolnym. Obecnie dostępnych jest wiele programów wykorzystujących elementy technologii GIS, ułatwiających wykorzystanie danych przestrzennych nie tylko w płatnościach powierzchniowych. Powszechne udostępnianie informacji przestrzennej obserwuje się w wielu krajach Unii Europejskiej, jest to element pozwalający na uproszczenie procesu ubiegania się o wsparcie finansowe do produkcji rolnej. Dostęp do informacji w postaci cyfrowej, pozostającej do niedawna jedynie w zasobach instytucji państwowych, upowszechnia je, poszerzając tym samym krąg zainteresowanych użytkowników oraz zastosowań wymagających wsparcia danymi o charakterze przestrzennym.

Niezmiernie ważnym elementem funkcjonowania i rozwijania systemów opartych na technologii GIS jest współpraca pomiędzy wieloma instytucjami administracji państwowej, przy jednoczesnym wykorzystaniu najnowszych rozwiązań technologicznych, w tym osiągnięć naukowych.

Literatura

1. Blenesi-Dima A., Rusu M.: Land consolidation: Recent development in Romania. Mat. Konf. "Land consolidation and land development". Czechy, Praga, 2006.
2. Gacichevici S.: Status of LPIS in Romania. Mat. Konf. "Status of LPIS implementation workshop". Włochy, Ispra, 2006.
3. Ivanova R.: Land Parcel Identification System in Bulgaria. Mat. Konf. "Status of LPIS implementation workshop". Włochy, Ispra, 2006.
4. Kay S., Léo O.: IACS-GIS, LPIS. Parcel identification in the CAP single (area) payment scheme. Joint Research Centre, EC, Ispra, Italy, 2005.
5. Orlińska J., Wasilewska Z.: System odniesień przestrzennych LPIS – komponent infrastruktury danych przestrzennych. Mat. Sem. „Infrastruktura danych przestrzennych w Polsce i Europie”. AR Wrocław, 2004.
6. Pająk K.: Dokładności wymagane w procesie tworzenia ortofotomapy na potrzeby programu IACS. Prz. Geodez., 2004, **10**: 22-24.
7. Pérez J. M.: Cadastre and the reform of European Union's Common Agricultural Policy. Implementation of the Sigpac. Catastro, 2005, **7**: 161-172.
8. Rada Europy (EC). 2000. Rozporządzenie Rady (WE) nr 1593/2000 z dnia 17 lipca 2000 r. zmieniające rozporządzenie (EWG) nr 3508/92 ustanawiające zintegrowany system zarządzania i kontroli niektórych wspólnotowych systemów pomocy (Dz. U. L 182, str. 4).
9. Relin A., Krause A., Zieg G.: IACS GIS 2005: Demands and solutions. EFITA 2003 Conference 5-9.07.2003, Debrecen, Hungary, 2003, 408-415.
10. Sioma S., Korycki P.: Podsumowanie projektu „Wdrożenie aplikacji wspomagającej składanie wniosków o dopłaty powierzchniowe” – pilotaż. ARiMR, 2006.
11. Trojáček P.: New land parcel identification system for agricultural subsidies in the Czech Republic. In: Geoinformation for European-wide integration. Red. Benes T., Rotterdam, Millpress, 2003.
12. Vertanen A.: Cadastre and land parcel identification system in Finland. In: Cadastral data as a component of spatial data infrastructure in support of agri-environmental programmes. Red. Waters R., Dallemard J. F., Remetey-Fulopp G., 2001, 23-24.

Adres do korespondencji:

*mgr inż. Sławomir Sioma
Zakład Systemów Informacji Przestrzennej i Geodezji Leśnej
Wydział Leśny
SGGW
ul. Nowoursynowska 159
02-776 Warszawa
tel.: (+48 22) 593 82 19
e-mail: ssioma@wl.sggw.waw.pl*

Eike Stefan Dobers

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

GENERATION OF NEW SOIL INFORMATION BY COMBINATION
OF DATA SOURCES OF DIFFERENT CONTENT AND SCALE USING GIS
AND BELIEF STRUCTURES

Introduction

Today's soil maps are the result of many decades of field work supported by laboratory measurements and different cartographic methods. They are edited at various scales and contain a variety of attributes. Future attempts to update these maps with regard to attributes and/or scale will most probably be accomplished by interpretation of other spatial soil data as well as non-soil data sources. The results of the interpretation process will then be integrated into existing soil maps. Field work is not to be expected in larger extent because of decreasing financial resources available for such work (7).

As computers and Geographical Information Systems (GIS) become more common in map analysis and spatial data processing, there is a strong need to make explicit and transparent the process of data interpretation and the integration of the results into existing maps. Otherwise, purely because of the size of files used and the complexity of many computer algorithms for data processing, both the expert and the final user will have difficulties to keep track of the single steps in data analysis, interpretation and elaboration of final map. This may turn the perception of the whole GIS-supported process of map update into a 'black box' procedure, and by this may heavily affect the final acceptance of the maps (3). This is especially important, as many data sources are influenced by different sources and degrees of uncertainty (14).

Knowledge processing and treatment of data uncertainty with computers offer different possibilities to represent information, e.g. probability models (17), possibility models and their processing with fuzzy-rules (8, 9), belief structures (15), and others (17). Common to most of these methods is their ability to express quantitatively the strength of a 'fact' in a certain interpretational context, and sometimes as well to include partial knowledge or enable the user to represent ignorance as a factor in mapping process.

This paper reports results of a study to represent spatial knowledge about soil with *belief* structures. The study area is situated approximately 50 km south of Berlin (Germany) in a sand-loess region at the southern border of the state Brandenburg.

Very fertile soils on loess material can be found next to very low productivity soils, which developed on fluvial sand, which normally underlies the loess, but may occur at the surface because of erosion. Existing soil map data and other data sources are translated into *belief* structures. Update of these structures is performed using the *Transferable Belief Model* (TBM); (15). It is demonstrated, how very generalized soil information at a small scale (1 : 300.000) can be combined with large-scale information from agricultural soil quality maps (ca. 1 : 5.000) and actual, dGPS-georeferenced measurements of apparent soil electrical conductivity (EC_a). The final output is a map of soil types and forms at a large scale with a supplemental map of conflicts from the data combination process. The paper is a continuation of earlier studies about possible applications of the TBM in soil science (6).

Materials and Methods

Two spatial and two non-spatial data sources were available for a 46 ha agricultural field in the study area. Spatial data sources are the agricultural soil quality map at a scale of approximately 1 : 5000 (*Bodenschätzung, BS*), and measurements of the apparent electrical conductivity (EC_a) at a spatial interval of 24 m, georeferenced with a dGPS device and subsequently interpolated on a 5 m grid using kriging. Non-spatial data sources are the general soil survey map of Brandenburg at a scale of 1 : 300 000 (*Bodenübersichtskarte, BÜK300*), and published information about typical soil types in the study area (4, 10, 12).

The *BÜK300* map was edited at the end of the 20th century and renders polygons of soil form associations. A soil form is a specific combination of parent material and soil type according to the German soil classification (2). The legend contains denominations of associated soil forms and an assessment of the spatial dominance of the respective soil forms in the legend category. The study field is located in one single polygon of the *BÜK300*, and therefore this data source can be treated as non-spatial information, because only the information from the legend entry is used. The *BS* map was edited in the 1930s and contains soil polygons with information about parent material, integrated soil texture to a depth of 100 cm, and the soil development stage (2). EC_a measurements were performed in spring 2000 at field water capacity, using the EM38 sensor in vertical mode. EC_a of soil material is mostly influenced by soil clay and water content, as well as to a minor extent by organic matter, soil density, and other factors (McNeil 1980).

Representation of soil data at a certain location with belief structures within the TBM (15) results in two levels of information: (1) a hypothesis about the soil form (or several soil forms), and (2) a *mass of belief (mob)* with regard to this hypothesis. The *mob* is on a scale between 0 and 1. The TBM allows for different hypotheses (or sets) and *mob* for a certain location. Partial or total ignorance about the soil is represented by the empty set $\{\emptyset\}$ and its respective *mob*. Update of beliefs is accomplished using *Dempster's* rule of combination (16). From the *mob* assigned to the empty set

by the belief update procedure, a weight of conflict (woc) can be derived ($woc = -\log(1-mob\{\emptyset\})$).

Table 1

Example of representation of knowledge about soils with belief structures and update of beliefs to introduce new data (G - "good soil"/B - "bad soil"); (see text for details)

(1) initial belief structures		mob (initial situation)		mob (after reliability correction)		
data source	reliability	{G}	{B}	{G}	{B}	{G, B}
"old soil map"	0.70	1.00	0.00	0.70	0.00	0.30
"yield map"	0.80	0.00	1.00	0.00	0.80	0.20
(2) belief update		"yield map"				
"old soil map"	mob/hyp.	0.80 {B}	0.20 {G, B}			
	0.70 {G}	0.56 {∅}	0.14 {G}			
	0.30 {G, B}	0.24 {B}	0.06 {G, B}			
(3) final belief structures						
hypotheses	{G}	{B}	{G, B}	{∅}	woc	
mob initial	0.14	0.24	0.06	0.56		
mob normalized	0.32	0.55	0.13	0.00	0.36	

Source: Author's own data.

Table 1 presents an illustrative example for representation of soil knowledge, and the update procedure, when new knowledge is available. In this example, two basic hypotheses are possible: „good soil” $\{G\}$, and „bad soil” $\{B\}$. Additional, two more sets are possible: both alternatives $\{G, B\}$ and ignorance, represented by the empty set $\{\emptyset\}$. The first data source is information from an old soil map, which shows $\{G\}$ for this location. However, the second data source, a more recently created and reliable dGPS yield map, shows very low yields at the location, and therefore is interpreted as $\{B\}$. Both data sources are weighted according to their assumed reliability, and combined. After combination and normalisation of all mob (to sum to 1), the mob supporting hypothesis $\{B\}$ is higher than for $\{G\}$. Because of this, the resulting, updated map would display „bad soil” for this location. However, the woc is rather high, and should be taken into consideration, when using the soil map to derive decisions for e.g. land use planning or production systems. For example, before taking a decision more research could be dedicated to this location first, to be more sure about the real quality of the soil, and effectively reduce ignorance or unreliable data.

The available spatial and non-spatial data sources for the study area were translated into soil forms. By this, every data source (non-spatial sources) or the respective categories of the maps (spatial data sources) result in a certain hypothesis or set of hypotheses with a weighting factor (table 2). Applying the weighting factor results in the respective *mob* values for each hypothesis. While only one legend category of *BÜK300* appeared on the study field, the mentioned soil forms with there respective spatial dominance were used for every location. The resulting map contains four different hypotheses and respective *mob* values to represent the belief, that at a certain

Table 2

Interpretation of different data sources with regard to soil forms for the study area

Soil form ^a								
data source	weight ^b	YK ₁	LF ₂	LF-BB ₂	LF ₃	LF-BB ₃	lBB ₄	LF-BB ₅
		u/sö	sö/s		sö/ls		s/s	s/ls
BÜK300								
LF/LF-BB	0.61	-	1.00	1.00	-	-	-	-
LF/LF-BB	0.18	-	-	-	1.00	1.00	-	-
IBB	0.18	-	-	-	-	-	1.00	-
LF-BB	0.03	-	-	-	-	-	-	1.00
literature								
YK	0.03	1.00	-	-	-	-	-	-
BS								
SI 5	var.	-	-	-	-	-	1.00	-
SI 4	var.	-	-	-	-	-	1.00	1.00
SI 3 Löd	var.	-	-	-	-	-	-	1.00
IS 4 Löd	var.	-	-	1.00	-	1.00	-	1.00
SL 4 Löd	var.	-	1.00	-	1.00	-	-	-
EC_a (1)^c								
< 18	var.	-	-	-	-	-	1.00	-
18-22	var.	-	-	-	-	-	-	1.00
20-24	var.	-	-	1.00	-	-	-	1.00
24-28	var.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-	-
>28	var.	1.00	1.00	-	1.00	-	-	-
EC_a (2)^c								
< 18	var.	-	-	-	-	-	1.00	-
18-22	var.	1.00	-	-	-	-	-	1.00
20-24	var.	-	-	1.00	-	-	-	1.00
24-28	var.	-	1.00	1.00	1.00	1.00	-	-
>28	var.	-	1.00	-	1.00	-	-	-

^a abbreviations according to German classification (KA5): 1st row 'soil types': YK – *Kolluvium*, LF – *Fahlerde*, LF-BB – *Fahlerde-Braunerde*, IBB – *Braunerde (lessiviert)*; 2nd row 'parent material' (the slash '/' separates layers): u – silt, sö – sand loess, s – sand, ls – loamy sand; the respective WRB soil types would be: *Kolluvium* – *Kolluvisol*, *Fahlerde* – *Haplic Luvisols*, *Braunerde* – *Endoeutric Albeluvisols*;

^b weights are derived from information with regard to spatial dominance for spatially uniform data sources *BÜK300* and *literature*; weights are spatially variable for the other data sources because of fuzzified border regions between different data levels;

^c values are given in mS*m⁻¹, corrected for standard soil temperature of 25 degrees Celsius;

Sources: Arbeitsgruppe... (2), Dobers E. S. (4), Maudrei F. (12).

location the respective soil form can be expected: $mob(\{LF_2, LF-BB_2\}) = 0.61$, $mob(\{LF_3, LF-BB_3\}) = 0.18$, $mob(\{LB_4\}) = 0.18$, $mob(\{LF-BB_5\}) = 0.03$. Because the *BÜK300* legend category does not mention the colluvial soil form (YK), no *belief* is created for this hypothesis at this point (table 2, *BÜK300*).

Review of literature and own field work in the surrounding study area made necessary to introduce another soil form: colluvial soils on accumulated silt over sand loess material (YK₁). As they only appeared rarely, a respective weight was applied to account for this (table 2, literature).

The *BS* map was translated using expert knowledge and own field experience gained in the region over several years. As well, the *BS* soil map did not show any polygon with a category, that could be interpreted as YK₁ for the study field. Weightings were produced by scale-dependent fuzzyfication of the polygons on the study field. Therefore weightings vary for the categories with respect to the distance from the polygon border (table 2, *BS*).

Interpolated EC_a data were interpreted semi-quantitatively to account for layering of parent material, and by this assigned to the different soil forms. As well, own field experience was included to find categories of EC_a values. As EC_a -measurements showed unexpected small values on colluvial soils, a second interpretation scheme was designed. The first scheme EC_a (1) takes into account the assumed relation between EC_a values and parent materials, which would be expected from theoretical considerations alone. The second scheme EC_a (2) includes the specific local knowledge, that colluvial soils show unexpected small values. The small EC_a values are inconsistent with the underlying theory of influencing factors on EC_a (13), but could be reproduced by repeated measurements and other scientists in the study area (11). As with *BS*, weightings result from fuzzyfication of EC_a values and vary within the field (table 2, EC_a (1), EC_a (2)).

All data sources were processed using Idrisi GIS software (1). Vector data were transformed into raster layers of 5 m cell resolution. Data layers were combined using the TBM. Computations were performed with specifically written software. Results were reimported into GIS for final analysis. The *woc* value was transformed into five categories to ease interpretation.

Results and Discussion

The first step of representing the information from the *BÜK300* map with belief structures does not give any spatial differentiation for the study field because the field is situated completely within one *BÜK300* polygon. As well, integration of the information from literature studies only extended the set of hypotheses for each raster cell of the study field, but did not introduce any spatial differentiation. The respective *mob* values for the hypotheses were only slightly changed. The updated map could be named an 'extended *BÜK300* map'.

Integration of the the *BS* map information produced the first spatial structures (fig. 1, left). Display of the hypothesis with the highest *mob* reproduces the spatial struc-

tures, that are present on the *BS* map with regard to its polygon borders. This is expected, as the only spatially differentiating factor in the belief update process so far is the *BS* map. The shades for the black/white map legend are designed in such a way, that dark shades dominate whenever the first, second, or third parent material is included into the legend category. This is done, because the soil types associated with this parent material tend to be more fertile.

The supplementing *woc* map shows, that a few areas on the field now fall into a category where priority would be rated *low* to *medium* for directing map review, e.g. acquisition of new data sources or field work (fig. 1, right). The *BS* map contains a few polygons, which are believed to contain LBB_4 or $LF-BB_5$ soil forms. The *mob* values for these soil forms are at maximum on the *BS* map, and therefore a general conflict with the *BÜK300* map information has to turn up (see table 1 for the general principle of update with the TBM). On the uniform *BÜK300* map these soil forms have a very small *mob* only because of their minor spatial dominance. However, the *BS* map is displaying information at a much larger scale, so these *woc* are interpreted as conflicts of scale here. The *mob* values of the updated map are normalized to sum to 1 before integrating the interpretation of EC_a data in the next step.

Integrating the beliefs about soil forms derived from EC_a data using the first interpretation scheme results in a much more differentiated spatial distribution of soil forms on the field (fig. 2, left). The supplementing *woc* map indicates several regions which need map review (fig. 2, right): 14% of the area is rated *high* with regard to the

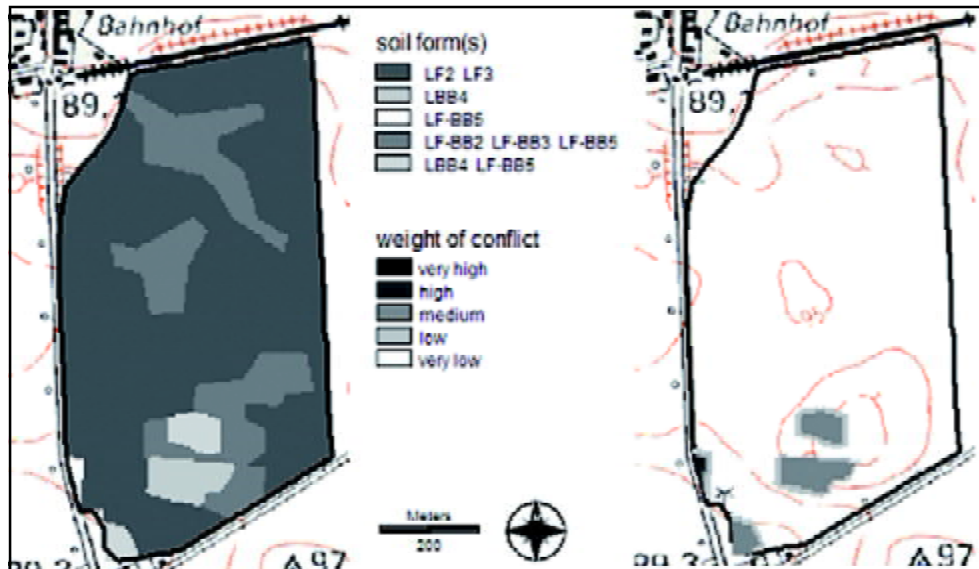


Fig. 1. Map of soil forms after integration of *BS* map information into the extended *BÜK300* map with the TBM (left) and classified *weights of conflicts* (right); (see tab. 2. for explanation of abbreviations)

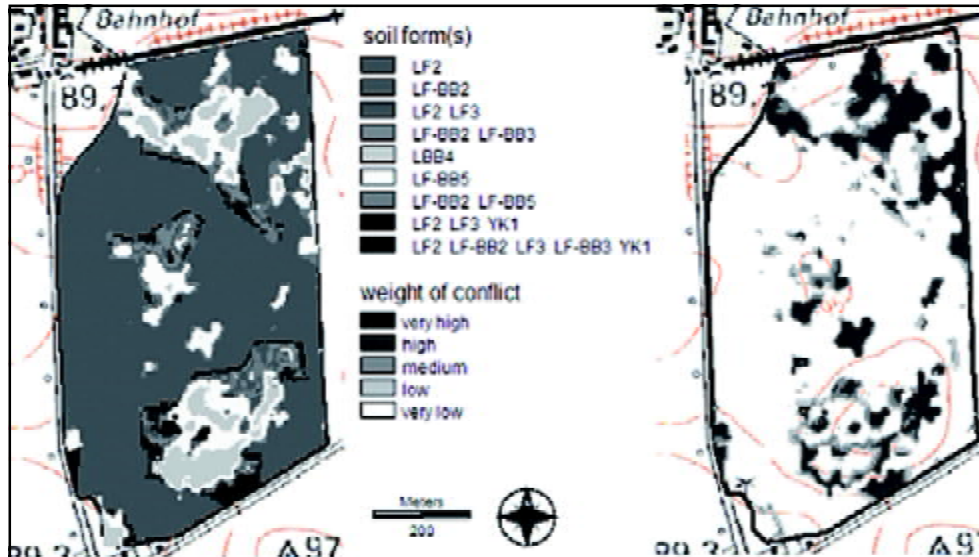


Fig. 2. Map of soil forms after integration of EC_a interpretation (scheme 1) into the updated map of soil forms with the TBM (left) and classified *weights of conflicts* (right); (see tab. 2 for explanation of abbreviations)

conflict value *woc*, 5% *medium*, and 6% *low*, respectively. After the update, the legend of soil forms contains 9 categories, of which 4 are spatially important.

The regions with high *woc* are mainly regions, where the first update shows highest *mob* values for soil forms LF_2 and LF_3 . The integration of EC_a data now supports the hypothesis that rather the soil forms IBB_4 or $LF-BB_5$ occur in these areas. In the central northern area the update suggests geometrical corrections of the polygon delineations. However, at the eastern field border an area with these soil forms is completely newly introduced.

The result of using the second EC_a interpretation scheme is shown in fig. 3 (left). The map legend contains 8 categories, of which 4 are spatially important. The spatial structures of *woc* are identical with those of the first interpretation scheme and therefore are not shown again. Instead, to ease visual comparison of the results, a grey-scale image of an aerial photograph taken in spring 2003 is given in fig. 3 (right). The crop grown on the field is winter wheat. The dark grey areas in the image represent dense coverage with plant leaves. The white areas represent bare soil surface because of low plant densities. The rather diffuse bright areas in the northern and southern part are caused by poor crop establishment due to very sandy soils. However, in the central part the missing crop is caused by water logging on frozen soil in local depressions over winter and the subsequent death of plants (notice the brighter ice-caused ring structures around white areas).

While the spatial structures of updated soil borders seem to be similar to some extent, the respective hypotheses for the regions within these borders as reflected by

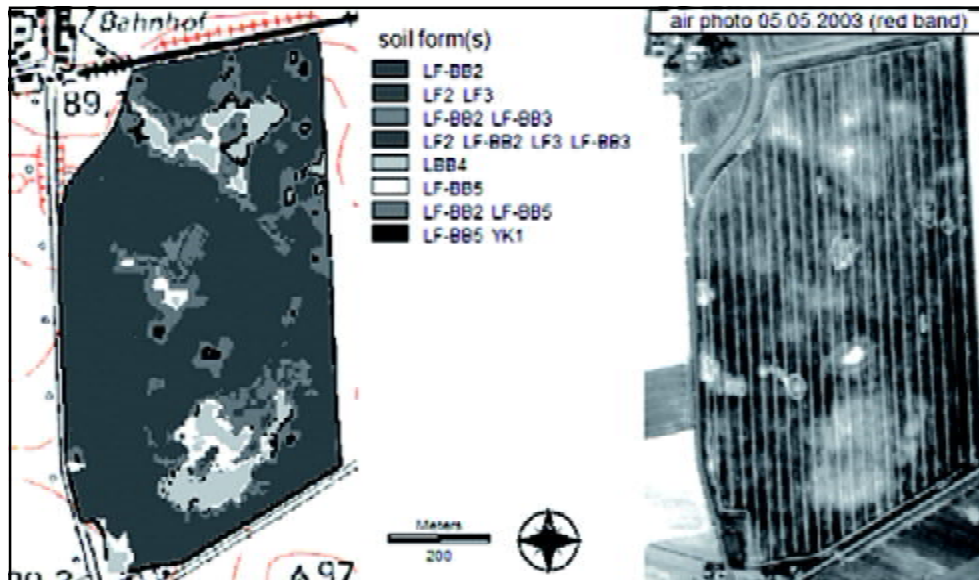


Fig. 3. Map of soil forms after integration of EC_a interpretation (scheme 2) into the updated map of soil forms with the TBM (left) and aerial photograph taken in spring 2003 (right); (see tab. 2 for explanation of abbreviations)

the different EC_a interpretation schemes differ. Table 3 gives a quantitative analysis of the supposed spatial coverage of different soil forms (or a combination of these) as a result of the successive, different steps with the TBM.

The comparison of the results for the last map update step, the integration of interpretation of EC_a data according to two different schemes, has two main results: both approaches (1) reduce the area, where LF_2 and LF_3 hypotheses get the highest belief support, and (2) subdivide 20% of the field into several new legend units, where the first update process supports the combined set of $LF-BB_2$, $LF-BB_3$ and $LF-BB_5$ soil forms.

With regard to the first result, the application of the EC_a (1) scheme introduces larger areas of $LF-BB_5$ soil forms, represented by bright shades in fig. 2, and the legend category $LF_2 / LF-BB_5$, although to a smaller extent. This legend category has a darker shade. The EC_a (2) scheme supports the legend unit $LF_2 / LF-BB_5$ to a larger extent, what explains the most striking visual difference between both maps. Additionally, this scheme supports the belief that some areas are covered with YK_1 soils (black).

With regard to the second result, two differences between the EC_a interpretation schemes occur for roughly one third of the area with legend category $LF-BB_2$, $LF-BB_3$ and $LF-BB_5$, while on two thirds of the area with this legend category, both schemes show the same results. For the larger part of differing results, EC_a (1)

Table 3

Spatial shares of hypotheses about soil forms on the study field with highest *mob* values for combination of different data sources with the *Transferable Belief Model*

Soil form										Data sources user			
YK ₁	LF ₂	LF-BB ₂	LF ₃	LF-BB ₃	IBB ₄	LF-BB ₅	LF-BB ₅	LF-BB ₅	LF-BB ₅	BÜK300 literature	BÜK300 literature BS	BÜK300 literature BS EC _a (1)	BÜK300 literature BS EC _a (2)
o-u/p-sð	p-sð/f-s	p-sð/p-ls	p-sð/f-s	p-sð/f-s	p-sð/f-s	p-sð/f-s	p-sð/f-s	p-sð/f-s	p-sð/f-s				
	X											< 0.1%	
		X										3%	3%
	X	X								100%			
	X		X								74%	64%	67%
		X		X								2%	2%
	X	X	X	X									2%
					X						3%	6%	7%
						X					0.4%	13%	4%
		X				X						7%	14%
	X	X		X		X					20%		
					X						2%		
X	X		X									2%	
X	X	X	X	X								2%	
X						X							2%

Source: Author's own data.

eliminates the LF-BB2 and LF-BB3 soil forms from the legend category. Both soil types occur on sand loess parent material. By this, only LF-BB₅ remains in the legend category, what again results in a lighter appearance of the map. EC_a (2) has this effect on only half of this area. The other half still contains LF-BB₂ in the legend category, a distinctively different soil from a genetical/taxonomical point of view. The second difference is the interpretation of high EC_a values as YK₁ soil forms (colluvial soils) by the first scheme. As obvious from table 2, the second scheme has only soils on sand loess parent material as possibilities for high EC_a values. This explains most of the differences on the maps with regard to black areas (fig. 2 & fig. 3).

Although it is only relevant for a rather small part of the whole field, another result is interesting from the point of view of introduction of new methods in soil science and rational discussion in digital soil mapping: The EC_a (2) scheme has only half of the area with high belief values for YK₁ soils if compared to the EC_a (1) scheme. For EC_a (2) these occur partly at transition zones from sandy parent material into sand loess areas, partly as small islands. Especially for these islands the EC_a (1) scheme shows LF-BB₅ soil forms, occurring on sandy material. This is an important difference with regard not only to soil classification and geology, but also with regard to possible decisions for land use on these sites (agricultural production potential), or the environmental importance of such soils (nutrient balances, biodiversity). The airphoto in fig. 3 indicates that rather the scheme EC_a (2) interpretes the EC_a values in a way that renders the real situation on the field, as the water-logging areas occur in local depressions where colluvial material is accumulated. Additional, field validation resulted in YK₁ soil forms for these depressions. Further research could use the explicit interpretation scheme from this study to analyze similar patterns in other regions. This should improve our knowledge on the EM38 sensing method for reinterpretation of soil maps.

Summary

Future demand for more detailed soil maps for rational use of natural resources in so different areas as agriculture production, environmental protection, and/or general spatial planning, can only be met, if efficient update procedures exist (7). These update procedures will extent existing maps by integration of new data from soil surveys and other spatial and non-spatial data sources.

However, to avoid the update procedure to be perceived as a 'black-box', interpretation of the different data sources should be made explicit to enhance discussion among the experts involved, and ease learning and education in extension services. As well, it is necessary to be able to account for varying reliability of data sources used in the update procedure. Reliability may depend on the age of the data source, the data sources themselves, processing methods used, interpretations etc. Reliability assessment may change with regard to the very specific mapping project and data sources used.

This paper shows the possibility to represent existing knowledge about soil with belief structures. Both spatial as well as non-spatial data are used to develop a large

scale map of soil forms. The update procedure for the beliefs with the TBM allows for reliability weighting. More important, the belief update results in a quantitative measure for conflicts with regard to beliefs in different, mutually excluding hypotheses. Areas with high weights of conflict after the update procedure can be treated as the target areas for directing available resources for more detailed investigation. In this study, additional research could be directed to solve conflicts between data sources to roughly 20 % of the study field. However, concentration on taxonomically contradicting soil forms could further focus the research activities.

The value of an explicit interpretation scheme for a rather new soil variable is demonstrated for the study area with the example for the apparent electrical conductivity (EC_a). While assuming the standard theory of how to interpret EC_a values with regard to soil parent materials or soil types, the results of data combination can introduce significant errors, although not spatially dominating in this example. However, the explicitness of the interpretation and the spatial structures of conflict will ease communication of the results and hopefully bring more rational discussion into the map update reflecting underlying processes.

Abstract

Soil map update in the future with regard to scale and/or content will more and more see the interpretation of non-soil data, than results from extensive new field and laboratory work. Geographic Information Systems (GIS), remote and proximate sensing devices will become increasingly important. To keep transparent the process of data interpretation and map update, information about uncertainty and partial knowledge, as well as conflicts should be integrated into the maps. This integration can be done with belief structures. For an agricultural field (46 ha) maps of different age, scale and content, as well as data of the apparent electromagnetical conductivity (EC_a) were integrated with the Transferable Belief Model (TBM). The introduction of high-resolution soil information from EC_a measurements shows different, more or less compact areas of the field, where the combination of the beliefs of prevailing soil forms results in conflicts. This affected approximately 20% of the field. Different interpretation schemes for the EC_a data with regard to soil forms resulted in different hypotheses for these conflicting areas, however, they did not change the spatial structure of the resulting soil map polygon borders, or the zones with conflicting data.

Streszczenie

STWORZENIE NOWEJ INFORMACJI O GLEBIE PRZEZ KOMBINACJĘ ŹRÓDEŁ DANYCH O RÓŻNEJ TREŚCI I SKALI ZA POMOCĄ SIP I STRUKTUR PRZEKONAŃ

W przyszłości aktualizacja map glebowych najprawdopodobniej będzie prowadzona z mniejszym wykorzystaniem wyników prac terenowych i laboratoryjnych, a raczej opierać się będzie na interpretacji danych nieglebowych, takich jak np. dane ze źródeł teledetekcji, przewodności elektrycznej gleb, cyfrowego modelu terenowego. W związku z tym systemy informacji przestrzennej (SIP) będą odgrywać coraz większą rolę w tym procesie. Z czasem mapy glebowe w formie cyfrowej będą zastępować tradycyjne mapy analogowe (papierowe). Mapy cyfrowe oferują możliwość integrowania, zapisywania i dostarczania większej ilości danych niż mapy analogowe. Dane te mogą być wykorzystywane dla potrzeb analiz, jak i wizualizacji. Jednakże aby zachować jasność i zrozumiałość ciągu integracji danych i aktualizacji map, należy uwzględnić informacje dotyczące niepewności danych lub niekompletności wiedzy. Konflikty pomiędzy różnymi źródłami danych powinny również zostać zintegrowane w postaci odpowiedniego atrybutu na mapie cyfrowej.

Reprezentację wiedzy i niepewności modeli oraz danych cyfrowych można realizować różnymi metodami. Jedną z nich wykorzystuje strukturę przekonań, np. metoda Transferable Belief Model (TBM); (15). Metoda ta pozwala na udostępnienie dwóch kategorii informacji dla poszczególnego miejsca na mapie (piksel rastrowy lub poligon wektorowy): pierwsza kategoria dotyczy hipotezy co do typów glebowych w danym miejscu. Druga kategoria informacji podaje dane opisujące miarę przekonania, że hipoteza ta naprawdę potwierdza się w rzeczywistości. Metoda TBM pozwala też na postawienie i wykorzystywanie więcej niż tylko jednej hipotezy dla każdego piksela w różnych warstwach informacyjnych w SIP. Razem z hipotezami łączone są poszczególne wartości przekonań. W ciągu integracji warstw informacyjnych w modelu TBM mogą występować konflikty pomiędzy różnymi hipotezami i zostają one reprezentowane przez ilościową wartość konfliktów. Wartość ta wyliczona jest z wartości przekonań poszczególnych hipotez.

Aby wyjaśnić zasady działania modelu TBM, artykuł niniejszy przedstawia wirtualną aktualizację danych z historycznej mapy glebowej. Aktualizację wykonano za pomocą danych pomiarowych plonów, pozwalających skorygować treść mapy glebowej. Stara mapa ma niską wiarygodność z powodu wieku, a mapa zmienności plonów jest bardziej wiarygodnym odzwierciedleniem zmienności glebowej przy wyższej jednocześnie rozdzielczości danych. Jednak jest ona jedynie interpretacją plonów jako wskaźnika jakości gleby. Z tego powodu obydwie mapy nie są w pełni wiarygodne. Rezultatem łączenia obu warstw danych mogą być dwie hipotezy dla jednego miejsca (np. „gleby urodzajne” na starej mapie, a „gleby nieurodzajne” antycypowane na pod-

stawie mapy plonów). Natomiast wartości przekonań pozwolą na ostateczną decyzję co do interpretacji jakości gleb. Wielkość wartości konfliktu pomiędzy wykluczającymi się hipotezami, że dodatkowe badania i pomiary powinny koncentrować się na spornym obszarze. Główna część artykułu przedstawia wyniki integracji starych i nowych danych glebowych dla wybranego pola uprawnego (46 ha) zlokalizowanego na południe od Berlina (Niemcy). Zagadnienie to wykonywano z wykorzystaniem modelu TBM i SIP. Zinterpretowano i połączono dwie mapy glebowe (1 : 300 000 i 1 : 5 000), informacje z literatury oraz aktualne dane pozornej przewodności elektrycznej gleby (ECa). Model TBM pozwala sprowadzić ogólną, nieprzestrzenną informację z literatury do istniejącej mapy glebowej. W wyniku tych działań został powiększony zestaw możliwych hipotez dla danego regionu. Zakłada się, że jeśli połączono mapy w różnych skalach i dodatkowo obydwie mapy są wiarygodne, to występujące konflikty zostaną interpretowane jako konflikty skal. Jeśli natomiast łączono mapy w podobnych skalach, konflikty wskazują na poważne niezgodności treści map. Dodatkowo powinny być skierowane do obu obszarów konfliktu, aby uzyskać więcej informacji. Informacje te mogą być wykorzystane, aby polepszyć wiarygodność mapy ostatecznej. Artykuł niniejszy przedstawia, jak różne schematy interpretacji wartości ECa mogą spowodować różnice na mapach ostatecznych. Mimo że różnice te występowały tylko na małym obszarze badanego terenu istotne jest ukazanie, jak ważne jest przedstawienie i uzasadnienie samego procesu interpretacji nowych źródeł danych w gleboznawstwie. Cała procedura aktualizacji map glebowych z wykorzystaniem SIP może być niezrozumiała, jeśli nie przedstawiono procesu interpretacji wykorzystanych danych. Może to rodzić wątpliwości co do wiarygodności treści ostatecznej postaci aktualizowanej mapy. Ograniczy to zarówno przepływ wiedzy pomiędzy ekspertami z różnych dziedzin, jak i ogólnie rozwój wiedzy o glebach.

References

1. Anonymus. IDRISI Kilimanjaro 14.02. Clark Labs, Clark University, Worcester, MA. 2004.
2. Arbeitsgruppe Boden. Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. revised and updated edition. Schweitzbart'sche Verlagsbuchhandlung: Stuttgart, 2005.
3. Bouma J.: The role of quantitative approaches in soil science when interacting with stakeholders (with Discussion). *Geoderma*, 1997, **78**:1-24.
4. Döbers E. S.: Methoden der Standorterkundung als Grundlage des DGPS-gestützten Ackerbaus. *Göttinger Bodenkundliche Berichte*, 2002, 115.
5. Döbers E. S.: Verbesserung und Erweiterung digitaler Bodenkarten unter Verwendung des Transferable Belief Models. *Mitteiln. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.*, 2005, **106**: 67-68.
6. Döbers E. S.: Analysis and representation of uncertainty in digital soil maps in the Żyrzyn area (SE Poland). *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2006, **507(1)**: 115-126.
7. McBratney A. B., Minasny B., Rossel R. V.: Spectral soil analysis and inference systems: a powerful combination for solving the soil data crisis. *Geoderma*, 2006, **136**: 272-278.
8. Hannemann J.: Die Berücksichtigung inhaltlicher und räumlicher Unschärfen bei der GIS-unterstützten Erstellung der bodengeologischen Karte von Brandenburg im Maßstab 1 : 50 000 (BK 50) – ein Test am Beispiel des Blatts Königs Wusterhausen. *Brandenburgische Geowiss. Beitr.*, 2003, **10(1/2)**: 61-76.

9. Lark R. M., Bolam H. C.: Uncertainty in prediction and interpretation of spatially variable data on soils. *Geoderma*, 1997, **77**: 263-282.
10. Linstow O.: Ueber die jungglazialen Feinsande des Fläming. *Jahrbuch der Königl. Preuss. Geologischen Landesanstalt und Bergakademie*. 1902, Bd. **23(2)**: 278-295.
11. Lück E.: Personal communication. 2002.
12. Maurei F.: Geomorphologische, stratigraphische und paläogeographische Untersuchungen im Pleistozän des Niederen Fläming. HU Berlin: Dissertation, 1968.
13. McNeil J. D.: Electromagnetic terrain conductivity at low induction numbers. Geonics Ltd. Techn. Notes TN-6, Ontario, 1980.
14. Rowe W.: Understanding uncertainty. *Risk Analysis*, 1994, **14(5)**: 743-750.
15. Smets P., Kennes R.: The transferable belief model. *Artificial Intelligence*, 1994, **66**: 191-234.
16. Tsou B., Mather P. M.: Classification methods for remotely sensed data. London and New York, Taylor and Francis, 2001, p 3 32.
17. Waller P.: Measures of uncertainty in expert systems. *Artificial Intelligence*, 1996, **83**: 1-58.

Adres do korespondencji:

dr Eike Stefan Dobers
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
Katedra Gleboznawstwa i Ochrony Gleb
plac Łódzki 3
10-957 Olsztyn
tel.: + 48 (0)89 523-4832
fax: + 48 (0)89 523-4821
e-mail: stefan.dobers@uwm.edu.pl

Stanisław Białousz, Przemysław Kupidura

*Wydział Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej
Zakład Fotogrametrii, Teledetekcji i Systemów Informacji Przestrzennej*

**„SOIL SEALING” – ZAGROŻENIE GLEB WYMIENIONE
W EUROPEJSKIEJ STRATEGII OCHRONY GLEB
PROPOZYCJA METODYKI JEGO OKREŚLANIA**

Wstęp

Projekt Dyrektywy Unii Europejskiej ustanawiającej ramy dla ochrony gleb w Europie oraz wcześniejszy dokument Europejskiej Strategii Ochrony Gleb był opracowany przez Komisję Europejską z inicjatywy Europejskiego Biura Glebowego (inspirowanego przez Europejskie Forum Glebowe) i przyjęty przez Parlament Europejski 14.11.2007 r. W projekcie wymieniono 8 głównych zagrożeń gleb: erozję, ubytek materii organicznej, zanieczyszczenia (contamination), zasolenie, zagęszczanie (compaction), zmniejszanie się bioróżnorodności gleb, „soil sealing”, osuwiska i powodzie (zagrożenia hydrogeologiczne). Z inicjatywy krajów śródziemnomorskich proponuje się wyróżnić pustynnienie jako kolejne zagrożenie gleb.

Projekt Dyrektywy nie uzyskał kwalifikowanej większości Rady Unii Europejskiej. Krajami przeciwnymi dyrektywie były: Niemcy, Wielka Brytania, Francja, Holandia i Austria. Ministrowie środowiska krajów członkowskich nie osiągnęli kompromisu w sprawie Dyrektywy, a inicjatorem jej odrzucenia były Niemcy. Paradoks polega na tym, że to właśnie w Niemczech w roku 1998 powstało Europejskie Forum Glebowe, które zaleciło rozpoczęcie prac nad strategią ochrony gleb w Europie. Opiniotwórcze środowiska nie tracą nadziei, że po kolejnych dyskusjach i uzgodnieniach Dyrektywa zostanie przyjęta. Państwa, które były przeciw Dyrektywie uważają, że jest w niej za dużo ograniczeń, które nałożą zbyt duże sankcje finansowe na przemysł.

Co to jest „soil sealing”?

Soil sealing, pisane tu w cudzysłowie, oznacza oryginalny zapis w języku angielskim. Potrzeba jeszcze nieco zastanowienia i dyskusji nad polskim odpowiednikiem tego terminu. Na razie w tym rozumieniu najczęściej używa się polskiego odpowiednika „zasklepianie gleb”. Trzeba jednak jeszcze poczekać i podyskutować, czy będzie to najlepszy polski odpowiednik dla terminu „soil sealing”, aby nie upowszechnić terminu

dyskusyjnego i nie oddającego najlepiej istoty sprawy, tak jak to się stało np. w przypadku gleb pseudobielicowych. Jesteśmy tu w obszarze relacji terminów z języków obcych (obecnie najczęściej z języka angielskiego) i ich polskich odpowiedników. Doświadczenie nie tylko z gleboznawstwa, ale i z innych nauk o Ziemi wskazuje, że dosłowne tłumaczenie pojęć jest łatwiejsze i szybko się przyjmuje, lecz stwarza później problemy interpretacyjne. Nie mówiąc o tym, że wiele utworzonych neologizmów mogło być zastąpione istniejącymi już zakorzenionymi i interpretującymi się jednoznacznie polskimi terminami. Dlatego w tym tekście będziemy posługiwać się ostrożnie terminem „zasklepianie gleb” odwołując się również do oryginalnego sformułowania „soil sealing”.

Co się kryje za terminem „soil sealing” i jaki jest tego źródłosłów? Według Webster’s Dictionary „seal” oznacza „to close the pores of woden or other porous surface with sealer” (zamykać lakiem pory powierzchni drewna lub innej porowatej powierzchni), czyli „doing it impermeable” (czynić ją nieprzepuszczalną).

W propozycji Dyrektywy ustanawiającej ramy dla ochrony gleb, przygotowanej dla Parlamentu Europejskiego, jest taki zapis: „sealing” oznacza trwałe pokrycie gleby materiałem nieprzepuszczalnym.

W projekcie ENVASSO (Environmental Assessment of Soils for Monitoring) realizowanym w ramach VI Programu Ramowego UE (9, 10, 11) zaproponowano następującą definicję: „destruction or covering of soil by buildings, constructions and layers or other bodies of artificial material which may be very slowly permeable to water (e.g. asphalt, concrete, etc.)”. Dyskutowano, czy zasadne jest wprowadzenie obok określenia „pokrycie gleby” terminu „zniszczenie pokrywy glebowej”, ale w załączeniach dla Komisji Europejskiej utrzymano również i termin „destruction”.

Sformułowanie w projekcie ENVASSO nawiązuje ściśle do raportu grupy roboczej Komisji Europejskiej powołanej w związku z pracami nad przygotowywaniem dokumentów i uzasadnień dla Tematycznej Strategii Ochrony Gleb (3). Celem projektu ENVASSO, koordynowanego przez Cranfield University, było opracowanie wskaźników i kryteriów dla identyfikowania poszczególnych zagrożeń gleb wymienionych w Strategii oraz testowanie metod ich wyznaczania. Jak wspomniano wcześniej, wskaźniki i kryteria dla zagrożenia „soil sealing” przyjęto prawie bez zmian w stosunku do propozycji grupy roboczej Komisji Europejskiej. W trakcie testowania wskaźników, kryteriów i metod na powierzchniach pilotowych w Polsce, Niemczech, Czechach i na Węgrzech (Politechnika Warszawska była koordynatorem tych projektów pilotowych) okazało się, że proponowane wskaźniki i kryteria można zalecać do stosowania we wszystkich krajach europejskich, ale specyfikacja zagrożeń jest niespójna z punktu widzenia logiki klasyfikacji obiektów i zjawisk (1). Rozwiniemy ten problem dokładniej, aby poinformować czytelnika dokumentów europejskich o tych niekonsekwencjach i ich przyczynach.

Od wielu lat wiadomo, że jednym z najważniejszych zagrożeń dla pokrywy glebowej jest zmniejszanie się fizycznej powierzchni gleb rolnych, leśnych i innych powierzchni czynnych biologicznie na rzecz budownictwa, przemysłu, transportu, przemysłu wy-

dobowczego itp. Badania na ten temat są prowadzone od lat i alarmujące liczby są publikowane systematycznie. Wiadomo też, że wśród powierzchni przeznaczonych na cele nierolne i nieleśne pewien ich procent jest pokryty budynkami, asfaltem, betonem i stają się one nieprzepuszczalne dla wody oraz nieczynne biologicznie, ale pewien ich procent zachowuje nadal funkcje biologiczne, choć nie ma już funkcji produkcyjnych. Krokiem pierwszym tej działalności destrukcyjnej jest prawne, a później fizyczne wyłączenie terenu z produkcji rolnej lub leśnej. Krokiem następnym jest zniszczenie na części tego terenu pokrywy glebowej i pokrycie jej budynkami, nieprzepuszczalnymi dla wody nawierzchniami (asfaltem, betonem). Powierzchnie zasklepione (sealed) stanowią więc tylko część ogólnej powierzchni gleb wyłączonych z produkcji. W schemacie klasyfikacyjnym powinny być więc podporządkowane powierzchniom wyłączonym na cele nierolne i nieleśne. W schemacie rekomendowanym Komisji Europejskiej przez ENVASSO jest jednak inaczej. Terminem nadrzędnym jest „sealing” (zasklepianie). Przedstawia to schemat zaproponowany w ENVASSO (9):

Zagrożenie	Główne zagadnienie	Wskaźniki
Soil Sealing (zasklepianie)	Soil Sealing (zasklepianie)	Sealed area (powierzchnia zasklepiona)
		De-sealing (powierzchnia z przywróconą aktywnością biologiczną)
	Land consumption (przeznaczanie gruntów na cele nierolne i nieleśne)	Land consumed by settlements and transport infrastructure (tereny zajęte przez budownictwo i infrastrukturę transportową)
		Land take (CLC); (przejmowanie gruntów według nomenklatury CLC)
	Brownfield redevelopment (pozyskiwanie dla budownictwa terenów wcześniej odrolnionych na cele inwestycyjne i przeznaczonych na cele inne niż budownictwo mieszkaniowe)	New settlement area established on previously developed land (nowe tereny dla budownictwa na wcześniejszych terenach inwestycyjnych)
	Fragmentation (rozcłonkowanie terenu)	Effective mesh size (rzeczywisty rozmiar oczka)

Zanim omówimy kolejne jego składniki spróbujemy wytłumaczyć dlaczego tak się stało. Od ponad 10 lat, kiedy to uniwersytety niemieckie zainicjowały ogólnoeuropejską dyskusję o funkcjach gleby, co sprawiło, że funkcje gleby pojawiły się oficjalnie w dokumentach organizacji naukowych, społecznych i politycznych, mówi się mniej o glebie jako całości i o jej znaczeniu, a więcej o znaczeniu poszczególnych funkcji gleby. Wspólnotowa Polityka Rolna (CAP) ograniczająca produkcję rolną i zmuszająca dopłatami do odłogowania gruntów rolnych zepchnęła na plan dalszy produkcyjne funkcje gleby. Ważniejsze stały się funkcje biologiczne i środowiskowe. Choć nie

wyrażono tego *explicite* w żadnym dokumencie, to w dyskusjach pojawiały się opinie: wprawdzie szkoda, że teren rolny czy leśny zmienia swoje przeznaczenie, ale skupiamy się nad tymi powierzchniami, które będą zabudowane, zabetonowane, bo pozostałe powierzchnie wyłączone zachowują nadal, choć zmienioną, swoją aktywność biologiczną. Eksponujemy więc „soil sealing”, bo powierzchnie zasklepienie mają wpływ na bilans wodny i cieplny, na mikroklimat, ogólnie na środowisko. Również dla ogólniejszych celów ochrony gleb jest to nazwa dobra, bo krótka i mocno mówiąca o zagrożeniu. Umieszczając niżej w hierarchii, choć niezgodnie z logiką klasyfikacji, zjawisko ogólniejsze przejmowanie gleb przez sektory inne niż rolnictwo i leśnictwo („land consumption”) pamiętamy również o ochronie fizycznej powierzchni pokrywy glebowej.

W raporcie dla Komisji i raporcie ENVASSO pojawia się pewien dualizm łągodzący wyżej wymienione sformułowania. Wynika on z zapisu „Jeśli termin soil sealing odnosi się do zagrożenia gleby (jednego z ośmiu), to obejmuje oba procesy: soil sealing (zasklepianie) oraz przeznaczenie gleb na cele nierolne i nieleśne (land consumption)”;

(3). Miejmy nadzieję, że ten dualizm będzie usunięty w dalszych pracach nad Dyrektywą.

Soil sealing jako zagrożenie gleb wyróżnia 4 kluczowe zagadnienia: zasklepianie (sealing), przeznaczenie gruntów na cele nierolne i nieleśne (land consumption), pozyskiwanie dla budownictwa terenów wcześniej odrolnionych i przeznaczonych na cele inne niż budownictwo mieszkaniowe (brownfield redevelopment), rozczłonkowanie terenu (fragmentation).

Soil sealing (zasklepianie) jako zagadnienie kluczowe mierzy się absolutną powierzchnią gleb zasklepionych i wskaźnikami względnymi w stosunku do powierzchni zabudowanej, całej powierzchni obszaru lub wskaźnikami na 1 mieszkańca (9, 10). Odwrotnym problemem jest nadawanie aktywności biologicznej powierzchniom aktualnie nieczynnym biologicznie (desealing). Metodyka wyznaczania i obliczania powierzchni zasklepionych będzie rozwinięta poniżej.

W zagadnieniu „land consumption” (zajmowanie terenu na cele budownictwa i infrastruktury transportowej) wyróżnia się 2 wskaźniki: 1. tereny zajęte przez budownictwo i infrastrukturę transportową oraz 2. „land take”. Pierwszy wskaźnik mierzy się absolutną powierzchnią terenów zajętych przez budownictwo i infrastrukturę transportową, przyrostem tych powierzchni, ich udziałem procentowym w całkowitej powierzchni terenów nadających się dla budownictwa (zwróćmy uwagę, że ten wskaźnik nie jest obliczany w stosunku do całkowitej powierzchni obszaru, a do powierzchni nadającej się dla trwałego budownictwa), powierzchnią terenów zabudowanych na 1 mieszkańca (9, 10). To zagadnienie jest, jak wspominaliśmy, dobrze znane od lat i systematycznie badane w większości krajów.

Wskaźnik „land take” ma merytorycznie prawie takie samo znaczenie jak „land consumption”. Trudno znaleźć dla niego jednoznaczny, krótki polski odpowiednik. Jest to jeden z kluczowych wskaźników CSI Europejskiej Agencji Środowiska (CSI = Core Set Indicator). Określa on jakie są powierzchnie, proporcje i wskaźniki okresowe strat pokrywy glebowej w wyniku zamiany terenów rolnych, leśnych, półnaturalnych i na-

turalnych na tereny zurbanizowane i na inne tereny o nienaturalnym pokryciu (7). Jest obliczany z bazy danych CORINE Land Cover (CLC). Ze względu na małą rozdzielczość przestrzenną danych (najmniejszy poligon = 25 ha) i stosunkowo małą rozdzielczość tematyczną można ten wskaźnik stosować w skali europejskiej i w skali dużych regionów. Oczekuje się, że nowa wersja bazy danych CORINE Land Cover tworzona na podstawie zdjęć satelitarnych o bardzo dużej rozdzielczości (z pikselem mniejszym niż 1 m) wyróżni znacznie mniejsze poligony, rzędu 1 ha.

Z punktu widzenia klarowności klasyfikacji i metodyki jest mało uzasadnione wyróżnianie tych dwóch wskaźników, ponieważ nie różnią się one istotą sprawy, a tylko dokładnością oznaczania.

Zagadnienie kluczowe „brownfield redevelopment” też nie ma jednoznacznego, krótkiego polskiego odpowiednika. Mówi ono jak wiele terenów uprzednio użytkowanych jako tereny budowlane, przemysłowe, handlowe, obecnie nieużytkowanych w ten sposób, zostało przeznaczonych dla budownictwa. Taka rewitalizacja zmniejsza presję na tereny rolne, leśne i inne tereny czynne biologicznie przy budowie nowych osiedli. Jest ona promowana szczególnie w Wielkiej Brytanii i Niemczech. W Wielkiej Brytanii monitoring odzyskiwania terenów założono w roku 1989 i przyjęto, że w roku 2008 będzie się tu lokować 60% nowego budownictwa. Plany niemieckie są nieco mniej ambitne i zakładają 50% od roku 2010. Proponuje się stworzenie rejestru terenów odzyskiwanych (3). W Polsce też obserwuje się takie pojedyncze przypadki, kiedy nowy właściciel upadłych zakładów przemysłowych nie odtwarza produkcji, a buduje w tym miejscu osiedle mieszkaniowe.

W zagadnieniu kluczowym „rozcłonkowanie terenu” jest jeden wskaźnik pokazujący intensywność pocięcia terenu na mniejsze jednostki krajobrazowe przez autostrady i drogi szybkiego ruchu. Jest to wskaźnik łatwy do obliczania technikami GIS. Miara jest powierzchnia jednostki krajobrazowej otoczonej wokół drogami. To zagadnienie jest ważne nie tylko z punktu widzenia ochrony gleb (nowe drogi wyłączają gleby z użytkowania), ale również z punktu widzenia zachowania bioróżnorodności, funkcjonowania ekosystemów, wędrówek gatunków. Niektóre kraje opracowały już minimalne nieprzekraczalne powierzchnie jednostek krajobrazowych (3, 9). To zagadnienie pojawia się w Polsce jeszcze nie przy dyskusjach o trasach nowych dróg, ale przy opiniowaniu rozwiązań technicznych łagodzących skutki przecinania krajobrazu drogami szybkiego ruchu.

Metodyka wyznaczania powierzchni i obliczania wskaźników

Głównym celem projektów pilotowych programu ENVASSO było testowanie wskaźników i kryteriów dla monitoringu zagrożenia gleb, jakim jest „soil sealing”. Teoretycznie powinny być testowane wszystkie proponowane wskaźniki dla wszystkich wymienionych zagadnień kluczowych. W rzeczywistości ze względu na ograniczoną ilość środków i brak wielu potrzebnych materiałów źródłowych testowano tylko niektóre wskaźniki (1).

Metodyka ENVASSO zakładała, że powierzchnie gleb zasklepionych i wskaźniki będą obliczane z danych katastralnych. Okazało się jednak, że tylko katastry niemieckie i austriackie mają wystarczającą szczegółowość dla wykonania takich obliczeń. Prace na dwóch polach testowych w Niemczech wykazały, że dane katastralne i dane statystyczne umożliwiają obliczenie potrzebnych wskaźników. Nie przedstawiamy tu metody i wyników, bo są to proste prace obliczeniowe.

Dla powierzchni pilotowej w Czechach były dostępne tylko dane z CORINE Land Cover. Testowano więc tylko wskaźnik „land take”. Nie przedstawiamy tu wyników ani metody, bo są to również proste obliczenia i takie same operacje rachunkowe można wykonywać na danych z polskiej bazy danych CORINE Land Cover (1990 i 2000) udostępnianej przez Ministerstwo Środowiska i IGiK.

Na węgierskiej powierzchni pilotowej odtworzono na podstawie historycznych map topograficznych i aktualnej ortofotomapy rozwój niedużego miasteczka na przestrzeni 200 lat, obliczając kolejne przyrosty terenów zabudowanych i wskaźniki. Z punktu widzenia obecnej metodyki wykazano użyteczność ortofotomapy ze zdjęć lotniczych.

Powierzchnia pilotowa w Portugalii była bardzo obiecująca, ponieważ obejmowała strefę nadmorską poddaną silnej antropopresji. W takich strefach, teoretycznie rekreacyjnych, nieraz ponad 50% powierzchni jest pokryte budynkami, asfaltem i betonem. Badania jednak nie zostały przeprowadzone z braku odpowiednich materiałów źródłowych. Materiały takie były dostępne dla polskiego obszaru pilotowego. Wykonano więc niezbędne prace metodyczne.

Założenia, metoda i wyniki dla polskiego obszaru pilotowego

W metodyce zalecanej przez ENVASSO (9, 10) zapisano, że do obliczania powierzchni i wskaźników powierzchni zasklepionych (sealed) należy korzystać z danych katastralnych, o ile istnieją. Jeśli ich nie ma, to powinno się korzystać z danych teledetekcyjnych. Ewidencja gruntów w Polsce zawiera dane o granicach działek i ich właścicielach. Nie zawiera danych o budynkach i powierzchniach utwardzonych pokrywających część działki. Tylko niewielka liczba obrębów ewidencyjnych ma w trakcie dokonywanej modernizacji ewidencji gruntów dodawane dane o budynkach.

Tak więc dla obszaru pilotowego „Warszawa” trzeba było opracować i zastosować metodę hybrydową, łączącą dane kartograficzne i dane teledetekcyjne. Zawiera ona 6 etapów:

1. klasyfikacja całego terenu uwzględniająca typ pokrycia terenu, intensywność zabudowy, typ infrastruktury transportowej,
2. wyznaczenie granic klas na zdjęciach satelitarnych o bardzo dużej rozdzielczości,
3. próbkowanie dla każdej z klas,
4. obliczenie powierzchni zasklepionych (sealed) dla każdej z klas na podstawie wyników próbkowania,

5. obliczenie całkowitej powierzchni gleb zasklepionych dla całego obszaru testowego,
6. analizy statystyczne i obliczanie wskaźników.

Dla terenów zabudowanych Warszawy wyróżniono 7 następujących klas:

- bardzo gęsta zabudowa: stare miasto, stara zabudowa obrzeżna z oficynami i „studniami”,
- bardzo gęsta zabudowa: tereny przemysłowe,
- gęsta zabudowa: zabudowa obrzeżna wzdłuż ulic z powierzchniami zielonymi wewnątrz,
- gęsta zabudowa: obiekty publiczne, takie jak szkoły wyższe, szpitale, administracja,
- średnio gęsta zabudowa: bloki rozrzucone na terenach zielonych,
- luźna zabudowa: osiedla jednorodzinne,
- bardzo luźna zabudowa: tereny zielone.

Powierzchnie gleb zasklepionych w ramach próbek wyznaczonych dla poszczególnych klas można było obliczyć z mapy zasadniczej 1 : 500 lub z ortofotomapy o pikselu 0,5 m. Ponieważ dostępne ortofotomapy były wykonane ze zdjęć zarejestrowanych latem, kiedy to drzewa zasłaniają znaczną część terenu, zdecydowano, że będzie zastosowana mapa zasadnicza 1 : 500. Korzystanie z tej mapy, nawet z jej postaci cyfrowej, jest dość pracochłonne. Postawiono więc pytanie, czy powierzchnie obliczone z mapy topograficznej 1 : 10 000 (też w postaci cyfrowej) będą wystarczająco dokładne. Gdyby się okazało, że tak, to obliczanie powierzchni zasklepionych można by wykonać szybciej i taniej. Dlatego dla powierzchni próbnych wykonywano równolegle 2 obliczenia: z mapy zasadniczej 1 : 500 i z mapy topograficznej 1 : 10 000. Okazało się, że różnice obliczonych powierzchni mieściły się w granicach 2-3%, co pozwala zalecać mapę topograficzną 1 : 10 000 w postaci cyfrowej lub w postaci analogowej, ale starannie zeskanowaną i skalibrowaną jako wystarczająco dokładne źródło danych do obliczania powierzchni gruntów zasklepionych. Podnoszona jest kwestia aktualności tych map. Na ogół dla ustabilizowanych części miasta jest ona wystarczająca. Na obrzeżach i w częściach o większych zmianach można je aktualizować na podstawie nowych zdjęć satelitarnych lub lotniczych.

Dla wyróżnionych 7 klas zabudowy procentowy udział gruntów zasklepionych w Warszawie wyglądał następująco:

bardzo gęsta zabudowa	96
bardzo gęsta przemysłowa	91
gęsta obrzeżna	74
gęsta (obiekty publiczne)	75
średnio gęsta (bloki)	52
zabudowa jednorodzinna	26
tereny zielone	20

Z ekstrapolacji wyników dla próbek wynikało, że grunty zasklepione zajmują w Warszawie 11341 ha. Stanowi to 47% powierzchni terenów zabudowanych i 22% powierzchni terenów w granicach administracyjnych miasta. Wskaźnik na 1 miesz-

kańca wynosi 66 metrów kwadratowych. Obliczone wartości są podobne do tych jakie uzyskano dla innych dużych miast europejskich (3). Przetestowaną metodę można więc zalecać do stosowania w innych miastach Polski.

Grunty zasklepione na terenach wiejskich

Grunty zasklepione występują nie tylko na obszarze miast. Na terenach wiejskich można je oszacować na podstawie danych z ewidencji gruntów. Znana jest powierzchnia terenów zabudowanych (B-R) wykazywana w ewidencji gruntów. Potrzebne jest tylko eksperckie oszacowanie udziału terenu zasklepionego w ogólnej powierzchni siedlisk. Ze względu na niejednoznaczność danych ewidencyjnych, do których był dostęp, zastosowano tu podejście ogólniejsze, ale też dające obraz tego zjawiska. Przyjęto następujące liczby i założenia (13): liczba gospodarstw – 1,85 miliona, średnia powierzchnia siedliska – 0,3 ha, łączna powierzchnia siedlisk – 0,56 miliona ha, procent terenu zasklepionego w granicach siedliska – 20, całkowita powierzchnia terenów zasklepionych na obszarach wiejskich – 11000 ha. Powierzchnia ta jest z pewnością większa zważywszy na drogi i obiekty użyteczności publicznej.

Przewidywany wzrost powierzchni wyłączanych na cele nierolnicze i nieleśne oraz powierzchni gruntów zasklepianych

Według oficjalnych zapowiedzi w latach 2008–2012 zbuduje się 4000 km autostrad i dróg szybkiego ruchu. Średnia szerokość pasa autostrady i drogi szybkiego ruchu, uwzględniając lokalne drogi dojazdowe, wynosi około 100 m. W niektórych fragmentach pas może być węższy, ale biorąc pod uwagę węzły co 2-3 km, parkingi, stacje benzynowe i inne instalacje towarzyszące, równoważna szerokość pasa może być nawet większa. Oznacza to, że w ciągu 5 lat pod budowę dróg wyłączy się 40000 ha gruntów rolnych i leśnych, czyli 8000 ha rocznie. Grunty zasklepione stanowią około 60% pasa autostrady. Przy tym założeniu w ciągu 5 lat powierzchnia gruntów zasklepionych wzrośnie o 24000 ha, czyli będzie wzrastać o 4800 ha rocznie.

Budowa autostrad i dróg szybkiego ruchu zużywa miliony metrów sześciennych żwiru, piasku i kruszywa. Wydobywanie tych materiałów tworzy nowe, zdewastowane powierzchnie, choć często położone daleko od budowanych dróg.

W programach politycznych przewidziana jest w latach 2008–2015 budowa 3 milionów mieszkań dla 3,5 miliona osób. Nieraz pojawiają się mniejsze liczby, ponieważ część nowych mieszkań ma pochodzić z remontów i z odzysku. Przeprowadźmy jednak obliczenia na liczbach pierwotnych. Jeśli przyjmiemy obliczony dla Warszawy wskaźnik 66 metrów kwadratowych gruntów zasklepionych na 1 mieszkańca, to otrzymamy w okresie 8 lat 50000 ha gruntów zasklepionych jako wynik budowy nowych mieszkań. Daje to 6250 ha rocznie, czyli powierzchnię średniej gminy w Polsce.

Sumując różne składniki grożące istnieniu gleb w latach 2008–2015 otrzymamy następujące liczby (tylko grunty zasklepione):

autostrady i drogi ekspresowe	24 000 ha
-------------------------------	-----------

budownictwo mieszkaniowe	50 000 ha
przemysł i kopalnie	?
ogółem powierzchnie zasklepione	100 000 ha = obszar 33 x 33 km.

Przewidywane straty gruntów rolnych i leśnych 200000 ha, czyli obszar 45 x 45 km.

Te liczby powinny uruchomić wyobraźnię nie tylko tych, którzy od lat walczą o ochronę gruntów, ale i decydentów, ponieważ ostatnie propozycje legislacyjne dotyczące planowania przestrzennego są wysoce niepokojące.

Szersze upowszechnienie w Polsce założeń i metodyki Europejskiej Strategii Ochrony Gleb, nawet z jej elementami dyskusyjnymi, może przynieść wiele korzyści.

Literatura

1. Białousz S., Kupidura P.: ENVASSO WP5. Pilot Project. ENVASSO WP5 Meeting, Lizbona, 4-5.05.2007.
2. Białousz S.: Soil protection in Poland: scientific, technical and educational level. ESB Research Reports, 2000, 170-176.
3. Burghardt W., Banko G., Hoeke S., Hursthouse A., deL'Escaille Th., Ledin S., Marsan F.A., Sauer D., Stahr K., Amann E., Quast J., Neger M., Schneider J., Kuehn K.: Sealing soils, soils in urban areas, land use and land use planning. Report of Task Group 5 Vol. VI. Research, sealing and cross-cutting issues. In: Van-Camp L., Bujarrabal B., Gentile A-R., Jones R.J.A., Montanarella L., Olazabal C., Selvaradjou S-K. Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic strategy for soil protection, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg EUR 21319 EN/6, str. 872.
4. EC. Communication from the Commission of the Council, the European Parliament, the Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Thematic strategy for soil protection, 2006, COM(2006)231 final.
5. EC. Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the protection of soil and amending Directive 2004/35/EC, 2006 COM(2006)232 final.
6. Eckleman W., Baritz R., Białousz S.: Common criteria for risk area identification according for soil threats. ESB Research Reports, 2006 **20**: 1-60.
7. EEA. EEA Core Set Indicators. CSI 014 Land take. Specification and May 2005. Assessment.
8. EEA. Urban sprawl in Europe – the ignored challenge. Kopenhaga, EEA-Report, 2006, **10**.
9. ENVASSO – Indicators and Criteria Report, Deliverable 2, Cranfield University, 2006.
10. ENVASSO – Draft Procedures and Protocols, Deliverable 6, Cranfield University, 2006.
11. ENVASSO – Glossary, Deliverable 4, Cranfield University, 2006.
12. Jaeger J.: Landscape division, splitting index and effective mesh size. New measures of landscape fragmentation. Landscape Ecology, 2000, **15(2)**: 115-130.
13. Statistical Yearbooks of the Republic of Poland 1996–2007. Central Statistical Office, Warsaw.
14. Stuczynski T.: Assessment and modeling of land use change in Europe in the context of soil protection. IUNG-PIB Puławy, Monografie i Rozprawy Naukowe, 2007, **19**.

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Stanisław Białousz
Politechnika Warszawska
Wydział Geodezji i Kartografii
pl. Politechniki 1
00-661 Warszawa
tel.: (0-22) 234-76-90
tel./fax: (0-22) 629-91-82
e-mail: S.Bialousz@gik.pw.edu.pl

Jan Jadczyszyn, Tomasz Stuczyński

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

WYKORZYSTANIE NUMERYCZNEJ MAPY GLEBOWO-ROLNICZEJ DO ANALIZY OBSZARÓW WIEJSKICH*

Wstęp

Wartość merytoryczna mapy glebowo-rolniczej w ostatnich latach jest odkrywana na nowo i to niekoniecznie dla potrzeb planowania, stymulowania i regionalizacji produkcji rolniczej, co było pierwotnym celem autorów mapy, ale głównie dla potrzeb oceny walorów i funkcji środowiskowych oraz alternatywnej do rolnictwa działalności gospodarczej. Informacja zapisana na mapie charakteryzuje właściwości genetyczne, fizyczne i użytkowe wydziałów siedliskowych, stąd jest niezastąpionym źródłem danych dla potrzeb realizacji prac rekultywacyjnych związanych z odtwarzaniem profilu glebowego oraz prowadzenia prac scaleniowych (2). Znaczącym atutem mapy jest jej szczegółowość oraz metodyczna koncepcja opracowania, jednolita w skali kraju i oparta na wynikach bezpośrednich badań terenowych i analiz laboratoryjnych. Krokiem milowym w rozpowszechnieniu i praktycznym wykorzystaniu mapy glebowo-rolniczej było przejście z opracowania papierowego (analogowego) do wersji numerycznej w formacie rastrowym i wektorowym, czyli numerycznej mapy obiektowej zintegrowanej z bazą danych charakteryzującą poszczególne wydziałów glebowe. Numeryczna mapa obiektowa stwarza duże możliwości wykorzystania jej treści w systemach informacji, integracji i analizy z dowolną informacją o charakterze przestrzennym. Dane podstawowe oraz przetworzone zawarte na mapie coraz częściej zasilają również modele symulacyjne i prognostyczne zjawisk i procesów zachodzących w obrębie obszarów wiejskich (6, 7).

W pracy przedstawiono szereg przykładów wykorzystania numerycznej mapy glebowo-rolniczej dla potrzeb racjonalnego wykorzystania i ochrony zasobów glebowych, prac planistycznych, wsparcia programów rolnośrodowiskowych, w tym między innymi do oceny zagrożenia gleb erozją wodą, wydzielania gleb o marginalnym znaczeniu dla rolnictwa, określania potrzeb i dawek wapnowania gleb oraz wrażliwości na zjawiska suszy glebowej.

* Opracowanie wykonano w ramach zadań 1.1 i 1.3 w programie wieloletnim IUNG - PIB

Treść i forma graficzna mapy glebowo-rolniczej

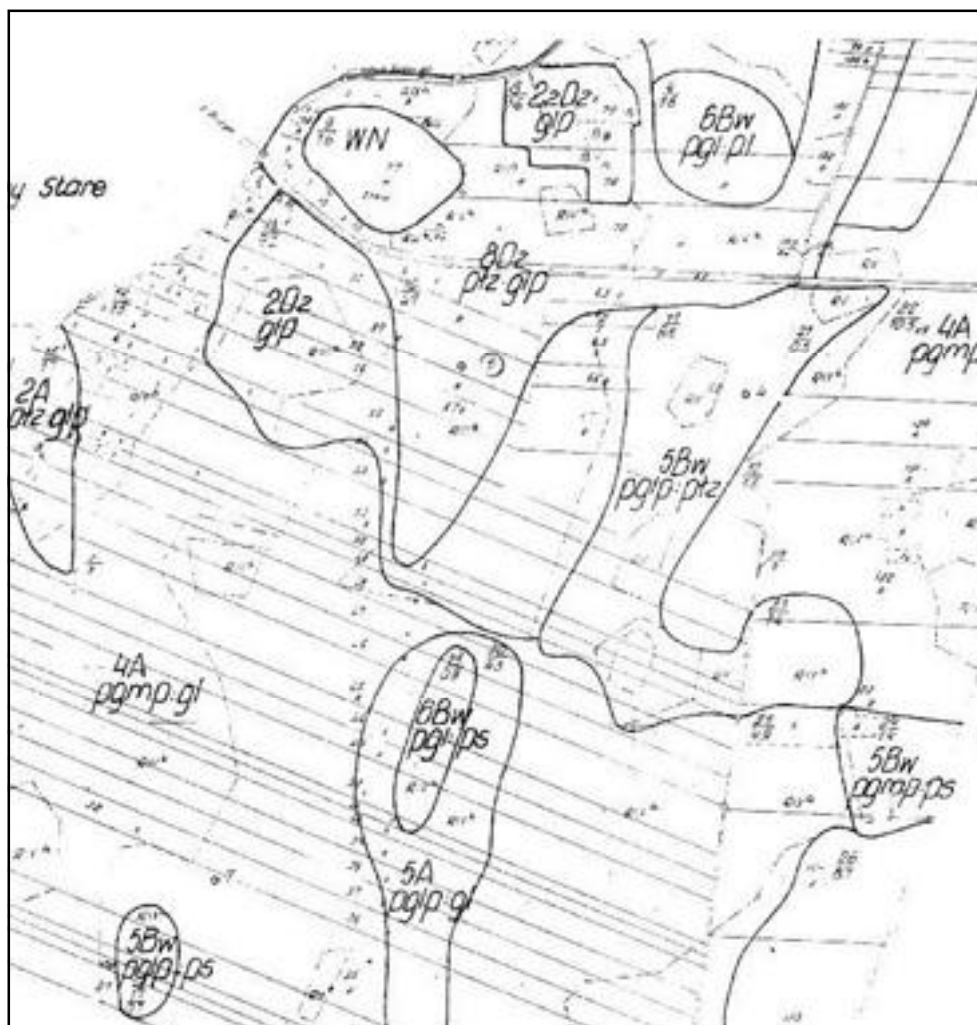
Podstawowa wersja mapy glebowo-rolniczej opracowana została w skali 1 : 5000 na podkładzie mapy ewidencyjnej z uwidocznieniem granic stanu władania, trwałych i dobrze widocznych elementów użytków gruntowych, do których łatwo można było nawiązać przebieg konturów glebowych. W efekcie obraz przedstawiony na mapie dobrze odzwierciedla przestrzenną zmienność gleb w terenie i z dużą dokładnością umożliwia identyfikację ich wydzielenia. Mapa glebowo-rolnicza zawiera treść o charakterze typowo użytkowym dla rolnictwa, jak kompleks rolniczej przydatności gleby informujący o przydatności gleby do uprawy podstawowych gatunków roślin oraz treść charakteryzująca typ i podtyp genetyczny, układ i skład granulometryczny poszczególnych warstw profilu glebowego. Informacja o rolniczej przydatności gleby zapisana jest w sposób zrozumiały, odniesiony bezpośrednio do głównych roślin uprawnych, jak np. „kompleks żytni bardzo dobry”. Informacja uwidoczniona na mapie pozwala odtworzyć budowę profilu gleby, wyodrębnić charakterystyczne warstwy genetyczne do głębokości do 1,5 m, opisać ich skład granulometryczny i miąższość. Stwarza to podstawy do prowadzenia szerokiego zakresu analiz przestrzennych i waloryzacji siedliska glebowego dla potrzeb oceny potencjału produkcyjnego, zasobów wodnych, zróżnicowania bioróżnorodności, odporności środowiska na procesy degradacji i określenia funkcji gospodarczych, urbanizacyjnych i społecznych. Przykład pierworysu mapy przedstawiono na rysunku 1.

Opis konturów glebowych podobny jest do zapisu ułamkowego, gdzie np. cyfra 6 w liczniku oznacza nr kompleksu żytniego słabego, a Bw – typ gleby brunatnej wylugowanej. Zapis w mianowniku pgl.pl oznacza skład gatunkowy piasku gliniastego lekkiego warstwy wierzchniej i podłoża do 50 cm wytworzonego z piasku luźnego.

W oparciu o mapę podstawową w skali 1 : 5000 opracowano w drodze pomniejszenia i generalizacji treści mapy w skalach mniejszych z myślą o opracowaniach regionalnych i ogólnokrajowych, jak średnioskalowe 1 : 25000, 1 : 100000 oraz przeglądowe 1 : 500000 i 1 : 000000. Znaczącym utrudnieniem w praktycznym wykorzystaniu map papierowych w skalach mniejszych jest brak zdefiniowanego układu współrzędnych oraz deformacje podkładu topograficznego w skali 1 : 25000, na który nanoszono treść glebowo-rolniczą. Opracowana na przełomie lat 60. i 70. ubiegłego stulecia mapa glebowo-rolnicza zawiera nieaktualne kontury użytków gruntowych. Szczególnie duże różnice występują w powierzchni lasów i terenów zabudowanych. Wykorzystanie jej treści do analiz narzuca potrzebę aktualizacji w tym zakresie, co w praktyce jest realizowane na podstawie aktualnych zdjęć lotniczych i satelitarnych.

Wyniki

W przeszłości mapa glebowo-rolnicza w formie papierowej była wykorzystywana głównie dla potrzeb oceny potencjału żyzności gleby, regionalizacji produkcji rolniczej, potrzeb nawożenia i wapnowania gleb w skali gospodarstwa oraz dostosowania na-



Rys. 1. Przykład pierworysu mapy glebowo-rolniczej w skali 1 : 15000

Źródło: Witek T., 1973 (8).

rzędzi i maszyn rolniczych do ciężkości gleby i ich dystrybucji w skali kraju. Regionalizację upraw prowadzono uwzględniając kompleksy rolniczej przydatności gleb, zgodnie z zasadą „odpowiednia gleba pod odpowiednią roślinę” (8). Jednym z kluczowych zastosowań informacji zawartej na mapie było opracowanie wskaźnika waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej (WWRPP), gdzie kompleks rolniczej przydatności gleby obok bonitacji gleby i wskaźników częściowych bonitacji klimatu, stosunków wodnych i rzeźby był głównym czynnikiem oceny (9). Należy zaznaczyć, że proces ręcznego obliczania wskaźnika waloryzacji dla gmin na podstawie map analogowych był bardzo czasochłonny.

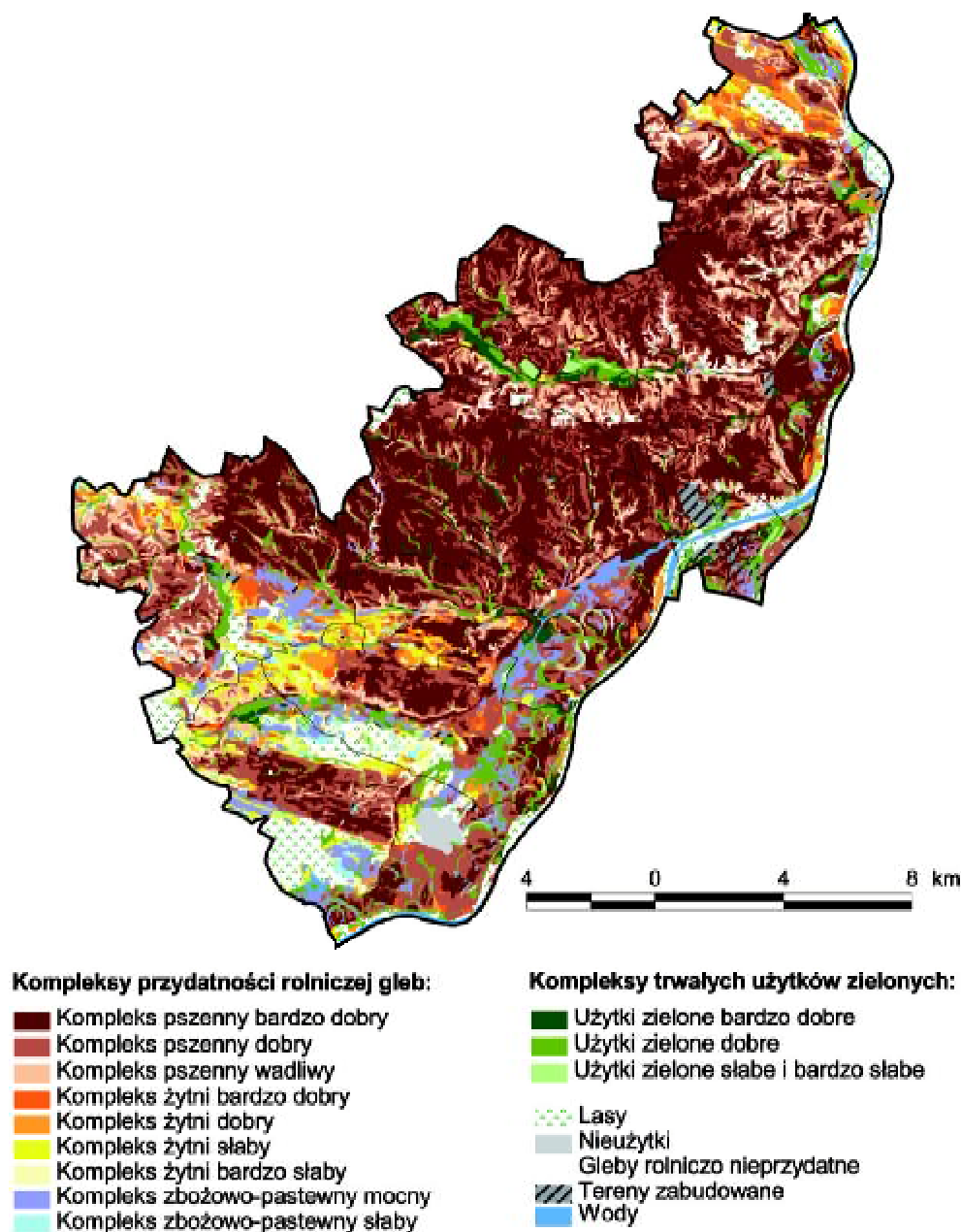
Przełom w praktycznym wykorzystywaniu mapy glebowo-rolniczej nastąpił po jej przetworzeniu do postaci cyfrowej w formacie wektorowym i wprowadzeniu programów GIS oraz specjalizowanych aplikacji do przekształceń analitycznych. Obecnie obliczenia wskaźnika waloryzacji prowadzone są na podstawie mapy numerycznej (rys. 2) i narzędzi analitycznych zintegrowanego systemu informacji o rolniczej przestrzeni produkcyjnej (ZSIRPP). Po przygotowaniu numerycznych baz danych proces obliczania wskaźnika można realizować w znacznie krótszym czasie i z większą dokładnością. Przykładem jest uszczegółowienie do granic obrębów geodezyjnych obszarów o niekorzystnych warunkach gospodarowania (ONW) realizowane w latach 2004 i 2006 (5).

Informacje zawarte w bazie danych mapy wektorowej można wykorzystywać na wiele różnych sposobów, np. poprzez proste zapytania do bazy danych w odniesieniu do pojedynczych cech (wybrane kompleksy, typy genetyczne lub skład granulometryczny). Takim przykładem może być wybór kompleksów gleb pszennych lub żytnich, gleb użytków zielonych dobrych i średnich. Bardziej złożone analizy można realizować odwołując się do wszystkich cech gleby równocześnie, np. kompleksów, typów genetycznych i gatunków gleby.

Przykładem takiego rozwiązania jest mapa gleb marginalnych dla rolnictwa województwa podlaskiego (rys. 3), która zawiera sumę powierzchni spełniających poniższe kryteria:

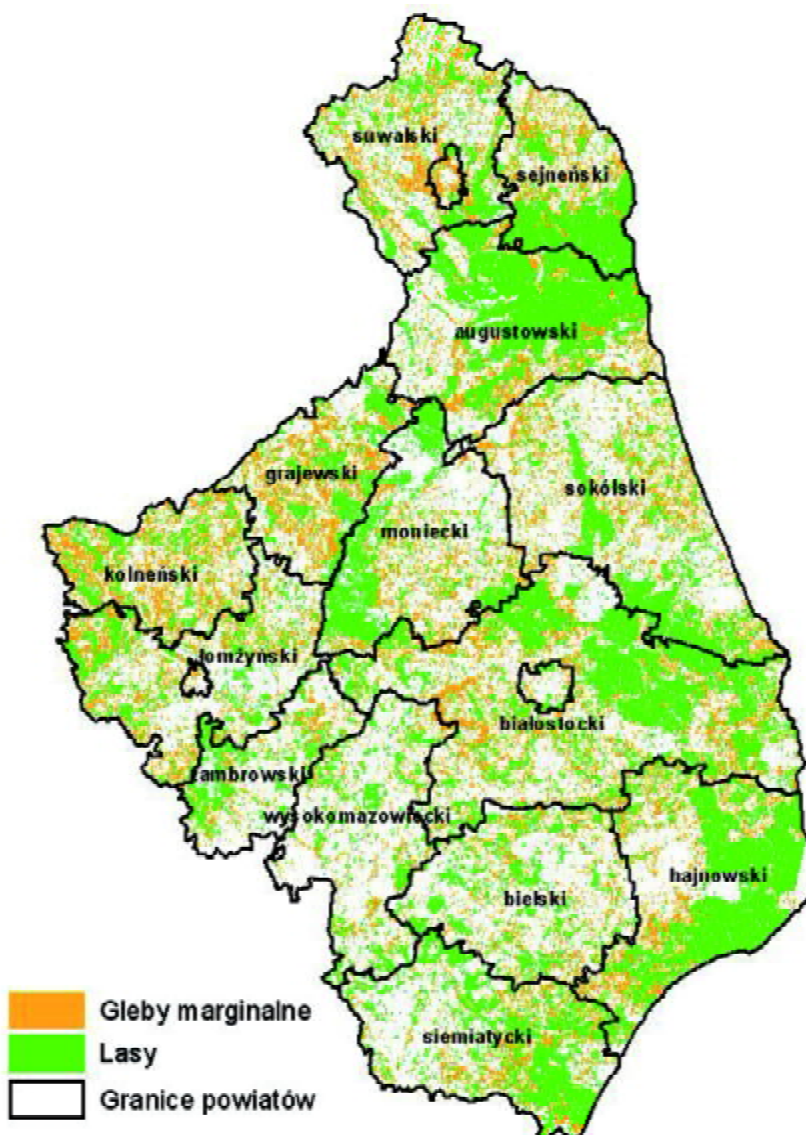
- najsłabsze gleby piaskowe kompleksu 7 – żytnio-lubinowego bardzo słabego w całości;
- część gleb piaskowych kompleksu 6 – żytniego słabego, wytworzonych z piaszków płytkich słabogliniastych podścielonych piaskiem luźnym;
- płytkie gleby organogeniczne użytków zielonych kompleksu 3z powstałe na piasku luźnym (pl) oraz piasku słabogliniastym (ps) podścielonych piaskiem luźnym, a typologicznie zaliczone do mad (F), gleb murszowo-torfowych (M) oraz torfu wysokiego (Tw);
- gleby podlegające erozji wodnej powierzchniowej w stopniu silnym i bardzo silnym.

W województwie podlaskim do gleb marginalnych włączono również te, które są zagrożone degradacją przez erozję wodną (6). Kolejnym przykładem wykorzystania mapy glebowo-rolniczej jest opracowanie mapy podatności gleb na erozję wodną i wietrzną. Podatność na wymywanie cząstek gleby przez wodę i wywiewanie przez wiatr zależy w głównej mierze od uziarnienia gleby i struktury poszczególnych frakcji mechanicznych w jej wierzchniej warstwie. Określenie przestrzennej podatności gleb na erozję wodną realizowane jest poprzez grupowanie gatunków gleb opisanych na mapie glebowo-rolniczej charakteryzujących się zbliżoną wrażliwością na wymywanie. W analizie potencjalnej erozji wietrznej mapa glebowo-rolnicza wykorzystana jest do określania podatności na wywiewanie w oparciu o funkcję składu granulometrycznego i procentową zawartość frakcji piasku (7). Na rysunku 4 przedstawiono mapę podatności gleb na erozję wodną w województwie dolnośląskim.



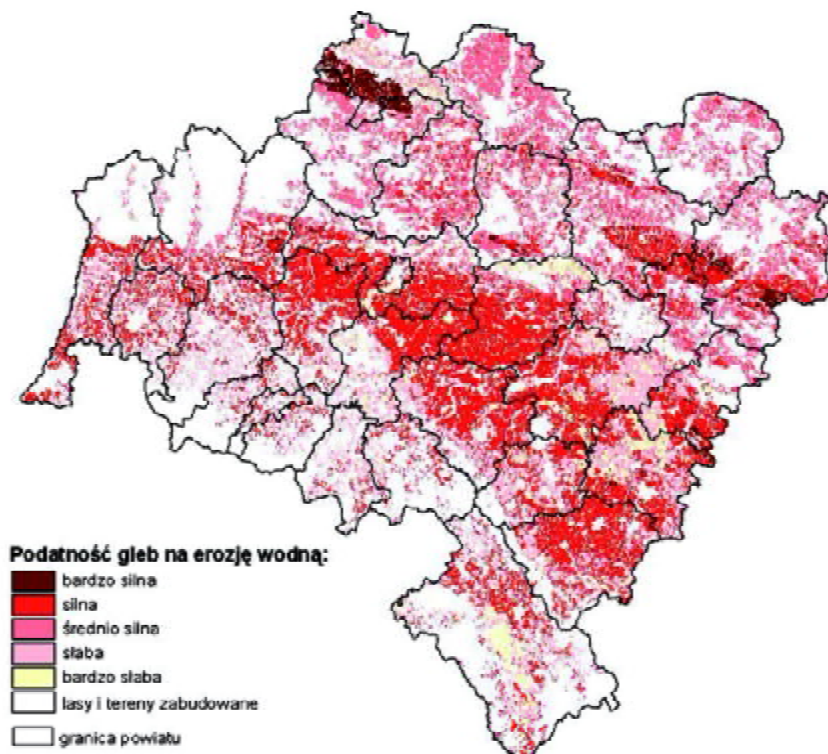
Rys. 2. Wydruk numerycznej mapy glebowo-rolniczej powiatu sandomierskiego w skali 1 : 25000
Źródło: Raport..., IUNG-PIB Puławy, 2006 (3).

Informacja o składzie granulometrycznym warstw profilu jest podstawą opracowania mapy kategorii glebowych mających zastosowanie między innymi do oceny potrzeb wapnowania i nawożenia gleb oraz określania stosunków wodnych i podatno-



Rys. 3. Mapa gleb marginalnych w województwie podlaskim
Źródło: Stuczyński T. i in., 2006 (6).

ści gleby na występowanie suszy rolniczej. Kategoria gleby w połączeniu z informacją o odczynie jest wykorzystywana do określania dawek wapnowania gleb i bilansowania ilości wapna nawozowego niezbędnego dla zrównoważenia zakwaszenia gleb w obrębie dowolnego obszaru (10). Przykład opracowania mapy dawek wapnowania gleb w województwie mazowieckim przedstawiono na rysunku 5. Czynniki glebowe

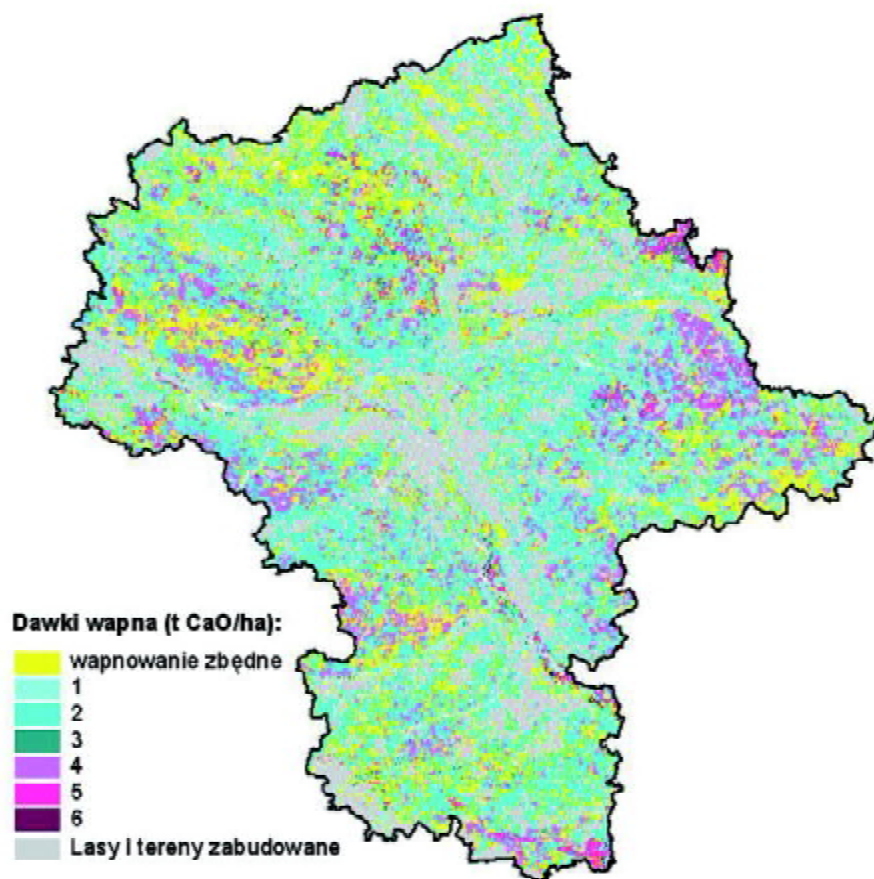


Rys. 4. Podatność gleb na erozję wodną w województwie łódzkim
Źródło: Stuczyński T. i in., 2007 (7).

obok przebiegu warunków pogodowych jest podstawowym elementem różnicującym przestrzennie retencję wodną i rzeczywiste zróżnicowanie wpływu niedoboru wody na plony roślin (1). Przykład wyznaczania kategorii podatności gleb na suszę rolniczą na podstawie numerycznej mapy glebowo-rolniczej w skali 1 : 100000 dla województwa mazowieckiego przedstawiono na rysunku 6.

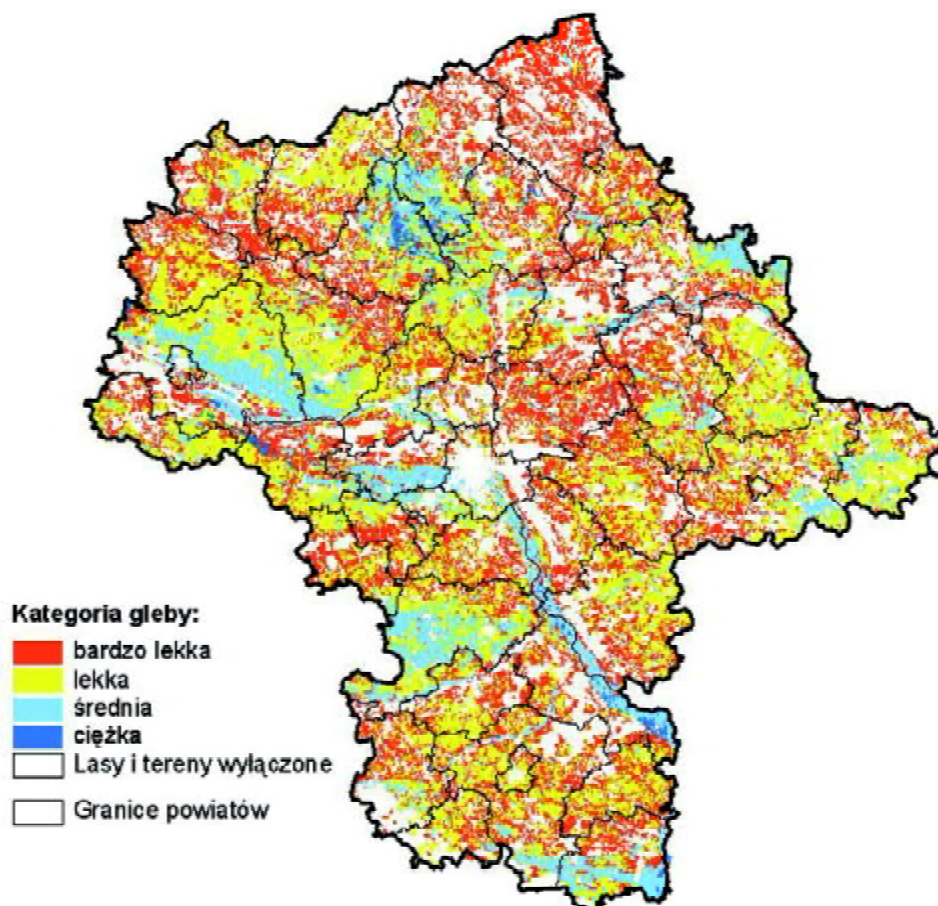
Podsumowanie

Potrzeby ochrony zasobów glebowych i wodnych wynikają z prawa krajowego oraz konieczności wdrażania wspólnej polityki rolnej i środowiskowej w ramach Unii Europejskiej. Wykorzystanie systemów informacji przestrzennej do analizy i oceny zasobów środowiska przyrodniczego jest dziś priorytetowym zadaniem dla jednostek naukowych, administracyjno-samorządowych i gospodarczych. Mapa glebowo-rolnicza w wersji wektorowej jest kluczowym zasobem informacji charakteryzującym jakość i przydatność siedliska glebowego. Wykorzystanie tej informacji w wersji numerycznej może przyczynić się do wdrożenia ilościowych ocen środowiska i znacząco



Rys. 5. Dawki wapnowania gleb użytków rolnych w województwie mazowieckim
Źródło: Raport..., IUNG-PIB Puławy, 2006 (3).

zminimalizować negatywne skutki środowiskowe i gospodarcze podejmowanych decyzji na różnych szczeblach zarządzania, poczynając od gospodarstwa, zakładu produkcyjnego, a także gminy, regionu i kraju. Wybrane przykłady analizy środowiska przyrodniczego wykonane na podstawie mapy glebowo-rolniczej wskazują na bardzo szerokie możliwości wykorzystania informacji w kontekście oceny retencji wodnej, ochrony gleby przed degradacją, nawożenia oraz działań infrastrukturalnych i gospodarczych na obszarach wiejskich.



Rys. 6. Kategorie podatności gleb na suszę rolniczą

Źródło: Opracowanie własne.

Literatura

1. Doroszewski A., Kozyra J., Pudełko R., Stuczyński T., Jadczyński J., Koza P., Łopatka A.: Monitoring suszy rolniczej w Polsce. Wiad. Mel. Łąk., 2008, **1**: 35-38.
2. Kuźnicki F., Białousz S., Skłodowski P.: Podstawy gleboznawstwa z elementami kartografii i ochrony gleb. PWN Warszawa, 1979, 384-390.
3. Raport z wykonania numerycznej mapy glebowo-rolniczej w skali 1 : 25000 wraz z aktualizacją i opracowaniami pochodnymi. Opracowanie wykonane na zlecenie Marszałka Województwa Mazowieckiego. IUNG-PIB Puławy, 2006.
4. Strzemiński M., Siuta J., Witek T.: Przydatność rolnicza gleb Polski. PWRiL Warszawa, 1973.
5. Stuczyński T., Filipiak K., Kozyra J., Górski T., Jadczyński J.: Obszary o niekorzystnych warunkach gospodarowania w Polsce. IUNG-PIB Puławy, 2006.

6. S t u c z y ń s k i T. i in.: wdrożenie zintegrowanego systemu informacji o rolniczej przestrzeni produkcyjnej dla potrzeb ochrony gruntów w województwie podlaskim. Praca zbiorowa pod red. T. Stuczyńskiego. IUNG-PIB Puławy, 2006.
7. S t u c z y ń s k i T. i in.: Stan i zmiany właściwości gleb użytkowanych rolniczo w województwie dolnośląskim w latach 2000–2005. IUNG-PIB Puławy, 2007.
8. W i t e k T.: Mapy glebowo-rolnicze oraz kierunki ich wykorzystania. IUNG Puławy, 1973, **P(18)**.
9. W i t e k T. i in.: Waloryzacja rolniczej przestrzeni produkcyjnej Polski wg gmin. Praca zespołowa pod kier. T. Witka. IUNG Puławy, 1981, **A(40)**: 416.
10. Zalecenia nawozowe. Cz. I. IUNG Puławy, 1990.

Adres do korespondencji:

dr Jan Jadczyszyn
Zakład Gleboznawstwa Erozi i Ochrony Gruntów
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel.: (081) 886 34 21 w. 362
e-mail: janj@iung.pulawy.pl

Katarzyna Osińska-Skotak

*Wydział Geodezji i Kartografii
Politechnika Warszawska*

WYKORZYSTANIE ZAKRESU TERMALNEGO ZDJĘĆ SATELITARNYCH DO OKREŚLANIA TEMPERATURY GLEB

Wstęp

Analiza właściwości gleb z pułapu satelitarnego należy do jednych z najtrudniejszych dziedzin teledetekcji, niezależnie od wykorzystywanego zakresu promieniowania. Teledetekcyjne badania gleb mają już swoją długą historię, ale najczęściej prowadzono je na terenach pustynnych lub pustynniejących. Tereny te są najwdzięczniejszym tematem badań właściwości gleb za pomocą technik zdalnych, ponieważ dotyczą one głównie terenów otwartych, niepokrytych roślinnością, a dodatkowo są to obszary o dużej powierzchni. Tam, gdzie przez większą część roku gleby pokryte są szatą roślinną lub gdzie prowadzona jest gospodarka rolna badania tego rodzaju są mocno utrudnione. W Polsce prace nad możliwościami wykorzystania zdjęć termalnych do badania gleb prowadzone były już w latach 70. XX wieku. Dotyczyły one głównie zastosowania lotniczych zdjęć termalnych rejestrowanych przez skaner THP-1 w zakresie promieniowania podczerwonego o długości fal 3-5,5 μm . Próby wykorzystania tych zdjęć do określenia wilgotności gleb (PW, BPWM Poznań) nie dały jednak zadowalających wyników (2, 3). Okazało się bowiem, iż na zróżnicowanie temperatury gleby większy wpływ miała pokrywa roślinna oraz aktualnie wykonywane prace polowe.

Teledetekcja termalna pozwala na rejestrację i wizualizowanie niewidocznego dla oka ludzkiego promieniowania cieplnego, które świadczy pośrednio o temperaturze obiektu i zróżnicowaniu emisyjności obiektów. Niewątpliwą zaletą tego zakresu spektralnego jest możliwość dokonywania rejestracji promieniowania cieplnego przez całą dobę. W związku z tym badania właściwości termalnych obiektów naziemnych można przeprowadzać przez całą dobę, co jest niemożliwe w przypadku technik optycznych. Niestety większość okołobiegunowych systemów satelitarnych umożliwia rejestrację jedynie w ciągu dnia, w godzinach przedpołudniowych, kiedy zróżnicowanie termiczne obiektów naziemnych jest stosunkowo niewielkie, co znacznie ogranicza możliwości monitorowania gleb.

Wykorzystywanie danych satelitarnych do badania gleb w Polsce jest utrudnione ze względu na fakt, że większość gleb w kraju pokryta jest roślinnością naturalną bądź jest użytkowana rolniczo, czyli rejestrowane promieniowanie elektromagnetyczne za-

leży także od rodzaju i kondycji pokrywy roślinnej. Oznacza to istnienie wpływu wielu zmiennych na rejestrowany obraz termalny. Z tego powodu dla celów badania gleb wykorzystuje się zdjęcia wykonane wczesną wiosną albo jesienią. Ponadto, silnie rozdrobniona struktura agrarna utrudnia badania gleb z pułapu satelitarnego, gdyż rozdzielenie przestrzenne obrazów nie pozwala na badania drobniejszych struktur.

Podstawy teoretyczne

Obliczanie temperatury obiektu na podstawie danych satelitarnych

Teledetekcyjne techniki termalne wykorzystują zjawisko emisji długofalowego promieniowania podczerwonego przez obiekty znajdujące się na powierzchni Ziemi. W myśl prawa Kirchhoffa wszystkie ciała, których temperatura jest wyższa od zera bezwzględnego emitują promieniowanie cieplne. W ciągu dnia do powierzchni Ziemi dociera znaczna część promieniowania słonecznego (część ulega w atmosferze absorpcji, rozproszeniu i odbiciu), która następnie jest częściowo odbijana od poszczególnych obiektów, częściowo zaś pochłonięta i zamieniona na ciepło. Ta energia cieplna zostaje następnie wypromieniowana z powierzchni Ziemi w postaci długofalowego promieniowania podczerwonego. Właśnie to promieniowanie może być zarejestrowane przez odpowiednie urządzenia detekcyjne.

Uzyskany obraz termalny danego obiektu jest funkcją temperatury tego obiektu (widzianego przez chwilowe pole widzenia skanera) oraz jego właściwości emisyjnych. Gdyby energia wypromieniowana przez obiekt w całości docierała do sensora, to w prosty sposób, odwracając prawo Planck'a, można byłoby otrzymać temperaturę rozpatrywanego ciała. Przekształcając prawo Planck'a dla ciała doskonale czarnego:

$$M_{BB}(\lambda, T) = C_1 \lambda^{-5} \left[\exp\left(\frac{C_2}{T\lambda}\right) - 1 \right]^{-1} \quad (1)$$

gdzie: $M_{BB}(\lambda, T)$ – gęstość energii promieniowania ciała doskonale czarnego o temperaturze T , $C_1 = 2\pi hc^2$, $C_2 = \frac{hc}{k}$, h – stała Planck'a ($h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ J · s), k – stała Boltzmann'a, do postaci:

$$T_{radiometric} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{sat}} + 1\right)} \quad (2)$$

oznaczając jako: $K_2 = \frac{hc}{k\lambda}$; $K_1 = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5}$; $L_{sat} = M(l, T) = L_{surf}$ otrzymujemy zależność, w której jedyną wielkością nieznaną jest właśnie temperatura. Wielkości K_1 i K_2 są stałe dla konkretnego urządzenia rejestrującego (zależą od długości fali w jakiej pracuje urządzenie), zaś wielkością mierzoną jest tutaj wielkość radiancji energetycznej L_{sat} .

W wyniku zastosowania powyższej zależności otrzymywana jest wartość temperatury, która nie uwzględnia wpływu atmosfery na drodze obiekt – detektor oraz właściwości emisyjnych samego obiektu. Jest to temperatura radiometryczna (w wielu publikacjach zwana również ekwiwalentną temperaturą ciała doskonale czarnego), która jest wynikiem pomiaru mocy sygnału odbieranego przez detektor. Po wprowadzeniu korekcji wpływu atmosfery uzyskać można wartość temperatury jaką otrzymano by, gdyby na drodze obiekt – detektor nie występowała atmosfera. Temperatura ta, zwana temperaturą radiacyjną, związana jest z wypromieniowaniem energii z rozważanej powierzchni i reprezentuje bilans strumieni radiacyjnych powierzchni. Nie uwzględnia właściwości emisyjnych powierzchni i odnosi się do określonego pola widzenia skanera. Natomiast uwzględniając właściwości emisyjne obiektu otrzymuje się temperaturę powierzchni czynnej, którą można uzyskać wykorzystując prawo Stefana-Boltzmann’a dla ciała doskonale czarnego oraz dla ciała szarego:

$$T_{rad} = T_{surf} \cdot \varepsilon^{1/4} \quad (3)$$

Wielkość ε oznacza tutaj średni współczynnik emisyjności dla przedziału fal $\Delta\lambda$, rejestrowanych przez konkretny skaner. Wartość współczynnika emisyjności jest zależna od szeregu czynników, a jego uwzględnienie w przypadku badań obszarów o różnym typie pokrycia terenu jest niezmiernie trudne. Zmiana emisyjności powoduje, że obiekty o identycznej temperaturze termodynamicznej mają inną wielkość emisji niż to opisuje wzór Planck’a. Nieprawidłowe uwzględnienie współczynnika emisyjności może powodować błędy kilku lub w skrajnych przypadkach kilkunastu stopni w obliczeniu temperatury rzeczywistej obiektu. Jest to wielkość, która ma jeden z większych udziałów w dokładności określenia wartości temperatury. Z tego względu najczęściej określana jest tylko temperatura radiacyjna obiektów.

Zmienność czasowa temperatury gleb

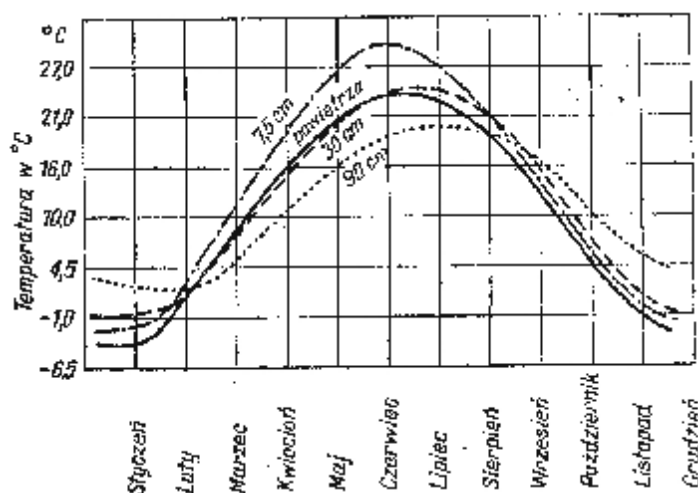
Gleba jest szczególnym rodzajem ciała składającego się zarówno z fazy stałej (cząstek mineralnych i organicznych), jak i fazy ciekłej (woda) oraz gazowej (powietrze i substancje gazowe pochodzące z procesów np. rozkładu materii organicznej). Temperatura gleby jest bardzo istotnym czynnikiem wpływającym na ich rolniczą przydatność (5). Stymuluje ona reakcje chemiczne i biologiczne zachodzące w glebie oraz wpływa na rozwój roślin. Wiele procesów rozpoczyna się w glebie dopiero po osiągnięciu określonej temperatury (np. kiełkowanie nasion większości roślin następuje w temperaturze 7-10°C). Temperatura gleby zależy przede wszystkim od bilansu cieplnego powierzchni, czyli od stosunku pochłanianej energii cieplnej do energii traconej przez glebę.

Wahania sezonowe temperatury gleby zaznaczają się nawet na bardzo dużych głębokościach w profilu glebowym. Analizując rysunek 1, zmieszczony w pracy B u c k m a n’a i B r a d y’ e g o (5), przedstawiający przebieg średnich miesięcznych

temperatur gleby na różnych głębokościach można stwierdzić, iż największe wahania sezonowe obserwuje się w wierzchnich warstwach gleby, czyli tych, które w głównej mierze decydują o uzyskanym obrazie termalnym. Są one wyższe niż wahania wartości średnich dobowych temperatur powietrza. Na ogół warstwa gleby do głębokości około 15 cm jest cieplejsza niż powietrze znajdujące się nad nią. Głębsze poziomy gleby są cieplejsze od powietrza jesienią i zimą, zaś chłodniejsze wiosną i latem, co wynika z opóźnionego przewodzenia ciepła. Istotne jest jednak, że zmiany temperatury w glebie zachodzą, z wyjątkiem najbardziej powierzchniowej warstwy, zawsze stopniowo, podczas gdy zmiany zachodzące w powietrzu mogą mieć charakter skokowy, spowodowany np. szybkim napływem innej masy powietrza.

Dzienne i godzinowe zmiany temperatury powietrza i gleby w klimacie umiarkowanym mogą mieć bardzo różny charakter. Dobowe zmiany temperatury gleby zależą silnie od pory roku. Z reguły najwyższe wartości, jak również największe wahania temperatury gleby w ciągu doby notowane są przy jej powierzchni. W miarę posuwania się w głąb profilu glebowego amplituda wahań dobowych staje się coraz mniejsza, a na pewnej głębokości wahania te zupełnie zanikają (13). Wiosną i latem maksimum temperatury gleby w ciągu doby przypada na godziny południowe (12⁰⁰-13⁰⁰). Dla głębszych warstw gleby maksimum to przesuwa się wraz ze wzrostem głębokości coraz bardziej w stronę godzin popołudniowych (4; rys. 3, str. 288). Zimą wierzchnia warstwa gleby wykazuje mniejsze wahania temperatury, a sam moment wystąpienia maksimum temperatury jest trudny do uchwycenia.

W zależności od rodzaju gleby dobowy przebieg temperatury ma różną amplitudę. Z badań opisywanych przez Chama y o u' a i L e g r o s' a (6) wynika, że dobowe wahania temperatury powierzchni gleby piaszczystej mogą wynieść nawet 40,0°C,



Rys. 1. Sezonowy przebieg średnich miesięcznych wartości temperatury gleby i powietrza obserwowany w okresie 12 lat w miejscowości Lincoln w stanie Nebraska, $\phi = 40,3^{\circ}\text{N}$

Źródło: Buckman H. C. i Brady N. C., 1971 (5).

gleby mułowej – 33,6°C, a gliniastej – 21,5°C. Już na głębokości 5 cm fluktuacje te ulegają szybkiemu zmniejszeniu i wynoszą odpowiednio dla gleby: piaszczystej – 19,4°C; mułowej – 18,5°C i gliniastej – 13,7°C. Im większa głębokość, tym mniejsze są zmiany dobowe temperatury. Na głębokości 10 cm fluktuacje temperatury dla omawianych gleb obniżają się do wartości: 12,3°C dla gleby piaszczystej, 10,7°C dla mułowej i 7,7°C dla gliniastej, zaś na głębokości 30 cm osiągają już odpowiednio: 1,6; 0,7 i 0,6°C. Wieloletnie obserwacje pokazują, że dobowe wahania temperatury w glebie zanikają na głębokości kilkudziesięciu centymetrów, natomiast wahania roczne sięgają nawet do kilkunastu metrów (13).

Istotnym elementem w procesie kształtowania się warunków termicznych gleby jest szata roślinna. Jej obecność wpływa na ograniczenie zarówno zróżnicowania pionowego temperatury w glebie, jak i na wielkości zmian w czasie (13). Temperatura mierzona tuż pod powierzchnią gleby niepokrytej roślinnością może być o kilkanaście stopni wyższa niż gdyby ta sama gleba była porośnięta roślinami. Wielkość wahań dobowych może być kilkukrotnie mniejsza w przypadku gleby pokrytej roślinnością niż gleby odkrytej (13, za Kossowskim). W przypadku gleb bardziej porowatych i suchych wahania te są większe niż dla gleb zwięzłych i wilgotnych.

Typowe profile temperatury minimalnej i maksymalnej dla gleby pokrytej zieloną trawą oraz gleby odkrytej w różnych okresach roku przedstawia rysunek w pracy Bonn'a i O'Neill'a (4). Wynika z niego, że wpływ roślinności uwidacznia się w mniejszych amplitudach temperatury. Natomiast podobieństwo profili temperatury maksymalnej gleby odkrytej i porośniętej trawą w maju spowodowane jest słabym jeszcze rozwojem roślinności. W późniejszym okresie w sposób silniejszy uwidacznia się wpływ roślinności. Największa różnica pomiędzy temperaturą gleby odkrytej a temperaturą powietrza – mierzoną na wysokości 2 m – występuje w miesiącach letnich, zwłaszcza w sierpniu. Podczas słonecznego dnia temperatura gleby będzie zawsze wyższa od temperatury powietrza nad nią znajdującego się. Temperatura suchej gleby może osiągać nawet 50-55°C. Wartości maksymalne temperatury osiągają w glebie piaszczystej – 53,5°C, glebie mułowej – 46,7°C, a glebie gliniastej – 35,9°C (6). W przypadku gleb wilgotnych maksimum może ulec obniżeniu nawet o 20-30°C, w zależności od stopnia ich uwilgotnienia.

Duży wpływ na temperaturę gleby mają również warunki pogodowe. Podczas całkowicie pochmurnych dni zmiany temperatury gleby w ciągu doby są znacznie mniejsze niż ma to miejsce przy bezchmurnej pogodzie.

Podsumowując powyższe analizy można stwierdzić, że najwyższą temperaturą charakteryzować się będą gleby o niskiej zawartości próchnicy, czyli gleby słabe, o niewielkiej wilgotności, które są niezbyt przydatne dla celów rolnictwa.

Właściwości emisyjne gleb

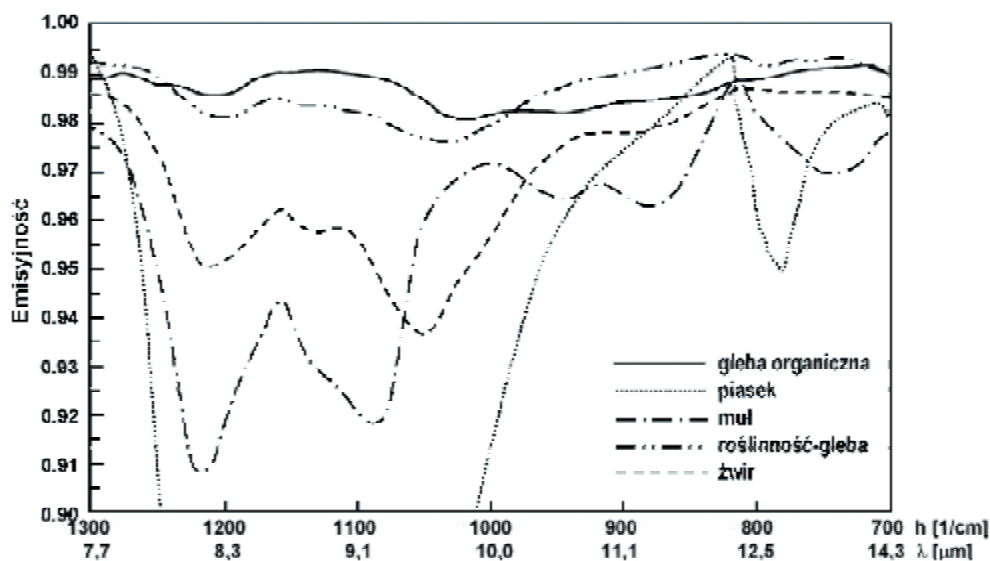
Z punktu widzenia zdalnej rejestracji wypromieniowania z powierzchni gleby istotnym elementem są właściwości emisyjne gleb. Wpływ na zróżnicowanie współczynnika emisyjności mają: właściwości fizykochemiczne gleby (m.in. wilgotność, skład

granulometryczny, zgrużenie, porowatość, zawartość próchnicy, barwa) oraz ich właściwości cieplne (m.in. przewodnictwo cieplne, pojemność i bezwładność cieplna).

W świetle zebranej literatury wynika, że gleby piaszczyste charakteryzują się emisyjnością w zakresie promieniowania cieplnego o długości fal 8-14 μm od 0,88 do 0,94; gleby gliniaste od 0,95 do 0,96; łąki od 0,91 do 0,93, a gleby mułowe około 0,94 (10). Gleby pochodzenia wapiennego mają zdolność emisyjną 0,95, a gleby bagienne 0,997. Te same gleby w zależności od długości fali mają różne wartości współczynników emisyjności. Generalnie, można stwierdzić, iż emisyjność jest niższa dla fal krótszych (3-5 μm), a wyższa dla fal dłuższych (8-14 μm).

Analizując przebieg zmienności współczynnika emisyjności piasku (rys. 2) można zauważyć występowanie dwóch minimów w obszarze dalszej podczerwieni (ok. 8-9 μm i ok. 12-13 μm). Minima czy też maksima emisyjności można zauważyć również dla innych gleb czy skał. Przykładowo, minimum wypromieniowania dla krzemionki występuje dla fali o długości około 9 μm , a dla węglanu wapnia w pobliżu 7 μm . Tak różnorodne rozłożenie ekstremów emisji teoretycznie daje możliwość identyfikacji różnych typów gleb poprzez różnice ich temperatur.

Ważnym elementem wpływającym na emisję ciepła przez glebę jest jej wilgotność. Im gleba bardziej wilgotna, tym jej zdolność emisyjna jest większa (12). Wynika to z dużej emisyjności samej wody. Podobna zależność występuje dla zawartości próchn-



Rys. 2. Przebieg emisyjności spektralnej gleby organicznej, piasku, mułu, żwiru oraz powierzchni typu roślinność-gleba pomierzonej za pomocą skanera MODIS¹ w zakresie podczerwieni termalnej

Źródło: Opracowano na podstawie pracy Snydera W. C. i in., 1997 (14).

¹ MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectrometer rejestruje w 36 kanałach promieniowanie z zakresu 0,60-14,54 μm

nicy – im bardziej zasobna w materię organiczną gleba, tym większy ma współczynnik emisyjności (12), co również ilustruje rysunek 2.

W zależności od zawartości wody zmieniają się wszystkie właściwości cieplne gleb. Zmienność ta następuje z różną intensywnością. Wilgotność gleby jest jednym z najistotniejszych czynników decydujących o pojemności cieplnej gleb, a tym samym o możliwości ich nagrzewania i ochładzania. W miarę wzrostu wilgotności gleb wzrastają: przewodnictwo cieplne, pojemność cieplna oraz bezwładność cieplna. Wielkość pojemności cieplnej wpływa na wartość temperatury powierzchni gleby w taki sposób, że im większa pojemność cieplna gleby, tym niższą temperaturą charakteryzuje się jej powierzchnia, gdyż ciepło odprowadzone zostaje do głębszych warstw gleby.

Przykład badań termiki gleb powiatu wyszkowskiego

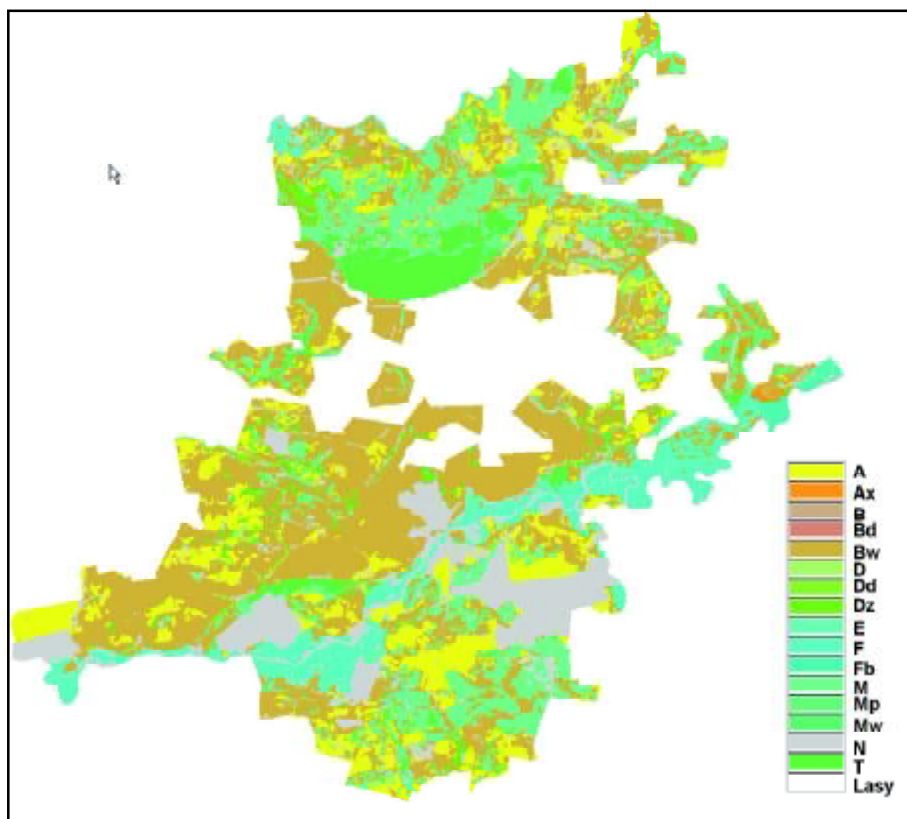
Z analizy przeprowadzonej powyżej wynika, że generalnie gleby słabe, o niskiej zawartości próchnicy, charakteryzują się wysokimi wartościami temperatury i stosunkowo niską emisyjnością. Natomiast gleby wilgotne, z zasady bardziej zasobne w składniki odżywcze, mają dużo niższe wartości temperatury i na ogół wysokie współczynniki emisyjności. Czyli można przypuszczać, iż obrazy termalne będą pomocne przy wskazywaniu obszarów o wyjątkowo niekorzystnych warunkach do uprawy roślin.

Przeprowadzone w niniejszej pracy badania miały na celu poszukiwanie zależności między temperaturą radiacyjną wierzchniej warstwy gleby – obliczoną na podstawie zdjęć satelitarnych – a różnymi właściwościami gleby. Istotą było stwierdzenie faktu, czy i jak silny wpływ na wartość rejestrowanej temperatury mają poszczególne cechy gleby. Chodzi również o to czy faktycznie wyższa temperatura gleby zawsze oznacza gleby o niekorzystnych właściwościach dla prowadzenia uprawy roślin.

Obszar badań

Badaniami objęto powiat wyszkowski, położony na granicy dwóch makroregionów: Niziny Północnomazowieckiej i Niziny Środkowomazowieckiej (7). Powiat wyszkowski zlokalizowany jest pomiędzy dwoma dolinami: Doliną Dolnej Narwi oraz Doliną Dolnego Bugu. Północna część powiatu wyszkowskiego położona jest na łąkowym, podmokłym tarasie zalewowym meandrującej rzeki Narwi. Południowa część powiatu stanowi łąkowy taras zalewowy Bugu z licznymi starorzeczami oraz w dużym stopniu zalesiony piaszczysty taras wydmy. Centralna część badanego obszaru to wysoczyzna morenowa oraz równina sandrowa Międzyrzecza Łomżyńskiego, której południową i wschodnią część zajmują bory sosnowe Puszczy Białej, a północne rejony są użytkowane rolniczo.

Analizowany obszar położony jest na wysokości 85-115 m n.p.m. i ma charakter równiny o bardzo niewielkich deniwelacjach (rzędu 5 m). Jedynie krawędź pomiędzy Międzyrzeczem Łomżyńskim a Doliną Dolnego Bugu stanowi miejscami obszar o znaczących deniwelacjach, gdzie wysokość utworzonej skarpy dochodzi do 30 m.



Rys. 3. Typy gleb powiatu wyszkowskiego – wizualizacja danych z bazy danych o glebach
Źródło: Opracowanie własne.

Na obszarze powiatu wyszkowskiego występują gleby (symbole przyjęto według oznaczeń na mapie glebowo-rolniczej): bielcowe (A), płowe (Ax), rdzawe (Bw), czarne ziemie (D, Dd, Dz), mady (F, Fb), gleby mułowo-torfowe i torfowo-mułowe (E), gleby torfowe i murszowo-torfowe (T) oraz murszowo-mineralne (M, Mw) i murszowate (Mp). Ich przestrzenne rozmieszczenie na badanym obszarze zilustrowano na rysunku 3. Na gruntach ornych dominują gleby słabej jakości. Ponad 60% powierzchni gruntów ornych stanowią klasy V i VI, 20% to gleby klas IVa i IVb, a jedynie ok. 5% stanowią gleby dobre i bardzo dobre. Na badanym obszarze dominują gleby 6 i 7 kompleksu przydatności rolniczej, a gleby kompleksów 4 i 5 stanowią jedynie około 20% powierzchni gruntów ornych.

Źródła danych

W pracy wykorzystano dwa zdjęcia satelitarne zarejestrowane w tym samym roku, ale w różnych jego porach. Jedno ze zdjęć zarejestrowano z pokładu satelity LANDSAT 7 w dniu 7 maja 2000 r., zaś drugie pozyskano 28 września 2000 r. za pomocą skanera ASTER umieszczonego na amerykańskim satelicie TERRA. Dokładność z jaką można obliczyć temperaturę radiometryczną na podstawie obu typów danych wynosi 0,3 K. Nie oznacza to oczywiście, że z taką dokładnością można określić temperaturę powierzchni konkretnego obiektu. Zawsze podczas analizy danych satelitarnych należy mieć na uwadze rozmiar chwilowego pola widzenia skanera, czyli wielkość najmniejszego obiektu, jaki można „zobaczyć” z poziomu satelitarnego. Jeśli jest on większy niż chwilowe pole widzenia skanera, to uzyskana wartość temperatury radiometrycznej wynikać będzie tylko z emisji promieniowania przez ten konkretny obiekt. Jeśli zaś obiekt będzie mniejszy niż chwilowe pole widzenia skanera, to wartość temperatury radiometrycznej wynikać będzie z wypadkowego promieniowania emitowanego przez obiekty mieszczące się w chwilowym polu widzenia skanera.

Skaner ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) umieszczony na satelicie LANDSAT 7 rejestruje promieniowanie termalne w zakresie fal o długości 10,40-12,5 μm z rozdzielczością przestrzenną 60×60 m (najmniejszy rejestrowany obiekt). Rejestracja danych odbywa się zawsze o tej samej godzinie lokalnego czasu słonecznego, tj. o 10⁰⁰.

Skaner ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) rejestruje natomiast promieniowanie termalne w pięciu, węższych niż ETM+, zakresach spektralnych:

Kanał	10	11	12	13	14
Zakres (μm)	8,125-8,475	8,475-8,825	8,925-9,275	10,25-10,95	10,95-11,65

ale ze słabszą rozdzielczością przestrzenną wynoszącą 90×90 m. W przypadku tych danych rejestracja odbywa się o godzinie 10³⁰ lokalnego czasu słonecznego.

Do przeprowadzenia tych analiz wykorzystano bazę danych o glebach dla powiatu wyszkowskiego, która powstała w ramach prac prowadzonych przez Wydział Geografii i Planowania Przestrzeni (15) i Planowania Przestrzeni (11). Baza danych powstała poprzez wektoryzację map glebowo-rolniczych w skali 1 : 25 000, a jej treść zaktualizowano na drodze interpretacji zdjęć satelitarnych SPOT oraz w wyniku weryfikacji terenowej. Dane zawarte w bazie obejmują: typ i podtyp gleb, uziarnienie warstwy powierzchniowej, głębokość zmiany składu granulometrycznego, uziarnienie warstwy podpowierzchniowej, kompleks przydatności rolniczej oraz użytkowanie według mapy glebowo-rolniczej.

Metodyka badań

Rozkład temperatury radiacyjnej obliczono na podstawie omówionych powyżej zdjęć satelitarnych przy zastosowaniu metodyki opracowanej i zweryfikowanej w rozprawie doktorskiej (10).

Omawiane tutaj badania przeprowadzono jedynie dla gleb nieporośniętych roślinnością zieloną, tak aby zminimalizować wpływ m.in.: stopnia pokrycia roślinnością, wysokości i rodzaju roślinności, czy biomasy na wyniki prowadzonych analiz. Obszary gleb niepokrytych roślinnością określono również na podstawie zdjęć satelitarnych przy wykorzystaniu wskaźnika roślinności NDVI. Na jego podstawie wykonano maskę gleb niepokrytych roślinnością zieloną dla każdego z analizowanych terminów. Jako wartość graniczną NDVI przyjęto 0,1. Następnie wykonano obliczenia wartości średniej temperatury radiacyjnej (obliczonej na podstawie zdjęć satelitarnych) oraz odchylenia standardowego dla każdej jednostki glebowej, czyli poligonu z bazy danych o glebach. Dane te wykorzystano do przeanalizowania zależności między temperaturą radiacyjną warstwy wierzchniej gleby a różnymi cechami gleb. Dokonano analizy zależności między temperaturą radiacyjną gleb a ich typem, kompleksem przydatności rolniczej i uziarnieniem warstwy wierzchniej.

Dyskusja wyników

Ze względu na fakt, iż na wartość temperatury warstwy powierzchniowej gleby ma wpływ aktualna sytuacja meteorologiczna konieczne jest uzyskanie informacji o sytuacji pogodowej panującej co najmniej w dniu rejestracji zdjęcia satelitarnego. Równie przydatne są informacje o opadach, jakie mogły wystąpić w dniach poprzedzających pozyskanie zdjęć.

Dzień 7 maja 2000 r. był wyjątkowo ciepły i słoneczny. Temperatura powietrza już o godzinie 9⁰⁰ wynosiła 18°C, a godzinę później wzrosła do 19,5°C. Wilgotność powietrza o godzinie 9³⁰ wynosiła 45%. W godzinach przedpołudniowych obserwowano miejscami jedynie niewielkie zachmurzenie, wiał słaby wiatr (3-4 m · s⁻¹) z kierunków południowego i południowo-wschodniego. Temperatura gruntu w 5 cm warstwie gleby na stacji Warszawa-Bielany o godzinie 6⁰⁰ wynosiła 16°C, a o 12⁰⁰ już 27,2°C. Wysokość słońca w momencie rejestracji danych LANDSAT ETM+ wynosiła 50°.

Z kolei dzień 28 września 2000 r. był pogodny i bezchmurny, wiał słaby wiatr południowy i południowo-wschodni (3-4 m · s⁻¹). Temperatura powietrza o godzinie 9³⁰ wynosiła 13°C, zaś w południe wzrosła do 20°C. Wilgotność powietrza osiągnęła 77%. Również dni poprzedzające moment rejestracji były pogodne i ciepłe, bez opadów deszczu. W dniu 28 września 2000 r. – w momencie rejestracji danych ASTER/TERRA – wysokość słońca wynosiła 34°.

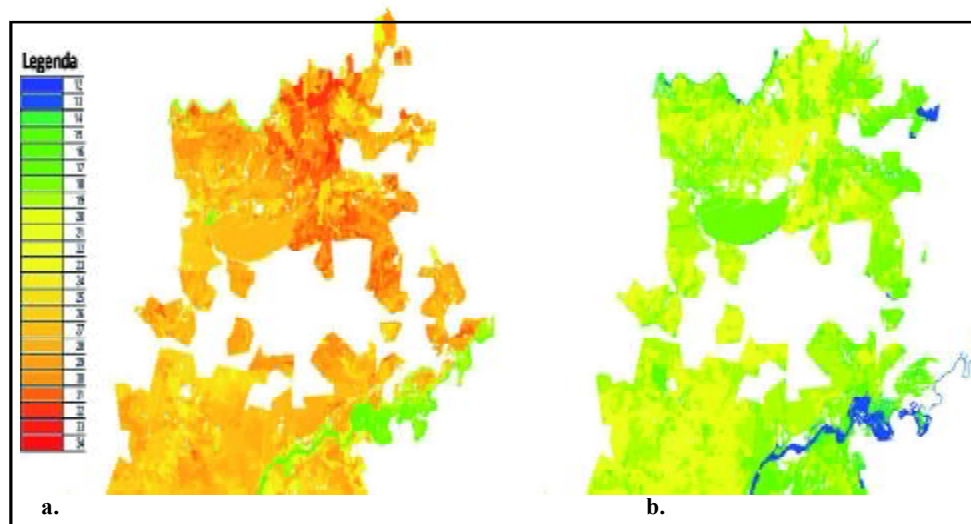
Wyniki przeprowadzonych analiz wskazują, że 7 maja 2000 r. średnia wartość temperatury radiacyjnej w poszczególnych jednostkach glebowych waha się w zakresie od 16 do 34°C (rys. 4), natomiast 28 września 2000 r. od 12 do 23°C. Wymienione tu wartości są wartościami średnimi dla poszczególnych jednostek glebowych. Nie

oznacza to jednak, że nie występują wyższe lub niższe wartości temperatury radiacyjnej dla fragmentów wyróżnionych jednostek glebowych. Analizując odchylenie standardowe wartości temperatury dla poszczególnych typów gleb zauważyć można, iż dla gleb torfowych, torfowo-mułowych, mąd oraz gleb murszowych występują najwyższe wartości, zaś najniższe dla gleb rdzawych. Zależność ta jest jak najbardziej prawidłowa, gdyż gleby o dużej zasobności próchnicy, w zależności od położenia, mogą charakteryzować się większą wilgotnością, ze względu na swoje właściwości absorpcyjne. Gleby rdzawe (Bw) charakteryzują się zaś słabym uwilgotnieniem, czyli wartość ich temperatury powinna być zróżnicowana w niewielkim stopniu.

Poniżej zaprezentowane zostały wykresy przedstawiające średnie wartości temperatury radiacyjnej gleb gruntów ornych w zależności od: typu gleby, uziarnienia jej warstwy wierzchniej, kompleksu przydatności rolniczej.

Zależność średniej temperatury radiacyjnej gleb gruntów ornych od typu gleby wykazuje logiczny przebieg (rys. 5). Gleby wilgotniejsze (czarne ziemie (D), mady (F, Fb), gleby mułowo-torfowe i torfowo-mułowe (E)), o większej zawartości próchnicy, mają niższe wartości temperatury radiacyjnej niż gleby suchsze piaszczyste (bielico-we (A), płowe (Ax), rdzawe (Bw). Gleby murszowo-mineralne, murszowo-torfowe, torfowe i czarne ziemie deluwialne w obu terminach mają zbliżone wartości temperatury radiacyjnej. Zróżnicowanie wartości średniej temperatury radiacyjnej gleb w zależności od typu gleby w przypadku terminu jesiennego jest znacznie mniejsze niż ma to miejsce dla terminu wiosennego, ale zależność ma podobny przebieg.

W obu analizowanych terminach gleby murszowo-mineralne mają temperaturę radiacyjną zbliżoną do stwierdzonej u gleb płowych i rdzawych. Wynika to stąd, iż na badanym obszarze gleby murszowo-mineralne występują na piaszczach, stąd charakte-



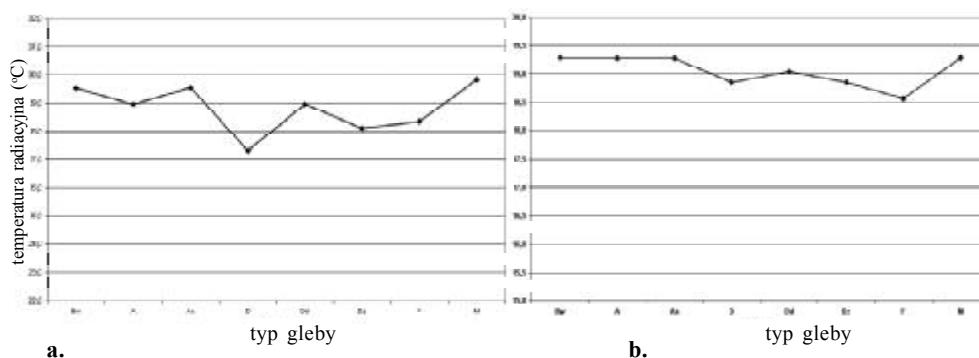
Rys. 4. Średnia temperatura radiacyjna w °C poszczególnych jednostek glebowych uzyskana na podstawie zdjęć satelitarnych zarejestrowanych: a. 7 maja 2000 r. i b. 28 września 2000 r. Źródło: Opracowanie własne.

ryzuje się słabą wilgotnością, a co za tym idzie wyższą temperaturą radiacyjną warstwy wierzchniej.

Istotną rolę w kształtowaniu się warunków termicznych w glebie odgrywa uziarnienie warstwy wierzchniej. Analizując wpływ uziarnienia wierzchniej warstwy gleby na wartość temperatury radiacyjnej zauważyć można, że dla większości typów gleby obserwuje się następującą zależność: im „drobniejsza/cieęższa frakcja” występuje w tej warstwie, tym niższa jest jej temperatura radiacyjna. Dla tego samego typu gleby, w zależności od uziarnienia warstwy powierzchniowej, różnica temperatury radiacyjnej może sięgać 3-4°C. W przypadku danych z 7 maja 2000 r. (rys. 6a) największa rozpiętość temperatur występuje dla gleb bielcowych (A) oraz rdzawych (Bw). Z kolei najmniejszym zróżnicowaniem temperatur, wynikającym z różnego uziarnienia wierzchniej warstwy gleby, charakteryzują się gleby płowe (Ax), czarne ziemie (D) i murszowo-mineralne (M). Jesienią, mimo pewnych różnic, zależność wygląda podobnie (rys. 6b). Wysokie wartości temperatury radiacyjnej gleb murszowo-mineralnych wytłumaczyć można tym, że na badanym obszarze występują – jak już wspomniano – na piaskach.

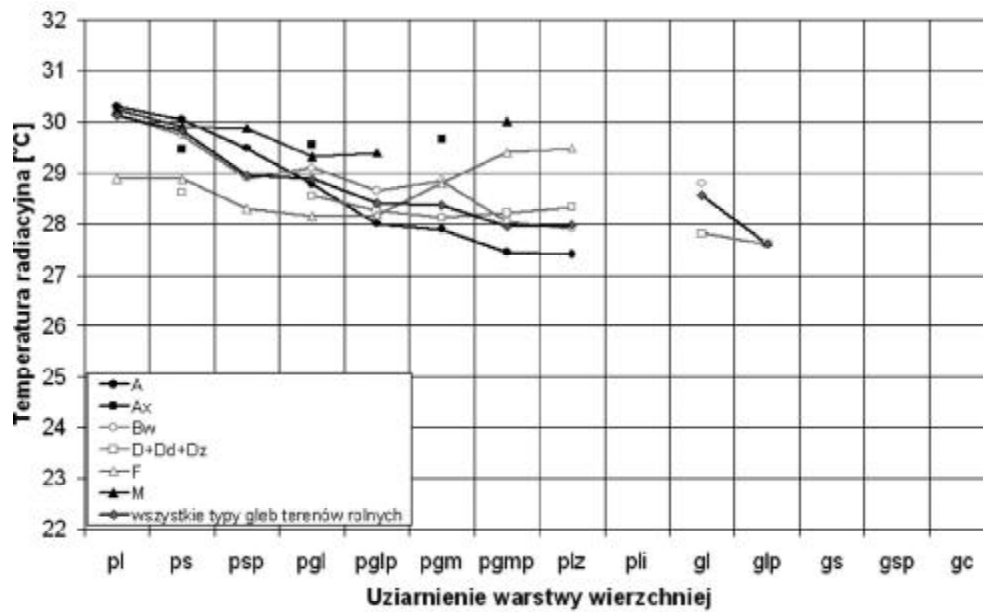
Na rysunku 6b (dla danych z września) widoczna jest wyjątkowo niska wartość temperatury radiacyjnej gleb rdzawych i mań, których warstwa powierzchniowa utworzona jest z piasków gliniastych mocnych. Okazało się, iż leżą one w pobliżu rzek i strumieni, i w związku z występującym podsiąkaniem są wilgotniejsze.

Analiza wartości średniej temperatury radiacyjnej gleb gruntów ornych w zależności od kompleksu przydatności rolniczej wykazała, że im słabszy kompleks przydatności rolniczej (kompleksy od 2 do 7), tym wyższa wartość temperatury radiacyjnej (rys. 7). Średnio różnica wartości temperatury między najslabszym a najlepszym kompleksem przydatności rolniczej wynosiła 2-3°C. W przypadku terminu jesiennego kontrast termiczny jest znacznie mniejszy, co wynika zarówno z niższej temperatury powietrza, jak również innych warunków nasłonecznienia (niższe położenie słońca nad horyzontem). W obu analizowanych terminach gleby kompleksu 8, charakteryzujące się większą

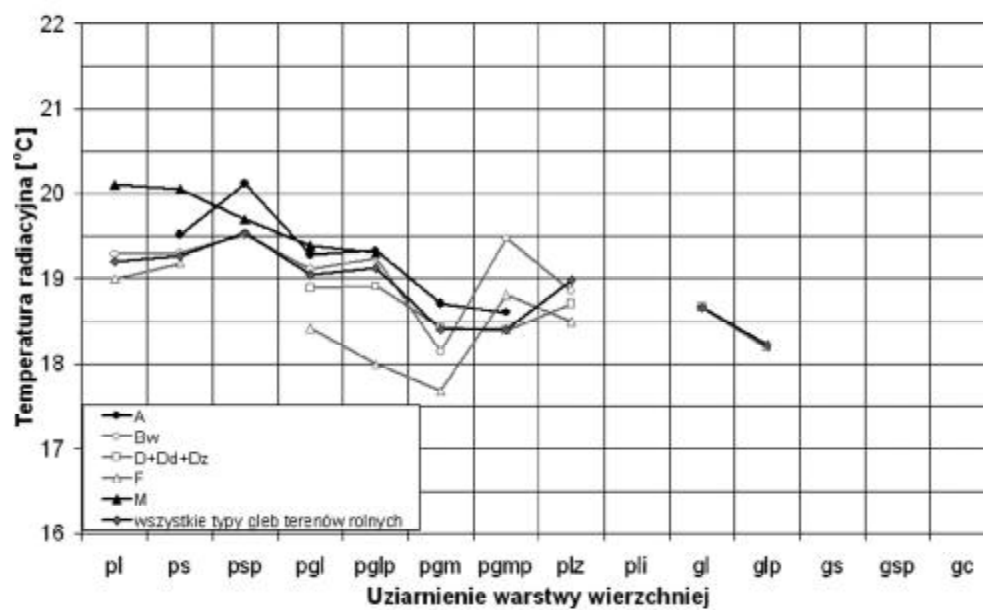


Rys. 5. Średnia temperatura radiacyjna gleb gruntów ornych w zależności od typu gleby uzyskana na podstawie zdjęć satelitarnych zarejestrowanych: a. 7 maja 2000 r. i b. 28 września 2000 r.

Źródło: Opracowanie własne.



a.

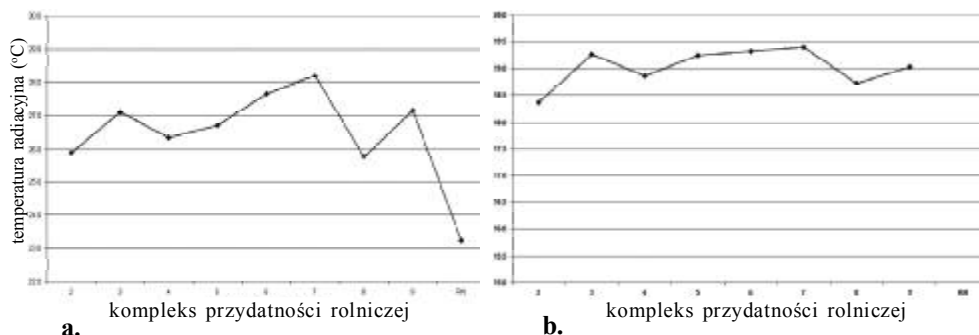


b.

Rys. 6. Średnia temperatura radiacyjna gleb gruntów ornych w zależności od uziarnienia warstwy wierzchniej uzyskana na podstawie zdjęć satelitarnych zarejestrowanych:

a. 7 maja 2000 r. i b. 28 września 2000 r.

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 7. Średnia temperatura radiacyjna gleb gruntów ornych w zależności od kompleksu przydatności rolniczej uzyskana na podstawie zdjęć satelitarnych zarejestrowanych:

a. 7 maja 2000 r. i b. 28 września 2000 r.

Źródło: Opracowanie własne.

wilgotnością, mają niższą temperaturę radiacyjną. Ponieważ gleby kompleksu 3 z natury są suchsze niż kompleksów 2 i 4, to w ich przypadku obserwuje się wyższą temperaturę radiacyjną.

Podsumowanie

Przeprowadzone analizy wpływu różnych właściwości gleb na wartość temperatury radiacyjnej ich powierzchni (obserwowanej z pułapu satelitarnego) wykazały, że istotny wpływ na wartość tej temperatury ma głównie kompleks przydatności rolniczej, czyli ogół cech decydujących o zakwalifikowaniu gleby do danego kompleksu, oraz typ gleby. Słabsze korelacje z wartościami temperatury radiacyjnej zauważono w przypadku składu granulometrycznego warstwy wierzchniej gleby i warstwy podpowierzchniowej. Oznacza to, że zdalne techniki termalne mogą okazać się pomocne przy określaniu gleb słabych, czyli niekorzystnych dla uprawy roślin. Gleby te powinny charakteryzować się wysoką temperaturą radiacyjną. Ważne jest jednak, aby podczas analizy uwzględniać różne czynniki wpływające na właściwości radiacyjne gleby, m.in. warunki pogodowe, pokrycie roślinnością, nasłonecznienie, położenie itp. Jak się okazuje niższe niekiedy wartości temperatury radiacyjnej są wynikiem np. bliskości rzek czy lasów. Podczas prowadzenia analiz zauważono, że obszary położone w pobliżu lasu, szczególnie te graniczące z nim od strony południowo-wschodniej, mają niższe (o kilka stopni) wartości temperatury niż obszary położone w pobliżu lasu od jego północno-zachodniej strony. I nie jest to wynik mieszanej struktury pikseli granicznych, gdyż różnice te sięgają nawet 2-3 pikseli od granicy lasu. Z kolei wyższe temperatury radiacyjne niektórych gleb mogą wynikać z faktu, że występują na podłożu innym niż ma to na ogół miejsce.

Obecnie właściwości cieplne powierzchni ziemi można badać z pułapu satelitarnego, m.in. z systemów satelitarnych NOAA/AVHRR, ENVISAT/MERIS, LANDSAT/ETM+, ASTER/TERRA. Jednak najwyższą rozdzielczość przestrzenną mają obrazy

pozyskane ze skanera ETM+ (60 x 60 m) i to one dają możliwość prowadzenia badań o większej szczegółowości w sensie przestrzennym.

Literatura

1. Becker F., Nerry F., Rammanantsohena P., Stoll M. P. H.: Mesures d'emissivite angulaire par reflexion dans l'infrarouge thermique - implications pour la teledetection. *International Journal of Remote Sensing*, 1986, **7(12)**: 1751-1762.
2. Białosz S.: Zastosowania teledetekcji w badaniach pokrywy glebowej. W: Praca zbiorowa pod red. S. Zawadzkiego. *Gleboznawstwo*. PWRiL Warszawa, 1999.
3. Białosz S., Pietrzak E.: Soil interpretation on thermal images from scanner THP-1. *Prace Komisji Naukowych Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego*, Warszawa, 1988, **105**.
4. Bonn F. J., O'Neill N. T.: Thermal infrared remote sensing of soils: evolution, trends and perspectives. *Remote Sensing Reviews*, 1993, **7**: 281-302.
5. Buckman H. C., Brady N. C.: Gleba i jej właściwości. PWRiL Warszawa, 1971.
6. Chamayou H., Legros J. P.: Les Bases physiques - chimiques et mineralogiques de la science du sol. Agence de Cooperation Culturelle et Technique Conseil International de la Landue Française, Presses Universitaires de France, 1989.
7. Kondracki J.: *Geografia fizyczna Polski*. PWN Warszawa, 1974.
8. Musy A., Soutter M.: *Physique du sol*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, France, 1991.
9. Normann J. M., Castello S., Balick L. K.: Directional infrared temperature and emissivity of vegetation: measurements and models. *ISPRS'94, "Physical measurements and signatures in remote sensing"*. Val d'Isere, France, 1994, 749-758.
10. Osińska-Skotak K.: Analiza wybranych metod przetwarzania satelitarnych zdjęć termalnych LANDSAT TM. Rozprawa doktorska, Wydział Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej, 2001, ss. 212.
11. Pluto-Kossakowska J.: Analiza metod przetwarzania i interpretacji zdjęć satelitarnych SPOT z punktu widzenia potrzeb systemu informacji o glebach. Rozprawa doktorska, Wydział Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej, 2003, ss. 193.
12. Salisbury J. W., D'Aria D. M.: Infrared (8-14 mm) remote sensing of soil particle size. *Remote Sensing of Environment*, 1992, **42**: 157-165.
13. Skawina T., Kossowski J., Stępniewski W., Walczak R.: Fizyczne właściwości gleb. W: Praca zbiorowa pod red. S. Zawadzkiego. *Gleboznawstwo*. PWRiL Warszawa, 1999.
14. Snyder W. C., Wan Z., Zhang Y., Feng Y. Z.: Thermal infrared (3-14 mm) bidirectional reflectance measurements of sands and soils. *Remote Sensing of Environment*, 1997, **60**: 101-109.
15. Wyszynska A.: Korekcja geometryczna map glebowo-rolniczych 1 : 25 000 dla systemu informacji geograficznej o glebach. Praca dyplomowa, Wydział Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej, 2002.

Adres do korespondencji:

dr inż. Katarzyna Osińska-Skotak
Zakład Fotogrametrii, Teledetekcji i Systemów Informacji Przestrzennej
Wydział Geodezji i Kartografii
Politechnika Warszawska
pl. Politechniki 1
00-661 Warszawa
tel./fax: (022) 621-36-80, (022) 234-72-23
k.osinska-skotak@gik.pw.edu.pl

Wiesław Musiał

*Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
Instytut Rozwoju Wsi i Rolnictwa PAN w Warszawie*

OBSZARY PROBLEMOWE ROLNICTWA W TERENACH GÓRZYSTYCH EUROPY*

Wstęp

W większości krajów europejskich w różnych okresach historycznych powstawały autonomiczne systemy udzielania, zwykle niewielkiego, wsparcia dla obszarów peryferyjnych, zapóźnionych w rozwoju oraz górskich. Kilkaset lat wstecz panujący starali się utrzymać (lub przerwać, gdy zachodziła taka potrzeba, ze względu na działania wojenne) na obszarach peryferyjnych drożność szlaków komunikacyjnych, spławność rzek i miejscową bazę żywienia. Budowano drogi, mosty, stacje graniczne, ceniona była także liczna populacja ludności, która opanowywała przestrzeń rolniczą, tworząc osiedla i warsztaty rzemieślnicze. Wytwarzane w górach wyroby rzemieślnicze, zwłaszcza z drewna, żelaza i szkła, a także produkty rolne mające cechy trwałości (np. sery twarde) stanowiły dla ludności miejscowej ważne źródło pozyskiwania dochodów ze sprzedaży produktów do miast, czy też z wywozu ich za granicę. W górach europejskich licznie hodowano bydło, owce i zwierzęta pociągowe, które cenione były za swe cechy przydatności do prac polowych oraz ze względu na bardzo dobre przystosowanie do trudnych warunków środowiska. Stąd też konie robocze (i pociągowe), a także bydło (byczki i wolce) pochodzące z gór osiągały wyższą cenę niż podobne zwierzęta oferowane do sprzedaży z terenów nizinnych (4). Gdy świadczona przez państwo pomoc dla obszarów górskich miała charakter regionalny i odnosiła się niemal do wszystkich mieszkańców danego terenu wówczas nie było problemu z ustalaniem kryteriów do jej udzielania. W sytuacji klęsk żywiołowych, czy potrzeby karczowania lasów udzielano wsparcia ludności miejscowej lub wynagradzano ją za prace wykonywane na rzecz swojego środowiska, ale i państwa. Potrzeba zindywidualizowania wspierania ze względu na zróżnicowanie majątkowe, społeczne i zawodowe stworzyła konieczność wypracowania zasad przydziału i podziału środków wsparcia, zwykle gospodarczego i ekonomicznego. W szczególny sposób problem ten odnosi się do obszarów wiejskich i rolnictwa cechujących się zróżnicowaniem przyrodniczym środowiska, w którym prowadzona jest produkcja, nakłada się

* Opracowanie wykonano w ramach projektu badawczego MNiSzW nr 1 H02C 091 30

zmiennosć liczby mieszkańców, liczby i wielkości podmiotów wsparcia, sposobów użytkowania ziemi oraz kierunków produkcji rolniczej i pozarolniczej.

Zarys metodyki

Opracowanie ma charakter przeglądowy i obejmuje krytyczną analizę systemu waloryzacji i delimitacji obszarów problemowych, powstałych na podłożu ukształtowania terenu. Odnosi się to do terenów górzystych, które z racji wysokości położenia oraz nachylenia stoków nie są w pełni wartościowe rolniczo i porównywalne z terenami położonymi na podobnej szerokości geograficznej czy w sąsiedztwie, lecz na terenach nizinnych lub na łagodnych wyżynach. W opracowaniu zaprezentowano kryteria delimitacji obszarów górzystych w „starych” i „nowych” krajach Unii Europejskiej, które stanowią punkty odniesienia do adekwatnych kryteriów polskich. Wskazano na dodatkowe wymogi uznawania gospodarstw za uprawnione do wsparcia z tytułu niedogodności wynikających z ich górskiego usytuowania. Syntetycznie nakreślono kierunki zapowiadanych reform w zakresie nowo opracowywanej waloryzacji górskich obszarów rolniczych w Europie. Odniesiono się także do kwestii zasadności dotychczasowego systemu wspierania gospodarowania na obszarach górskich, zwłaszcza w Polsce, poprzez dopłaty obszarowe. Wskazano przy tym na alternatywę jaką stworzyć może zadaniowe wspieranie gospodarstw realizujących dostosowane do warunków przyrodniczych i kulturowych działania o charakterze rolnośrodowiskowym.

Przyrodnicze przesłanki delimitacji obszarów górskich w Europie

W europejskiej klasyfikacji naukowej, a także według kryteriów zinstytucjonalizowanych (o charakterze prawnym, czy w formie decyzji administracyjnych) wyodrębnianie obszarów o naturalnych upośledzeniach przyrodniczych o charakterze górkim opiera się na dwóch kryteriach. Pierwszym jest wysokość położenia nad poziom morza, decydująca o klimacie, jego surowości, opadach i kontrastach termicznych. Wpływa to bezpośrednio na udział i strukturę użytkowanej ziemi, oddziałuje utrudniając na transport, podnosi koszty związane z budownictwem, ogrzewaniem itp.

Drugie kryterium – topograficzne – znaczące lub ważące na gospodarce warunkowania powodowane nierównościami terenu sprawiają, że inwestycje budowlane, infrastrukturalne, a zwłaszcza komunikacyjne są bardziej skomplikowane i kosztowne. W rolnictwie oznacza to ograniczenia w zastosowaniu standardowych technicznych środków w produkcji rolnej (maszyn i narzędzi rolniczych) oraz środków plonotwórczych, które z uwagi na nachylenia terenu są słabiej wykorzystywane, gdyż ulegają zmywaniu. Globalna delimitacja europejska zasadniczo pomija obszary górskie położone poniżej 300 m n.p.m. Jednakże w kilku częściach Europy – włączając w to Półwysp Iberyjski, Wyspy Brytyjskie, Grecję i fiordy skandynawskie – góry położone wzdłuż wybrzeża schodzą aż do poziomu morza. Z tego też powodu zasadne jest, aby europejska delimitacja obszarów górskich bazowała na połączeniu takich

cech, jak wysokość nad poziom morza oraz nachylenie terenu. Pojawiają się tu bowiem różnorodne kombinacje obu wymienionych cech, które lepiej oddają specyfikę górzystości terenu. Znaczenie samej wysokości położenia terenu n.p.m. jest relatywne, gdyż temperatury są niższe nie tylko na większych wysokościach terenu (n.p.m.), ale także na obszarach położonych na wyższych szerokościach geograficznych. W konsekwencji warunki klimatyczne terenów położonych bliżej morza na północy Europy są porównywalne z tymi, które są położone na dużych wysokościach, ale dalej na południe. Jednakże surowy (zimny) klimat jest czynnikiem bezpośrednio determinującym wegetację roślin, stąd też całość terenów położonych w Europie powyżej 62°N kategoryzowana jest jako tereny równoważne z obszarami góorskimi. Także odrębnie rozpatrywany klimat uznawany jest w systemie delimitacyjnym UE jako trzeci pochodny, lecz ważący czynnik, świadczący o górzystości danego obszaru. Wysokość nad poziom morza, wysokość względna, a także ekopozycja terenu wpływa na temperaturę w ciągu dnia i roku. Pomimo że panujące tu temperatury są zmienne i zależą w dużej mierze od szerokości geograficznej i oddalenia od oceanów (mórz), to jednak są znacząco niższe od otaczających je nizin.

Ze względu na uwarunkowania klimatyczne odmienne dla gór i nizin w Europie stosuje się zróżnicowane kryteria delimitacji, wyznaczane przez poszczególne kraje, które na swym terytorium posiadają góry (2). Na podstawie lub z uwzględnieniem aktów prawnych przyjmowanych przez instytucje wspólnotowe (wcześniej EWG) kształtowano krajowe odrębne i dostosowane do przyrodniczych i kulturowych warunków miejscowych akty normatywne. Były one uzgodnione z organami Wspólnot i miały status prawny rozporządzeń lub dyrektyw. Kryteria wyodrębniania oparte były na minimalnej wymaganej wysokości położenia subregionu lub ziemi rolniczej (w regionie lub w gospodarstwie) ponad poziom morza, nachylenia terenu spełniającego wartości graniczne lub (i) łącznie z tym, że wówczas graniczne wartości wymienionych wymogów były niższe (3).

Graniczna wartość minimalnej wysokości położenia terenu uznanego za górzysty waha się od 400 m n.p.m. w Ardenach belgijskich do 1200 m n.p.m. na obszarze Piemontu (tab. 1). Duże wymagania w tym zakresie dotyczą również obszarów górskich Hiszpanii (1000 m), a także w Grecji (800 m). Jednakże w większości krajów europejskich wymogi te mieszczą się w granicach 700-800 m n.p.m. W odniesieniu do kryterium nachylenia terenu wymogi są wyrównane i wynoszą minimum 20%, gdy stanowią samodzielne kryterium delimitacji. Nie stosuje się jednak tych wymogów w takich krajach, jak: Belgia, Finlandia, Szwecja i Niemcy. Łączne zastosowanie kryteriów minimalnej wysokości i nachylenia terenu wiąże się ze znaczącym obniżeniem wielkości granicznych odpowiednio: o 200-400 m wysokości i o 5% nachylenia. Jeżeli jakiś kraj ma więcej pasm górskich lub pasma rozłożone są na znaczącym obszarze i o dużej różnicy szerokości geograficznej, to wymogi stawiane w części gór położonych bardziej na południe są wyższe o minimum 100 m (np. w Portugalii), aż do 600 m we Francji (tab. 1).

Regulacje krajowe wprowadzają także zróżnicowane wymogi dodatkowe i uszczegóławiające (tab. 2). W Austrii (podobnie jak w Szwajcarii) stosuje się dodatkowo

Tabela 1

Kryteria wyodrębniania obszarów górskich w krajach Unii Europejskiej „15”

Kraj	Kryteria			Uwagi
	minimalna wysokość terenu n.p.m. (m)	nachylenie terenu (%)	wysokość i nachylenie łącznie	
Austria	700	20	500 m i 15%	600 m n.p.m. w części Salzburga i Styrii
Belgia	400	-	-	nie są to jednak tereny uznawane za górskie
Finlandia i Szwecja	-	-	-	obszary położone na północ od 62 równoleżnika
Francja	średnio 700 600-800 1200	20	500 m i 15%	także oddzielnie obszar Piemontu 1200 m n.p.m. to obszary wysoko-górskie
Grecja	800	20	600 m i 16%	-
Hiszpania	1000	20	600 m i 15%	w terenach podgórskich 12%
Irlandia	-	-	-	część słabych pastwisk sklasyfikowano jako górskie
Niemcy	800 m	-	600 m i 18%	-
Portugalia	700-800	20	400-700 i 20% 600-800 i 15%	zmniejszanie kryteriów dotyczą regionu Tagus
Włochy	700-800	20	-	600 m n.p.m. w części północnej i środkowej

Źródło: Rozporządzenie WE 950/97, Klepacka-Kołodziejska D., 2007 (1), Mountain study website – report 2004 NORDREGIO European Commission.

strefowanie, ze względu na utrudnienia klimatyczne i gospodarcze jakie napotykają rolnicy prowadzący gospodarstwa rolne (4 strefy utrudnień), wymagane jest także utrzymywanie w gospodarstwie zwierząt trawożernych. Kryteria w tym zakresie są jednak zróżnicowane i przykładowo wynoszą minimum 3 DJP na gospodarstwo we Francji, czy maksymalnie 2 DJP · ha⁻¹ w Portugalii. W Anglii maksymalna obsada zwierząt wynosi 1,2 DJP · ha⁻¹. Uzyskanie uprawnień wiąże się także (np. w Portugalii) ze spełnieniem wymogu istotnej pozycji pracy w rolnictwie w strukturze angażowanego czasu pracy (np. minimum 50%) i (25%) udział dochodów z rolnictwa w dochodach rolnika (dwuzawodowego) ogółem. Stosuje się także, i to raczej powszechnie, degresje płatności z tytułu górskiego położenia (1).

Powszechnymi kryteriami, które muszą spełniać rolnicy, aby uzyskać uprawnienia do dopłat górskich to: minimalna i maksymalna wielkość gospodarstwa. W Austrii gospodarstwa rolne poniżej 2 ha traktowane są jako poza zainteresowaniem polityki rolnej (WPR), podobnie jak gospodarstwa o powierzchni poniżej 3 ha we Francji. Maksymalne normy określające obszar gospodarstw objętych wspieraniem jest także różny i uzależniony od struktury agrarnej danego kraju. Przykładowo, w Portugalii (rozdrobnionej agrarnie) maksymalna powierzchnia uprawna gospodarstwa objęta wsparciem finansowym wynosi 100 ha, a w Anglii aż 700 ha. Z reguły stosowany jest

Tabela 2

Dodatkowe wymogi delimitacji gospodarstw rolnych o niekorzystnych warunkach gospodarowania w wybranych krajach Unii Europejskiej

Kraj	Minimalna i maksymalna wielkość powierzchni uprawnej gospodarstwa	Pozostałe kryteria
Austria	min. 2 ha	– strefowanie waloryzacji (4 strefy) – utrzymywanie zwierząt – regresja płatności od powierzchni 60 ha
Francja	min. 3 ha	– obsada zwierząt min. 3 DJP – ograniczenia w dochodach pozarolniczych – dodatkowe dopłaty do bydła mięsnego
Grecja	–	– priorytet dla młodych rolników – zróżnicowanie dopłat w zależności od wielkości stad bydła
Anglia	10-700 ha	– 6-9 owiec (maciorek) na 1 ha – maksymalna obsada zwierząt 1,2 DJP/ha – regresja płatności
Portugalia	0,5-100 ha	– maksymalna wielkość ekonomiczna gospodarstw 40 ESU – max. 2 DJP na 1 ha powierzchni paszowej – min. 50% czasu pracy angażowanego w rolnictwie – min. 25% udziału rolnictwa w dochodach

Źródło: Rozporządzenie WE 950/97, Klepacka-Kołodziejska D., 2007 (1), Mountain study website – report 2004 NORDREGIO European Commission.

także degresywny system płatności aż do ich zaniechania przy przekroczeniu określonego poziomu obszaru gospodarstwa.

Kraje nowo przyjęte do UE posiadały przed akcesją ukształtowane krajowe systemy delimitacji gór i pomocy dla rolnictwa. Kryteria delimitacji były podobne do stosowanych w starych krajach członkowskich, jednakże wymagane graniczne wartości minimalnej wysokości położenia (n.p.m.) zwykle niższe. Najniższe graniczne wysokości w tym względzie obowiązywały w Polsce (350 m n.p.m.), przy czym od 1989 r. nie wiązało się to z konkretną pomocą dla tak wydzielonych obszarów górskich (poza ulgą w podatku rolnym). Kraje sąsiadujące z Polską, posiadające na swoim terytorium Karpaty i Sudety, a więc Czechy i Słowacja przyjęły jako graniczną wysokość odpowiednio: 700 m i 600 m n.p.m. (podobnie jak Bułgaria i Rumunia). Ponadto w krajach tych stosuje się bardziej zróżnicowane kryteria minimalnego, granicznego nachylenia terenu, które wynoszą od 7% w Słowacji, 10° na Węgrzech, do 20% w Słowenii i 12° w Bułgarii. W dwukryterialnym systemie oceny graniczne minimalne wysokości terenu wynosiły tylko 200 m n.p.m. (i 12° nachylenia terenu) do 500 m n.p.m. przy zachowaniu kryterium 7% nachylenia terenu (np. w Słowacji). Przedstawione w tabeli 3 kryteria dofinansowania terenów górskich stanowiły punkt wyjściowy dla negocjacji zapisów o obszarach problemowych górskich, zawartych w dokumentach okołoakcesyjnych (2).

Tabela 3

Kryteria narodowe definiowane terenów górskich w nowych państwach członkowskich przed ich akcesją do Unii Europejskiej

Państwo UE	Minimalna wysokość n.p.m. (m)	Inne kryteria
Bułgaria	600	również powyżej 200 m n.p.m., lub nachylenie >12°
Cypr	800	również powyżej 500 m n.p.m., jeśli średnie nachylenie >15%
Czechy	700	–
Węgry	600	również powyżej 400 m n.p.m., jeżeli średnie nachylenie >10% (lub >20%)
Polska	350	lub jeśli 50% terenów rolniczych gminy położona jest na stoku o nachyleniu >12°
Rumunia	600	także tereny o nachyleniu >20°
Słowacja	600	także powyżej 500 m n.p.m. na terenach o nachyleniu >7% lub średnie nachylenie stoku >12%
Słowenia	700	także powyżej 500 m n.p.m. jeśli ponad połowa gospodarstwa znajduje się na stoku o nachyleniu >15% lub >20%

Źródło: National Reports, European Observatory of Mountain Forests (2000).

Propozycje reformy wspierania terenów górskich

Wśród wielu propozycji stworzenia nowej klasyfikacji terenów górskich Europy obecnie dyskutowany jest minimalny obszar odniesienia, tj. obszar wyceny obejmujący 50 km², dla którego identyfikowane są kombinacje parametrów, stanowiące podstawę do wyodrębnienia jednorodnych obszarów, a które mogą być klasyfikowane jako górskie lub położone poza obszarem (2). Danymi wyjściowymi do ustalenia kryterium górzystości wyodrębnionego obszaru są: dane miesięczne dotyczące minimalnej i maksymalnej temperatury bezwzględnej oraz średniej temperatury minimalnej i maksymalnej, suma opadów atmosferycznych, całkowite globalne promieniowanie i całkowite parowanie potencjalne. W efekcie zastosowania tych miar możliwe jest obliczenie stosunkowo prostego wskaźnika¹ obejmującego zarówno całkowitą akumulację ciepła w okresach wegetacji oraz różnice pomiędzy letnimi i zimowymi temperaturami (wskaźnik K). W Europie wskaźnik ten waha się od -0,36 do +1,0. Przygotowując nowe rozwiązania delimitacyjne dla gór w Europie rozpatruje się również różne inne rozwiązania alternatywne (w sumie 16 pozycji).

Główne nurty rozważań nad zasadnym przyrodniczo i przydatnym dla celów dywersyfikacji formalnej rolniczych warunków produkcji sprowadzają się do:

¹ Wskaźnik $K = \bar{O}(T_{\max, o} > 0^\circ) - \bar{O}(\text{ABS}[T_{\min, o} < 0^\circ]) / \bar{O}(T_{\max, o} > 0^\circ) + \bar{O}(\text{ABS}[T_{\min, o} < 0^\circ])$, ($T_{\max, o} > 0^\circ$) suma średniej miesięcznych temperatur maksymalnych > 0, $\text{ABS}[T_{\min, o} < 0^\circ]$ suma wartości bezwzględnych średniej temperatury min. < 0.

- wprowadzenia wskaźnika ograniczeń klimatycznych, w którym uwzględnia się szerokość geograficzną (w miarę wzrostu szerokości obserwuje się nasilenie cech klimatu górskiego na niższych wysokościach bezwzględnych),
- oceny ukształtowania terenu w odniesieniu nie tylko do pasm górskich, ale i pojedynczych szczytów mających istotne znaczenie dla klimatu lokalnego,
- poszukiwania zasadnego sposobu definiowania obszarów problemowych o cechach określonych jako górskie także dla terenów położonych poniżej 300 m n.p.m., ale posiadających (ze względu na ukształtowanie terenu lub klimat) cechy górskie, jak niektóre obszary śródziemnomorskie i skandynawskie dochodzące do morza.

Biorąc pod uwagę ukształtowanie terenu klasyfikacja obszarów jako górskie lub nie górskie także nie jest prosta i jednoznaczna. Na dużych wysokościach mogą bowiem występować niewielkie różnice w wysokości względnej, a więc płaskowyzę. Jednocześnie pomimo niewielkich różnic w wysokościach bezwzględnych różnice w wysokościach względnych, np. u wybrzeży mórz, mogą być bardzo znaczne. Stąd też proponuje się, aby wzniesienia i pasma górskie sięgające powyżej 2500 m n.p.m., bez względu na stopień nachylenia terenu, bezwzględnie uznawać jako górskie. W przedziale wysokości mieszczącym się od 1000-1500 m n.p.m., aby obszar uznany był jako górski powinien spełniać jedno z dwóch kryteriów: stoki w promieniu 3 km powinny mieć spadek powyżej 5°, a gdy są mniej strome (tj. nie spełniają tego kryterium) wówczas w promieniu 7 km różnice wysokości powinny wynosić minimum 300 m. Dla przedziału wysokościowego 300-1000 m n.p.m. o ich górskości powinno decydować spełnienie kryterium 300 m wysokości względnej na obszarze o promieniu 7 km. Proponuje się, aby włączyć do obszarów problemowych, mających cechy górskie, tereny położone poniżej 300 m n.p.m., które wykazują szczególne ukształtowanie terenu, jak np. szkockie lub norweskie fiordy lub śródziemnomorskie przybrzeżne obszary górskie. Selekcja takich obszarów dokonywana jest według wskaźnika średniego odchylenia wzniesienia w najbliższej okolicy. Jeżeli to średnie odchylenie jest większe niż 50 m dla ośmiu kierunkowych punktów kardynalnych, to oznacza, że krajobraz jest dostatecznie nierówny, aby można było uznać go za górski (pomimo ogólnej niewielkiej wysokości); (2).

Wyodrębnione według powyższych jednolitych dla Europy kryteriów gminy górskie po zestawieniu dają obraz skali zjawiska górzystości terenu dla poszczególnych krajów Europy. Prym wiedzie Szwajcaria, będąc najbardziej górzystym krajem, w którym 93,3% gmin zaliczonych jest jako górskie oraz Norwegia z udziałem 91,84% tego rodzaju gmin. Wśród analizowanych krajów europejskich Holandia, Estonia, Litwa, Łotwa i Malta nie posiadają na swym terytorium obszarów górskich, a w Belgii, Luksemburgu i na Węgrzech udział terenów górskich (gmin) nie przekracza 5%. Polska tylko minimalnie przekracza tę wielkość – 5,2% gmin górskich, a dodatkowo 0,52% gmin położonych poza geograficznym obszarem górskim powinno być włączone do gór ze względów przyrodniczych. Kraj nasz posiadając na swym terytorium dwa relatywnie niewielkie i niezbyt wysokie pasma górskie powinien się liczyć z możliwością instytucjonalnego zawężenia obszarów typowo górskich. Stąd też stratę tę można by

zrekompensować stosownym wyeksponowaniem obszarów pogórskich (o specyficznych utrudnieniach przyrodniczych), akcentując ich specyfikę przyrodniczą i gospodarczą oraz dysparytet produkcyjny i strukturalny w porównaniu z obszarami rolniczymi położonymi w dogodnych warunkach przyrodniczych.

Programy rolnośrodowiskowe jako alternatywa dla dopłat górskich

Powszechność wsparcia obszarów górskich w Europie nadal nie opiera się (pomimo starań organów UE) na jednolitych i ścisłych kryteriach delimitacyjnych. Dopłaty górskie stosowane są w rolnictwie od 1975 r. (w ramach wsparcia Wspólnotowego), ale wiedza o ich oddziaływaniu na rolniczą sieć osadniczą, gospodarstwa i strukturę przestrzeni rolno-leśnej wsi jest dość ograniczona. Wobec częstego braku realnych ograniczeń prawnych, dotyczących ochrony środowiska w górach, mogą one stanowić nawet zachętę do intensyfikacji produkcji rolnej, co zaprzecza celowi stosowania dopłat. Finansowe wsparcie obszarów górskich wiąże się ze specjalnymi i dodatkowymi wymogami dotyczącymi ochrony i kształtowania środowiska w górach. Często wystarcza spełnianie tzw. zwykłej, dobrej praktyki rolniczej, gdyż maksymalne normy obsady inwentarza trawożernego na 1 ha zwykle są takie same, jak dla pozostałych obszarów objętych działaniami wynikającymi z WPR. Panuje też przekonanie, że rolnicy gospodarujący w górach otrzymują nadkompensatę za utracone korzyści wynikające z utrudnień przyrodniczych i gospodarczych. Polityka gospodarcza UE, dążąca do zrównoważenia bilansu żywności, godziła się na wspieranie gospodarstw górskich nawet wówczas, gdy odłogują one ziemię lub nie prowadzą na niej produkcji zwierzęcej. Powyższe rozważania wskazują na raczej słabe oddziaływanie bodźcowe dotychczasowych instrumentów wsparcia obszarów górskich, ich małą elastyczność, ale zapewne także i niewielką skuteczność. Dopłaty te przyzwyczaiły bowiem rolników do pobierania korzyści finansowych, raczej bez konieczności spełniania dodatkowych wymogów środowiskowych.

Inaczej kwestie ochrony środowiska przyrodniczego ujmowane są w programach rolnośrodowiskowych stosowanych obligatoryjnie we wszystkich krajach UE. W ramach tego działania w Polsce wdrażanych było siedem pakietów, których zastosowanie obwarowano konkretnymi wymogami (5). Dla obszarów górskich bardzo istotnymi zapisanymi w PROW 2004–2006 była większość pakietów rolnośrodowiskowych, gdyż znacząca część gór to obszary priorytetowe. Jednakże specjalnie adresowane do obszarów górskich były pakiety obejmujące:

- zachowanie lokalnych ras zwierząt gospodarskich, w tym bydła polskiego czerwonego i polskiej owcy górskiej – odmiany barwnej,
- utrzymanie ekstensywnych pastwisk, wariant: pastwiska górskie (i pogórskie do 500 m n.p.m.).

W Programie Rozwoju Obszarów Wiejskich przewidzianym na lata 2007–2013 (6) zawarto zapisy w dużej części podobne do pomocy przewidzianej w PROW 2004–2007. Za pakiety i działania adresowane specjalnie dla obszarów górskich można uznać wsparcie dla:

- ekstensywnych trwałych użytków zielonych i promocji wypasu zwierząt na pastwiskach powyżej 300 m n.p.m.,
- ochrony zagrożonych gatunków ptaków i siedlisk przyrodniczych poza obszarami objętymi programem Natura 2000 (promocja wypasu ekstensywnego),
- ochrony górskich (i nizinnych torfowisk) muraw ciepłolubnych i muraw bliźniczkowych.

Podtrzymano również wspieranie zachowania zagrożonych zasobów genetycznych zwierząt w rolnictwie, rozszerzając wsparcie dla owiec ras cakiel podhalański i merynos polski w starym typie. Nie wprowadzono jednak specjalnych pakietów (czy wariantów) dla obszarów stricte górskich, tj. dla warunków polskich położonych powyżej 500 m n.p.m. Specjalnie przygotowane i dostosowane do warunków przyrodniczych i społeczno-kulturowych działania mogłyby lepiej spełniać wymogi ekologiczne i ekonomiczne, a także krajobrazowe i kulturowe. Istotne w tym zakresie wydaje się obecnie podtrzymanie hodowanego w górach, a i tak będącego w niedoborze (ze względu na produkcję pasz na TUZ) inwentarza, zwłaszcza bydła i owiec. Celowym i uzasadnionym rozwiązaniem jest wypas stad zwierząt prowadzony w systemie ekstensywnym i półintensywnym (7). Wprowadzenie proekologicznych i wspierających ekstensywną produkcję rozwiązań może zyskać akceptację samych rolników, gdy dostrzegą w nich zasadność stawianych im wymogów i adekwatność stosowanych rekompensat finansowych. Istotne jest tu określenie do jakiej wysokości, w jakich pasmach gór, z uwzględnieniem skłonów i wystawy terenu, powinna być akceptowana instytucjonalnie produkcja na gruntach ornych (i w jakim udziale, w stosunku do innych agrosystemów i lasów). Należy określić, czy i w jakim zakresie należy zwiększyć udział trwałych użytków zielonych i na jakim poziomie intensywności (nawożenia, obsady zwierząt) powinny być one użytkowane. Jaka powinna być subregionalna struktura i proporcje użytków rolnych do lasów i jak mają przebiegać granice rolno-leśne. Do jakiej wysokości bezwzględnej powinno być prowadzone użytkowanie kośne, a do jakiej pastwiskowe. Bardzo istotne jest określenie jaka powinna być dopuszczalna wielkość obsady inwentarza (trawożernego) wyrażona w $DJP \cdot ha^{-1}$ oraz jakie mogą być maksymalne dopuszczalne wielkości stad i gdzie można je lokalizować (chodzi o ochronę miejscowości turystycznych i uzdrowiskowych). Istotne jest tu zwrócenie uwagi na rujnący dla turystyki i rekreacji charakter ferm zwierząt, zwłaszcza trzody chlewnej i drobiu, ale także i bydła, zlokalizowanych we wsiach, które mogą stracić dotychczasowy atrakcyjny rynkowy image.

Powyższe rozważania wskazują, że programy rolnośrodowiskowe adresowane do obszarów górskich powinny być dobrze dostosowane do konkretnych pasm górskich, a nawet subregionów. Stąd poza programem podstawowym horyzontalnym (ogólnopolskim) powinno się ponownie stworzyć programy o charakterze regionalnym, np. małopolskie, dolnośląskie, podkarpackie itd.

Mając na względzie powyższe konstatacje godnymi rozważenia są następujące zmiany i propozycje, które wydają się być bardziej adekwatne niż dotychczas stosowane wspieranie terenów górskich wynikające z WPR:

- Należy zdecydowanie powiązać płatności obszarowe w górach z utrzymywaniem przez rolników inwentarza trawożernego, przy zachowaniu minimalnej i maksymalnej jego obsady i wielkości stad zwierząt (nie dotyczy to gospodarstw ogrodniczych). Postulat ten jest obecnie częściowo realizowany poprzez dopłaty obszarowe, choć jest on w opozycji do wprowadzonych w ramach WPR reform polegających na odmawianiu wsparcia finansowego od faktycznej produkcji rolnej.

- Należy poprzez wsparcie dopłatami obszarowymi zdecydowanie promować zagospodarowanie rolnicze użytków zielonych i transformację gruntów ornych na użytki zielone. Przemawiają za tym zarówno względy racjonalności organizacji powierzchni użytkowanej rolniczo zagrożonej erozją wodną, jak też i brak zasadności ekonomicznej podtrzymania produkcji na gruntach ornych (postulat obecnie częściowo realizowany).

- Niezasadne ze względów ekologicznych i krajobrazowych (a także produkcyjno-ekonomicznych itp.) jest wspieranie dopłatami ugorów. Dzikie zakrzaczanie i zalesianie gór powinno być wiązane z sankcjami ekonomicznymi dla ich właściciela i obowiązkiem przywrócenia stanu wyjściowego.

- Celowe jest wspieranie organizacyjne i finansowe sezonowego wypasu zwierząt trawożernych, przy zachowaniu maksymalnej – dopuszczalnej – obsady inwentarza i stosowaniu preferencji dla zorganizowanego wypasu zbiorowego owiec, bydła opasowego, koni i kóz.

- Zasadne wydaje się stosowanie – wzorem starych członków UE – specjalnego wsparcia budowy instalacji pasterskich, tj. dróg, mostów i kładek, szałasów, urządzeń służących do przerobu mleka i poprawy warunków socjalnych pasterzy.

- Specjalnym wsparciem powinny być objęte zwierzęta gospodarskie ras lokalnych, ze szczególnym uwzględnieniem zwierząt hodowlanych i będących pod kontrolą użytkowości (owce, bydło, konie); (postulat obecnie jest częściowo realizowany).

- Wsparcie finansowe powinno być odnoszone do sztuki przeliczeniowej inwentarza (SD lub DJP), a nie jednostki powierzchni, co spowoduje eliminację fikcji użytkowania rolniczego części użytków zielonych.

- W subregionach, w których problemem dla hodowców są drapieżniki, zwłaszcza wilki (ale także i rysie), powinno się wspierać budowę urządzeń ochrony przed tymi drapieżnikami, w tym płotów ochronnych wokół koszarów, przenośnych szałasów do dozoru zwierząt, instalacji odstraszających drapieżniki. Konieczne jest także uproszczenie i usprawnienie systemu wypłacania odszkodowań za szkody wyrządzone przez drapieżniki będące pod ochroną państwa.

- Tereny objęte specjalną ochroną z uwagi na ich wartość ekologiczną, tj. parki narodowe i krajobrazowe, powinny realizować wypas zwierząt (i ewentualne korzystanie z trwałych użytków zielonych) według własnego programu ochronnego, dysponując na ten cel stosownymi środkami finansowymi (grantowymi). Niezasadny wydaje się obecnie system wypasu kulturowego, w którym park narodowy wynajmuje odpłatnie pastwisko dla pasterzy.

- Wsparcie finansowe użytkowania pastwisk górskich powinno być progresywne i powiązane z bezwzględną wysokością położenia pastwiska n.p.m., jego wystawą i nachyleniem terenu oraz innymi niedogodnościami przyrodniczymi i infrastrukturalnymi.

Poza wspieraniem dopłatami góorskimi znalazłyby się gospodarstwa bezinwentarzowe lub z bardzo małą ilością inwentarza, utrzymujące odłogi i ugory. Gospodarstwa podtrzymujące uprawy płużne także powinny się liczyć ze stratami finansowymi, wynikającymi z tego typu organizacji gospodarstw. Gospodarowanie w górach powiązane ze spełnianiem wymogów produkcyjnych i ekologicznych byłoby wówczas zasadne ekonomicznie, zyskując przy tym cechy trwałości.

Podsumowanie

Wspieranie obszarów problemowych o charakterze góorskim jest istotną, choć obecnie krytykowaną, składową Wspólnej Polityki Rolnej. Ukształtowane w różnych okresach systemy wspierania gospodarstw rolnych i obszarów wiejskich poprzez dopłaty góorskie oparte były na krajowych systemach waloryzacji i delimitacji gór, które starano się – raczej nieskutecznie – ujednolicić w ramach UE oraz czynić łatwiej mierzalnymi i obiektywnymi. Przygotowywane reformy wspierania obszarów góorskich Wspólnoty opierać się będą o zdecydowanie bardziej ujednolicone kryteria delimitacyjne. Mogą one sprawić, że w Polsce ulegnie zmniejszeniu obszar zaliczany do gór, co może przynieść negatywne następstwa dla beneficjentów obowiązującego obecnie w tym zakresie systemu wsparcia. Godną rozważenia alternatywą dla wspierania obszarów góorskich mogą być dostosowane na poziomie krajowym i regionalnym programy rolnośrodowiskowe. Powinny one wspierać podtrzymanie rolniczego użytkowania dotychczasowych obszarów rolniczych z wyraźnie określoną granicą intensywności organizacyjnej i nakładczej (obsada zwierząt, wielkość stad, nawożenie itp.). Niezasadne ekologicznie, krajobrazowo i ekonomicznie jest wspieranie finansowe ugorów oraz upraw płużnych na gruntach predestynowanych do użytkowania w formie pastwisk i łąk. Celowe wydaje się wspieranie i podtrzymywanie wypasu, zwłaszcza zbiorczego, zwierząt trawożernych na pastwiskach w powiązaniu z wysokością ich położenia (n.p.m.). Specjalne programy wspierania obszarów góorskich w Polsce powinny być ponownie szerzej przedyskutowane w środowiskach naukowych, instytucjach okołorolniczych i z rolnikami prowadzącymi produkcję rolną i zamieszkującymi tereny góorskie.

Literatura

1. K l e p a c k a - K o ł o d z i e j s k a D.: Wsparcie Unii Europejskiej dla obszarów o niekorzystnych warunkach gospodarowania – doświadczenia i wnioski dla Polski. Praca doktorska, IRWiR PAN, Warszawa, 2007.
2. Mountain areas in Europe. Final report. NORDREGIO European Commission contra et 2004, 67-92.
3. M u s i a ł W.: Obszary o niekorzystnych warunkach gospodarowania w dokumentach okołorolniczych. MSDR AR Kraków, 2004, 1-99.

4. M u s i a ł W.: Ekonomiczne i społeczne problemy rozwoju obszarów górskich na przykładzie Karpat Polskich. *Wiś i Rolnictwo*, 2006, **1(134)**: 101-120.
5. Plan Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2004–2006. MRiRW, Warszawa, 2004.
6. Program Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2007–2013. MRiRW, Warszawa, 2007.
7. S i k o r a J.: Program ochrony zasobów genetycznych owiec. W: Biologiczne i kulturowe aspekty gospodarki owczarskiej. Monografia, IB PAN – AR Kraków, 2005, 105-111.

Adres do korespondencji:

dr hab. Wiesław Musiał, prof. UR
Katedra Ekonomiki i Organizacji Rolnictwa
Uniwersytet Rolniczy
al. Mickiewicza 21
31-120 Kraków
tel.: (012) 662 4354
e-mail: rrmusial@cyf-kr.edu.pl

Jerzy Bański

*Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk
w Warszawie*

PROBLEMY DEMOGRAFICZNE OBSZARÓW WIEJSKICH

Wstęp

Przestrzenne zróżnicowanie kraju pod względem społeczno-gospodarczym przejawia się między innymi występowaniem obszarów, na których nagromadzenie negatywnych zjawisk utrudnia ich właściwy rozwój. Obszary takie, zwane problemowymi, wykazują pod pewnymi względami „upośledzenie” w stosunku do innych obszarów w kraju. Dysproporcje regionalne mogą dotyczyć poziomu rozwoju rolnictwa, wyposażenia w infrastrukturę techniczną, sytuacji ludnościowej itp.

Wśród badaczy największe zainteresowanie zyskały trzy typy obszarów problemowych: ludnościowe, rolnicze i obszary o podwyższonym ryzyku zagrożenia ekologicznego (1). Obszary problemowe są też jednym z głównych przedmiotów zainteresowania polityki regionalnej państwa i Unii Europejskiej. Tam, gdzie warunki środowiskowe utrudniają prowadzenie działalności rolniczej właściciele gospodarstw rolniczych uzyskują wsparcie w postaci dopłat, które są formą rekompensaty wyrównującej szanse rozwojowe.

Przedmiotem opracowania są ludnościowe obszary problemowe, na których zachodzą niekorzystne procesy demograficzne, takie jak: depopulacja, starzenie się ludności, problemy reprodukcyjne. Należy podkreślić, że oprócz obszarów problemowych w zakresie zjawisk demograficznych występują również obszary konfliktowe, które mają na ogół charakter punktowy. Sytuacje konfliktowe rodzą się np. pomiędzy grupami ludności o różnej pozycji majątkowej, grupami etnicznymi, a także wynikają z różnic kulturowych. Nie są one jednak przedmiotem rozważań.

Zagadnienie w świetle literatury

Badania ludnościowych obszarów problemowych były prowadzone w naszym kraju szczególnie intensywnie w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku, w trakcie przygotowywania diagnozy stanu gospodarki przestrzennej Polski przez zespół Komitetu Przestrzennego Zagospodarowania Kraju PAN. Wyniki badań były w późniejszych latach tematem licznych publikacji.

Teoretyczne rozważania na ich temat prowadził J e l o n e k (8, 9). Według niego główne konflikty, jakie rodzą się w relacji gospodarka-społeczeństwo dotyczą: rozwo-

ju biologicznego, struktur demograficznych i społecznych, stanu i rozmieszczenia ludności oraz ruchów migracyjnych (9). Autor analizuje kryteria rozpoznania obszarów problemowych w zakresie zagrożeń demograficznych. Na ich podstawie wyróżnia między innymi obszary o długotrwałym ujemnym bilansie migracyjnym, zaburzonej reprodukcji ludności, zdeformowanej strukturze płci i wieku oraz strefy stykowe różnych grup etnicznych.

Dla Zagórzona (13) ludnościowe obszary problemowe to przede wszystkim tereny odpływu ludności ze wsi. Za kryterium ich delimitacji autor proponuje przyjąć ujemne saldo migracji, trwające na danym terytorium przez dłuższy czas. Z podobnych założeń wychodzi Eberhardt (4), który omawia proces wyludniania się niektórych ziem w Polsce i określa stopień jego natężenia. Obszary o największym odpływie ludności uznaje za problemowe. W efekcie żmudnych analiz wyodrębnił dwa zespoły regionów i dwa pojedyncze regiony, w których procesy wyludniania były długotrwałe i o dużym natężeniu: regiony północno-wschodnie, regiony Polski centralnej, region sudecki i region zachodniopomorski (4). Natomiast Strzelecki (12) dzieli obszary „deformacji demograficznej” na 3 grupy:

- obszary depopulacji, gdzie liczba ludności w latach 1981–1990 zmniejszyła się o ponad 5%,
- obszary deformacji struktury wieku, na których ludność w wieku produkcyjnym stanowi mniej niż połowę ogółu ludności,
- obszary defeminizacji, gdzie w grupie wiekowej 20-29 lat na 100 mężczyzn przypada mniej niż 80 kobiet.

W świetle tak przyjętych założeń okazało się, że niekorzystne procesy ludnościowe koncentrują się przede wszystkim w północno-wschodniej, wschodniej i centralnej części Polski. Szczególnie na północnym wschodzie nakładają się na siebie wszystkie trzy grupy wymienionych obszarów, a zatem odpływowi ludności ze wsi towarzyszy defeminizacja i starzenie się mieszkańców pozostających na tych terenach.

Ważną pozycję w badaniach ludnościowych obszarów problemowych stanowił koordynowany w latach 1986–1990 przez Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN program „Wyludnianie się wsi polskiej”. Powstałe wówczas prace mogą stanowić podstawę do studiów nad ludnościowymi obszarami problemowymi (5-7, 10).

Analiza literatury przedmiotu pozwala wydzielić trzy typy ludnościowych obszarów problemowych charakterystycznych dla wsi, które spotykają się z największym zainteresowaniem badaczy. Są to obszary o niekorzystnej strukturze płci, zachwianej strukturze wieku oraz nadmiernym i długotrwałym odpływie ludności.

Obszary o niekorzystnej strukturze płci ludności

Struktura płci ludności wiejskiej wykazuje względną równowagę – współczynnik feminizacji w 2002 r. wynosił 100,8. Współczynnik feminizacji wyraża się prostym wzorem:

$$F = \frac{K}{M} \times 100$$

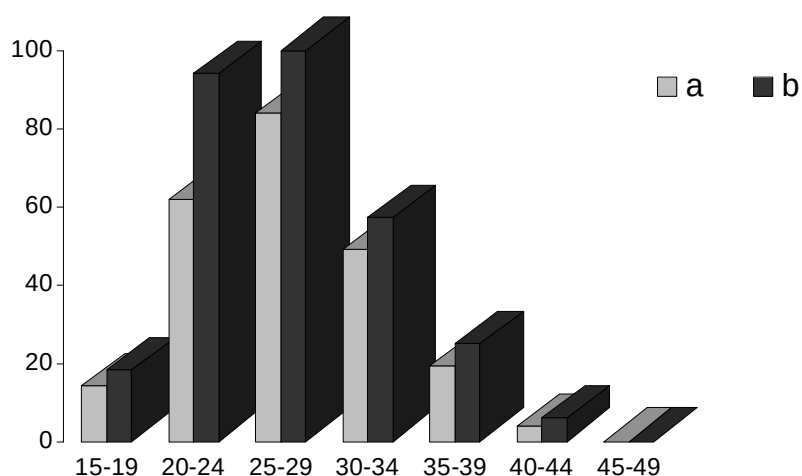
gdzie:

K – liczba kobiet,

M – liczba mężczyzn.

Szczególną uwagę należy jednak zwrócić na ludność w wieku matrymonialnym (20–29 lat), od której zależy naturalny rozwój demograficzny (rys. 1). Niedobór kobiet lub mężczyzn w wieku matrymonialnym powoduje spadek zawieranych małżeństw, a to z kolei pociąga za sobą spadek liczby urodzeń i nasilenie procesów starzenia się ludności. Ponadto trudności w założeniu rodziny mogą budzić frustracje, a brak następcy do przejęcia gospodarstwa jest poważną destymulantą rozwoju. Obszary wiejskie, na których dochodzi do takich zjawisk nie rozwijają się we właściwy sposób.

Wśród ludności migrującej ze wsi przeważają młode kobiety, dlatego też obszary wiejskie charakteryzuje niedobór kobiet w wieku matrymonialnym. Do opuszczenia wsi zmuszają je trudności w znalezieniu pracy poza gospodarstwem, ciężkie warunki bytowe oraz brak perspektyw.



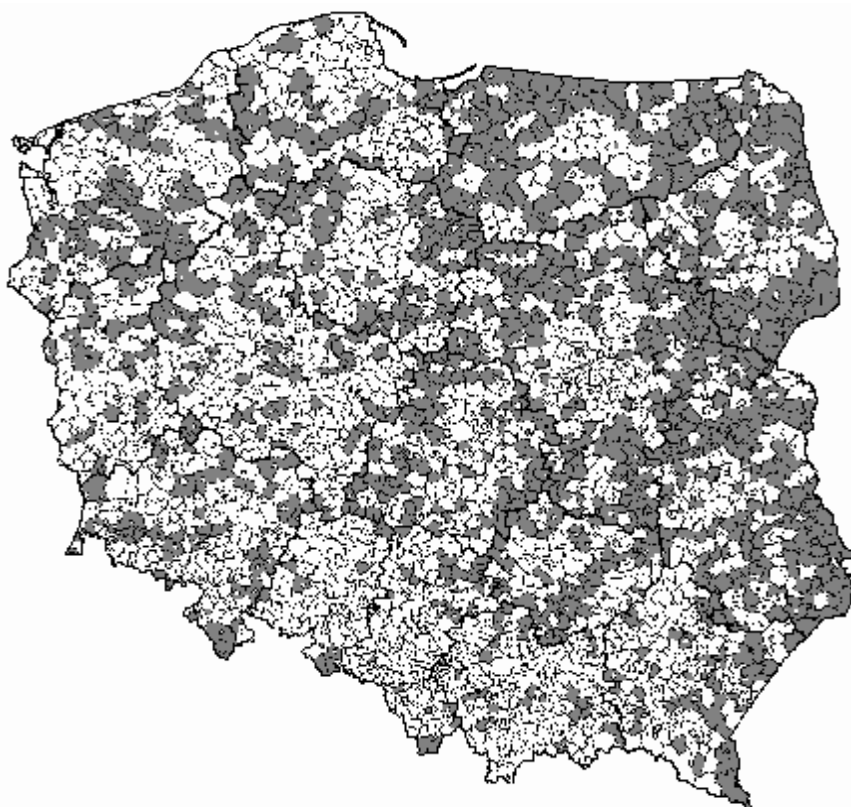
Rys. 1. Urodzenia żywe na 1000 kobiet w grupach wiekowych: a – miasto, b – wieś, 2002 r.
Źródło: GUS.

Szczególnie intensywny odpływ kobiet w wieku rozrodczym występował we wschodniej Polsce, gdzie już od dawna identyfikowano obszary depopulacyjne i starzejące się. Potwierdzeniem tego są wyniki badań szczegółowych autora, które wskazują, że najniższy współczynnik feminizacji w grupie wiekowej 20-29 lat występuje na obszarach wschodnich (2). Bardzo niski współczynnik feminizacji (w przedziale 80-

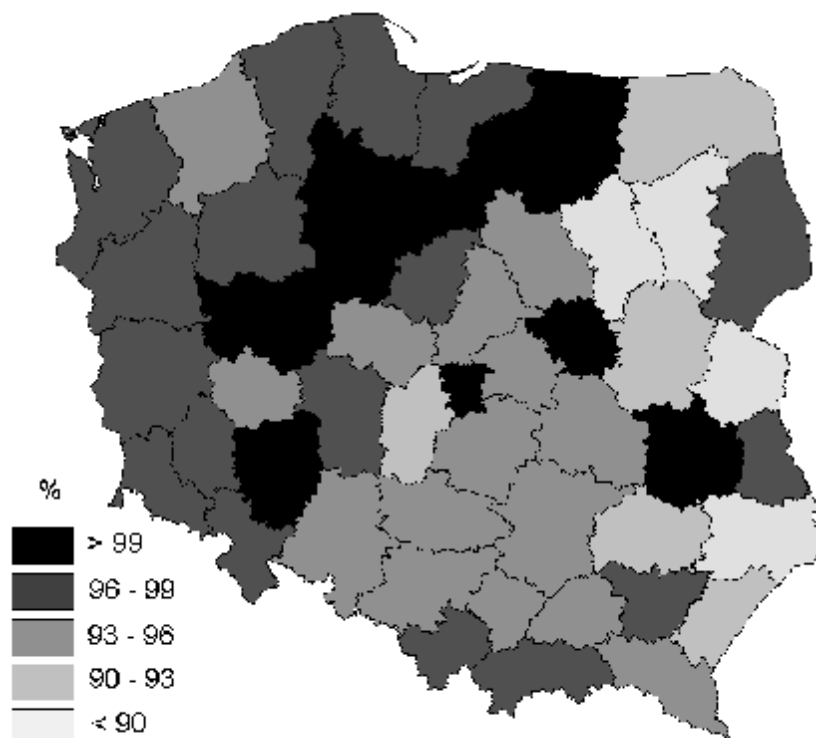
-90) w badanej grupie wiekowej występuje głównie w gminach monofunkcyjnych, reprezentujących ekstensywne rolnictwo tradycyjne. Natomiast w gminach z rolnictwem towarowym i intensywnym współczynnik ten jest znacznie wyższy, tj. bliski równowagi (około 100).

W ciągu ostatnich kilkunastu lat sytuacja w zakresie struktury płci ludności w wieku małżeńskim uległa na obszarach wiejskich wyraźnej poprawie – ogólna wartość współczynnika feminizacji w grupie wiekowej 20-29 lat wzrosła z 85 w 1980 r. do 93 w 2006 r. Wzrost ten był powolny, ale stały. Powinno się to przełożyć na osłabienie procesów depopulacyjnych i starzenia się ludności przede wszystkim we wschodniej Polsce.

Jednak na obszarach wiejskich nadal duża liczba mężczyzn pozostaje bez możliwości założenia rodziny. Według ostatniego Spisu Powszechnego w 2002 r. około 35% mężczyzn na wsi to kawalerowie, zaś wśród kobiet udział panien wynosi tylko 22,7%. Pocieszające jest jednak to, że w okresie 1988–2002 wzrost odsetka panien był wyższy niż kawalerów, co świadczyć może o powolnym łagodzeniu się tych dysproporcji.



Rys. 2. Obszary niedoboru kobiet w wieku 20–29 lat (współczynnik F_{20-29} poniżej 90), 2006 r.
Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych GUS.



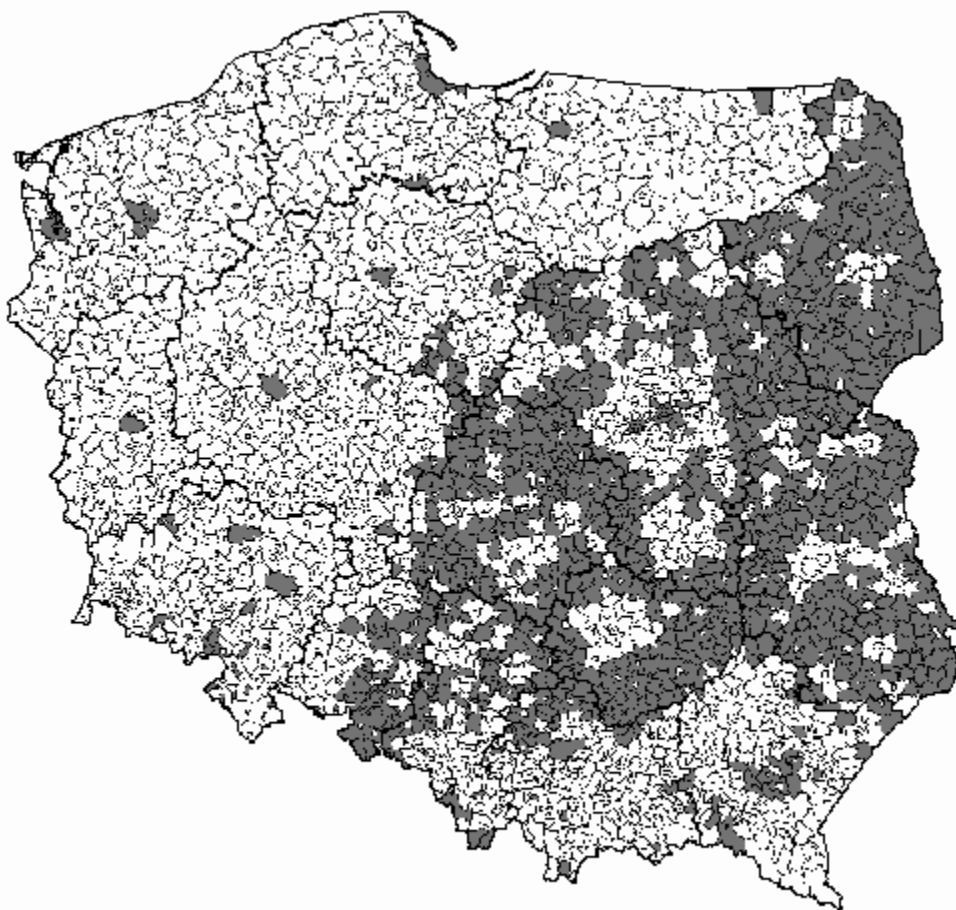
Rys. 3. Stosunek liczby kobiet do liczby mężczyzn w wieku 20–29 lat (współczynnik F_{20-29}), 1988 r.
Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych GUS.

Obszary deficytu kobiet w wieku matrymonialnym występują przede wszystkim we wschodniej i północno-wschodniej części kraju. Stosunkowo duża koncentracja gmin ze współczynnikiem feminizacji w tej grupie wiekowej osiągającym wartość poniżej 90 pkt. występuje na Mazowszu i Pomorzu. Analizowana cecha wykazuje zmienność w czasie, tym niemniej porównanie jej przestrzennego zróżnicowania w 1988 i 2006 r. wskazuje, że niedobór kobiet w wieku matrymonialnym utrzymuje się na tych samych obszarach (rys. 2 i 3).

Obszary o niekorzystnej strukturze wieku ludności

Drugą cechą identyfikującą ludnościowe obszary problemowe jest struktura wiekowa ludności. Do obszarów problemowych zaliczymy te, które charakteryzują się wysokim udziałem ludności starej (tj. w wieku poprodukcyjnym). Zjawisko to występuje przede wszystkim na terenach wiejskich i ma silny związek z niekorzystną strukturą płci i procesem odpływu młodzieży do miast. Przeciętnie w kraju około 14% ludności to osoby w wieku poprodukcyjnym. Aby wskazać obszary o największej koncentracji tej grupy wiekowej przyjęto arbitralnie wartość graniczną 17% (rys. 4), która wyraźnie świadczy o zachwianej strukturze wiekowej mieszkańców (3).

Do obszarów charakteryzujących się wysokim udziałem ludności w wieku poprodukcyjnym należą: Polesie, Podlasie, Lubelszczyzna, Mazowsze (z wyjątkiem okolic Warszawy) i Kielecczyzna (rys. 4). Z uwagi na dominującą funkcję rolniczą na wsi szczególnie istotne znaczenie dla rozwoju obszarów wiejskich ma wiek właścicieli gospodarstw rolniczych. Młodzi rolnicy mają na ogół lepsze wykształcenie i z większą łatwością przyjmują nowe trendy w gospodarce rolnej. Są też bardziej otwarci na inne formy działalności. Z badań Fundacji Fundusz Współpracy w programie Agrinpol wynika, że działalność pozarolniczą podejmują przede wszystkim rolnicy w młodszym wieku (11). Około 45% przedsiębiorców było w wieku 35-45 lat, a 30% w wieku 45-55 lat. Może to tylko potwierdzać fakt, że działalnością pozarolniczą zainteresowani są młodszy właściciele gospodarstw, którzy dopiero kreują swoją przyszłość. Bierność charakteryzuje najstarsze grupy wiekowe rolników, co nie może budzić zdziwienia.



Rys. 4. Obszary o udziale ludności w wieku poprodukcyjnym przekraczającym 17%
Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych GUS.

Obszary o długotrwałym odpływie ludności

Wzrost liczby ludności na jakimś obszarze wskazuje na jego rozwój społeczno-gospodarczy, spadek zaś wywołany jest niekorzystnymi procesami ekonomicznymi lub konkurencyjnością innych obszarów, do których ludność odpływa. Przez prawie cały okres powojenny wieś polską charakteryzował znaczący odpływ ludności, ale stosunkowo wysoki przyrost naturalny rekompensował te ubytki. Dlatego też liczba ludności na obszarach wiejskich utrzymywała się cały czas na podobnym poziomie. W 1946 r. na wsi mieszkało 15597 tys. osób, tj. 66% ówczesnej ludności kraju. W 2002 r. obszary wiejskie zamieszkiwało 14619,7 tys. osób, czyli już tylko 38,2% ogółu mieszkańców Polski.

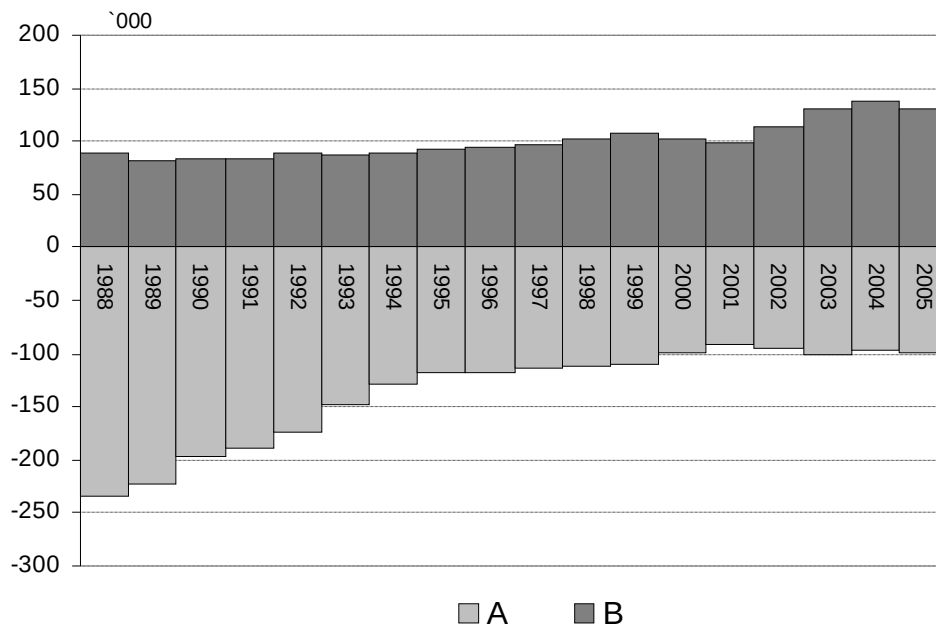
Najgęściej zaludnione są obszary wiejskie w województwach: małopolskim (119 osób na km²), śląskim (115,8 os./km²), podkarpackim (74,1 os./km²) i świętokrzyskim (63,5 os./km²), najsłabiej zaś w województwach: zachodniopomorskim (24 os./km²), warmińsko-mazurskim (24,1 os./km²), podlaskim (25,8 os./km²) i lubuskim (26,8 os./km²).

Wobec słabnącego przyrostu naturalnego coraz większą rolę w przestrzennym zróżnicowaniu liczby ludności odgrywają procesy migracyjne. Ma to szczególnie istotne znaczenie na obszarach wiejskich. Powszechnie wiadomo, że najliczniejszą grupę migrujących ze wsi do miast stanowią ludzie młodzi i przedsiębiorczy. Powodem opuszczania wsi są najczęściej: niski poziom dochodów z pracy w gospodarstwie, niezadowalający poziom wyposażenia wsi w infrastrukturę techniczną i społeczną, uciążliwość pracy, problemy mieszkaniowe, bariery socjalne na wsi, utrudniony dostęp do oświaty i kultury, trudności w znalezieniu partnera do założenia rodziny.

Problemy na rynku pracy, w tym wzrost bezrobocia, były główną przyczyną przyhamowania odpływu ludności wiejskiej do miast. Istotne znaczenie w osłabieniu tempa migracji wieś-miasto miało także to, że większość mobilnej ludności obszary wiejskie już opuściła. Można zatem stwierdzić, że lata dziewięćdziesiąte przyniosły w skali ogólnej wyraźne osłabienie tempa koncentracji ludności w miastach. Z dwóch ostatnich Spisów Powszechnych wynika, że w okresie 1988–2002 ludność wsi zmniejszyła się zaledwie o 84 tys. Zmiany te wynikały z rozszerzenia granic administracyjnych miast, czyli wchłaniania przez nie nowych terenów wiejskich.

Pod koniec lat dziewięćdziesiątych tendencja w zakresie ruchu migracyjnego w relacji miasto-wieś uległa odwróceniu, tj. w skali ogólnej saldo migracji dla obszarów wiejskich miało dodatnią wartość (rys. 5). W ujęciu przestrzennym nie zaszły jednak istotne zmiany; większość obszarów wiejskich charakteryzował niewielki odpływ ludności, natomiast napływ był szczególnie dynamiczny na wsiach w sąsiedztwie dużych aglomeracji miejskich.

Zmiany ludnościowe na wsi w ostatnich latach przebiegały dwukierunkowo. W strefach podmiejskich saldo migracji było dodatnie i jego wartość stopniowo malała w kierunku peryferii. Natomiast na obszarach oddalonych od miasta lub o utrudnionym dostępie komunikacyjnym saldo migracji miało na ogół ujemne wartości. Powyższy wniosek potwierdzają badania tendencji zmian liczby ludności w latach 1995–

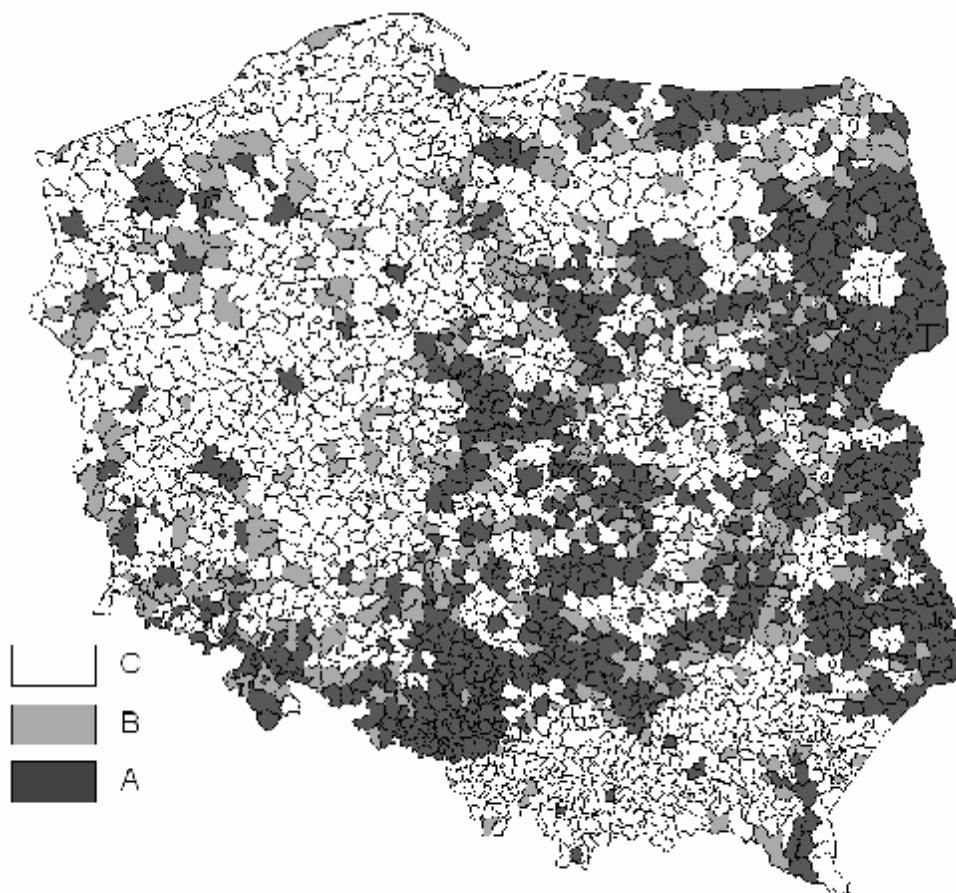


Rys. 5. Napływ ludności ze wsi do miast (A) i z miast na wieś (B) w latach 1988–2005
Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych GUS.

2005 (rys. 6). Postępowanie badawcze dotyczące wyznaczenia wskaźnika dynamiki zmian ludnościowych przebiegało w następujący sposób. Dla każdej gminy obliczono zmianę liczby mieszkańców w 10 przedziałach czasowych (1995–1996, ... 2004–2005), tj. w okresie 1995–2005. Uzyskano tym samym dla każdej gminy 10 wskaźników $A_1, \dots, A_{10}$. Przyjęto założenie: jeżeli wartość wskaźnika A_x jest wyższa od uśrednionej wartości wskaźnika A dla całego kraju uzyskuje on rangę 1, w przeciwnym przypadku wskaźnik uzyskuje rangę 0. Suma rang wskaźników S może przybierać wartość od 0 (w 10 przedziałach czasowych żaden ze wskaźników nie osiągnął wyższych wartości od średniej krajowej) do 10 (wszystkie wskaźniki we wszystkich okresach charakteryzowały się wyższymi wartościami niż średnia krajowa). Dla potrzeb tego opracowania gminy wiejskie podzielono na trzy grupy wykazujące:

- tendencje zmian stale negatywne – $S = 0$,
- tendencje zmian z przewagą negatywnych – $0 < S \leq 2$,
- tendencje inne – $2 < S \leq 10$.

Stale pozytywne zmiany, tj. coroczny wzrost liczby ludności jest charakterystyczny przede wszystkim dla stref podmiejskich dużych miast, z wyłączeniem miast Górnego Śląska. Wzrost liczby ludności jest głównie wynikiem migracji na te tereny mieszkańców miast. Stały przyrost liczby ludności cechuje też trzy duże obszary na Kaszubach, w Wielkopolsce i w Małopolsce. W tym przypadku ruchy migracyjne są na bardzo niskim poziomie, a o wzroście liczby ludności decyduje stosunkowo wysoki przyrost naturalny.



Rys. 6. Tendencje zmian liczby ludności w stosunku do średniej krajowej w latach 1995–2005

A – stale negatywne, B – przewaga negatywnych, C – inne

Źródło: Opracowanie własne.

Silne tendencje negatywne charakteryzują wschodnią i środkową część Polski. Na Podlasiu, Polesiu i Zamojszczyźnie prawie wszystkie gminy, z wyjątkiem terenów podmiejskich, cechuje stały ubytek liczby ludności. Na przykład w województwie lubelskim w 50 gminach każdy z badanych 10 okresów charakteryzował się ubytkiem liczby ludności. W województwie podlaskim było 36 takich gmin.

Wnioski

1. Ludnościowe obszary problemowe należą do najważniejszych typów obszarów problemowych i wymagają większego niż dotychczas zainteresowania nauki i praktyki.
2. Największa depresja demograficzna występuje na obszarze północno-wschodniej i wschodniej Polski. Niekorzystna jest tam struktura wieku i płci oraz od dawna

występują procesy depopulacyjne i starzenie się ludności wiejskiej. Drugi obszar depresji demograficznej obejmuje zachodnią część Mazowsza i Góry Świętokrzyskie, ale nie jest to tak zwarty kompleks, jak w przypadku północno-wschodniej Polski.

3. Niekorzystne zjawiska ludnościowe ujawniają się w północnej Polsce, głównie na obszarach po byłych gospodarstwach państwowych. Długotrwałe bezrobocie przyczyniające się do wzrostu nędzy na wsi jest katalizatorem deformacji demograficznej.

4. Osobnych studiów wymaga geneza ludnościowych obszarów problemowych. Rozpoznanie procesów i przyczyn stymulujących ich powstawanie może być pierwszym krokiem w podejmowaniu działań zmierzających do łagodzenia niekorzystnych zjawisk demograficznych.

Literatura

1. Bański J.: Obszary problemowe w rolnictwie Polski. *Prace Geograf.*, IGiPZ PAN, 1999, 172.
2. Bański J.: Przestrzenny wymiar współczesnych procesów na wsi. *Studia Obszarów Wiejskich*, IGiPZ PAN, Bernardinum, Warszawa, 2005, 9.
3. Bański J.: *Geografia polskiej wsi*. PWE, Warszawa, 2006.
4. Eberhardt P.: Regiony wyludniające się w Polsce. *Prace Geograf.*, IGiPZ PAN, 1989, 148.
5. Frenkel I. (red.): *Opinie o wyludnianiu się wsi polskiej*. IRWiR PAN, Warszawa, 1989.
6. Heffner K. (red.): *Procesy wyludniania się wsi w regionie opolskim*. Instytut Śląski, Opole, 1990.
7. Jasiulewicz M. (red.): *Wyludnianie się obszarów wiejskich Pomorza Środkowego*. Koszaliński Ośr. Nauk.-Bad., Koszalin, 1989.
8. Jelonek A.: Obszary zagrożeń demograficznych. *Folia Geographica*, seria *Geographica-Oeconomica*, 1986, **19**: 33-49.
9. Jelonek A.: Obszary problemowe w zakresie zagrożeń demograficznych w Polsce. W: *Problemy geografii osadnictwa i ludności*. Ser. *Geografia*, 1988, **42**: 67-77.
10. Mironowski W.: Społeczne uwarunkowania wyludniania się wsi w Polsce. IFiS PAN, Warszawa, 1995.
11. *Przykłady przedsięwzięć pozarolniczych na obszarach wiejskich*. Baza danych AGRINPOL, Fundacja Fundusz Współpracy, Poznań, 2001.
12. Strzelecki Z.: Założenia i zasady polityki regionalnej. W: *Polityka regionalna w rozwoju obszarów wiejskich*. Mat. Ogólnokraj. Konf., SGGW, Warszawa, 1995, 45-60.
13. Zagórzon A.: Kilka uwag o obszarach problemowych. W: *Gospodarka przestrzenna, region, lokalność*. Biul. KPZK, 1988, **138**: 137-147.

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Jerzy Bański
Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania
Polskiej Akademii Nauk
ul. Twarda 51/55
00-818 Warszawa
tel.: (48 22) 69-78-922
fax: (48 22) 620-62-21
e-mail: jbanski@twarda.pan.pl

Krystyna Filipiak, Jan Jadczyzyn

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

KRYTERIA WYBORU I OCENA OBSZARÓW PROBLEMOWYCH ROLNICTWA W POLSCE*

Wstęp

Jakość środowiska przyrodniczego w okresie ostatnich kilkudziesięciu lat uległa znacznemu pogorszeniu lub wręcz degradacji w wyniku nieracjonalnej i niekontrolowanej działalności człowieka. Dotyczy to w równym stopniu wód powierzchniowych i podziemnych, powietrza atmosferycznego, gleb i lasów. Ponieważ czerpanie z zasobów przyrody jest nierozdzielnie związane z działalnością człowieka należy bezwzględnie dążyć do ochrony posiadanych zasobów i racjonalnego ich zagospodarowania.

Gleba stanowi podstawowy składnik środowiska przyrodniczego powstały w wyniku wielowiekowego działania naturalnych procesów glebotwórczych. W zależności od kierunku przebiegu tego procesu wytworzone gleby charakteryzują się określonym układem właściwości fizycznych i biologicznych, mniej lub bardziej korzystnym dla rozwoju roślin. Rolnicza i pozarolnicza działalność człowieka może ten układ modyfikować w kierunku pozytywnym lub negatywnym, a zatem wpływać na produktywność gleb oraz na jakość produkowanych surowców roślinnych. Niekorzystne zmiany właściwości fizycznych i chemicznych gleb zmniejszają ich aktywność biologiczną i ograniczają wiele istotnych funkcji środowiskowych, w tym funkcję retencyjną, buforową i bioróżnorodną.

W przyrodniczo-klimatycznych warunkach Polski wykształciło się wiele genetycznie zróżnicowanych typów gleb. Największą powierzchnię (ok. 38%) zajmują gleby brunatnoziemne (głównie brunatne wylugowane) oraz płowe; są to dobre gleby dla leśnego użytkowania oraz średnie do produkcji rolniczej. Drugą grupę pod względem zajmowanej powierzchni (ok. 26%) stanowią gleby bielicoziemne, wytworzone głównie z ubogich utworów piaszczystych. Są to gleby kwaśne, ubogie w składniki mineralne i próchnicę, o niskiej wartości rolniczej, a stanowią ponad 30% powierzchni użytków rolnych. Pozostałe typy gleb mineralnych, takie jak czarnoziemy i czarne ziemie zaliczane są przeważnie do gleb bardzo żyznych i żyznych, ale zajmują niewielki areal w skali kraju. Potencjał produkcyjny rzędzin i mad jest zróżnicowany i zależy

* Opracowanie wykonano w ramach zadań 1.1 i 1.3 w programie wieloletnim IUNG - PIB

w dużej mierze od budowy i właściwości profilu gleby, w tym przede wszystkim od gatunku gleby. Jakość gleb Polski jest dość niska, bowiem wśród gruntów ornych tylko około 23% gleb uznać można za dobre lub bardzo dobre (klasy I–IIIb), natomiast najslabsze gleby (klasy V–VI) zajmują ponad 30% powierzchni kraju.

Warunki klimatyczne, a zwłaszcza małe opady prowadzą do deficytu wody w okresie wegetacyjnym. Na części obszaru Niżu Polskiego deficyt opadów w sezonie wegetacyjnym przekracza nawet 200 mm. Niedobory wody są jedną z głównych przyczyn zmniejszania się produkcji roślinnej, a w dłuższej perspektywie sprzyjają także degradacji gleby. Wiąże się to z przesuszaniem profilu glebowego i mineralizacją materii organicznej. W największym stopniu na przesuszenie narażona jest warstwa orno-próchniczna gleby. W następstwie ubytku materii organicznej zmniejsza się retencja wody, obniża się żyzność, wzrasta podatność gleby na procesy erozji eolicznej i wodnej. Ponadto brak częstego i pełnego filtrowania profilu opadami sprzyja kumulacji różnego rodzaju zanieczyszczeń.

Ograniczenia przyrodnicze lub organizacyjno-ekonomiczne rozwoju produkcji rolniczej mają istotny wpływ na poziom uzyskiwanych dochodów oraz jakość życia ludności wiejskiej. Obszary, na których występują niekorzystne uwarunkowania o charakterze przyrodniczym, organizacyjno-ekonomicznym lub społecznym określone są mianem **obszarów problemowych rolnictwa**.

Unia Europejska od wielu lat wspiera obszary charakteryzujące się niskim rozwojem gospodarczym w ramach Wspólnej Polityki Rolnej (CUP). Środki na ten cel w latach 2007–2013 kierowane są z kilku źródeł, w tym z: Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego (EFRR), Europejskiego Funduszu Społecznego (EFS) i Funduszu Spójności. Dotychczasowe kryteria wydzielania obszarów problemowych na poziomie NUTS 3 w terenach wiejskich wykazują duży stopień uogólnienia i odnoszą się do oceny struktury demograficznej oraz poziomu bezrobocia. Nie dotyczą zatem oceny przyczyn marginalizacji tych obszarów, a jedynie mierzą skutki zmian w strukturze ludnościowej.

W pracy przedstawiono metodykę oceny rolniczych obszarów problemowych w Polsce uwzględniającą pojedyncze czynniki przyrodnicze, klimatyczne i ekonomiczno-organizacyjne. Takie podejście dotyka istoty rzeczywistych problemów w rolniczym użytkowaniu obszarów oraz umożliwia formułowanie działań ochronnych i zapobiegawczych, ukierunkowanych bezpośrednio na dostrzegane przyczyny. Obszary problemowe zostały wydzielone na podstawie danych statystycznych, monitoringu gleb i analiz przestrzennych wykonanych przy użyciu GIS. Wyniki przedstawiono dla gmin wiejskich i wiejsko-miejskich.

Metodyka badań

Obszary problemowe rolnictwa charakteryzują się warunkami naturalnymi, które utrudniają prowadzenie działalności rolniczej, w tym przede wszystkim ograniczają możliwości uprawy niektórych roślin. Rzutują one na organizację pracy, poziom pło-
nów i efektywność ekonomiczną gospodarki rolnej. Rozpoznanie takich terenów moż-

na dokonać za pomocą różnych wskaźników oceniających środowisko naturalne dla potrzeb rolnictwa.

Podstawy merytoryczne wyboru cech diagnostycznych dla obszarów problemowych rolnictwa w Polsce

Jednym z głównych czynników determinującym rolniczą przestrzeń produkcyjną jest jakość siedliska, która decyduje o jej potencjale produkcyjnym. Opracowany w IUNG wskaźnik waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej umożliwia ilościową wycenę przydatności danego obszaru do produkcji rolnej pod kątem jakości gleb, klimatu, rzeźby terenu i stosunków wodnych (3). Wartość liczbowa wskaźnika dla poszczególnych gmin Polski mieści się w przedziale od 31 do 111 punktów. Niskie wartości tego wskaźnika są charakterystyczne dla obszarów o niskim potencjale produkcyjnym, a więc indeks ten można wykorzystać jako jeden z podstawowych wskaźników opisujących obszary problemowe rolnictwa.

Waloryzacja obszarów użytkowanych rolniczo, obok wskaźników demograficznych, stanowiła podstawę wydzielenia obszarów o niekorzystnych warunkach gospodarowania (ONW) w Polsce (2). Cechami specyficznymi ONW są: niska produkcyjność ziemi spowodowana słabą jakością gleb, niekorzystne warunki klimatyczne i topograficzne oraz małe i zmniejszające się zaludnienie. Można więc założyć, że tereny wiejskie należące do obszarów o niekorzystnych warunkach gospodarowania w przeważającej większości stanowią też obszary problemowe rolnictwa.

Na obszarach rolniczych największe zagrożenia środowiska związane są z produkcją roślinną. Do najważniejszych procesów i zmian w zakresie degradacji gleb można zaliczyć:

- erozję eoliczną i wodną,
- zanieczyszczenie gleb,
- zmiany właściwości fizykochemicznych gleb.

Erozja eoliczna ma charakter okresowy, choć zdarza się, że jej natężenie jest niekiedy długotrwałe. Najbardziej narażone na erozję eoliczną są duże, płaskie i otwarte przestrzenie gruntów ornych, pozbawione większych skupisk zadrzewień śródpolnych. W jej wyniku wywiewane są z wierzchniej warstwy profilu glebowego drobne cząstki organiczne i mineralne, stanowiące najbardziej wartościowe frakcje gleby. Najczęściej zjawisko erozji eolicznej występuje w okresie wiosennym (marzec-kwiecień), kiedy gleba pozbawiona jest roślinności i często przesuszona w wierzchniej warstwie. Przy silnych wiatrach zjawisko erozji przebiega intensywnie.

Erozja wodna wiąże się z wypłukiwaniem poziomu orno-próchnicznego. Prowadzi to do pogorszenia biofizykochemicznych i wodnych właściwości gleby, a w konsekwencji do jej degradacji. Gleby zmienione w ten sposób posiadają gorsze stosunki wodne, niższą żyzność i są trudniejsze w uprawie. Najbardziej wyraźne skutki erozji wodnej są widoczne na obszarach o dużych spadkach, a więc głównie w obrębie stoków obejmujących zbocza rynien subglacialnych oraz pagórki morenowe.

Odczyn jest bardzo ważną właściwością gleby, ponieważ decyduje o przebiegu wielu procesów oraz wpływa na kształtowanie urodzajności i żyzności gleby. Zakwaszenie gleby powodowane przez naturalne procesy przyrodnicze nie jest na tyle intensywne, aby prowadzić do degradacji środowiska glebowego. Degradacja chemiczna gleby, której pierwotnym skutkiem jest zakwaszenie, pojawia się najczęściej wtedy, gdy procesy przyrodnicze zostaną wsparte czynnikami antropogenicznymi. Istotnym czynnikiem powodującym degradację gleb są zabiegi agrochemiczne. Na przykład, wielokrotne jednostronne stosowanie nawozów mineralnych powoduje zakwaszenie gleby. Kwaśny odczyn ogranicza pobieranie przyswajalnych składników z gleby, a równocześnie zwiększa dostępność pierwiastków śladowych. Obok zakwaszenia następuje również zwiększenie ubytków próchnicy. Proces ten jest szczególnie widoczny na glebach piaszczystych; na glebach gliniastych zjawisko to przebiega zdecydowanie wolniej.

Typowa degradacja chemiczna gleb ma miejsce w przypadku ich zanieczyszczenia szkodliwymi substancjami chemicznymi. Do substancji tych należą metale ciężkie, węglowodory wielopierścieniowe i pozostałości stosowanych chemicznych środków ochrony roślin. Zanieczyszczenie gleb może nastąpić w wyniku oddziaływania przemysłu i ruchu samochodowego oraz przy niewłaściwym stosowaniu osadów ściekowych do nawożenia gleb.

Wpływ agroklimatu na produkcję rolną związany jest przede wszystkim z warunkami termicznymi i opadami atmosferycznymi. Największe ograniczenia klimatyczne występują na terenach górskich i wynika to z niekorzystnych warunków termicznych. Podobnie jest na północno-wschodnim krańcu Polski, gdzie okres wegetacji jest najkrótszy i wynosi około 185 dni. W środkowej Polsce występują natomiast niedobory opadów atmosferycznych, które często prowadzą do suszy. O wystąpieniu suszy decyduje cały kompleks warunków meteorologicznych i glebowych. Warunki meteorologiczne powodujące suszę są określane za pomocą klimatycznego bilansu wodnego. Przestrzenne zróżnicowanie gleb do retencjonowania wody jest, obok klimatycznego bilansu wodnego, czynnikiem decydującym o występowaniu suszy na danym obszarze. Gleby lekkie są zdecydowanie mniej odporne na stres wodny od gleb średnich i ciężkich, co znajduje odzwierciedlenie w zróżnicowaniu kryteriów suszy i progów klimatycznego bilansu wodnego dla poszczególnych kategorii agronomicznych gleb.

W pierwszym etapie prac, uwzględniając powyższe rozważania, dokonano wyboru cech diagnostycznych i określono zakres wartości granicznych wskaźników dla obszarów problemowych z zespołu zmiennych opisujących potencjał produkcyjny rolnictwa (tab. 1).

Przynależność gmin do obszarów problemowych

Materiał źródłowy do analiz stanowiły numeryczne mapy glebowo-rolnicze, dane monitoringu gleb oraz baza danych charakteryzująca warunki przyrodnicze, ekonomiczne i społeczne gospodarstw rolnych w Polsce dla gmin. W opracowaniu wzięto pod uwagę jedynie gminy wiejskie i wiejsko-miejskie, gdyż głównie na tych obszarach

Tabela 1

Zmienne diagnostyczne i zakres wartości wykorzystany do wyboru obszarów problemowych rolnictwa

Lp.	Zmienna	Zakres
1.	Jakość i przydatność rolniczej przestrzeni produkcyjnej oraz gęstość zaludnienia	strefa ONW: nizinna II, górską i specyficzną
2.	Zawartość próchnicy w glebie	niska, <1,3%
3.	Odczyn gleby	bardzo kwaśny, pH<4,5
4.	Zagrożenie gleb erozją wodną	w stopniu średnim i silnym
5.	Wartość klimatycznego bilansu wodnego (KBW)	KBW <-200 mm
6.	Zanieczyszczenie gleb metalami ciężkimi	zgodnie z kryteriami rozporządzenia Ministra Środowiska z 9 września 2002 r.
7.	Rozdrobnienie struktury przestrzennej gospodarstw (wielkość i ilość działek w gospodarstwie)	kryterium łączne powierzchni użytków rolnych gospodarstwa 1-10 ha, liczby działek w gospodarstwie ≥ 4 i powierzchni działki <2,5 ha
8.	Dochód gminy na 1000 mieszkańców	dochód <1,2 mln zł

Źródło: Opracowanie własne.

koncentruje się produkcja rolnicza. Na podstawie informacji zawartych na mapach, danych monitoringu gleb oraz danych GUS obliczono powierzchnię i udział (%) użytków rolnych dla wybranych cech diagnostycznych. W kolejnym kroku, na podstawie rozkładu względnego udziału gleb dla każdej z cech 1-6, dokonano podziału gmin na 4 klasy:

- klasa 1 – powyżej lub 50% użytków rolnych gminy spełnia warunek zaliczenia jej do obszarów problemowych rolnictwa ze względu na wybraną cechę diagnostyczną,
- klasa 2 – od 30% do 50% użytków rolnych gminy spełnia warunek zaliczenia jej do obszarów problemowych rolnictwa ze względu na wybraną cechę diagnostyczną,
- klasa 3 – od 10% do 30% użytków rolnych gminy spełnia warunek zaliczenia jej do obszarów problemowych rolnictwa ze względu na wybraną cechę diagnostyczną,
- klasa 4 – poniżej 10% użytków rolnych gminy spełnia warunek zaliczenia jej do obszarów problemowych rolnictwa ze względu na wybraną cechę diagnostyczną.

Gminy zgrupowane w 1 klasie zaliczono w całości do terenów problemowych rolnictwa, natomiast gminy klasy drugiej oraz trzeciej można częściowo zaliczyć do terenów problemowych (np. wybrane obręby geodezyjne), zaś 4 klasę stanowią gminy, które nie należą do obszarów problemowych. Jedynie gleby zanieczyszczone metalami ciężkimi w obrębie gmin zaliczonych do klas 1-3 włączono w całości do obszarów problemowych.

Rozdrobnienie struktury przestrzennej gospodarstw oraz dochód gminy w przeliczeniu na 1000 mieszkańców nie zależą od powierzchni użytków rolnych gminy, więc dla tych zmiennych wydzielono tylko 2 klasy:

klasa 1 – na podstawie wartości granicznych cechy gmina zaliczona do obszarów problemowych rolnictwa,

klasa 0 – gmina nie należy do obszarów problemowych rolnictwa.

Do obszarów problemowych rolnictwa zaliczono wszystkie gminy, dla których przynajmniej jeden ze wskaźników spełniał przedstawione powyżej kryteria.

Omówienie wyników

Na podstawie cech diagnostycznych opisujących warunki glebowo-klimatyczne kraju (tab. 2) najwięcej gmin (822) zaliczono do obszarów problemowych ze względu na niedobór opadów atmosferycznych, prawie o połowę mniej (422) to gminy leżące na terenach o niekorzystnych warunkach gospodarowania (ONW). Kolejne ze względu na liczebność, to gminy posiadające gleby zagrożone erozją wodną (281) oraz o odczynie bardzo kwaśnym (178).

Zgodnie z przyjętą metodyką gminy zaliczone do obszarów problemowych (tab. 2) stanowią 66,2% wszystkich gmin wiejskich w kraju, w tym 1345 gmin (61,9%) charakteryzuje się niewłaściwymi warunkami glebowo-klimatycznymi, co świadczy o tym, że przeważająca część Polski to obszary o niekorzystnych warunkach dla produkcji rolniczej.

Tabela 2

Liczba gmin w wydzielonych klasach dla poszczególnych cech diagnostycznych

Cecha diagnostyczna	Klasy obszarów problemowych			
	1	2	3	4
Jakość i przydatność rolniczej przestrzeni produkcyjnej oraz gęstość zaludnienia (N)	422	55	157	1537
Zawartość próchnicy w glebie (P)	34	64	230	1842
Odczyn gleby (O)	176	220	509	1266
Zagrożenie gleb erozją wodną (E)	281	182	592	1116
Zanieczyszczenie gleb metalami ciężkimi (M)	10	4	7	2150
Warunki siedliskowe				
Wartość klimatycznego bilansu wodnego (K)	822	55	56	1238
Obszary	problemowe		nieproblemowe	
Razem warunki siedliskowo-klimatyczne	1345		826	
Rozdrobnienie struktury przestrzennej gospodarstw (R)	268		1903	
Dochód gminy na 1000 mieszkańców*	238		1356	
Razem (bez dochodów gminy)	1437		734	

* dochód gmin dotyczy jedynie 1594 gmin wiejskich, natomiast dla wyodrębnionych 577 wsi ze względu na brak danych dotyczących dochodu dla gmin miejsko-wiejskich nie uwzględniono tej cechy przy wyznaczaniu obszarów problemowych rolnictwa

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 3

Wartość wskaźnika waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej (WWRPP) w gminach zaliczonych do obszarów problemowych rolnictwa w zależności od cech diagnostycznych

Cechy diagnostyczne*	Struktura agrarna**	
	niewłaściwa (R)	właściwa
N, O, E	39,0 (12)	48,0 (15)
N, O, K	46,4 (4)	47,7 (24)
N, K, E	-	49,9 (1)
N, K, P	-	50,0 (1)
N, E, M	-	53,4 (2)
N, E	48,6 (33)	59,8 (67)
N, O	47,2 (6)	49,1 (27)
N, P	-	49,8 (2)
N, M	-	50,4 (2)
N	48,6 (18)	50,4 (109)
O, P	-	58,1 (2)
O, K	58,6 (10)	58,9 (20)
O, E	71,5 (1)	73,7 (1)
O	59,2 (12)	60,4 (42)
P, E	-	69,2 (1)
P, K	54,7 (2)	65,5 (4)
P	66,2 (2)	62,6 (10)
E, K	-	73,3 (3)
E, M	-	71,2 (2)
E	85,7 (26)	82,0 (119)
K, M	-	66,4 (1)
K	63,2 (41)	67,6 (610)
M	-	65,1 (14)
Poza obszarem problemowym	68,1 (92)	71,3 (734)

* oznaczenia jak w tabeli 2

** w nawiasach liczba gmin

Źródło: Opracowanie własne.

Szeregując wstępnie wpływ poszczególnych cech diagnostycznych na jakość środowiska na podstawie wskaźnika WRPP (tab. 3) stwierdzono, że najgorszymi warunkami do produkcji rolniczej charakteryzują się gminy należące do ONW, przy czym w terenach o znacznym rozdrobnieniu gospodarstw wartość wskaźnika waloryzacji nie przekracza 50 punktów, a w gminach o właściwej strukturze agrarnej dochodzi do 50 punktów. Wyjątek stanowi 67 gmin zagrożonych dodatkowo erozją wodną, w których wskaźnik waloryzacji jest znacznie wyższy (ok. 60 punktów), ale i tak jest on o około 6 punktów niższy od średniej wartości dla kraju.

Za kolejną negatywną cechą należy uznać kwaśny odczyn gleb. Wskaźnik waloryzacji w gminach z przewagą gleb bardzo kwaśnych oscyluje w granicach 49-60 punktów, z wyjątkiem dwóch gmin dodatkowo zagrożonych erozją wodną, w których przekracza 70 punktów.

Niska zawartość próchnicy w mniejszym stopniu wpływa na jakość gleb, chociaż w przeważającej liczbie gmin o niskiej zawartości materii organicznej wskaźnik WRPP jest poniżej średniej krajowej. Zawartość próchnicy odzwierciedla w znacznym stopniu jakość i potencjał produkcyjny gleby. W grupie gmin o zawartości materii organicznej poniżej 1,3% wskaźnik WRPP jest poniżej (znacznie) średniej krajowej.

Zagrożenie gleb erozją wodną występuje głównie na glebach dobrych i bardzo dobrych. W większości gmin charakteryzujących się tą cechą diagnostyczną wskaźnik waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej przekracza 80 punktów. Natomiast zagrożenie suszą w Polsce dotyczy gmin, w których przeważają gleby średniej jakości.

Należy również podkreślić, że gospodarstwa w gminach o lepszych warunkach glebowych posiadają właściwą strukturę agrarną, w odróżnieniu od gospodarstw zlokalizowanych na terenach o słabszych glebach.

Podsumowanie

Szczegółowa analiza warunków przyrodniczo-gospodarczych rolnictwa w skali kraju wykazała występowanie znacznego areалу gleb o ograniczonej przydatności do produkcji, zwanych w literaturze przedmiotu obszarami problemowymi rolnictwa. Przyczyny takiego stanu wynikają zarówno z ograniczeń przyrodniczych i organizacyjnych, jak i niekorzystnego oddziaływania przemysłu na środowisko glebowe. Rolnicze użytkowanie terenów o ograniczonej przydatności jest znacznie mniej opłacalne niż terenów pozostałych oraz niesie ryzyko dalszego pogłębiania się niekorzystnych zjawisk i procesów dotyczących również sfery życia społecznego. Jednym z wymiernych objawów niskiej konkurencyjności gospodarczej obszarów problemowych jest ich wyludnianie się.

Występujące dysproporcje w warunkach produkcji rolniczej i rozwoju społeczeństwa na obszarach problemowych można w pewnym stopniu niwelować poprzez stosowanie odpowiedniej polityki regionalnej. Przeprowadzona analiza obszarów problemowych rolnictwa w Polsce uwidacznia potrzeby wsparcia finansowego działań ochronnych i zmniejszających występujące ograniczenia, z którymi rolnictwo samo nie jest w stanie sobie poradzić. Na przykład, należy wymienić racjonalne wykorzystanie gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi, na których produkcja rolnicza powinna być znacznie ograniczona lub w ogóle zaniechana. Postępująca degradacja gleb bardzo kwaśnych ze względu na skalę problemu wymaga ustanowienia programu wapnowania gleb, realizowanego poprzez mechanizm dotacji państwowych lub kredytów preferencyjnych. Działania ochronnych wymagają również obszary narażone na erozję i ubytek materii organicznej. Dla przeciwdziałania niekorzystnym procesom zachodzącym na obszarach problemowych niezbędna jest bardziej aktywna polityka informacyjna państwa, prowadząca do większego wykorzystania aktualnych środków finansowych dostępnych w ramach PROW. W skrajnie niekorzystnych warunkach rekompensata działań ochronnych na dzisiejszym poziomie może okazać się niewy-

starczająca i zaistnieje potrzeba uruchomienia dodatkowych instrumentów finansowych.

Literatura

1. C h u r s k i P.: Obszary problemowe w polityce regionalnej Unii Europejskiej w latach 2000-2006. <http://www.wshe.pl/vladis/vladis15/4.html>
2. Praca zbiorowa pod kier. T. Stuczyńskiego. Obszary o niekorzystnych warunkach gospodarowania w Polsce. IUNG- PIB Puławy, 2006.
3. W i t e k T. i in.: Waloryzacja rolniczej przestrzeni produkcyjnej według gmin. IUNG Puławy, 1993, A(56).

Adres do korespondencji:

dr Krystyna Filipiak
Zakład Agrometeorologii i Zastosowań Informatyki
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel.: (081) 886 34 21
e-mail: filipiak@iung.pulawy.pl

Krystyna Filipiak

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

UWARUNKOWANIA PRODUKCJI ROLNICZEJ NA OBSZARACH GLEB SILNIE ZAKWASZONYCH*

Wprowadzenie

Spośród wielu czynników wpływających na produkcję rolniczą odczyn gleby wymieniana się jako jeden z najważniejszych, gdyż decyduje on o przebiegu wielu procesów oraz wpływa na kształtowanie urodzajności i żyzności gleby. Rośliny uprawiane na glebach kwaśnych mają gorsze warunki wzrostu i rozwoju. Związane jest to z niekorzystnymi właściwościami fizycznymi, chemicznymi i biologicznymi gleb kwaśnych, z niedoborem oraz nadmiarem wielu składników pokarmowych, a nawet z toksycznym oddziaływaniem na uprawiane rośliny. W miarę zakwaszania gleb pobieranie składników pokarmowych przez rośliny ulega zakłóceniu. Zmniejsza się przyswajalność fosforu, magnezu, wapnia i molibdenu. Wapń i magnez są wymywane do głębszych warstw, a pobieranie tych jonów przez rośliny jest utrudnione przez dużą koncentrację glinu. Obserwuje się obniżoną aktywność biologiczną gleby, pogarsza się wiązanie wolnego N i tempo nitrifikacji. Należy jeszcze dodać, że rośliny rosnące na glebach kwaśnych mogą zawierać zwiększone ilości niektórych metali ciężkich i siarczanów. Kwaśnemu odczynowi gleby towarzyszą zwykle niedobory magnezu. Na glebach znacznie zakwaszonych występują więc niekorzystne warunki prowadzenia działalności rolniczej, związane z niską jakością środowiska przyrodniczego.

Celem pracy, oprócz analizy stanu zakwaszenia gleb w Polsce, było wykazanie ujemnego wpływu gleb kwaśnych na poziom produkcji rolnej, potwierdzając tym celowość wyboru odczynu gleby jako jednej z cech diagnostycznych wykorzystanych do wyznaczenia obszarów problemowych rolnictwa w kraju.

Material i metody

Materiał źródłowy stanowiły numeryczne mapy glebowo-rolnicze oraz baza danych IUNG charakteryzująca warunki przyrodnicze, ekonomiczne i społeczne gospodarstw rolnych w Polsce w odniesieniu do gmin. Baza ta obejmuje wskaźniki walory-

* Opracowanie wykonano w ramach zadań 1.1 i 1.3 w programie wieloletnim IUNG - PIB

zacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej zaktualizowane dla potrzeb wydzielania obszarów o niekorzystnych warunkach gospodarowania (ONW), dane źródłowe oraz wyniki analiz przestrzennych z monitoringu gleb gruntów ornych (49 tys. punktów) realizowanego w IUNG w drugiej połowie lat 90. oraz dane spisu rolnego dla gmin z 2002 r. W opracowaniu wzięto pod uwagę jedynie gminy wiejskie i wsie (2171 rekordów), gdyż głównie na tych obszarach koncentruje się produkcja rolnicza. Na podstawie map obliczono powierzchnię i udział % użytków rolnych w obrębie 5 klas odczynu gleb (bardzo kwaśny – $\text{pH} < 4,5$; kwaśny – $4,6 < \text{pH} < 5,5$; lekko kwaśny – $5,6 < \text{pH} < 6,8$; obojętny – $6,9 < \text{pH} < 7,2$; zasadowy – $\text{pH} > 7,2$) dla każdej gminy. Dane te posłużyły do oceny skali zakwaszenia gleb w kraju.

Gleby silnie zakwaszone charakteryzują się również bardzo niską zawartością przyswajanych składników pokarmowych i w praktyce trzeba je traktować jako gleby zdegradowane. Wykazują one małą produktywność i z trudem ulegają wzbogaceniu w składniki, nawet po zastosowaniu dużych dawek nawozów, dlatego wyznaczając obszary problemowe rolnictwa przyjęto odczyn gleb za jedną z cech diagnostycznych.

Na podstawie rozkładu % udziału użytków rolnych o odczynie bardzo kwaśnym ($\text{pH} < 4,5$) dokonano podziału gmin na 4 klasy, zgodnie z metodyką przyjętą w pracy Filipiak i Jadczyzna (2):

1. gleby bardzo kwaśne obejmują ponad 50% użytków rolnych gminy,
2. gleby bardzo kwaśne obejmują od 30% do 50% użytków rolnych gminy,
3. gleby bardzo kwaśne obejmują od 10% do 30% użytków rolnych gminy,
4. gleby bardzo kwaśne obejmują poniżej 10% użytków rolnych gminy,

przy czym gminy zgrupowane w 1 klasie zaliczono automatycznie do terenów problemowych rolnictwa.

Dla zobrazowania wpływu odczynu gleb na produkcję rolniczą obliczono wartości zmiennych charakteryzujących potencjał produkcyjny rolnictwa w wyodrębnionych klasach odczynu gleb. Z powodu znacznej skośności rozkładu zmiennych analizę statystyczną przeprowadzono nie na średnich arytmetycznych, lecz na medianach. Zastosowano analizę rang i nieparametryczny test Kruskala-Wallisa, istotność różnic między medianami oceniono testem Mooda, a współzależność cech oszacowano na podstawie współczynników korelacji rang Spaermana.

Omówienie wyników i dyskusja

Ponad połowa gleb w Polsce (56,8%) cechuje się odczynem bardzo kwaśnym (13,9%) i kwaśnym (42,9%). Gleby o odczynie lekko kwaśnym stanowią 34,0% UR w kraju, o obojętnym – 8,8%, a zasadowym jedynie 0,4%. Odczyn gleb jest bardzo zróżnicowany między poszczególnymi jednostkami administracyjnymi kraju (tab. 1). Najwyższy, przekraczający 75%, udział gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych występuje w województwach: podlaskim, łódzkim i mazowieckim, a najniższy w kujawsko-pomorskim (18%). Należy podkreślić, że aż w 10 województwach ponad połowa po-

Tabela 1

Udział powierzchni gleb użytków rolnych w klasach odczynu (%)

Województwo	Odczyn gleby				
	bardzo kwaśny	kwaśny	lekko kwaśny	obojętny	zasadowy
Dolnośląskie	13,2	53,2	28,7	4,5	0,4
Kujawsko-pomorskie	1,2	16,8	54,5	26,5	1,0
Lubelskie	13,5	41,4	31,8	12,7	0,6
Lubuskie	5,8	40,0	44,1	9,8	0,3
Łódzkie	26,7	56,6	15,5	1,2	0,0
Małopolskie	20,4	49,1	24,9	5,5	0,1
Mazowieckie	26,6	53,2	18,5	1,7	0,0
Opolskie	2,3	40,4	50,5	6,7	0,1
Podkarpackie	20,9	52,5	23,3	3,2	0,1
Podlaskie	36,8	47,4	14,2	1,6	0,0
Pomorskie	5,5	47,7	43,0	3,7	0,1
Śląskie	8,1	51,4	36,6	3,9	0,0
Świętokrzyskie	12,6	33,4	37,0	16,4	0,6
Warmińsko-mazurskie	7,5	48,8	37,6	6,0	0,1
Wielkopolskie	6,2	30,2	48,6	14,3	0,7
Zachodniopomorskie	2,8	34,7	46,9	14,7	0,9
Polska	13,9	42,9	34,0	8,8	0,4

Źródło: Opracowanie własne.

wierzchni UR to gleby o $\text{pH} < 5,5$. Podobnie wygląda klasyfikacja województw ze względu na udział gleb o odczynie bardzo kwaśnym. Na Podlasiu gleby te stanowią ponad $\frac{1}{3}$ powierzchni użytków rolnych, a w województwie łódzkim i na Mazowszu ponad $\frac{1}{4}$ UR. Natomiast gleby silnie zakwaszone występują tylko sporadycznie w kujawsko-pomorskim (1,2%) oraz w opolskim (2,3%) i zachodniopomorskim (2,8%), chociaż w tych dwóch województwach odsetek gleb o odczynie kwaśnym jest znacząco większy niż w kujawsko-pomorskim. Analizując rozkład gleb o odczynie bardzo kwaśnym i kwaśnym stwierdzono, że tylko w 10 z 2171 gmin wiejskich nie występują gleby zakwaszone, a w 126 gminach udział tych gleb nie przekracza 5% UR. Bardzo silne zakwaszenie (powyżej 95% powierzchni UR) zaobserwowano w 318 gminach, w tym w 5 gminach wszystkie użytki rolne charakteryzuje odczyn bardzo kwaśny i kwaśny.

Na znaczną przewagę gleb kwaśnych w kraju wpływają czynniki naturalne i antropogeniczne (1). Skałą macierzystą gleb Polski są głównie polodowcowe skały osadowe stosunkowo łatwo przepuszczalne (piaszczyste), a w naszym klimacie opady przeważają nad parowaniem i występuje tzw. przemysłowy typ gospodarki wodnej, powodujący przesiąkanie wód opadowych i wymywanie kationów wapnia, magnezu i potasu w głąb profilu glebowego. Ubytek tych jonów z warstwy ornej gleb potęgowany jest gazowymi zanieczyszczeniami powietrza atmosferycznego, takimi jak dwutlenek siarki, tlenek azotu, tlenek węgla i amoniak, które pochodzą z różnych gałęzi

przemysłu oraz z rolnictwa. Zakwaszenie gleb powodowane jest też przez wadliwą gospodarkę rolną. Każdego roku wraz z plonami roślin uprawnych wywozi się z pola znaczne ilości składników mineralnych, w tym wapnia, magnezu i potasu. Gdy dawki nawozów alkalizujących środowisko są niskie uniemożliwia to zwrot pobranych składników i wówczas zakwaszenie gleb potęguje się. Również stosowanie niektórych nawozów mineralnych, głównie azotowych oraz nawozów potasowych i fosforowych w formie soli i siarczanów, powoduje wzrost zakwaszenia gleb.

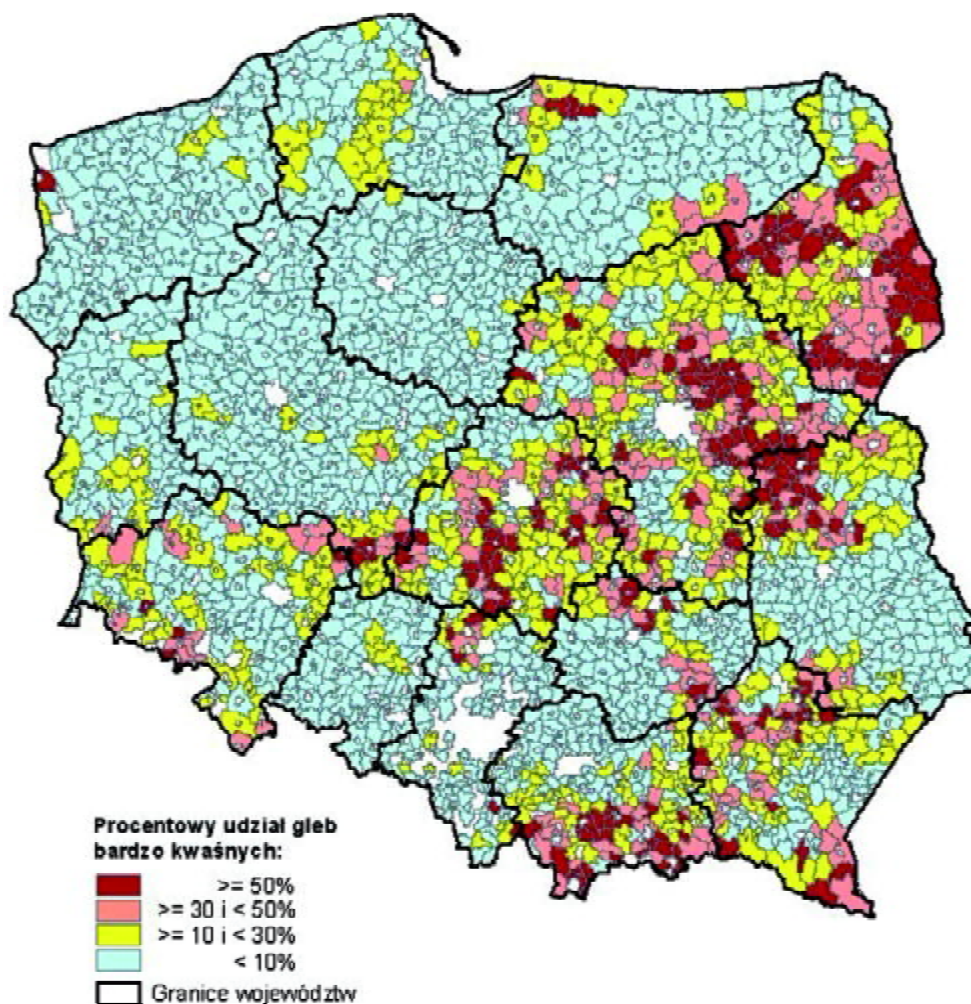
Przeważający obszar kraju (ponad 90%) zajmują gleby wytworzone z kwaśnych skał osadowych przyniesionych przez lodowce. W południowej części Polski dominują utwory pochodzące z okresu zlodowacenia krakowskiego, silnie przebyte przez występujące tutaj opady, podobnie w części północnej, gdzie występują gleby wytworzone z lekkich średnich glin morenowych pochodzenia skandynawskiego. Najsilniej zakwaszone gleby województw: mazowieckiego, łódzkiego i podlaskiego, to głównie gleby bielcowe, które ulegały intensywnym procesom przemiany (3).

Powyższe stwierdzenia potwierdza mapa prezentująca skalę zakwaszenia gleb Polski (rys. 1). Najwięcej gmin o silnie zakwaszonych glebach występuje na Podlasiu, Mazowszu, w województwie łódzkim i kieleckim – szczególnie w Górach Świętokrzyskich oraz w okolicach Sandomierza, w północnej części Lubelszczyzny, na Podkarpaciu, w południowej części Małopolski oraz w kilkunastu gminach województwa warmińsko-mazurskiego. Silne zakwaszenie występuje również w kilku gminach na Śląsku i w Wielkopolsce, natomiast w dolnośląskim skala zakwaszenia jest znacznie mniejsza.

Zależność między odczynem gleby i jakością siedliska oraz wpływ kwasowości gleb na efekty produkcyjne rolnictwa oceniono na podstawie współczynników korelacji (tab. 2).

Należy podkreślić, że większość współczynników korelacji jest ujemna, co świadczy o negatywnym wpływie gleb silnie zakwaszonych na poziom i wartość produkcji rolniczej. Tereny o silnym zakwaszeniu gleb charakteryzuje niska ocena siedliska mierzona wskaźnikiem bonitacji gleb oraz współczynnikiem waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej i znaczny udział trwałych użytków zielonych. Część tych terenów zaliczono do obszarów o niekorzystnych warunkach gospodarowania, głównie do strefy ONW II ($r = 0,217$). Zmniejszająca się wartość produkcji towarowej gospodarstwa wraz ze wzrostem udziału gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych ($r = -0,349$) wynika głównie z ograniczenia możliwości uprawy cennych roślin towarowych (pszenica, burak cukrowy, rzepak), stąd też główne dochody gospodarstw rolnych nie pochodzą z rolnictwa ($r = -0,212$). W gminach z przewagą gleb kwaśnych występują gospodarstwa mniejsze ($r = -0,232$) i znacznie rozdrobnione ($r = 0,251$), prowadzące ekstensywną produkcję rolniczą. Zaniechane jest też wapnowanie gleb, o czym świadczy ujemny współczynnik korelacji z odsetkiem gospodarstw stosujących nawozy wapniowe ($r = -0,205$). W efekcie pogłębia się zakwaszenie gleb, które może doprowadzić do ich chemicznej degradacji.

Wykorzystując podział gmin wiejskich na 4 rozłączne klasy różniące się udziałem gleb bardzo kwaśnych scharakteryzowano produkcję rolniczą oraz dokonano porów-



Rys. 1. Klasy zakwaszenia gleb Polski w skali gmin

Źródło: IUNG Puławy.

nań dla wybranych cech między tymi klasami (tab. 3). W zbiorze 2171 gmin wiejskich w Polsce udział gleb bardzo kwaśnych wynosił:

- ponad 50% UR – 176 gmin (8,1%),
- 30-50% UR – 220 gmin (10,1%),
- 10-30% UR – 509 gmin (23,5%),
- do 10% UR – 1266 gmin (58,3%).

Cechą różniącą się istotnie między wyodrębnionymi klasami gmin jest jakość siedliska wyrażona wskaźnikiem waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej. Dla wielu analizowanych cech nie stwierdzono istotnych różnic między I i II, a nawet i III klasą gleb, natomiast istotne różnice występują w porównaniu z klasą czwartą. Po-

Tabela 2

Współczynniki korelacji między zakwaszeniem gleb a jakością siedliska
i efektami produkcyjnymi rolnictwa

Zmienna	Współczynnik korelacji
Wskaźnik waloryzacji jakości gleb (pkt.)	-0,487
Wskaźnik waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej (pkt.)	-0,488
Udział powierzchni zagrożonej suszą (%)	-0,411
Udział TUZ (%)	0,422
Powierzchnia UR poza ONW (ha)	-0,382
Produkcja towarowa (tys. zł na 1 gospodarstwo)	-0,349
Produkcja towarowa (tys. zł na 1 ha użytków rolnych)	-0,264
Udział pszenicy w zasiewach (%)	-0,426
Udział żyta w zasiewach (%)	nieistotny
Udział jęczmienia w zasiewach (%)	-0,500
Udział owsa w zasiewach (%)	0,539
Udział ziemniaka w zasiewach (%)	0,419
Udział buraka cukrowego w zasiewach (%)	-0,530
Udział rzepaku w zasiewach (%)	-0,407
Gospodarstwa uzyskujące dochody z rolnictwa (%)	-0,212
Powierzchnia gospodarstwa (ha)	-0,232
Udział gospodarstw z liczbą ≥ 6 działek	0,251
Gospodarstwa stosujące nawozy azotowe (%)	nieistotny
Gospodarstwa stosujące nawozy wapniowe (%)	-0,205

Źródło: Opracowanie własne.

twierdza to tezę, że warunki i efekty produkcji rolniczej w gminach z przewagą gleb bardzo kwaśnych są istotnie gorsze niż na terenach obejmujących tylko nieznaczny udział takich gleb.

Dochody z produkcji rolniczej prowadzonej na obszarach gleb silnie zakwaszonych osiąga jedynie 16-20% gospodarstw, występuje tu dość duży udział tzw. rolnictwa socjalnego (30%). Pokrywa się to z występowaniem małych gospodarstw 5-6 ha UR, o rozdrobnionej strukturze agrarnej (około 17,5% gospodarstw z liczbą 6 i więcej działek). Produkcja towarowa w przeliczeniu na jedno gospodarstwo w I klasie gmin jest trzykrotnie niższa (9,1 tys. zł) niż w klasie IV (27,0 tys. zł), mniejsza różnica między klasami występuje w produkcji towarowej przeliczonej na 1 ha użytków rolnych (1,3 tys. zł oraz 2,1 tys. zł), co wynika z omówionej już struktury obszarowej gospodarstw.

Istotne różnice między wyodrębnionymi grupami gmin występują również w sposobach organizacji produkcji. Na glebach silnie zakwaszonych, obejmujących do 30% użytków rolnych, udział powierzchni zasiewów oscyluje w granicach 77,1-81,2% gruntów ornych. Udział pszenicy, jęczmienia jarego, rzepaku, buraka cukrowego oraz roślin pastewnych jest tam istotnie niższy, a udział żyta, owsa i ziemniaka w zasiewach jest prawie trzykrotnie wyższy od udziału tych upraw w gminach obejmujących nie więcej niż 10% gleb bardzo kwaśnych. Wynika to, jak już wcześniej stwierdzono, z różnej wrażliwości gatunków roślin na zakwaszenie gleb, a że niestety najbardziej wrażliwe są rośliny towarowe, więc produkcja roślinna w gminach z przewagą gleb

Tabela 3

Przeciętne wartości (mediany) zmiennych opisujących warunki produkcji rolniczej w klasach o różnym udziale gleb bardzo kwaśnych

Zmienna	Klasy gleb o odczynie bardzo kwaśnym*				Razem
	I >50%	II 30-50%	III 10-30%	IV <=10%	
Liczba gmin	176	220	509	1266	2171
Wskaźnik wrpp (punkty IUNG)	53,6 a	56,5 b	60,3 c	70,2 d	64,4
Udział GO (%)	70,3 a	71,3 a	75,3 b	84,0 c	78,9
Udział TUZ (%)	29,7 c	27,0 c	23,0 b	14,3 a	19,5
Powierzchnia zasiewów (%)	77,1 a	78,1 a	81,2 a	89,3 b	85,2
Udział zbóż w zasiewach (%)	79,5 ab	80,0 b	79,4 ab	77,4 a	78,3
Udział pszenicy (%)	6,1 a	8,2 a	12,1 b	23,9 c	12,8
Udział żyta (%)	27,7 c	23,7 c	17,2 b	8,7 a	12,8
Udział jęczmienia jarego (%)	1,8 a	2,8 a	3,9 b	8,9 c	6,3
Udział owsa (%)	13,0 c	10,9 c	7,4 b	3,4 a	5,4
Udział mieszanek zbożowych (%)	10,9 ab	12,3 b	12,9 b	8,0 a	9,7
Udział ziemniaka (%)	13,4 c	11,7 c	10,1 b	5,6 a	8,1
Udział buraka cukrowego (%)	0,0 a	0,0 a	0,1 a	1,1 b	0,2
Udział rzepaku (%)	0,0 a	0,0 a	0,0 a	2,3 b	0,5
Udział okopowych past. (%)	0,1 a	0,1 a	0,2 b	0,3 c	0,3
Udział motylkowatych past. (%)	0,2 a	0,3 ab	0,3 ab	0,4 b	0,3
Udział kukurydzy na kiszonkę (%)	0,6 a	0,7 a	0,8 a	0,9 a	0,8
Obsada zwierząt (DJP · 100 ha ⁻¹ UR)	47,7 b	43,9 ab	41,5 ab	40,1 a	41,6
Udział gospodarstw o dochodach z rolnictwa (%)	16,0 a	20,0 a	20,4 a	25,4 b	23,1
Udział gospodarstw o dochodach z emerytur i rent (%)	30,0 b	28,9 ab	28,1 ab	27,2 a	27,8
Prod. towarowa przeliczona na jedno gospodarstwo (tys. zł)	9,1 a	10,7 ab	14,9 b	27,0 c	18,5
Prod. towarowa przeliczona na 1 ha UR (tys. zł)	1,3 a	1,4 ab	1,5 b	2,1 c	1,8
Nakłady na prod. rolniczą (zł na 1 ha UR)	1067 b	1045 b	1068 b	931 a	990
Pow. gospodarstwa (ha)	6,0 a	6,6 a	6,7 a	8,5 b	7,4
Pow. UR w gospodarstwie (ha)	5,1 a	5,6 a	5,9 a	7,8 b	6,6
Udział gosp. z liczbą do 3 działek (%)	64,4 a	66,8 a	71,6 b	79,6 c	76,3
Udział gosp. z liczbą 4-5 działek (%)	17,2 c	14,5 c	11,9 b	8,5 a	10,0
Udział gosp. z liczbą 6 i więcej działek (%)	17,4 b	17,4 b	15,6 b	11,1 a	13,2
Gosp. stosujące nawozy azotowe (%)	52,7 b	53,2 b	51,4 b	47,3 a	49,4
Gosp. stosujące nawozy fosforowe (%)	35,7 a	36,0 a	34,0 a	32,9 a	33,4
Gosp. stosujące nawozy potasowe (%)	32,1 a	33,3 a	30,8 a	31,0 a	31,1
Gosp. stosujące nawozy wapniowe (%)	9,5 a	12,2 ab	12,9 b	15,0 c	13,5
Gosp. stosujące nawozy naturalne (%)	53,4 c	52,3 bc	48,8 b	39,7 a	44,5
Gosp. stosujące pestycydy ogółem (%)	56,3 ab	60,0 b	56,7 ab	53,1 a	54,5

* dla każdej zmiennej wartości w kolumnach oznaczone innymi literami różnią się istotnie

Źródło: Opracowanie własne.

bardzo kwaśnych nie może być opłacalna. Gminy z przewagą gleb o odczynie bardzo kwaśnym charakteryzują się znacznym odsetkiem odłogowanych gruntów (około 20%), a przeważająca część produkcji rolniczej gospodarstw położonych na tych terenach przeznaczona jest głównie na potrzeby własne. Produkcja zwierzęca, scharakteryzowana obsadą zwierząt wyrażoną w dużych jednostkach przeliczeniowych na 100 ha UR, jest istotnie wyższa w klasie I gmin (47,7) w porównaniu z klasą IV (40,1), a ponieważ udział trwałych użytków zielonych w strukturze użytków rolnych wynosi odpowiednio 29,7% i 14,3% prawdopodobnie to udział TUZ, stanowiących naturalną bazę paszową, przesądza o skali chowu zwierząt.

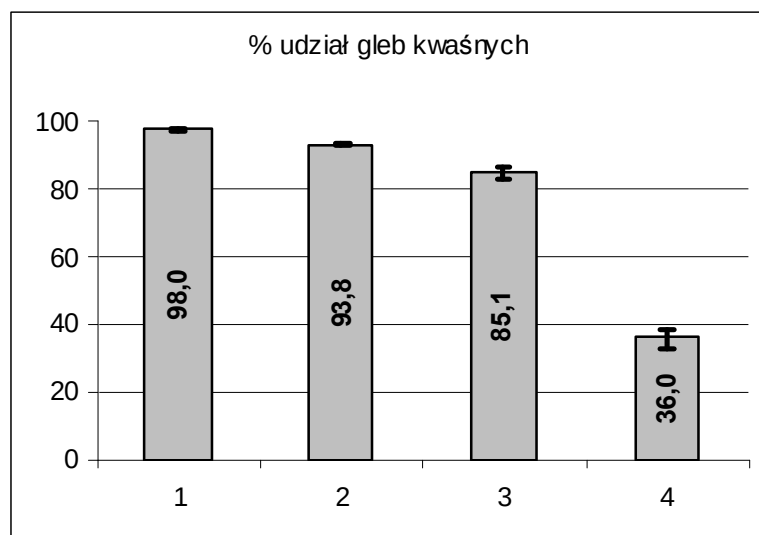
Należy również podkreślić, że nakłady na produkcję rolniczą są istotnie wyższe w gminach o obszarach niekorzystnych ze względu na odczyn gleb. Można to tłumaczyć zakupem pasz, bo jak stwierdzono powyżej obsada zwierząt w tej grupie gmin również jest istotnie wyższa i pomimo znacznego udziału TUZ istnieje konieczność uzupełnienia pasz poprzez ich zakup.

Z powodu braku danych dotyczących wielkości zużycia nawozów w skali gmin problem zróżnicowania nawożenia i zużycia środków ochrony roślin przedstawiono na podstawie procentowego udziału gospodarstw stosujących te środki. Istotne różnice w % udziale gospodarstw stosujących nawozy naturalne wynika w prosty sposób z omówionej powyżej produkcji zwierzęcej. Nawozy te stosuje ponad połowa gospodarstw w gminach obejmujących powyżej 30% gleb silnie zakwaszonych i niecałe 40% gospodarstw w gminach o najniższym udziale tych gleb. Odsetek gospodarstw stosujących nawozy fosforowe i potasowe jest stosunkowo niski (31-36% gospodarstw) i podobny we wszystkich klasach gleb: nieco wyższy był odsetek gospodarstw stosujących chemiczne środki ochrony roślin (50-60%). Nieoczekiwanie, odsetek gospodarstw stosujących nawozy azotowe okazał się istotnie wyższy w gminach o glebach silnie zakwaszonych, natomiast istotnie mniej gospodarstw stosowało tam nawozy wapniowe. Prawdopodobnie nawożeniem azotem rolnicy chcą częściowo zrekompenzować niską produktywność gleb, jednak w wyniku stosowania nawozów azotowych, bez wapnowania, zakwaszenie może się pogłębiać i w efekcie doprowadzić do degradacji chemicznej gleb.

Dodatkowo obliczono łączny % udział gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych w każdej z czterech klas gmin (rys. 2). Udział gleb o $\text{pH} < 5,5$ różni się istotnie między klasami, chociaż różnica między I i II klasą jest mniejsza od 5%, a udział gleb kwaśnych w obu klasach przekracza 90% powierzchni UR. Należy podkreślić, że nawet w IV klasie gmin, traktowanych jako tereny o dobrych warunkach przyrodniczych dla rolnictwa, odsetek gleb kwaśnych przekracza 1/3 powierzchni użytków rolnych.

Podsumowanie

Zakwaszenie gleb wynika z naturalnych ubytków wapnia na skutek pobierania go z plonem, wypłukiwania w głąb profilu, mineralizacji substancji organicznej, kwaśnych deszczy oraz niewłaściwej agrotechniki, zaś odczyn gleby można traktować jako podstawowy wskaźnik jej żyzności. Duży udział gleb kwaśnych w Polsce ogranicza pro-



Rys. 2. Udział gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych w klasach gmin o glebach silnie zakwaszonych
Źródło: Opracowanie własne.

dukcję roślinną, ujemnie wpływa nie tylko na poziom plonów, ale i na dobór uprawianych roślin. Ograniczenie uprawy roślin takich, jak: pszenica, jęczmień, burak cukrowy i rzepak zmniejsza wartość produkcji towarowej, implikuje niskie dochody gospodarstw rolnych i w efekcie powoduje konieczność „dorabiania” poza rolnictwem.

Gminy o glebach silnie zakwaszonych charakteryzuje niska ocena siedliska, mierzona wskaźnikiem bonitacji gleb i współczynnikiem waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej, oraz stosunkowo duży udział trwałych użytków zielonych, które stanowią naturalną bazę paszową dla chowu zwierząt. Znaczna część tych terenów należy do obszarów o niekorzystnych warunkach gospodarowania, głównie do strefy ONW II. Przeważają tu gospodarstwa mniejsze i rozdrobnione, prowadzące ekstensywną produkcję rolniczą, najczęściej na własne potrzeby. Należy również podkreślić, że w warunkach silnego zakwaszenia gleb stosowanie nawozów azotowych z jednoczesnym ograniczeniem wapnowania przyspiesza proces chemicznej degradacji gleb.

Na podstawie powyższych rozważań można wnioskować o niekorzystnym wpływie silnego zakwaszenia gleb na warunki i efekty gospodarki rolnej i zaliczyć obszary o glebach bardzo kwaśnych do terenów problemowych rolnictwa. Jednak to negatywne działanie obserwuje się nie tylko w gminach, w których powierzchnia gleb o odczynie bardzo kwaśnym przekracza 50%, ale i w gminach, gdzie gleby te przekraczają 30%. Dlatego do terenów problemowych rolnictwa należy zaliczyć obie grupy, czyli 396 gmin.

Literatura

1. Filipiek T.: Przyrodnicze i antropogeniczne przyczyny oraz skutki zakwaszenia gleb. Nawozy i Nawożenie, 2001, **3(8)**: 5-27
2. Filipiak K., Jadczyk J.: Kryteria wyboru i ocena obszarów problemowych rolnictwa w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2008, **12**: 103-111.
3. Fotyła M., Pietruch C z.: Aktualny stan zakwaszenia gleb i zapotrzebowanie na nawozy wapniowe w Polsce. Nawozy i Nawożenie, 2001, **3(8)**: 27-50.

Adres do korespondencji:

dr Krystyna Filipiak
Zakład Agrometeorologii i Zastosowań Informatyki
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel.: (081) 886 34 21
e-mail: filipiak@iung.pulawy.pl

**Grzegorz Siebielec, Tomasz Stuczyński, Henryk Terelak, Krystyna Filipiak, Piotr Koza,
Renata Korzeniowska-Puculek, Artur Łopatka, Jan Jadczyński**

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

**UWARUNKOWANIA PRODUKCJI ROLNICZEJ W REGIONACH
O DUŻYM UDZIAŁE GLEB ZANIECZYSZCZONYCH
METALAMI ŚLADOWYMI***

Wstęp

W dokumencie Europejskiej Ramowej Strategii Ochrony Gleb, opublikowanym w 2006 roku, zanieczyszczenie gleb zostało wymienione jako jedno z najpoważniejszych zjawisk degradacji i zagrożeń dla ich jakości. Spośród trwałych zanieczyszczeń gleb najbardziej powszechne jest zanieczyszczenie metalami śladowymi. Strategia zakłada konieczność wyznaczenia obszarów podlegających degradacji oraz określenia czynników sprawczych, skutków i sposobów przeciwdziałania negatywnym zmianom. W związku z tym problematykę zanieczyszczenia gleb metalami należy rozpatrywać wieloaspektowo, gdyż poza wpływem na funkcję produkcyjną gleb (wielkość i jakość plonu) może ono wpływać na bioróżnorodność siedliska, zdrowotność mieszkańców, a nawet sytuację organizacyjno-ekonomiczną regionu. Jednocześnie nieco inne podejście wymagane jest dla oceny zagadnień związanych z zanieczyszczeniem gleb w bezpośredniej bliskości emiterów na obszarach typowo przemysłowych i zanieczyszczeniem agroekosystemów, gdzie ekstremalnie wysokie zawartości metali nie występują.

W artykule podsumowano najistotniejsze aktualnie czynniki sprawcze zanieczyszczenia gleb, jego potencjalne skutki oraz występowanie obszarów zanieczyszczonych na użytkach rolnych Polski. Celem opracowania była również identyfikacja gmin o dużym udziale gleb zanieczyszczonych i charakterystyka uwarunkowań produkcji rolniczej w tych gminach.

Źródła zanieczyszczenia gleb metalami

Całkowita zawartość metali śladowych w glebie jest odzwierciedleniem tła naturalnego oraz dopływu metali ze źródeł antropogenicznych. Naturalna zawartość me-

* Opracowanie wykonano w ramach zadań 1.1 i 1.3 w programie wieloletnim IUNG - PIB

tali śladowych w glebie zależy od ich ilości w skale macierzystej, z której powstała gleba oraz od procesu glebotwórczego, ściśle związanego z warunkami klimatycznymi. Zależnie od cech klimatu oraz właściwości geochemicznych samego pierwiastka podlega on procesom wymywania w profilu glebowym lub akumulacji w wierzchniej warstwie gleby (17).

Istnieje wiele dróg, którymi metale śladowe pochodzenia antropogenicznego mogą trafiać do gleb. Globalnie jako najważniejsze źródła zanieczyszczenia gleb metalami określano w 20. wieku (3, 48):

1) przemysł i urbanizację, a w tym:

- przemysł górniczy i hutniczy,
- elektrownie,
- składowiska odpadów przemysłowych,
- ruch komunikacyjny;

2) zabiegi agrotechniczne, a w tym:

- nawozy mineralne, wapno,
- środki ochrony roślin,
- nawozy naturalne, organiczne i osady ściekowe,
- nawadnianie.

Obecnie znaczenie i skala oddziaływania wymienionych źródeł są różne. Zabiegi agrotechniczne jako źródło metali nie mają obecnie istotnego znaczenia dzięki przepisom dotyczącym zawartości metali w nawozach. W przeszłości pewne niebezpieczeństwo wiązało się ze stosunkowo wysoką zawartością Cd w nawozach fosforowych, wynikającą z obecności tego pierwiastka w surowcu do ich wytwarzania lub stosowaniem wapna odpadowego czy fosfogipsu, zawierających do kilkunastu mg Cd · kg⁻¹ (3, 24).

Zawartość metali w komunalnych osadach ściekowych może być znaczna (19, 23), jednak uregulowania prawne dotyczące stosowania osadów ściekowych w rolnictwie (25) redukują ryzyko wprowadzenia nadmiaru metali do gleby, o ile zapisy dotyczące dawki osadu i zawartości metali są skutecznie przestrzegane. Przy wzrastającej ilości wytwarzanych osadów ściekowych należy się spodziewać wzrostu skali wykorzystania osadów w rolnictwie, co może mieć wpływ na bilans metali śladowych w glebach; zagadnienie to będzie wymagało bardziej szczegółowych badań.

Badania na reprezentatywnej grupie osadów ściekowych z całego kraju wskazują, że niecałe 60% osadów ściekowych produkowanych w Polsce spełnia wszystkie wymagania odnośnie zawartości metali śladowych dla stosowania w rolnictwie (tab. 1). Co ciekawe, udział osadów o nadmiernej zawartości metali jest w przemysłowym regionie Górnego Śląska podobny jak w grupie referencyjnej, reprezentującej resztę kraju. Najwięcej przekroczeń zawartości kadmu odnotowuje się na Górnym Śląsku, podczas gdy przekroczenia zawartości niklu, chromu czy cynku nie wykazują geograficznych uwarunkowań.

Zanieczyszczenia gleb jako efekt ruchu komunikacyjnego wiązały się głównie z obecnością ołowiu w benzynach; powszechne wprowadzenie paliwa bezołowiowego ogranicza występowanie tego problemu.

Tabela 1

Udział osadów ściekowych spełniających kryteria zawartości metali śladowych dopuszczalne przy rolniczym stosowaniu osadów według rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie komunalnych osadów ściekowych z 2002 roku

Pierwiastek	Limit (mg · kg ⁻¹)	Udział osadów spełniających kryterium			
		Górny Śląsk (n = 32)		pozostały obszar kraju (n = 28)	
		liczba	%	liczba	%
Kadm	10	24	75	25	89
Nikiel	100	30	94	23	82
Miedź	800	32	100	28	100
Ołów	500	30	94	28	100
Chrom	500	30	94	24	86
Cynk	2500	25	78	20	71
Wszystkie metale	-	19	59	16	57

Źródło: Siebielec G. i Stuczyński T., 2007 (34).

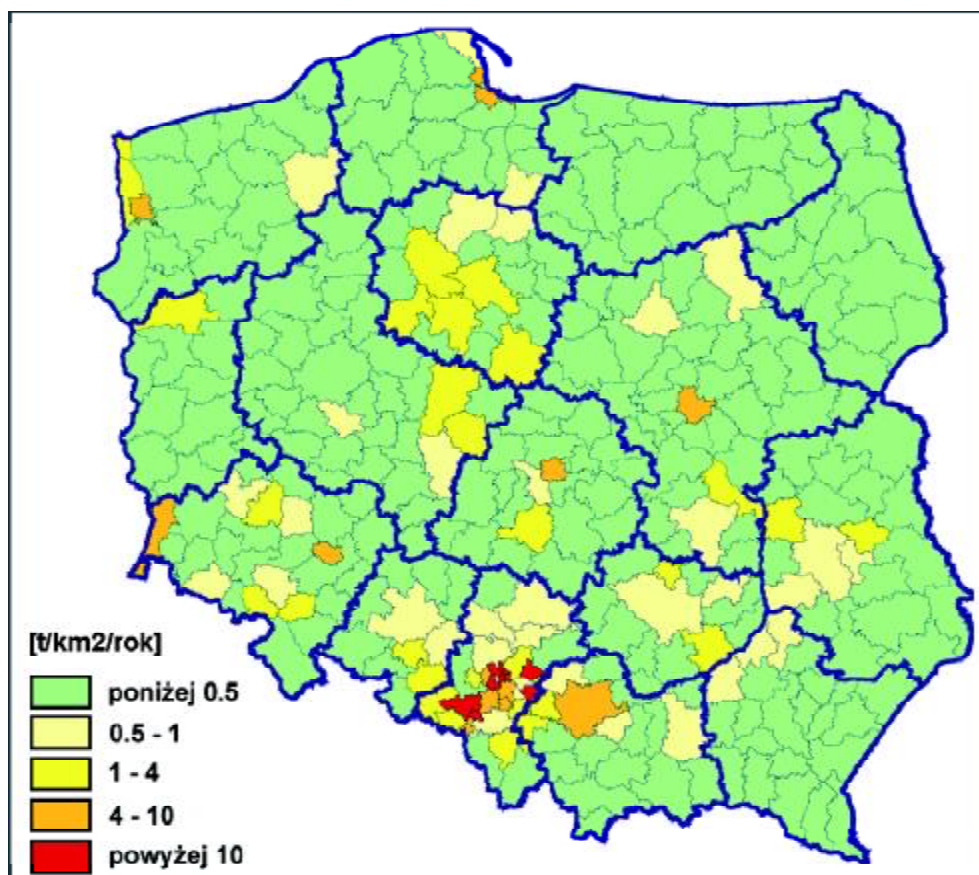
Spośród czynników antropogenicznych największy udział w zanieczyszczeniu gleb metalami mają emisje przemysłowe, związane z przemysłem górniczym i hutniczym oraz emisja wtórna z niezrekultywowanych składowisk odpadów przemysłowych. Zanieczyszczenia związane z działalnością przemysłową mają najczęściej charakter zanieczyszczeń obszarowych, które obejmują znaczne powierzchnie powstałe w wyniku oddziaływania pojedynczych źródeł o dużej emisji lub dużej liczby źródeł o mniejszej skali emisji. Emitowane zanieczyszczenia transportowane są często na bardzo duże odległości. Rozkład zagrożeń zanieczyszczeniami obszarowymi pomiędzy poszczególnymi regionami kraju jest zróżnicowany, a ich poziom w znacznym stopniu zależy od rodzaju i natężenia takich źródeł, jak: emisje zanieczyszczeń do powietrza, transport, zrzuty ścieków, jakość odpadów itp. Imisja zanieczyszczeń z tych źródeł jest procesem powolnym, jednak zachodzącym stale, co prowadzi do stopniowej ich akumulacji w glebach.

Największe zagrożenia zanieczyszczeniami obszarowymi występują w regionach o największej emisji zanieczyszczeń pyłowych do atmosfery (rys. 1).

Pewnym zobrazowaniem przestrzennym antropopresji może być również rozkład ilości ścieków przemysłowych odprowadzanych do wód i ziemi w poszczególnych powiatach (rys. 2). Metale zawarte w ściekach mają wpływ na stan chemicznej degradacji gleb dolin rzecznych.

Istotnym źródłem zanieczyszczenia gleb metalami śladowymi są nieustabilizowane składowiska odpadów pohutniczych rozproszone wśród terenów przemysłowych i rolnych, głównie w regionie śląskim (rys. 3). Brak pokrywy roślinnej powoduje migrację metali do gleb otaczających składowiska na drodze erozji wietrznej i wodnej. Procesy naturalnej sukcesji roślin odpornych na zanieczyszczenie metalami zachodzą powoli i nie zapewniają ochrony przed dyspersją metali w środowisku (rys. 4).

Należy wspomnieć, że metale śladowe w glebie mogą pochodzić również ze skały macierzystej zasobnej w te pierwiastki. Przykładami mogą być nieliczne występujące



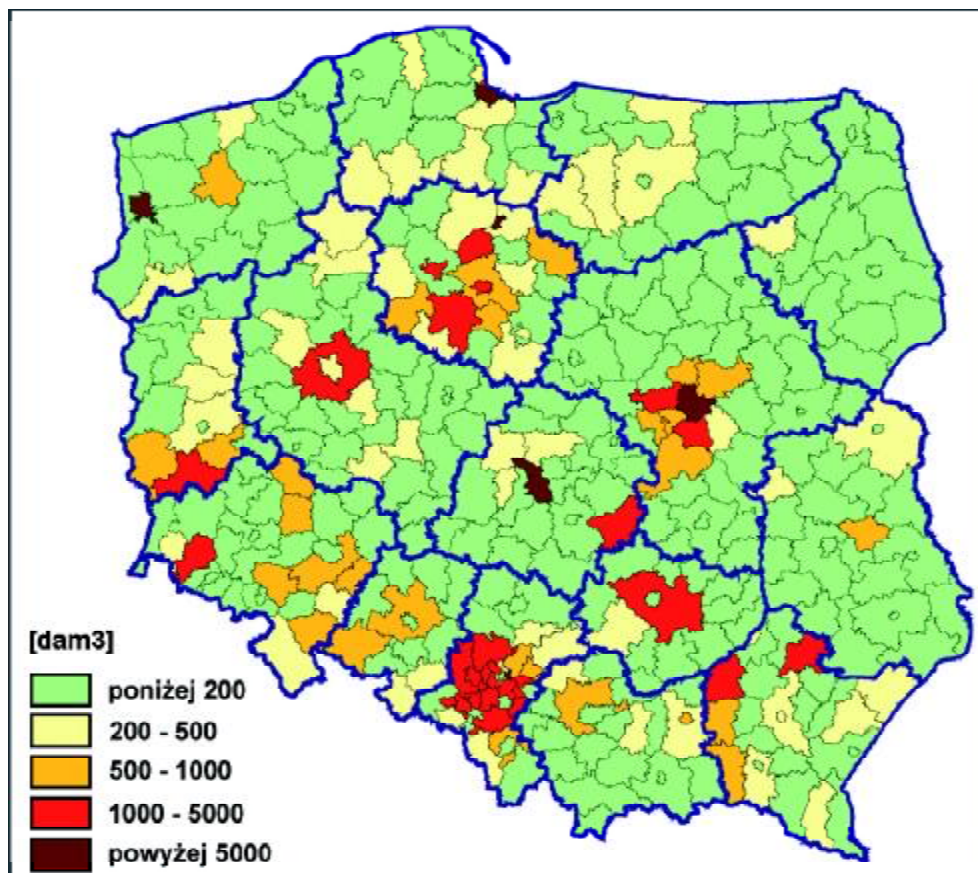
Rys. 1. Przestrzenny rozkład emisji zanieczyszczeń pyłowych z zakładów szczególnie uciążliwych na podstawie danych GUS z 2002 roku

Źródło: Stuczyński T. i in., 2006 (41).

w Polsce gleby serpentynowe, o wysokiej zawartości niklu, gleby powstałe na wychodniach skał rud cynku i ołowiu na Górnym Śląsku lub występujące punktowo podwyższone zawartości ołowiu na nieprzemysłowych obszarach województwa dolnośląskiego (40). W takim przypadku, nawet jeśli występują przekroczenia dopuszczalnych zawartości metali w glebie trudno mówić o zanieczyszczeniu gleb. Metale pochodzące ze skały macierzystej gleb mają z reguły znacznie mniejszą rozpuszczalność niż metale pochodzące z zanieczyszczeń antropogenicznych.

Potencjalne skutki zanieczyszczenia dla produkcji rolniczej

Zanieczyszczenie gleb metalami może mieć wpływ na ich przydatność rolniczą i potencjał produkcyjny, właściwości biologiczne oraz jakość produktów rolnych. Konsekwencją zanieczyszczenia gleb są zagrożenia związane z ich migracją do innych kom-



Rys. 2. Ścieki wymagające oczyszczania odprowadzone do wód powierzchniowych lub do ziemi w gminach na podstawie danych GUS z 2002 roku
Źródło: Stuczyński T. i in., 2006 (41).

ponentów środowiska – wody i powietrza. Szkodliwość metali śladowych wprowadzonych do gleby wiąże się z ich oddziaływaniem na procesy biologiczne zachodzące w glebie oraz z ich nadmiernym pobieraniem przez rośliny (1, 2). Zanieczyszczenie gleb metalami może ograniczać intensywność procesów obiegu materii w glebie wywoływanych przez mikroorganizmy, takich jak humifikacja i mineralizacja materii organicznej lub przemiany azotu, fosforu i siarki. Negatywne oddziaływanie zanieczyszczenia na aktywność lub liczebność mikroorganizmów stwierdzano najczęściej w bezpośredniej bliskości hut, przy bardzo dużej zawartości metali, takich jak cynk lub miedź (11, 15).

Zagadnienie wpływu zanieczyszczenia metalami gleb użytkowanych rolniczo, gdzie ekstremalnie wysoka zawartość metali najczęściej nie występuje, nie jest w pełni rozpoznane. Badania aktywności różnorodnych procesów mikrobiologicznych na reprezentatywnej grupie zanieczyszczonych gleb użytkowanych rolniczo w rejonie Tar-



Rys. 3. Składowisko cynkowo-olowiowych odpadów pchutniczych (żużli) w Piekarach Śląskich
Źródło: Dokumentacja własna.

nowskich Gór wskazują na brak zależności pomiędzy zawartością metali a mierzonymi parametrami aktywności – aktywnością enzymów, oddychaniem czy wielkością biomasy (36). Najwidoczniej poziom zawartości metali i formy w jakich występują w tych długotrwale zanieczyszczonych glebach nie ograniczają ogólnej aktywności mierzonej takimi parametrami, jak oddychanie gleby lub aktywność enzymów. Ponadto mikroorganizmy wykazują mechanizmy przystosowawcze do warunków stresowych (7). Prawdopodobnie zmienia się struktura populacji mikroorganizmów, choć niezauważalny jest spadek ogólnej aktywności. Można oczekiwać, że w określonych sytuacjach ograniczeniu może ulegać aktywność procesów wrażliwych, takich jak np. nityfikacja. Zmiany w strukturze populacji mikroorganizmów wynikające z toksyczności dla najbardziej wrażliwych szczepów mogą ograniczać bioróżnorodność danego ekosystemu glebowego.

Wpływ zanieczyszczenia gleb metalami na organizmy glebowe, takie jak dżdżownice nie jest w pełni rozpoznany. Dotychczasowe badania koncentrowały się najczęściej na ocenie wpływu metali dodawanych w postaci **solii na aktywność i rozwój organizmów**. Nawet niska zawartość ołowiu wprowadzonego w postaci soli metalu oddziałuje toksycznie na dżdżownice (30). Ocena wpływu zanieczyszczenia gleb metalami na rozwój dżdżownic w warunkach rzeczywistych jest znacznie trudniejsza.



Rys. 4. Naturalna sukcesja roślin na składowisku odpadów pohutniczych w Piekarach Śląskich
Źródło: Dokumentacja własna.

Potencjalnie zanieczyszczenie może ograniczać aktywność fauny glebowej, a także zwiększać transfer metali do łańcucha pokarmowego poprzez te organizmy.

Negatywny wpływ metali śladowych na rośliny uprawne może objawiać się toksycznością, powodującą ograniczenie wzrostu roślin i ich plonowania, a także obniżeniem jakości plonu na skutek nagromadzenia nadmiernych ilości metali z punktu widzenia bezpieczeństwa żywieniowego. Występowanie symptomów toksyczności dla roślin w glebach użytkowanych rolniczo nie jest w Polsce powszechne. Dotyczą zazwyczaj gleb bardzo silnie zanieczyszczonych w pobliżu dawnych instalacji przemysłowych czy składowisk odpadów pohutniczych lub silnie zanieczyszczonych gleb kwaśnych. W badaniach reakcji roślin na zanieczyszczenia w 40 różnych glebach z rejonu Tarnowskich Gór praktycznie nie stwierdzono ograniczenia wzrostu roślin pomimo wysokich całkowitych zawartości metali w większości gleb (31). Zahamowanie wzrostu roślin wystąpiło jedynie na kilku średnio zanieczyszczonych glebach kwaśnych, gdzie słaby ich rozwój wynikał z dużej mobilności metali i wpływu samego odczynu.

Znacznie bardziej istotny problem stanowi jakość jadalnych części roślin uprawianych na glebach zanieczyszczonych. Na gruntach ornych rozmieszczonych wokół przemysłowych terenów województwa śląskiego znaczne przekroczenia dopuszczalnych zawartości kadmu i ołowiu w roślinach są dość powszechne (9, 31). Kadm jest

dość łatwo pobierany przez rośliny i transportowany do ich części nadziemnych w przeciwieństwie do ołowiu (3). Znaczne ilości ołowiu mogą być akumulowane w korzeniach roślin, natomiast jego nadmiar w częściach nadziemnych najczęściej wynika z zanieczyszczenia roślin pyłem lub jest powodowany przez glebę zasobną w ten pierwiastek.

Odrębne zagadnienie stanowi zawartość kadmu w plonach roślin uprawianych na glebach niezanieczyszczonych, w rolniczych regionach kraju. Badania obejmujące około 35 tysięcy próbek roślinnych pobranych na terenie całego kraju (45) wskazują na przekroczenia dopuszczalnych zawartości kadmu w roślinach zbożowych i okopowych, nawet na glebach klasyfikowanych jako niezanieczyszczone (tab. 2). W dużej mierze za zjawisko to odpowiedzialne jest zakwaszenie gleb dużych obszarów użytków rolnych Polski. Przekroczenia te nie wiążą się z zagrożeniem dla zdrowotności populacji, natomiast mogą stanowić realną trudność w spełnianiu kryteriów jakości określonych dla płodów rolnych. S t u c z y ń s k i i in. (42) wskazują na potrzebę uwzględnienia właściwości gleb w ocenie stanu zanieczyszczenia oraz na konieczność szerszej dyskusji na temat wartości progowych i metod analizy ryzyka.

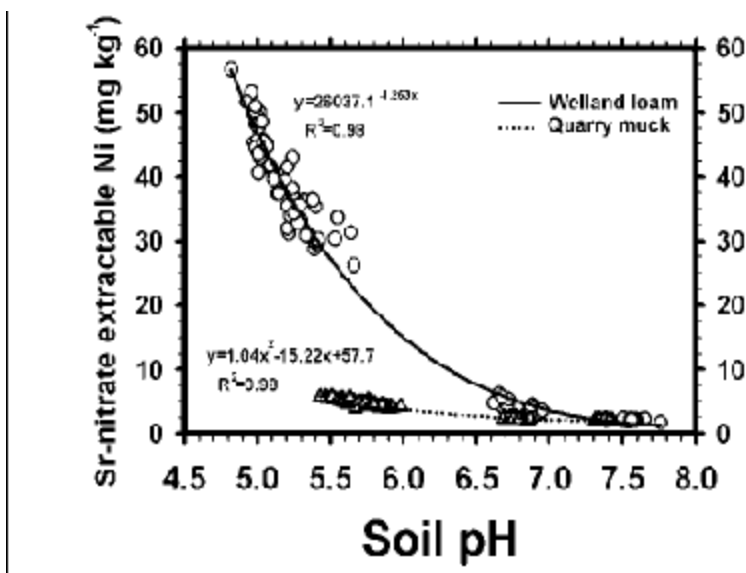
Decydujące znaczenie dla środowiskowych skutków zanieczyszczenia gleb ma mobilność metali zawartych w glebie i ich dostępność dla roślin i organizmów glebowych. Metale śladowe występują w glebie w różnych formach. Całkowita zawartość metali w glebie obejmuje różne frakcje charakteryzujące się zróżnicowaną dostępnością dla roślin. Rośliny pobierają metale znajdujące się w roztworze glebowym, które pozostają w stanie równowagi z frakcjami związanymi ze stałą fazą gleby wskutek procesów adsorpcji, wymiany, kompleksowania lub wytrącania (22). Spośród właściwości gleb największy wpływ na dostępność metali śladowych mają odczyn i pojemność sorpcyjna. Na ogół dostępność Zn, Pb i Cd zmniejsza się wraz ze wzrostem pH, przynajmniej w zakresie wartości pH spotykanych w glebach (rys. 5), co wiąże się głównie ze zwiększoną adsorpcją i wytrącaniem w środowisku o odczynie obojętnym i zasadowym (27, 28, 32).

Tabela 2

Procentowy udział grup roślin spełniających kryteria jakości pod względem zawartości kadmu, według wytycznych IUNG w poszczególnych klasach zanieczyszczenia gleb tym pierwiastkiem

Stopień zanieczyszczenia gleb	Przydatność rośliny		
	konsumpcyjna	paszowa	pozostałe
0	75,6	21,3	3,1
I	47,1	39,7	13,2
II	21,8	50,1	28,1
III	11,2	43,9	44,9
IV	8,0	47,6	44,4
V	0	44,0	56,0
Razem	72,2	23,4	4,4

Źródło: Stuczyński T. i in., 2007 (42).



Rys. 5. Zależność pomiędzy odczynem gleby i rozpuszczalnością niklu w glebie organicznej (Quarry muck) i mineralnej (Welland loam)

Źródło: Siebielec G. i Chaney R. L., 2006 (32).

Pojemność sorpcyjna gleby związana jest ze składem granulometrycznym i mineralogicznym oraz zawartością materii organicznej. Najczęściej dostępność Zn, Pb i Cd jest niższa w glebach cięższych i o większej zawartości materii organicznej, choć niektóre połączenia metali ze związkami organicznymi mogą zwiększać ich rozpuszczalność (27).

Koncentracja innych pierwiastków ma wpływ na dostępność Zn, Pb i Cd dla roślin zarówno poprzez interakcje z tymi metalami, jak i poprzez wpływ na ich aktywność w roztworze glebowym. Podwyższona zawartość fosforu w glebie obniża pobieranie Zn i Cd, a Zn ogranicza pobieranie Cd. Fosfor ogranicza pobieranie ołowiu poprzez wytrącanie nierozpuszczalnych fosforanów w glebie lub na powierzchni korzeni (6, 37). Stwierdzono również, że podwyższona zawartość chlorków w glebie zwiększa pobieranie kadmu (20, 38).

Zachowanie się metali pochodzenia antropogenicznego w glebie zależy w dużym stopniu od formy w jakiej dostają się one do gleby, np. opad pyłu z atmosfery wnosi metale w formie tlenków, węglanów bądź siarczanów. Metale pochodzące z pyłów hutniczych są dość łatwo dostępne, natomiast metale, które dostają się do gleby wraz z osadami ściekowymi są mniej przyswajalne dla roślin (4, 28). Najmniej dostępne są metale pochodzące ze skały macierzystej gleby, ponieważ w dużej części pozostają w sieci krystalicznej minerałów pierwotnych (35).

Oprócz zagrożenia środowiskowego duży udział gleb zanieczyszczonych powoduje ograniczenia dla produkcji rolniczej, wpływające na sytuację społeczno-ekonomiczną i konieczność poszukiwania alternatywnych sposobów wykorzystania gruntów.

Kryteria oceny stanu zanieczyszczenia gleb

Kryteria oceny zanieczyszczenia gleb metalami śladowymi i innymi substancjami są w naszym kraju uregulowane rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (26). Określono w nim dopuszczalne zawartości substancji szkodliwych, w tym metali śladowych, z uwzględnieniem typu użytkowania ziemi. Podane w rozporządzeniu standardy wprowadzają podział gleb i ziemi na „nie zanieczyszczone” i „zanieczyszczone” (o zawartości metalu wyższej niż dopuszczalna). W tabeli 3 przedstawiono dopuszczalne zawartości metali śladowych dla różnych typów użytkowania ziemi.

Z uwagi na fakt, że rozporządzenie nie określa stanów pośrednich w celu bardziej miarodajnej oceny ryzyka akumulacji metali w roślinach często dodatkowo uwzględniany jest sposób oceny zanieczyszczenia gleb metalami opracowany przez IUNG (18). Wytyczne te uwzględniają właściwości gleb decydujące o mobilności metali w środowisku (odczyn, materia organiczna, skład granulometryczny) i klasyfikują gleby według 6 tzw. stopni zanieczyszczenia; progi dla poszczególnych stopni są ustalone w sposób odzwierciedlający ryzyko akumulacji kadmu, cynku, ołowiu, miedzi i niklu w roślinach uprawnych.

W badaniach naukowych do oceny skutków zanieczyszczenia gleb często stosuje się ekstrakcje mało stężonymi roztworami soli neutralnych, takich jak chlorek wapnia lub azotan wapnia. Frakcje metali wymywane tymi roztworami stanowią dobrą miarę dostępności metali dla roślin (21, 31, 33). Celowe wydaje się włączenie takich oznaczeń do praktycznych badań środowiskowych i analiz ryzyka.

Tabela 3

Zawartości graniczne wybranych pierwiastków śladowych w powierzchniowej warstwie gleby (mg/kg) według rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi

Pierwiastek	Obszary chronione	Użytki rolnicze	Tereny przemysłowe
Arsen	20	20	60
Chrom	50	150	500
Cynk	100	300	1000
Kadm	1	4	15
Kobalt	20	20	200
Miedź	30	150	600
Molibden	10	10	250
Nikiel	35	100	300
Ołów	50	100	600
Rtęć	0,5	2	30

Źródło: Dz. U. Nr 165, poz. 1359 (26).

Stan zanieczyszczenia gleb metalami w Polsce

Informacje na temat stanu zanieczyszczenia gleb w Polsce pochodzą z wyników programu monitoringu gleb użytkowanych rolniczo, realizowanego w IUNG w Puławach w latach 1992–1997 (47). Program ten obejmował ponad 45 tysięcy punktów poboru próbek glebowych na terenach użytkowanych rolniczo w całym kraju. Oznaczenia właściwości gleb i zawartości zanieczyszczeń były prowadzone w Okręgowych Stacjach Chemiczno-Rolniczych i opracowywane w IUNG (47).

Na podstawie danych monitoringowych należy stwierdzić, że według aktualnie obowiązujących w Polsce przepisów prawnych (26) ponad 99% powierzchni użytków rolnych w skali kraju spełnia kryteria zawartości metali wymagane dla gleb rolnych (rys. 6, tab. 4). W najbardziej uprzemysłowionym woj. śląskim, w przypadku takich pierwiastków, jak kadm, cynk i ołów, gleby zanieczyszczone stanowią od 5 do 10% gleb użytkowanych rolniczo. Fakt ten związany jest z oddziaływaniem przemysłu wydobywczego i przetwórczego rud cynku i ołowiu zlokalizowanego w wielu miastach regionu. Wyższe zawartości metali na poziomie przekraczającym wartości progowe występują także w pojedynczych punktach badawczych w glebach innych regionów historycznie obciążonych skutkami wydobywania i przeróbki rud metali (Głogów, Lubin). W niektórych przypadkach przekroczenia dopuszczalnych zawartości wyni-



Rys. 6. Zanieczyszczenie gleb kadmem według kryteriów IUNG

Źródło: Terelak H. i in., 1999 (46).

Tabela 4

Udział gleb niezanieczyszczonych według kryteriów zawartych w rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi w poszczególnych województwach

Województwo	Udział gleb niezanieczyszczonych (%)				
	miedź	nikiel	ołów	cynk	kadm
Dolnośląskie	99,67	99,87	99,47	99,44	100,00
Kujawsko-pomorskie	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Lubelskie	99,95	100,00	99,92	100,00	99,95
Lubuskie	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Łódzkie	99,91	100,00	99,78	99,53	99,81
Małopolskie	99,96	99,75	97,33	98,79	99,25
Mazowieckie	100,00	100,00	99,98	99,98	100,00
Opolskie	99,94	100,00	99,69	99,57	99,57
Podkarpackie	99,96	99,96	99,96	100,00	99,96
Podlaskie	100,00	99,96	99,96	99,96	100,00
Pomorskie	99,95	100,00	99,91	99,95	99,91
Śląskie	100,00	99,81	90,19	91,69	94,37
Świętokrzyskie	100,00	100,00	99,95	100,00	99,95
Warmińsko-mazurskie	100,00	99,97	99,93	99,90	100,00
Wielkopolskie	100,00	100,00	99,89	99,82	99,98
Zachodniopomorskie	100,00	100,00	99,96	99,89	100,00
Polska	99,96	99,96	99,31	99,43	99,66

Źródło: Stuczyński T. i in., 2005 (41) na podstawie danych monitoringowych – Terelak H. i in., 1999 (45).

kają także z naturalnie wysokiego poziomu metali w glebach powstałych ze skały macierzystej o dużym udziale tych pierwiastków.

Stosując kryteria IUNG ocenia się, że udział gleb rolnych niezanieczyszczonych takimi pierwiastkami, jak: kadm, cynk, ołów, miedź i nikiel przekracza 98% wszystkich gleb.

Bardziej szczegółowe badania próbek glebowych potwierdziły brak obszarów zanieczyszczonych w niektórych regionach typowo rolniczych (woj. podlaskie) oraz niewielki udział takich gleb (poniżej 1% wszystkich gleb) w regionach nieco bardziej uprzemysłowionych (woj. dolnośląskie); (39, 40). Należy podkreślić, że nawet w regionach przemysłowych zdecydowana większość gleb użytków rolnych nadaje się do uprawy roślin, a ryzyko nadmiernej akumulacji metali w roślinach jest ograniczone i ma charakter lokalny. Stwierdzone lokalnie przekroczenia standardów jakości gleb powinny być przedmiotem badań szczegółowych, w celu określenia zasięgu obszarów ryzyka i opracowania zasad użytkowania zapewniających eliminację zagrożeń.

Dość liczne badania nad zanieczyszczeniem gleb regionów o charakterze przemysłowym koncentrowały się głównie na ocenie wpływu hut metali nieżelaznych na glebę. Największe zainteresowanie dotychczas dotyczyło Górnego Śląska z hutnictwem cynku i ołowiu oraz Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego. W regionie Górnego Śląska kilka opracowań dotyczyło rejonu Tarnowskich Gór, od stuleci ośrodka

górnictwa i przeróbki rud cynku i ołowiu. W badaniach przeprowadzonych na przełomie lat 80. i 90. ubiegłego stulecia na glebach wykorzystywanych głównie rolniczo i ogrodniczo (9, 14) stwierdzono duży udział gleb o zawartościach kadmu, cynku i ołowiu znacznie przewyższających zawartości naturalne, spotykane w glebach nieznajdujących się pod wpływem antropopresji. W ponad 25% miejsc stwierdzono zawartości przekraczające obecne wartości graniczne dla kadmu ustalone dla rolniczego użytkowania ($4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) oraz w ponad 5% miejsc przekraczające limity dla gleb terenów przemysłowych ($15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$); (9). Podobną sytuację zaobserwowano w przypadku ołowiu i cynku. Zawartości niklu, chromu i miedzi były z reguły na poziomie naturalnych zawartości dla gleb regionu.

Gleby w bezpośredniej bliskości emiterów pyłów pohutniczych zostały silnie zanieczyszczone (10), przy czym badania zwykle dotyczyły obszaru strefy ochronnej wokół zakładów lub odległości nie większej niż kilka kilometrów. Zawartości cynku i ołowiu dochodziły do kilku, a nawet kilkunastu tysięcy $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ w obrębie kilkuset metrów od emiterów pyłów. Liczne badania w rejonie oddziaływania hut Miasteczko Śląskie i Bolesław potwierdziły dominujący wpływ opadu pyłów na rozmiar zanieczyszczenia, o czym świadczyło zmniejszanie się zawartości Zn, Pb i Cd wraz z głębokością, a także zależność zawartości od odległości od huty oraz wielkości opadu pyłów (10). Najściślejszą zależność od odległości wykazano dla ołowiu (49), który jest mniej mobilny niż kadm i cynk; w mniejszym stopniu podlegał więc wymywaniu w głąb profilu gleby. Ponadto najwyższe zawartości stwierdzono w glebach rędzinowych o najwyższym pH, a co za tym idzie największej zdolności unieruchamiania metali (49). Najwyższe zawartości metali występowały w glebach cięższych, o czym świadczą korelacje całkowitych zawartości metali z zawartością części spławialnych, potwierdzone w późniejszych badaniach (31).

Brak jest aktualnych danych na temat dostępności metali w glebach terenów pod oddziaływaniem hutnictwa rud cynku i ołowiu. Badania takie nie były na większą skalę wykonywane, a oceny przeprowadzone w pobliżu niektórych obiektów w latach 70. nie mają obecnie zastosowania, gdyż wykonywano je w latach intensywnego opadu pyłów zawierających metale w dość mobilnej formie. W późniejszych badaniach dotyczących gleb z rejonu Tarnowskich Gór analizy sekwencyjne wykazały, że metale w tych glebach występują w formach stosunkowo słabo rozpuszczalnych (5, 36). Nierozpoznany dotychczas jest stan zanieczyszczenia gleb wokół składowisk odpadów pohutniczych na Górnym Śląsku. Niezrekultywowane składowiska odpadów zawierających do kilku procent cynku i ołowiu stanowią realne źródło wtórnej dyspersji zanieczyszczeń (43).

Podsumowując, dostępne dane świadczą o wysokich całkowitych zawartościach metali w glebach na obszarach bezpośredniego oddziaływania hut cynku i ołowiu, traktowanych niezależnie od przyjętych kryteriów jako zanieczyszczone. Należy jednak zaznaczyć, że z reguły najwyższe zawartości spotykane są w glebach o odczynie obojętnym lub alkalicznym i dużej pojemności sorpcyjnej, co decyduje o ograniczonej mobilności i biodostępności metali. Ponadto najwyższe zawartości stwierdza się w pobliżu emiterów zanieczyszczeń (np. hut).

Badania wykonane dotychczas na terenach oddziaływania hut miedzi w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym (LGOM) wykazały kumulację miedzi i innych metali w glebach w bezpośredniej bliskości hut. W odległości kilkuset metrów od emiterów zawartości miedzi i ołowiu dochodziły do kilku tysięcy mg/kg gleby. W znacznie mniejszym stopniu gleby te uległy zanieczyszczeniu cynkiem. W glebach o stosunkowo dużej zawartości materii organicznej miedź i ołów kumulowały się w poziomach powierzchniowych przy ograniczonym przemieszczaniu się do warstw głębszych (29, 44).

Podobnie jak w przypadku hut cynku i ołowiu na Górnym Śląsku nie są znane dokładne i aktualne zasięgi zanieczyszczeń wokół hut miedzi. D r o z d i in. (8) wykazali w I połowie lat 80. dużą zmienność zasięgu i stopnia zanieczyszczenia w zależności od kierunku. Zawartości miedzi powyżej obecnego limitu dla obszarów przemysłowych ($>600 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$); (26) oznaczano w próbkach z miejsc położonych nie dalej niż 900-1800 metrów od huty. Aktualne badania wykazały zawartości miedzi na poziomie $200\text{-}300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ w odległości 3-5 km od Huty Głogów (16). Wartości te nie przekraczają zawartości granicznych dla terenów przemysłowych (26). Zawartość miedzi w odległości 0,5 km od huty dochodziła do ponad $1000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Produkcja rolnicza na terenach o dużym udziale gleb zanieczyszczonych

Wykorzystując dane środowiskowe oraz społeczno-ekonomiczne pozyskane z Głównego Urzędu Statystycznego (13) scharakteryzowano warunki produkcji rolniczej w gminach o dużym udziale gleb zanieczyszczonych. Do oceny zakwalifikowano gminy o udziale zanieczyszczonych gleb użytków rolnych, według kryteriów rozporządzenia w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (26), większym niż 5% wszystkich użytków rolnych. Udział gleb zanieczyszczonych został oszacowany na podstawie cyfrowych map zanieczyszczenia gleb użytków rolnych Polski wytworzonych poprzez interpolację punktowych danych monitoringowych. W 10 gminach udział gleb zanieczyszczonych wynosi ponad 50% użytków rolnych, a w 34 gminach jest większy niż 5% użytków rolnych. Występowanie takich gmin stwierdzono w 5 województwach, przy czym najwięcej w województwie śląskim i małopolskim (tab. 5). Rozkład przestrzenny gmin o dużym udziale gleb zanieczyszczonych przedstawiono na rysunku 7.

Użytki rolne w gminach w grupach 10-30% i ponad 50% gleb zanieczyszczonych zajmują nie więcej niż 45% całkowitej powierzchni gmin, tj. nieco mniej niż wynosi udział użytków rolnych w Polsce – 50,9% (13); (tab. 6). Gminy te nie mają zatem w pełni rolniczego charakteru. Użytki rolne to w zdecydowanej większości grunty orne stanowiące ponad 75% powierzchni. Pastwiska zajmują jedynie 2-3,8% użytków rolnych. Mały udział pastwisk jest korzystny, gdyż użytkowanie pastwiskowe zwiększa ryzyko transferu metali do organizmów zwierząt. Zwraca uwagę duży udział odłogowanych użytków rolnych, stanowiący ponad 20% całkowitej powierzchni w każdej z grup gmin (tab. 6), przy średniej dla kraju 5,1% (13). Fakt ten świadczy o poszuki-

Tabela 5

Liczba gmin o udziale gleb zanieczyszczonych powyżej 5% powierzchni użytków rolnych

Województwo	Udział zanieczyszczonych użytków rolnych (%)				
	>50	30-50	10-30	5-10	<5
Dolnośląskie	0	0	1	1	131
Małopolskie	4	0	3	7	152
Opolskie	0	0	0	2	66
Śląskie	6	4	2	3	103
Łódzkie	0	0	1	0	158
Razem	10	4	7	13	2150

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 6

Struktura użytkowania gruntów w gminach o dużym udziale gleb zanieczyszczonych

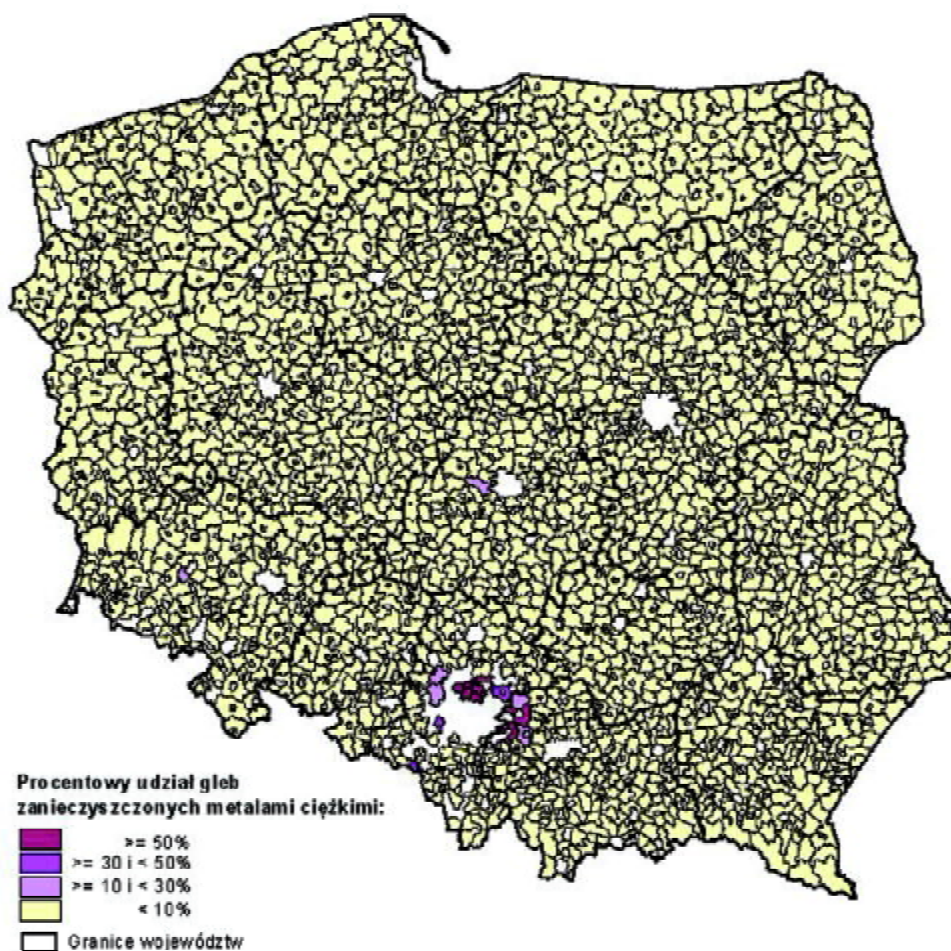
Sposób użytkowania	Udział zanieczyszczonych użytków rolnych (%)		
	>50	30-50	10-30
Użytki rolne (% pow.)	43,5	65,5	45,1
Grunty orne (% UR)	74,6	76,8	81,3
Łąki (% UR)	22,1	18,8	14,2
Pastwiska (% UR)	2,0	3,3	3,8
Odłogi (% UR)	32,5	24,3	24,8

Źródło: Opracowanie własne.

waniu alternatywnych źródeł utrzymania przez mieszkańców wsi. Wydaje się, że niezbędne są analizy przestrzenne w celu określenia czy w gminach tych preferencyjnie wyłączane są z produkcji rolniczej użytki na glebach zanieczyszczonych.

Gminy o największym udziale gleb zanieczyszczonych (powyżej 50%) charakteryzuje dość niski potencjał produkcji rolniczej, wyrażony syntetycznym wskaźnikiem waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej (WWRPP) – 58,3. Pozostałe analizowane gminy, z przedziału 5-50% gleb zanieczyszczonych, posiadają nieco lepsze warunki siedliskowe, bowiem średni WWRPP wynosi ponad 65 punktów (tab. 7). Średnie plony zbóż, poza gminą Krotoszyce w województwie dolnośląskim o bardzo wysokim wskaźniku WRPP – 92,8 – są stosunkowo niskie. Mimo to istnieje zależność pomiędzy wskaźnikiem WRPP a średnim plonem zbóż, co może wskazywać, że zanieczyszczenie gleb nie ogranicza potencjału plonotwórczego gleb w analizowanych gminach (rys. 8). Stosunkowo niskie plony wynikają zapewne z małych nakładów na produkcję rolniczą. Odrębnym zagadnieniem jest oczywiście jakość uzyskiwanego plonu.

W analizowanych gminach nieznaczny odsetek stanowią gleby o bardzo niskiej zawartości materii organicznej (poniżej 1%), co ogranicza negatywne skutki zanieczyszczenia; w uproszczeniu można stwierdzić, że im większa zawartość materii organicznej tym niższa biodostępność metali. Wielce niekorzystnym zjawiskiem jest na-

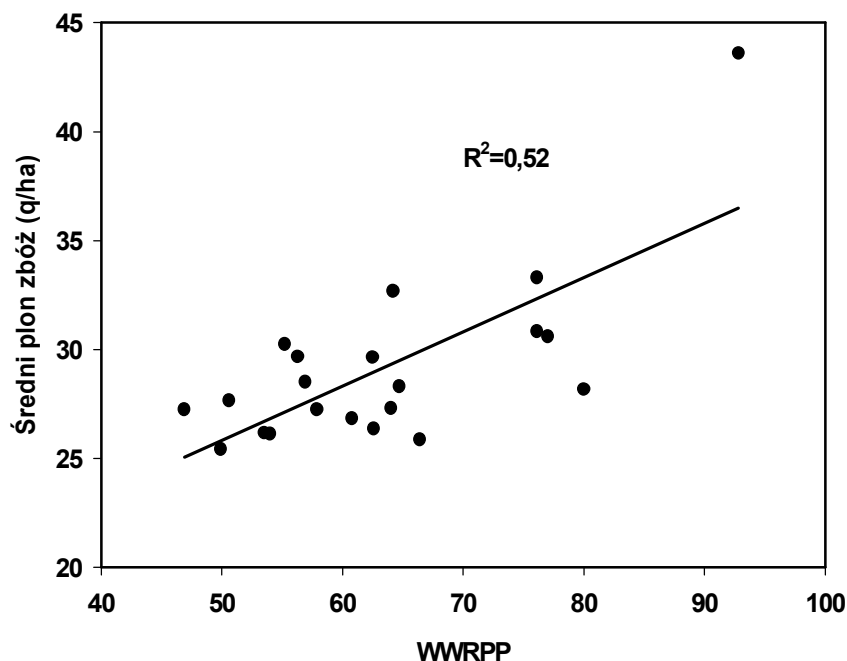


Rys. 7. Rozkład przestrzenny gmin o udziale gleb zanieczyszczonych przekraczającym 10% powierzchni użytków rolnych

Źródło: Opracowanie własne.

tomiast duży udział gleb kwaśnych w tych gminach, co zwiększa ryzyko migracji metali do łańcucha pokarmowego (tab. 7).

Analiza struktury zasiewów w gminach o dużym udziale gleb zanieczyszczonych wskazuje, że ponad 70% całkowitej powierzchni upraw stanowią zboża, w tym 20-30% zajmuje pszenica. Żyto zajmuje 5-15% powierzchni wszystkich upraw. Należy zaznaczyć, że uprawa pszenicy na glebach zanieczyszczonych niesie nieco większe ryzyko transferu kadmu do łańcucha pokarmowego, gdyż gatunek ten w tych samych warunkach z reguły gromadzi więcej kadmu w ziarnie niż żyto (Grabiński i Stuczyński, dane niepubl.). Innym gatunkiem powszechnie uprawianym w analizowanych gminach jest ziemniak, który zajmuje 9-17% powierzchni upraw.



Rys. 8. Zależność pomiędzy wskaźnikiem waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej a plonowaniem w gminach o dużym udziale gleb zanieczyszczonych (powyżej 10% użytków rolnych)

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 7

Wskaźniki jakości gleb w gminach o dużym udziale gleb zanieczyszczonych

Wyszczególnienie	Udział zanieczyszczonych użytków rolnych (%)			
	>50	30-50	10-30	5-10
Wskaźnik WRPP	58,3	67,6	67,9	65,7
Udział gleb o zawartości materii organicznej <1% (%)	0,001	0,07	0,20	1,36
Udział gleb kwaśnych i bardzo kwaśnych (%)	12,8	27,0	41,6	49,2
Udział gleb zagrożonych erozją (%)	29,6	12,9	20,2	50,3

Źródło: Opracowanie własne.

Średnia powierzchnia gospodarstwa w poszczególnych grupach gmin wynosi 1,8-4,4 ha, będąc najniższą w gminach o udziale gleb zanieczyszczonych przewyższającym 50% (tab. 8). Według danych GUS nieznaczny odsetek gospodarstw ogranicza się do jednego źródła dochodów, wyłącznie z produkcji rolniczej. Niepokojącym zjawiskiem jest niewielki odsetek gospodarstw stosujących nawozy wapniowe, który stanowi zaledwie kilka procent (tab. 8). Wapnowanie jest najprostszym sposobem ograniczania rozpuszczalności metali w glebie, a co za tym idzie zmniejszania transferu metali, takich jak cynk, kadm i nikiel do części nadziemnych roślin (33).

Tabela 8

Charakterystyka produkcji rolniczej w gminach o dużym udziale gleb zanieczyszczonych

Wskaźnik	Udział zanieczyszczonych użytków rolnych (%)			
	>50	30-50	10-30	5-10
Powierzchnia gospodarstwa (ha)	1,8	3,8	4,4	2,6
Udział gosp. o dochodach tylko z rolnictwa (%)	1,9	3,4	11,1	4,8
Produkcja towarowa (1000 zł/gosp.)	11,1	11,5	40,2	11,3
Obsada zwierząt (SD/100 ha)	22,3	25,6	25,7	34,4
Udział gosp. stosujących nawozy wapniowe (%)	2,4	6,6	7,5	6,1
Udział gosp. nierozdrobnionych (%)	85,6	89,6	82,4	84,3

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS z roku 2005.

Podsumowanie

Jak wskazują badania monitoringowe nieznaczny odsetek gleb użytkowanych rolniczo stanowią gleby zanieczyszczone metalami śladowymi zarówno według kryteriów zawartych w rozporządzeniu w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi, jak i wytycznych IUNG. W 34 gminach udział gleb zanieczyszczonych metalami, oceniany według obecnych kryteriów, wynosi ponad 5% użytków rolnych. Są one zlokalizowane w województwach: śląskim, małopolskim, dolnośląskim, opolskim i łódzkim. W gminach tych przeważają niewielkie gospodarstwa, w których produkcja rolnicza nie jest jedynym źródłem dochodów. Największy problem środowiskowy stanowi w nich duży udział gleb kwaśnych i niewielkie nakłady na wapnowanie, co negatywnie wpływa na jakość plonów. Wydaje się, że dla ograniczenia ryzyka związanego z występowaniem gleb zanieczyszczonych na użytkach rolnych niezbędne jest wprowadzenie, oprócz zabiegów wapnowania, właściwej praktyki rolniczej uwzględniającej odpowiedni dobór odmian i nawozów. W badaniach Grabińskiego i Stuczyńskiego (12) stwierdzono duże zróżnicowanie nagromadzenia kadmu w ziarnie pszenicy w zależności od odmiany i formy nawozu potasowego. Celowa byłaby zmiana struktury zasiewów w kierunku zmniejszenia udziału pszenicy na korzyść innych gatunków zbóż.

Celem wspólnym dla ośrodków naukowych i administracji powinno być zintensyfikowanie działań na rzecz wyznaczenia dokładnych zasięgów zanieczyszczenia, ewidencji obszarów zanieczyszczonych w postaci baz danych oraz oceny ryzyka związanego z zanieczyszczeniem gleb. Istotne znaczenie ma doskonalenie metod rekultywacji gleb zanieczyszczonych, wśród których metody unieruchamiania metali za pomocą tanich i powszechnie dostępnych materiałów należy uznać za priorytetowe.

Literatura

1. B a a t h E.: Effects of heavy metals in soil on microbial processes and populations (a review). *Water Air Soil Poll.*, 1989, **47**: 335-379.
2. C h a n e y R. L.: Zinc phytotoxicity. In: *Zinc in soils and plants* (ed. A. D. Robson). Kluwer Academic Publ., Dordrecht, 1993, 135-150.
3. C h a n e y R. L., O l i v e r D. P.: Sources, potential adverse effects and remediation of agricultural soil contaminants. In: *Contaminants and the soil environment in the Australasia-Pacific Region* (ed. R. Naidu). Proceedings of the First Australasia-Pacific Conference on Contaminants and Soil Environment in the Australasia-Pacific Region, Adelaide, 1996, 323-359.
4. C h a n e y R. L., R y a n J. A., K u k i e r U., B r o w n S. L., S i e b i e l e c G., M a l i k M., A n g l e J. S.: Heavy metal aspects of compost use. W. P. J. Stofella i B. A. Kahn (eds). *Compost utilization in horticultural cropping systems*. CRC Press, Boca Raton, FL, 2001.
5. C h ł o p e c k a A., B a c o n J. R., W i l s o n M. J., K a y J.: Forms of cadmium, lead, and zinc in contaminated soils from southwest Poland. *J. Environ. Qual.*, 1996, **25**: 69-79.
6. C o t t e r - H o w e l l s J.: Lead phosphate formation in soils. *Environ. Poll.*, 1995, **90**: 1-8.
7. D i a z - R a v i n a M., B a a t h E.: Development of metal tolerance in soil bacterial communities exposed to experimentally increased metal levels. *Appl. Environ. Microbiol.*, 1996, **62**: 2970-2977.
8. D r o z d J., K o w a l i Ń s k i S., L i c z n a r M.: Strefowe zanieczyszczenie gleb Cu, Zn i S oraz zmiany erozyjne pokrywy glebowej w rejonie oddziaływania huty miedzi. *Rocz. Glebozn.*, 1984, **35**: 33-47.
9. D u d k a S., P i o t r o w s k a M., M a t y s i a k Z., W i t e k T.: Spatial distribution of trace metal concentrations in arable soils and crop plants of Poland. *Pol. J. Environ. Stud.*, 1995, **4**: 9-16.
10. F a b e r A., N i e z g o d a J.: Zanieczyszczenie gleb i roślin uprawnych w pobliżu huty cynku i ołowiu. Cz. I. Gleby. *Rocz. Glebozn.*, 1982, **33**: 93-107.
11. F r i t z e H., N i i n i S., M i k k o l a K., M a k i n e n A.: Soil microbial effects of a Cu-Ni smelter in southwestern Finland. *Biol. Fertil. Soils*, 1989, **8**: 87-94.
12. G r a b i Ń s k i J., S t u c z y Ń s k i T.: Pobieranie kadmu przez odmiany pszenicy ozimej i jarej w zależności od formy chemicznej nawozu potasowego. *Ann. UMCS, Sec. E*, 2004, **59**: 553-558.
13. GUS. Rocznik Statystyczny. Warszawa, 2006.
14. G z y l J., M a r c h w i Ń s k a E., K u l k a E., K u c h a r s k i R., N o w i Ń s k a Z., S a s - N o w o s i e l s k a A., P i e s a k Z., W c i s ł o E.: Monitoring zanieczyszczeń roślin jadalnych i paszowych w województwie katowickim. Wyd. IETU, Katowice, 1995.
15. J o r d a n M. J., L e c h e v a l i e r M. P.: Effects of zinc-smelter emissions on forest soil microflora. *Can. J. Microbiol.*, 1975, **21**: 1855-1865.
16. K a r c z e w s k a A.: Metale ciężkie w glebach zanieczyszczonych emisjami hut miedzi – formy i rozpuszczalność. *Zesz. Nauk. AR Wrocław*, 2002, **432**: ss. 159.
17. K a b a t a - P e n d i a s A., D u d k a S., C h ł o p e c k a A., G a w i n o w s k a T.: Background levels and environmental influences on trace metals in soils of the temperate humid zone of Europe. In: *Biogeochemistry of trace metals* (ed. D. Adriano). Lewis Publishers, 1992, 61-84.
18. K a b a t a - P e n d i a s A., M o t o w i c k a - T e r e l a k T., P i o t r o w s k a M., T e r e l a k H., W i t e k T.: Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. Ramowe wytyczne dla rolnictwa. IUNG Puławy, 1993.
19. K u k l a H., S a d u r s k i W., S t u c z y Ń s k i T., P i s t e l o k F.: Charakterystyka sorpcji metali ciężkich w osadach ściekowych z regionu Górnego Śląska. *Mat. III Konf. Nauk.-Techn. „Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych”*. Świnoujście, 1999.
20. L i Y. M., C h a n e y R. L., S c h n e i t e r A.: Effect of soil chloride level on cadmium concentration in sunflower kernels. *Plant Soil*, 1994, **167**: 275-280.
21. L i Y. M., C h a n e y R. L., S i e b i e l e c G., K e r s h n e r B. A.: Response of four turfgrass cultivars to limestone and biosolids compost amendments of a zinc and cadmium contaminated soil at Palmerton, PA. *J. Environ. Qual.*, 2000, **29**: 1440-1447.

22. Mattigod S. V., Sposito G., Page A.: Factors affecting the solubilities of trace metals in soils. In: Chemistry in the soil environment. ASA, SSSA, Madison, WI, 1981, 203-221.
23. McBride M. B.: Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge: Are U.S. EPA regulations protective? J. Environ. Quality, 1995, **24**: 5-18.
24. McLaughlin M. J., Tiller K. G., Naidu R., Stevens D. P.: Review: The behavior and environmental impact of contaminants in fertilizers. Aust. J. Soil Res., 1995, **34**: 1-54.
25. Ministerstwo Środowiska: Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie komunalnych osadów ściekowych z dnia 1 sierpnia 2002 r. Dz. U. Nr 134, poz. 1140.
26. Ministerstwo Środowiska: Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi z dnia 9 września 2002 roku. Dz. U. Nr 165, poz. 1359.
27. Moraghan J. T., Mascani H. J.: Environmental and soil factors affecting micronutrients deficiencies and toxicities. In: Micronutrients in agriculture. 2 ed. (ed. Mortvedt i in.). SSSA, Madison, WI, 1991, 371-413.
28. Morel J. L.: Bioavailability of trace elements to terrestrial plants. In: Soil ecotoxicology (ed. Tarradellas i in.). Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 1997, 141-176.
29. Roszyk E., Szerszeń L.: Nagromadzenie metali ciężkich w warstwie ornej gleb stref ochrony sanitarnej przy hutach miedzi. Cz. 1. Legnica. Roczn. Glebozn., 1988, **39**: 135-141.
30. Saint-Denis M., Narbonne J. F., Arnaud C., Ribera D.: Biochemical responses of the earthworm *Eisenia fetida andrei* exposed to contaminated artificial soil: effects of lead acetate. Soil Biol. Biochem., 2001, **33**: 395-404.
31. Siebielec G.: Wpływ cynku, ołowiu i kadmu na wybrane biologiczne wskaźniki gleb użytkowanych rolniczo w rejonie Tarnowskich Gór. Praca doktorska, IUNG Puławy, 2001.
32. Siebielec G., Chaney R. L.: Mn fertilizer requirement to prevent Mn deficiency when liming to remediate Ni-phytotoxic soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 2006, **37**: 163-179.
33. Siebielec G., Chaney R. L., Kukier U.: Liming to remediate Ni contaminated soils with diverse properties and a wide range of Ni concentration. Plant Soil, 2007, **299**: 117-130.
34. Siebielec G., Stuczyński T.: Trace metals in biosolids produced in Poland. Streszczenia konferencji EC Opole, 2007.
35. Siebielec G., Stuczyński T., Kabata-Pendias A., Terelak H., Mroczkowski W.: Ocena biodostępności metali śladowych w zależności od sposobu ich unieruchamiania w glebie z uwzględnieniem różnych źródeł zanieczyszczenia. Raport końcowy tematu badawczego 4.06. IUNG-PIB Puławy, 2005.
36. Siebielec G., Stuczyński T., Korzeniowska-Puculek R.: Metal bioavailability in long term contaminated soils of Tarnowskie Góry area. Pol. J. Environ. Stud., 2006, **15**: 121-129.
37. Sikora F. J., Wolt J.: Effect of cadmium and zinc treated sludge on yield and cadmium – zinc uptake of corn. J. Environ. Quality, 1986, **15**: 341-345.
38. Smolders E., Lambregts R. M., McLaughlin M. J., Tiller K. G.: Effect of soil solution chloride on cadmium availability to swiss chard. J. Environ. Quality, 1998, **27**: 426-431.
39. Stuczyński T. i in. (praca zbiorowa): Wdrożenie zintegrowanego systemu informacji o rolniczej przestrzeni produkcyjnej dla potrzeb ochrony gruntów w województwie podlaskim. Urząd Marszałkowski Województwa Podlaskiego, IUNG-PIB Puławy, 2006, ss. 240.
40. Stuczyński T. i in. (praca zbiorowa): Stan i zmiany właściwości gleb użytkowanych rolniczo w województwie dolnośląskim w latach 2000–2005. Urząd Marszałkowski Województwa Dolnośląskiego, IUNG-PIB Puławy, 2007, ss. 223.
41. Stuczyński T., Dębicki R., Gonet S., Stępniewski W., Czyż E., Maliszewska-Kordybach B., Rejman J., Siebielec G., Stępniewska Z.: Analiza stanu oraz określenie kierunków działań w zakresie zrównoważonego wykorzystania i ochrony gleb. Ekspertyza na zlecenie Departamentu Polityki Ekologicznej Ministerstwa Środowiska i Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, Puławy-Warszawa, 2005.
42. Stuczyński T., Kozyra J., Łopatka A., Siebielec G., Jadczyżsyn J., Kozłowski P., Doroszewski A., Wawer R., Nowocień E.: Przyrodnicze uwarunkowania produkcji rolniczej w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2007, **7**: 77-115.

43. Stuczyński T., Siebielec G., Daniels W., McCarty G., Chaney R.: Biological aspects of metal waste reclamation with biosolids. *J. Environ. Quality*, 2007, **36**: 1154-1162.
44. Szerszeń L., Karczewska A., Roszyk E., Chodak T.: Rozmieszczenie Cu, Pb i Zn w profilach gleb przyległych do hut miedzi. *Rocz. Glebozn.*, 1991, **42**: 199-206.
45. Terelak H., Motowicka-Terelak T., Pondel H., Maliszewska-Kordybach B., Pietruch Cz.: Monitoring chemizmu gleb ornych Polski – program badań i wyniki wstępne. *Bibl. Monit. Środ.*, Warszawa, 1999, ss. 70.
46. Terelak H., Piotrowska M., Budzyńska K., Pietruch Cz., Wróblewska E., Zaliwski A.: Mapa – stan zanieczyszczenia gleb kadmem. *IUNG Puławy*, 1999.
47. Terelak H., Stuczyński T., Piotrowska M.: Heavy metals in agricultural soils in Poland. *Pol. J. Soil Sci.*, 1997, **30**: 35-42.
48. Tiller K. G.: Heavy metals in soils and their environmental significance. *Adv. Soil Sci.*, 1989, **9**: 113-142.
49. Turski R., Baran S.: Zawartość Pb, Zn, Cu, Mn, B i Sr w różnych typach gleb w rejonie oddziaływania huty cynku – Miasteczko Śląskie. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 1976, **179**: 609-625.

Adres do korespondencji:

dr Grzegorz Siebielec
Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów
IUNG-PIB

ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel.: (081) 886 34 21 w. 317
e-mail: gs@iung.pulawy.pl

Krzysztof Jończyk*, Jan Jadczyński**, Krystyna Filipiak***, Tomasz Stuczyński**

* Zakład Systemów i Ekonomiki Produkcji Roślinnej

** Zakład Gleboznawstwa Eroзии i Ochrony Gruntów

*** Zakład Agrometeorologii i Zastosowań Informatyki

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

PRZESTRZENNE ZRÓŻNICOWANIE ZAWARTOŚCI MATERII ORGANICZNEJ W GLEBACH POLSKI W KONTEKŚCIE OCHRONY GLEB I ICH ROLNICZEGO WYKORZYSTANIA*

Wstęp

Jednym z podstawowych czynników kształtujących żyzność gleb jest zawartość substancji organicznej. W ostatnim okresie coraz częściej problematyka zarządzania rolniczą przestrzenią produkcyjną wiąże się z podejmowaniem działań mających na celu ochronę glebowej substancji organicznej. Zagadnienie to traktowane jest jako priorytetowe w „Strategii Ochrony Gleb” (EC 2002) i znajduje odzwierciedlenie w zapisach prawa oraz pakietach działań rolnośrodowiskowych.

Zawartość materii organicznej w glebach zależy od dwóch grup czynników: siedliskowych (determinowanych przez klimat, ukształtowanie terenu, skalę macierzystą, typ gleby i stosunki wodne) i antropogenicznych związanych przede wszystkim z agrotechniką roślin uprawnych. Wyniki monitoringu gleb Polski prowadzonego w IUNG wskazują, że średnia zawartość próchnicy w warstwie ornej gleb wynosi 1,95% i charakteryzuje się dużymi wahaniami (11).

Ocena jakości gleb prowadzona przez Stacje Chemiczno-Rolnicze wskazuje, że blisko 60% gleb mineralnych zawiera do 2% próchnicy w warstwie ornej. Są to gleby lekkie i bardzo lekkie, w których następuje szybka mineralizacja substancji organicznej, przy małych możliwościach jej akumulacji. Pozostałe 40% gleb to: czarnoziemy, rędziny, czarne ziemie i ciężkie mady, które wykazują stosunkowo wysoką zawartość próchnicy (w niektórych rejonach przekraczającą 5%).

Przeprowadzone w ostatnich latach badania zawartości próchnicy w profilach wzorcowych gleb województwa podlaskiego i dolnośląskiego (480 profili glebowych) wykazały istnienie silnego trendu spadku zawartości próchnicy, zwłaszcza w glebach o opadowo-gruntowym typie gospodarki wodnej (5, 6). Spadek zawartości materii

* Opracowanie wykonano w ramach zadań 1.1 i 1.3 w programie wieloletnim IUNG - PIB

organicznej związany jest ze zmianą stosunków wodnych tych gleb, bardziej intensywnym użytkowaniem i odwodnieniem melioracyjnym. Dla kontrastu, w dużej części gleb lekkich na przestrzeni ostatnich 30 lat zachodzi wzrost zawartości próchnicy związany ze zwiększonym nawożeniem oraz przyrostem ilości resztek poźniwnych. Sytuacja ta powoduje konieczność rozpoznania wpływu tego procesu na marginalizację obszarów rolniczych oraz wskazanie metod ograniczenia ich degradacji.

Niskie zasoby próchnicy w glebach Polski i zagrożenia związane z jej mineralizacją obok skutków produkcyjnych mają znaczenie środowiskowe, prowadzą np. do dużych emisji netto dwutlenku węgla z gleb (1, 4). Instrumentem przeciwdziałania stratom próchnicy z gleb użytkowanych rolniczo są programy rolnośrodowiskowe, w ramach których rolnicy otrzymują wsparcie na uprawę poplonów i międzyplonów poprawiających bilans materii organicznej w glebach. Można uznać, że instrument ten jest jedynym realnie dostępnym sposobem zapobiegania stratom materii organicznej, przy czym przy obecnym stanie gospodarki wodnej gleb i intensywnej uprawie działania te nie kompensują w pełni mineralizacji próchnicy.

Zakres i cel pracy

W pracy przedstawiono przestrzenne zróżnicowanie zasobności gleb w materię organiczną oraz podjęto próbę oceny związku między jej zawartością w glebie a wybranymi cechami organizacyjno-produkcyjnymi i siedliskowymi gospodarstw rolniczych zlokalizowanych w gminach charakteryzujących się dużym odsetkiem gleb o małej zawartości próchnicy.

Materiał i metodyka badań

Przestrzeń rolnicza kraju jest silnie zróżnicowana ze względu na dużą zmienność gleb. Z właściwością tą wiąże się występowanie stosunkowo licznych siedlisk charakteryzujących się ograniczeniami w produkcji rolniczej. Jedną z cech, która limituje produktywność na obszarach użytkowanych rolniczo jest zasobność gleb w próchnicę. Gleby o naturalnie wysokiej zawartości próchnicy cechuje wysoka żyzność i naturalna zasobność w składniki pokarmowe, w tym zwłaszcza w azot uruchamiany w procesach mineralizacji. Zawartość substancji organicznej w glebie ma znacznie większy wpływ na jej żyzność w porównaniu z innymi cechami. Zarówno biologiczne, chemiczne, jak i fizyczne właściwości gleby zależą od zawartości ustabilizowanej substancji organicznej. Gleby o małej zasobności w próchnicę stanowią najgorsze siedliska dla produkcji rolniczej. Ponadto posiadają one mniejsze walory środowiskowe polegające na magazynowaniu wody i składników mineralnych, zapobieganiu ujemnym skutkom nagromadzenia substancji szkodliwych dla roślin, ludzi i zwierząt (np. uruchamianie metali ciężkich) oraz kształtowaniu bioróżnorodności zarówno na poziomie gatunkowym, jak i krajobrazowym.

Na podstawie przedstawionych uwarunkowań przyjęto założenie, że niska zawartość substancji organicznej w glebie jest czynnikiem istotnie ograniczającym funkcje

produkcyjne przestrzeni użytkowanej rolniczo i stanowi ważny czynnik typowania obszarów jako problemowych dla rolnictwa.

Dla potrzeb identyfikacji obszarów o niskiej zawartości próchnicy w glebach wykorzystano dane z monitoringu gleb gruntów ornych (49000 pkt.), realizowanego w IUNG w drugiej połowie lat 90. W celu określenia obszarów problemowych z punktu widzenia zasobności gleb w próchnicę przyjęto zawartość graniczną na poziomie 1,3%. Przestrzennie wydzielono obszary o zawartości próchnicy poniżej 1,3%, obliczono ich procentowy udział w stosunku do powierzchni gruntów ornych w gminie i wydzielono cztery klasy w zależności od ich procentowego udziału w powierzchni GO:

- I – powyżej 50% powierzchni gruntów ornych o zawartości próchnicy do 1,3%,
- II – od 30% do 50% powierzchni gruntów ornych o zawartości próchnicy do 1,3%,
- III – od 10% do 30% powierzchni gruntów ornych o zawartości próchnicy do 1,3%,
- IV – poniżej 10% powierzchni gruntów ornych o zawartości próchnicy do 1,3%.

W oparciu o przyjęte klasy wykonano mapę udziału gruntów ornych o zawartości próchnicy <1,3% w ogólnej powierzchni GO w gminie. Tak powstała baza uzupełniono o informacje charakteryzujące produkcję rolniczą i warunki organizacyjno-socjologiczne gospodarstw rolniczych na terenie analizowanych gmin (waloryzacja rolniczej przestrzeni produkcyjnej IUNG, dane GUS na podstawie Spisu Rolnego z 2002 r.); (tab. 3, rys. 3). Ocenę zależności między udziałem GO o niskiej zawartości próchnicy a zmiennymi opisującymi warunki organizacyjno-produkcyjne gospodarstw wykonano analizując istotność różnic uwzględnionych zmiennych. W dalszej kolejności wykonano analizę czynnikową, która umożliwiła określenie struktury zależności między analizowanymi zmiennymi.

Wyniki

Wyniki oznaczeń zasobności gleb użytków rolnych (w warstwie 0-25 cm) wskazują na duże zróżnicowanie zawartości próchnicy (0,5-10%). Według podziału stosowanego w Polsce gleby o niskiej zawartości próchnicy (<1,0%) stanowią około 7% powierzchni użytków rolnych, a o średniej (1,1-2,0%) – około 50%. Gleby bogate w próchnicę (>2,0%) stanowią około 33% powierzchni użytków rolnych kraju (tab. 1, rys. 1).

Na duże przestrzenne zróżnicowanie zawartości próchnicy w glebach Polski oraz znaczenie tego elementu żyzności i jego związku z jakością rolniczej przestrzeni produkcyjnej wskazują różnego typu analizy służące waloryzacji warunków środowiskowych dla produkcji rolniczej wykorzystujące m.in. wskaźnik próchniczności (2, 8). Wskaźnik próchniczności gleb – WPG ($WPG = PG \times P$, gdzie PG – % powierzchni gleb użytków rolnych o zawartości próchnicy większej od 2%, P – wartość współczynnika: 1, 5) – stanowiący ogólną miarę żyzności, aktywności biologicznej i stosunków wodnych gleb, jest przestrzennie dość zróżnicowany, a jego wartość średnia dla kraju wynosi 46,1 pkt. Najniższymi wartościami tego wskaźnika charakteryzują się

Tabela 1

Zawartość materii organicznej w glebach użytków rolnych

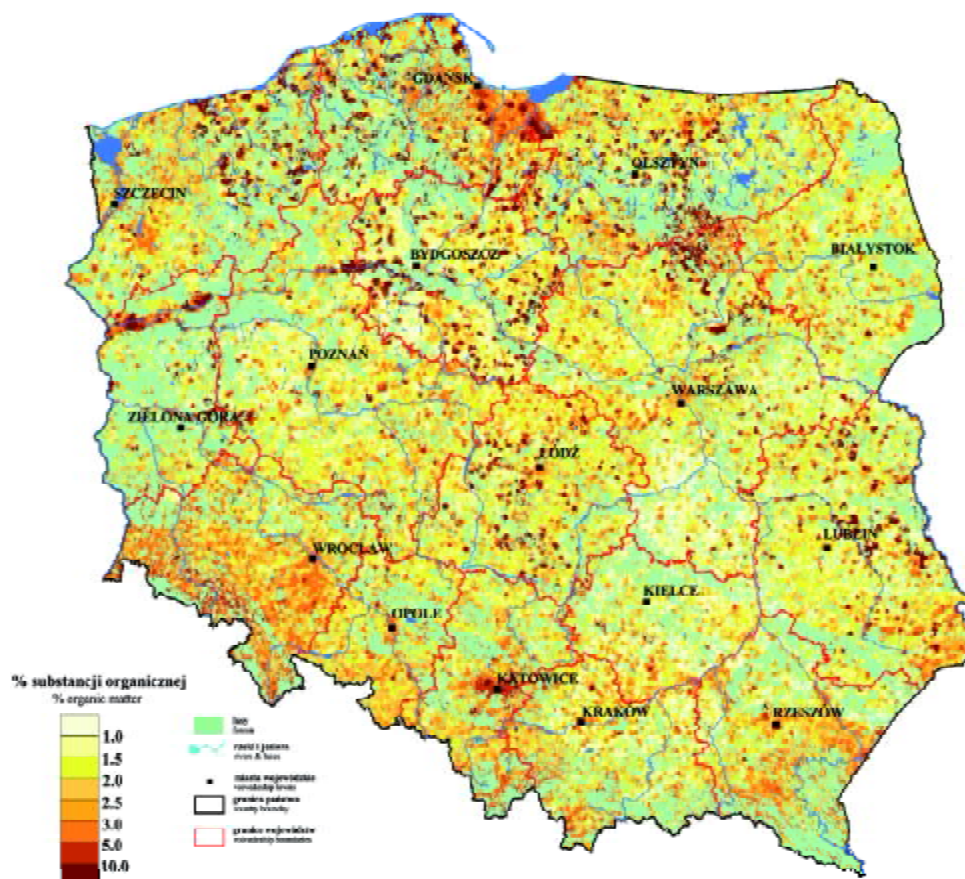
Województwo	Średnia zawartość materii organicznej (%)	Udział próbek o zawartości materii organicznej (%)			
		<1,0	1,0-2,0	2,0-3,5	>3,5
		niskiej	średniej	wysokiej	b. wysokiej
Dolnośląskie	3,04	2,8	24,2	44,3	28,6
Kujawsko-pomorskie	1,85	10,3	62,1	21,5	6,1
Lubelskie	2,02	5,4	60,5	27,2	6,9
Lubuskie	2,11	4,5	56,0	30,7	8,8
Łódzkie	2,12	3,5	57,8	30,7	8,0
Małopolskie	2,25	10,0	41,6	35,7	12,7
Mazowieckie	1,94	10,7	56,8	25,6	6,9
Opolskie	2,33	1,1	43,7	44,5	10,7
Podkarpackie	2,39	6,7	34,5	46,6	12,3
Podlaskie	2,06	2,7	63,0	25,0	9,2
Pomorskie	2,65	3,0	32,8	46,1	18,1
Śląskie	2,59	3,4	35,2	44,4	16,9
Świętokrzyskie	1,83	16,9	49,2	28,2	5,7
Warmińsko-mazurskie	2,22	2,7	53,5	34,4	9,4
Wielkopolskie	1,99	7,4	56,9	28,8	6,9
Zachodniopomorskie	2,29	3,5	44,1	42,7	9,7
POLSKA	2,20	6,2	49,8	33,4	10,6

Źródło: Terelak H., 2001 (10).

województwa: świętokrzyskie, podlaskie, mazowieckie, kujawsko-pomorskie i lubelskie – odpowiednio: 32,8; 33,6; 34,3; 34,0; 34,4 pkt. (tab. 2, rys. 2). Pomimo niskich wartości wskaźnika próchniczności (WPG) gleby tych województw posiadają stosunkowo wysokie wskaźniki jakości rolniczej przestrzeni produkcyjnej (WJRPP), co umożliwia prowadzenie intensywnej produkcji rolniczej o profilu np.: mleczarskim (podlaskie), sadowniczym (mazowieckie, świętokrzyskie), mięsnym (kujawsko-pomorskie); (tab. 2). Obserwacja ta wskazuje na bardziej złożone zależności kształtujące poziom produktywności gospodarstw niż powiązanie jej z jakością rolniczej przestrzeni produkcyjnej, wyrażonej poziomem zasobności gleb w próchnicę. Należy zaznaczyć jednocześnie, że charakterystyczna dla Polski mozaikowość pokrywy glebowej stanowi utrudnienie przy wykonywaniu wszelkich analiz uwzględniających jakość gleb i jest źródłem błędów zależnych od stopnia generalizacji danych.

Zgodnie z przyjętą w pracy metodyką wytypowano 37 gmin, w których gleby gruntów ornych o krytycznej zawartości próchnicy, tj. poniżej 1,3% zajmują powyżej 50% powierzchni gruntów, 61 gmin w przedziale 30-50% powierzchni, 265 gmin w przedziale 10-30% i 1808 gmin poniżej 10% powierzchni.

Gminy, w których udział gruntów ornych z najmniejszą zawartością próchnicy jest największy (powyżej 50%) zlokalizowane są głównie w południowej części województwa mazowieckiego oraz w województwie świętokrzyskim (rys. 3). Wartości średnie



Rys. 1. Zawartość substancji organicznej w glebach użytków rolnych w Polsce

Źródło: Terelak H. i in., 2001 (11).

wybranych cech charakteryzujących produkcję rolniczą, na tle 4 klas gmin różniących się udziałem gruntów ornych z niską zawartością próchnicy w glebach, umożliwiły ocenę związku omawianych zależności (tab. 3). Spośród analizowanych 2171 gmin wiejskich i wiejsko-miejskich 37 charakteryzowało się ponad 50% udziałem gruntów ornych o zawartości próchnicy poniżej 1,3%. Gospodarstwa w tych gminach posiadają istotnie gorsze warunki do produkcji rolnej. Średnia wartość wskaźnika jakości rolniczej przestrzeni produkcyjnej dla tych rejonów wynosi 61,1 pkt. i jest mniejsza o około 5 pkt. od średniej dla Polski i gmin należących do klasy III i IV (tab. 3). Gospodarstwa zakwalifikowane do klasy I należą do mniejszych obszarowo (4,9 ha) i posiadają niekorzystny rozłóg pól (około 15,4% gospodarstw posiada 6 i więcej działek). Charakterystyczną cechą omawianych gospodarstw jest istotnie mniejszy udział w ich strukturze użytkowania gruntów trwałych użytków zielonych (19,6%) i mała obsada zwierząt (34,9 DJP · 100 ha⁻¹ UR). Sytuacja ta skutkuje małym zużyciem

Tabela 2

Waloryzacja rolniczej przestrzeni produkcyjnej Polski wyrażona wskaźnikiem jakości rolniczej przestrzeni produkcyjnej (WJRPP) i wskaźnikiem próchniczności gleb (WPG)

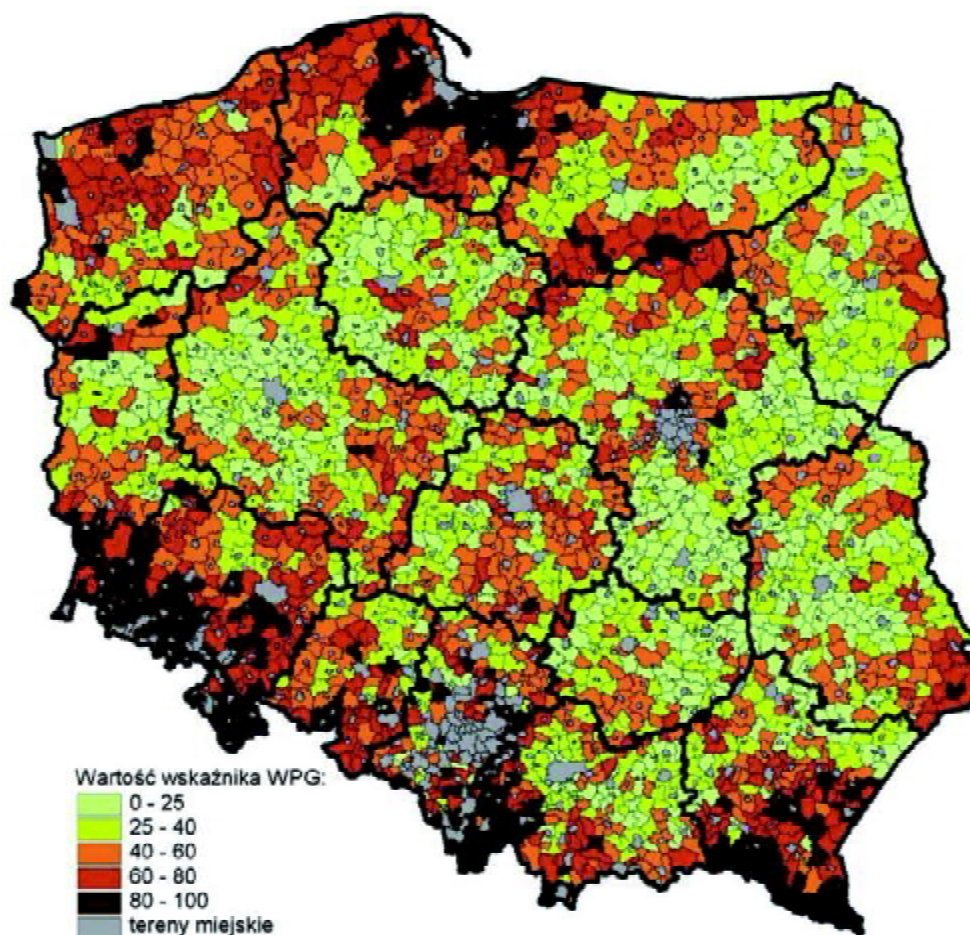
Województwo	WJRPP	WPG
Dolnośląskie	74,9	74,1
Kujawsko-pomorskie	71,0	34,0
Lubelskie	74,1	34,4
Lubuskie	62,3	45,1
Łódzkie	61,9	42,7
Małopolskie	69,3	48,8
Mazowieckie	59,9	34,3
Opolski	81,4	56,8
Podkarpackie	70,4	57,7
Podlaskie	55,0	33,6
Pomorskie	66,2	70,0
Śląskie	64,2	61,3
Świętokrzyskie	69,3	32,8
Warmińsko-mazurskie	66,0	48,5
Wielkopolskie	64,8	37,4
Zachodniopomorskie	67,5	54,7
Polska	66,6	46,1

Źródło: za Stuczyńskim T. (8, 9).

nawozów naturalnych i nie sprzyja poprawie bilansu substancji organicznej w glebie. Ze względu na gorsze warunki siedliskowe w gminach należących do klasy I w strukturze zasiewów w tych rejonach przeważają gatunki roślin o mniejszych wymaganiach agrotechnicznych (żyto, owies, ziemniak), a zarazem mniejszym znaczeniu z punktu widzenia towarowości gospodarstw. Produkcja towarowa przeliczona na jedno gospodarstwo w klasie I wynosi około 11,4 tys. zł i jest ponad dwukrotnie mniejsza niż w klasie IV (29,4 tys. zł). Dane dotyczące dochodowości gospodarstw wskazują również na ich gorszą sytuację niż w pozostałych klasach. Udział gospodarstw o dochodach z rolnictwa jest tu mniejszy niż w klasach II, III i IV, przy jednocześnie większym udziale rent i emerytur. Analiza cech opisujących nakłady ponoszone na produkcję roślinną (udział gospodarstw stosujących nawozy mineralne i środki ochrony roślin) wskazuje, że w wydzielonych klasach nie różnią się one istotnie. Informacja ta wskazuje, że gospodarstwa zlokalizowane w rejonach o największym udziale gleb z niską zawartością próchnicy (klasa I) i gorszych warunkach siedliskowych ponoszą podobne nakłady na nawożenie i ochronę roślin, jak w klasach II –IV.

Podsumowanie

Przeprowadzona ocena i klasyfikacja obszarów o niskiej zawartości próchnicy na tle warunków organizacyjno-produkcyjnych pozwala sformułować kilka uogólnień.



Rys. 2. Przestrzenne zróżnicowanie wskaźnika próchniczności gleb (WPG) w gminach
Źródło: Stuczyński T. i in., 2004 (8).

Gospodarstwa należące do pierwszej klasy (ponad 50% powierzchni gruntów ornych o zawartości próchnicy do 1,3%) są mniejsze (średnia powierzchnia około 5 ha) i charakteryzują się rozdrobnioną strukturą obszarową. Jakość rolniczej przestrzeni produkcyjnej w gminach na tych obszarach wyrażona wskaźnikiem waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej jest istotnie niższa niż w pozostałych klasach. Cecha ta wyraźnie determinuje sposób organizacji gospodarstw oraz ich dochodowość. Produkcja towarowa gospodarstw w obrębie klasy I wynosi 11,4 tys. zł i jest ponad dwukrotnie mniejsza od wartości uzyskiwanej w klasach III i IV. Barierą ograniczającą wdrażanie praktyk zwiększających ochronę gleb, w tym zawartość substancji organicznej, jest wadliwa struktura obszarowa i organizacja gospodarstw funkcjonujących na obszarach z niską zawartością próchnicy.

Tabela 3

Wartości średnie zmiennych opisujących warunki produkcji rolniczej w gminach i gospodarstwach zależnie od udziału gruntów ornych o niskiej zawartości próchnicy

Zmienna	Udział GO o zaw. próchnicy <1,3% w ogólnej powierzchni GO w gminie (%)*			
	I >50%	II 30-50%	III 10-30%	IV <=10%
Liczba gmin	37	61	265	1808
Wskaźnik WRPP (pkt.)	61,1a	64,4ab	66,5b	66,2b
Pow. gospodarstwa (ha)	4,9a	7,2a	7,4a	9,4b
Udział TUZ (%)	19,6a	19,0a	19,7a	22,3b
Obsada zwierząt (DJP · 100 ha ⁻¹ UR)	34,9a	43,1ab	45,5b	44,6b
Udział pszenicy ogółem (%)	9,6a	15,0ab	18,5b	21,3c
Udział żyta (%)	8,8a	7,7ab	8,6a	6,9b
Udział owsa (%)	11,7a	8,5b	7,2b	7,2b
Udział zbóż ogółem (%)	77,2a	76,5a	75,5a	76,7a
Udział ziemniaka (%)	13,5a	11,6a	11,0a	9,5b
Udział buraka cukrowego (%)	0,5a	2,2b	1,9b	2,0b
Udział rzepaku (%)	0,4a	1,4ab	1,8b	2,9c
Udział kukurydzy na zielonkę (%)	0,5a	1,1ab	1,5b	1,6b
Gosp. stosujące nawozy azotowe (%)	48,7ab	54,0b	52,2b	47,5a
Gosp. stosujące nawozy fosforowe (%)	34,0a	39,4b	37,1b	34,5a
Gosp. stosujące nawozy potasowe (%)	31,7a	36,3a	34,5a	32,4a
Gosp. stosujące nawozy wapniowe (%)	15,8a	18,4a	17,0a	16,2a
Gosp. stosujące nawozy naturalne (%)	42,7a	47,5b	47,8b	43,1a
Gosp. stosujące herbicydy (%)	47,8ab	52,1a	52,3a	47,1b
Gospodarstwa z liczbą do 3 działek (%)	70,4a	71,9a	72,6a	73,2a
Gospodarstwa z liczbą 6 i więcej działek (%)	15,4a	14,9a	14,7a	13,5b
Gospodarstwa o dochodach z rolnictwa (%)	23,0a	24,8a	25,2a	26,2a
Gospodarstwa o dochodach z emerytur i rent (%)	31,6a	30,0ab	29,1ab	28,1b
Prod. towarowa na jedno gospodarstwo (tys. zł)	11,4a	19,2a	24,0a	29,4b
Prod. towarowa na 1 ha UR (tys. zł)	1,6a	1,8a	1,9a	2,1b

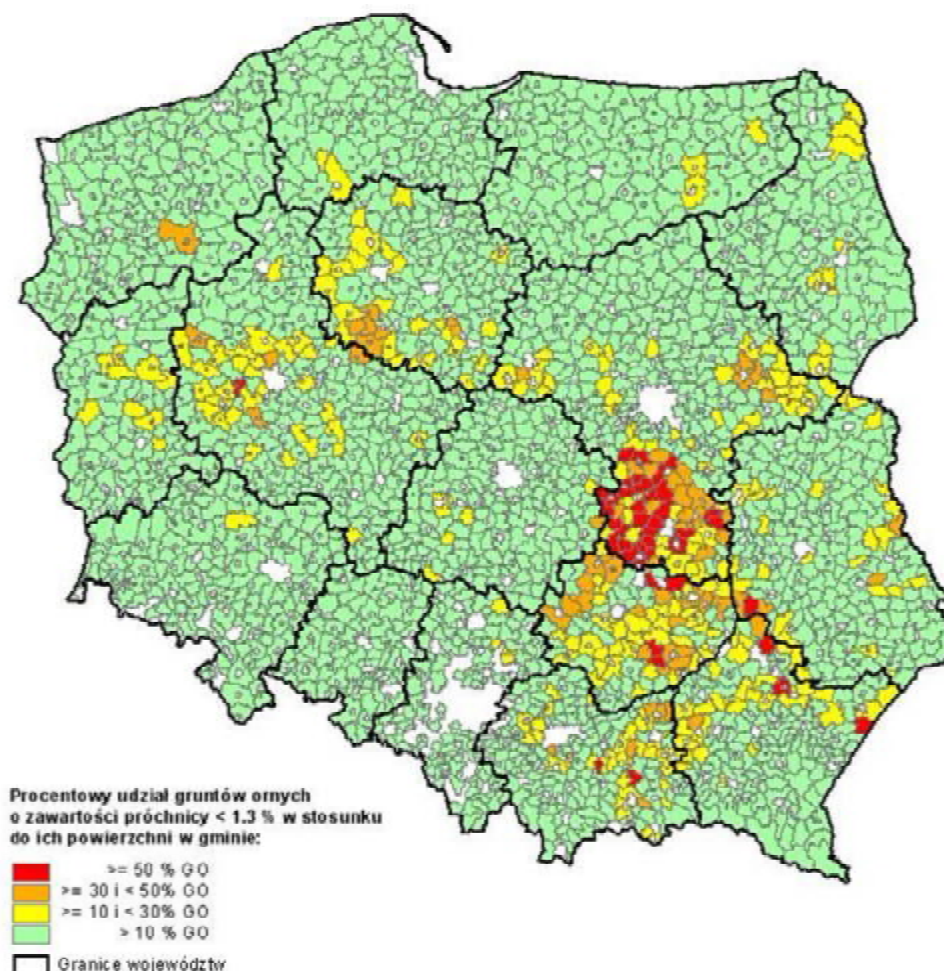
* wartości w kolumnie oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie przy P = 0,95

Źródło: Opracowanie własne.

Przyjęte kryteria umożliwiły przestrzenną identyfikację obszarów problemowych ze względu na niską zawartość próchnicy oraz wybrane wskaźniki ekonomiczno-organizacyjne gospodarstw rolniczych.

Literatura

1. Arrouays D., Balesdent J., German J. C., Jayet P. A., Sousanna I. F., Stengel P. (eds): Stocker du carbone dans les sols agricoles de France. INRA, Paris. 2002.
2. Dworakowski T., Kuś J., Kuźmicki J., Madej A.: Wydzielenie obszarów przydatnych do różnych sposobów zagospodarowania – woj. podlaskie. IUNG Puławy, 2004.
3. Łopatka A., Kukla H., Stuczyński T., Jadczyszyn J., Gawrysiak L.: III etap wdrożenia zintegrowanego systemu informacji o rolniczej przestrzeni produkcyjnej dla potrzeb ochrony gruntów w województwie podlaskim. IUNG Puławy, 2005.



Rys. 3. Udział gruntów ornych o zawartości próchnicy <1,3% w ogólnej powierzchni GO w gminie
Źródło: Opracowanie własne.

4. Robert M.: Soil carbon sequestration for improved land management. World Soil Resources Report. FAO, 2001, 96.
5. Praca zbiorowa pod red. T. Stuczyńskiego: Stan i zmiany właściwości gleb użytkowanych rolniczo w województwie dolnośląskim w latach 2000–2005. Urząd Marszałkowski Woj. Dolnośląskiego, IUNG-PIB Puławy, 2007, ss. 224.
6. Praca zbiorowa pod red. T. Stuczyńskiego: Wdrożenie zintegrowanego systemu informacji o rolniczej przestrzeni produkcyjnej dla potrzeb ochrony gruntów w województwie podlaskim. Urząd Marszałkowski Woj. Podlaskiego. IUNG-PIB Puławy, 2006, ss. 240.
7. Stuczyński T., Dębicki R., Gonet S., Stępniewski S., Czyż E., Maliszewska-Kordybach B., Rejman J., Siebielec G., Stępniewska Z.: Analiza stanu oraz określenie kierunków działań w zakresie zrównoważonego wykorzystania i ochrony gleb. Ekspertyza, IUNG Puławy, 2005.

8. Stuczyński T., Zawadzka B., Kukuła S., Terelak H., Kuś J.: Waloryzacja warunków środowiskowych dla potrzeb rozwoju rolnictwa ekologicznego. Acta Agroph., Rozprawy i Monografie, 2004, **5**: 129-152.
9. Stuczyński T., Budzyńska K., Gawrysiak L., Zaliwski A.: Waloryzacja rolniczej przestrzeni produkcyjnej Polski. Biul. Inform. IUNG, Puławy, 2000, **12**: 4-17.
10. Terelak H.: Materiały niepublikowane. Informacja własna, 2001.
11. Terelak H., Motowicka-Terelak T., Wróblewska E., Gawrysiak L., Pietruch C.: Mapa zawartości substancji organicznej w glebach użytków rolniczych Polski. IUNG Puławy, 2001.

Adres do korespondencji:

dr Krzysztof Jończyk
Zakład Systemów i Ekonomiki Produkcji Roślinnej
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel.: (0 81) 886 34 21
e-mail: kjonczyk@iung.pulawy.pl

Jan Jadczyzyn

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

OCENA WARUNKÓW PRZYRODNICZO-EKONOMICZNYCH
GOSPODARSTW NA OBSZARACH ZAGROŻONYCH EROZJĄ WODNĄ
W POLSCE*

Wstęp

Erozja wodna, pomimo że jest procesem naturalnym wywołuje wiele niekorzystnych następstw zarówno o charakterze przyrodniczym, jak i gospodarczym. Potencjalne zagrożenie powierzchni ziemi erozją wodną jest uzależnione od szeregu czynników przyrodniczych, takich jak: ukształtowanie terenu, opady atmosferyczne, podatność gleby na procesy zmywu i rodzaj szaty roślinnej. Intensywne rolnictwo może znacznie przyspieszyć tempo erozyjnej degradacji gleby. Dlatego odpowiednie użytkowanie gruntów ornych na obszarach potencjalnie zagrożonych erozją wodną stanowi problem o wymiarze przyrodniczym, gospodarczym i społecznym.

Problem przyrodniczy polega przede wszystkim na zubożaniu profilu glebowego na stokach z poziomym próchnicznym, wymywaniu i przemieszczaniu przez wody powierzchniowe rozpuszczalnych form składników pokarmowych i pozostałości środków ochrony roślin. Skutkiem migracji biogenów jest proces eutrofizacji wód powierzchniowych, łącznie z przybrzeżnymi wodami Bałtyku. Problem gospodarczy polega na obniżaniu potencjału produkcyjnego gleby oraz zamulaniu urządzeń melioracyjnych i drogowych. Problem społeczny związany jest ze zmniejszaniem plonów i koniecznością stosowania dodatkowego nawożenia gruntów podlegających degradacji i w konsekwencji z uszczupleniem dochodów z rolnictwa. Wiąże się to również z ponoszeniem dodatkowych nakładów finansowych na utrzymanie sieci komunikacyjnej i systemu melioracji w strefie akumulacji materiału glebowego wymytego ze stoków, z dróg gruntowych i z wąwozów.

Ochrona gleb przed erozją jest w coraz większym stopniu uwzględniana w przepisach prawa krajowego i w działaniach realizowanych w ramach programów rolniostowiskowych w PROW. Erozja gleby jest jednym z ośmiu zagrożeń ujętych przez Komisję Europejską w „Strategii Ochrony Gleb” (EC 2002). Przeciwdziałanie erozji i racjonalne użytkowanie obszarów zagrożonych erozją jest przedmiotem prac prowa-

* Opracowanie wykonano w ramach zadań 1.1 i 1.3 w programie wieloletnim IUNG - PIB

dzonych w ramach wieloletniego programu badawczego IUNG-PIB, w zadaniu 1.3 pt. „Monitoring wykorzystania i kształtowania przestrzeni rolniczej z uwzględnieniem koncepcji wielofunkcyjnego rozwoju i specyfiki obszarów problemowych”.

Dostosowanie kompleksowych działań ochronnych i dokonanie wyboru optymalnych kierunków wykorzystania gruntów potencjalnie zagrożonych degradacją wymaga przeprowadzenia wielu analiz istotnych z punktu widzenia rozwoju społeczno-gospodarczego. Analizy takie muszą obejmować ocenę uwarunkowań wewnętrznych i zewnętrznych rozwoju rolnictwa, w połączeniu z kierunkami działalności gospodarczej i przy zachowaniu podstawowych zasad szeroko rozumianej ochrony środowiska i dziedzictwa kulturowego. W pracy przeprowadzono analizę obszarów zagrożonych erozją wodną potencjalną na tle określonych cech diagnostycznych przyjętych do identyfikacji obszarów problemowych rolnictwa oraz cech charakteryzujących warunki ekonomiczno-gospodarcze produkcji rolniczej.

Metodyka badań

Podstawą oceny zagrożenia gleb erozją na tle warunków przyrodniczo-ekonomicznych w Polsce były mapa erozji wodnej potencjalnej, waloryzacja rolniczej przestrzeni produkcyjnej wraz z reaktualizacją dla potrzeb wydzielania obszarów o niekorzystnych warunkach gospodarowania (ONW); (3), wyniki analiz przestrzennych realizowanych na bazie danych monitoringu gleb (4) oraz dane spisu rolnego dla gmin z 2002 r. Ocenie poddano obszary zagrożone erozją wodną w stopniu średnim i silnym wyznaczone zgodnie z metodą przyjętą w opracowaniu mapy erozji wodnej potencjalnej przez J ó z e f a c i u k ó w (2). W pracy wykorzystano wersję numeryczną mapy w formacie wektorowym (shapefile) oraz przyjęto kryteria zastosowane w analizie gruntów problemowych (1). Obliczono powierzchnie gruntów narażonych na erozję w analizowanych stopniach i klasach oraz określono ich udział w stosunku do powierzchni ogólnej danej gminy. Badania przeprowadzono w 2171 gminach wiejskich i wiejsko-miejskich Polski. Gminy, w których wystąpiły grunty zagrożone erozją podzielono na 4 klasy:

- klasa 1 – powyżej lub 50% powierzchni gminy zagrożonej erozją wodną w stopniu średnim i silnym,
- klasa 2 – od 30% do 50% powierzchni gminy zagrożonej erozją wodną w stopniu średnim i silnym,
- klasa 3 – od 10% do 30% powierzchni gminy zagrożonej erozją wodną w stopniu średnim i silnym,
- klasa 4 – poniżej 10% powierzchni gminy zagrożonej erozją wodną w stopniu średnim i silnym lub brak zagrożenia.

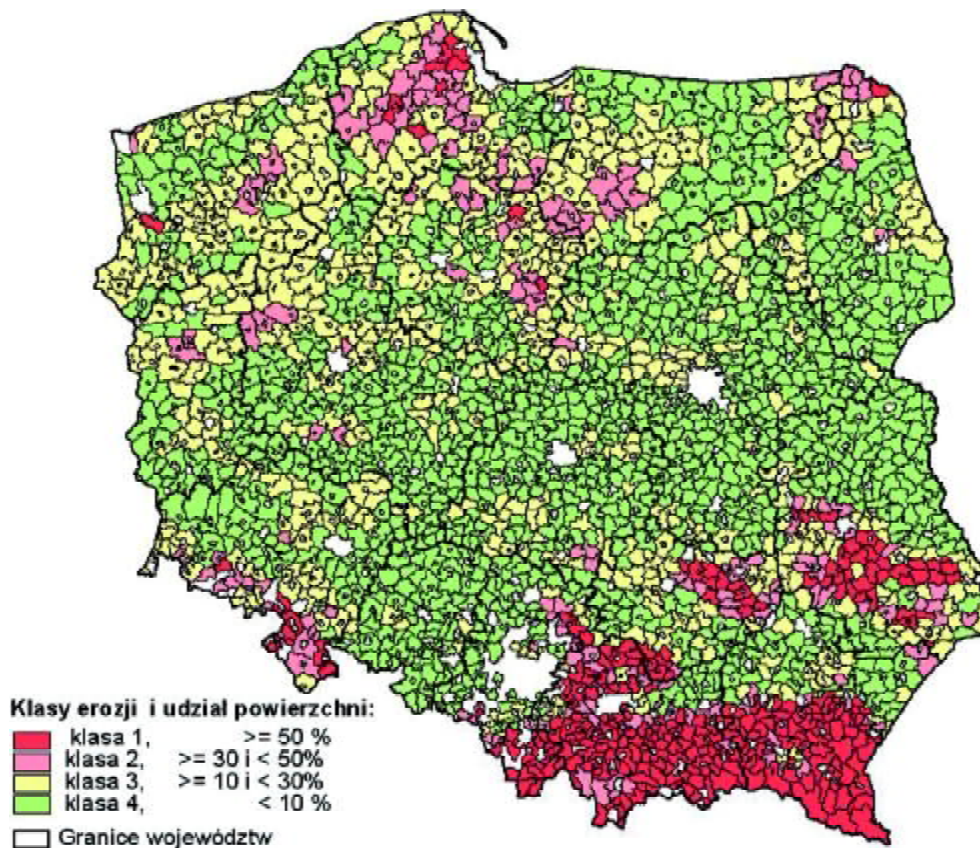
Na podstawie tak opracowanej metodyki wykonano mapę zagrożenia gmin erozją według przyjętych klas. W kolejnym etapie prac przeprowadzono analizę warunków przyrodniczo-ekonomicznych gospodarstw w wytypowanych gminach. W wyodrębnionych klasach obliczono wartości przeciętne (średnie i mediany) analizowanych cech

diagnostycznych zastosowanych do delimitacji obszarów problemowych oraz cech dodatkowych, charakteryzujących warunki produkcji rolniczej. Określono warunki istotności dla cech diagnostycznych między przyjętymi klasami erozji. Na wykresach przedstawiono charakterystykę analizowanych cech przyrodniczych, organizacyjnych i gospodarczych na tle wydzielonych klas erozji w poszczególnych gminach. Szczegółowej analizie poddano ocenę gruntów ONW o skrajnie niekorzystnych warunkach gospodarowania (strefa nizinna II, górską i specyficzną), powierzchnię gospodarstw, powierzchnię i strukturę zasiewów, poziom nawożenia mineralnego i organicznego, nakłady i wartość produkcji towarowej w przeliczeniu na 1 ha UR i gospodarstwo oraz wartość dochodów uzyskiwanych przez gospodarstwa z rent i emerytur.

Omówienie wyników

W wyniku przeprowadzonych analiz kartograficznych wydzielono w kraju gminy o zróżnicowanym zagrożeniu gleb erozją wodną z podziałem na cztery klasy. Do klasy 1 zakwalifikowano 281 gmin szczególnie zagrożonych, na których potencjalna erozja w stopniu średnim i silnym przekracza 50% powierzchni ogólnej. Do klasy 2, w której potencjalna erozja w stopniu średnim i silnym znajduje się w przedziale 30-50% powierzchni ogólnej – zakwalifikowano 182 gminy, a do klasy trzeciej – 592 gminy. W klasie 4 znalazło się 1116 gmin niezagrażonych erozją w stopniu średnim albo silnym, lub jeśli zagrożenie to występuje na niewielkich obszarach, poniżej 10% powierzchni. Przestrzenne zagrożenie erozją w gminach według przyjętych klas przedstawiono na rysunku 1. Najwięcej zagrożonych gmin występuje w województwach małopolskim, podkarpackim, lubelskim oraz świętokrzyskim. Są to obszary górskie, Pogórze Karpackie, Wyżyna Lubelska i Wyżyna Kielecka. Mniejsze zagrożenie występuje w części południowo-zachodniej, obejmującej Sudety i Pogórze Sudeckie oraz w części północnej w strefie Pojezierza Południowobałtyckiego i wschodniej części Pojezierza Mazurskiego. Należy zaznaczyć, że przedstawiona mapa obrazuje potencjalne zagrożenie erozją wodną wszystkich gruntów w gminach, łącznie z powierzchnią zajęta przez lasy i użytki zielone, co oznacza, że w rzeczywistości aktualny stopień erozyjnego zagrożenia jest mniejszy.

Przeprowadzona analiza obszarów ONW oraz danych statystycznych charakteryzujących gospodarstwa na terenach silnie zagrożonych erozją uwiaryściła bardzo wyraźne różnice organizacyjne i ekonomiczne w stosunku do gospodarstw funkcjonujących na pozostałych obszarach. Wykazano prawie dwukrotnie większy udział powierzchni obszarów ONW o skrajnie niekorzystnych warunkach gospodarowania w obrębie gruntów zagrożonych erozją w 1 i 2 klasie w stosunku do 3 i 4 klasy (rys. 2). Stwierdzono również istotną zależność między gruntami ONW w dwóch pierwszych klasach erozji i gruntów w pozostałych klasach. Może to oznaczać przynależność strefy ONW górskiej i specyficznej do obszarów najsilniej zagrożonych erozją, włączonych do 1 i 2 klasy erozji, oraz przynależność w większym stopniu ONW strefy nizinnej II do obszarów o mniejszym zagrożeniu, zaliczonych do 3 i 4 klasy erozji. Tak

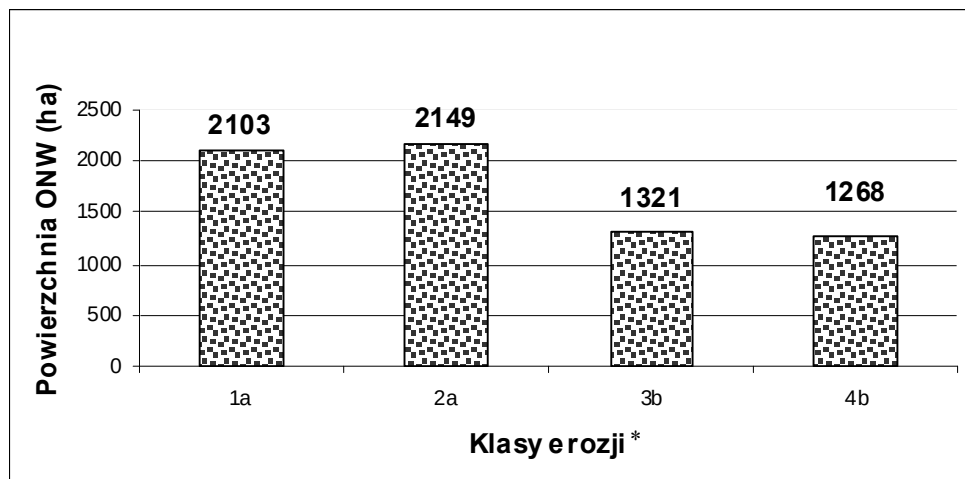


Rys. 1. Mapa zagrożenia gmin erozją według przyjętych klas
 Źródło: Opracowanie własne na podstawie mapy A. i Cz. Józefaciuków (2).

duży udział obszarów ONW w gminach zagrożonych erozją świadczy o nakładaniu się niekorzystnych czynników w obrębie obszarów problemowych rolnictwa.

W gminach o największym zagrożeniu gleb erozją występują gospodarstwa najmniejsze, średnia powierzchnia 4,5 ha (rys. 3). Wraz ze zmniejszaniem się zagrożenia w kolejnych klasach erozji powierzchnia gospodarstwa wzrasta, a w 3 klasie wynosi 10,4 ha i nie różni się istotnie od powierzchni w 4 klasie. Powierzchnia gruntów pod zasiewami w 1 klasie wynosi prawie 70% i jest o ponad 13% mniejsza w stosunku do gruntów należących do 4 klasy erozji (rys. 4). Powierzchnia zasiewów systematycznie wzrasta wraz ze zmniejszaniem się zagrożenia erozją.

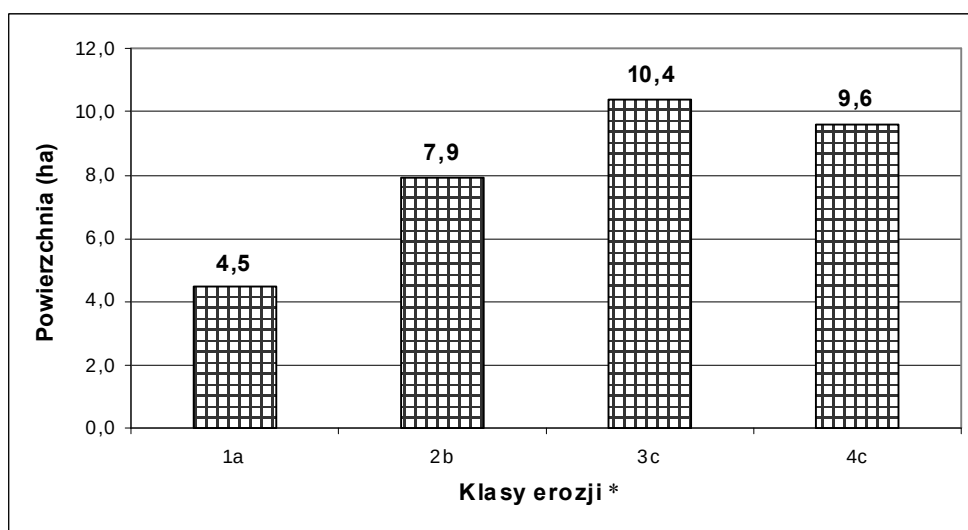
Z analizy udziału poszczególnych gatunków roślin w strukturze zasiewów wynika, że w gminach zakwalifikowanych do 1 klasy erozji udział pszenicy ozimej i jarej jest największy i wynosi 29,3% (rys. 5). W kolejnych klasach erozji udział pszenicy jest wyraźnie mniejszy i mieści się w przedziale 21,1 i 18,2%. W gminach o najwyższym zagrożeniu erozją w strukturze zasiewów stwierdzono równocześnie największy udział



Rys. 2. Obszary ONW o skrajnie niekorzystnych warunkach gospodarowania w gminie według klas zagrożenia erozją

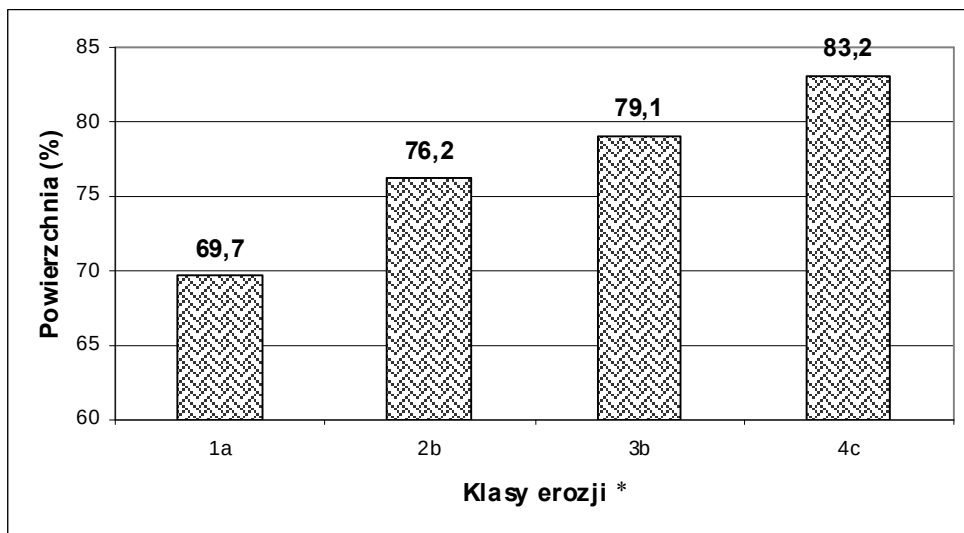
* jednakowe litery oznaczają brak istotnych różnic między klasami erozji

Źródło: Opracowanie własne.



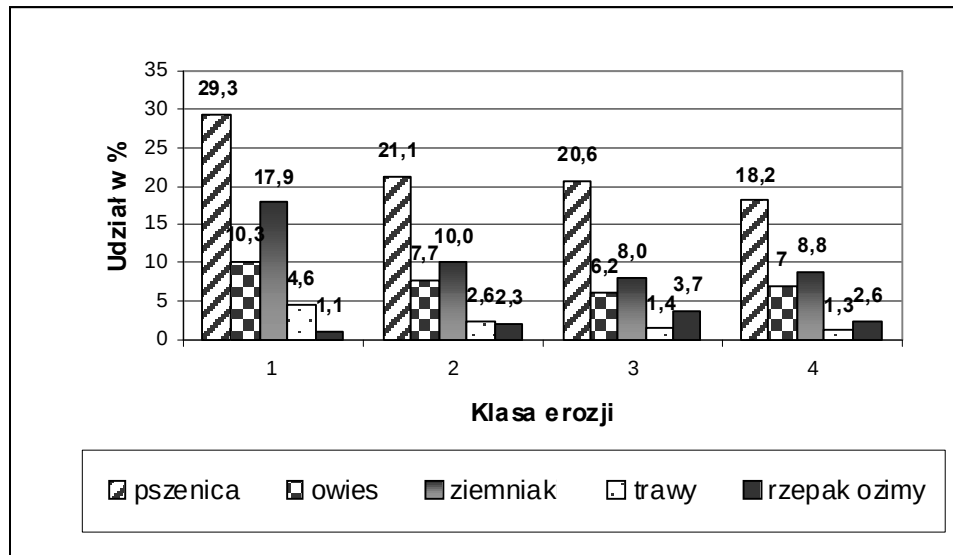
Rys. 3. Średnia powierzchnia gospodarstwa w gminie według klas zagrożenia erozją wodną
* jak na rys. 2

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS.



Rys. 4. Powierzchnia gruntów pod zasiewami w gminie według klas zagrożenia erozją wodną
* jak na rys. 2

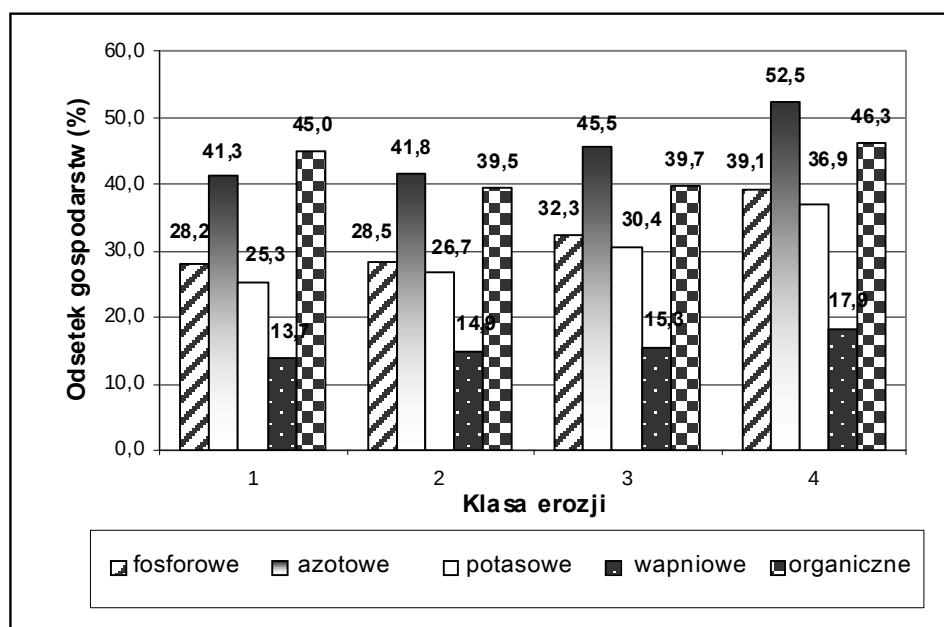
Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS.



Rys. 5. Struktura zasiewów głównych roślin uprawnych w gospodarstwach według klas zagrożenia erozją wodną

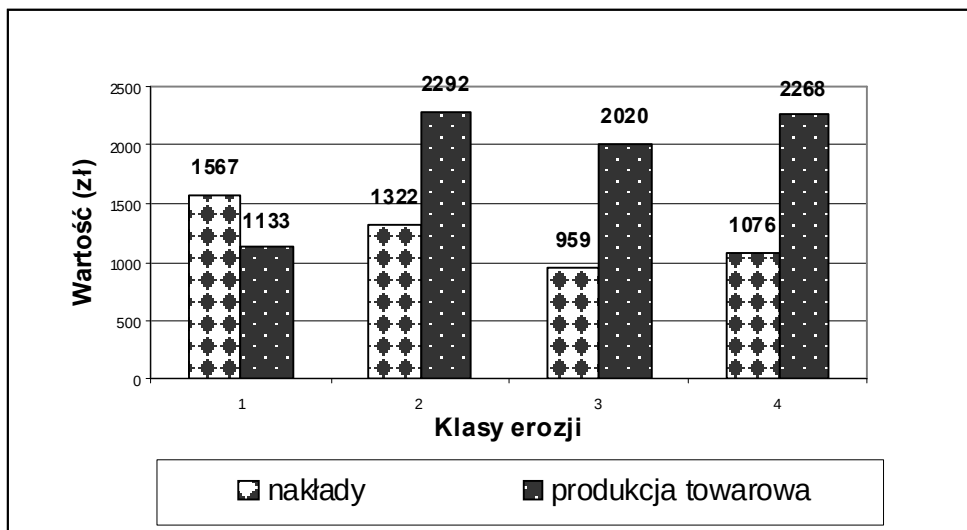
Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS.

owsa, ziemniaka i traw (rys. 5). Istotnie niższy w strukturze zasiewów w stosunku do stwierdzonego w pozostałych klasach erozji jest udział rzepaku ozimego – wynosi około 1%. Odsetek gospodarstw stosujących nawożenie azotem na obszarach najbardziej zagrożonych erozją – 1 i 2 klasy – wynosi po około 41% i jest istotnie niższy w porównaniu ze stanem w 3 i 4 klasie erozji (rys. 6). Odsetek gospodarstw stosujących nawozy fosforowe jest niski i wynosi po około 28% w 1 i 2 klasie erozji, a w 4 klasie zbliża się do 40%. Jeszcze mniej gospodarstw stosuje nawozy potasowe. W klasie 1 i 2 erozji odsetek ten wynosi 25-26%, a w 3 i 4 klasie jest istotnie wyższy, ale nie przekracza 40%. Z przeprowadzonej analizy wyłania się krytyczny stan wapnowania gleb w Polsce. Załedwie 14% gospodarstw w obrębie 1 klasy erozji wapnuje gleby, a w grupie gospodarstw największych, charakteryzujących się też najwyższą produkcją towarową i przynależnych do 4 klasy odsetek ten wynosi tylko 17,5%. Gospodarstwa w gminach należących do 1 klasy erozji charakteryzują się znacząco mniejszą produkcją towarową w stosunku do nakładów (rys. 7). Przyczyną takiego stanu (różnica 434 zł w przeliczeniu na 1 ha UR) może być niskie plonowanie roślin uwarunkowane niskim poziomem nawożenia mineralnego, zwiększonymi nakładami na uprawę i dojazdy do pól z tytułu rozdrobnienia gospodarstw, ukształtowaniem terenu, dużym spadkiem pól uprawnych oraz wykorzystaniem znacznej części produkcji rolniczej na własne potrzeby. W gospodarstwach tych następuje dekapitalizacja środków trwałych i brak możliwości ich bieżącego odtwarzania. Nakłady na produkcję w przeliczeniu na jednostkę powierzchni różnią się istotnie w gospodarstwach należących

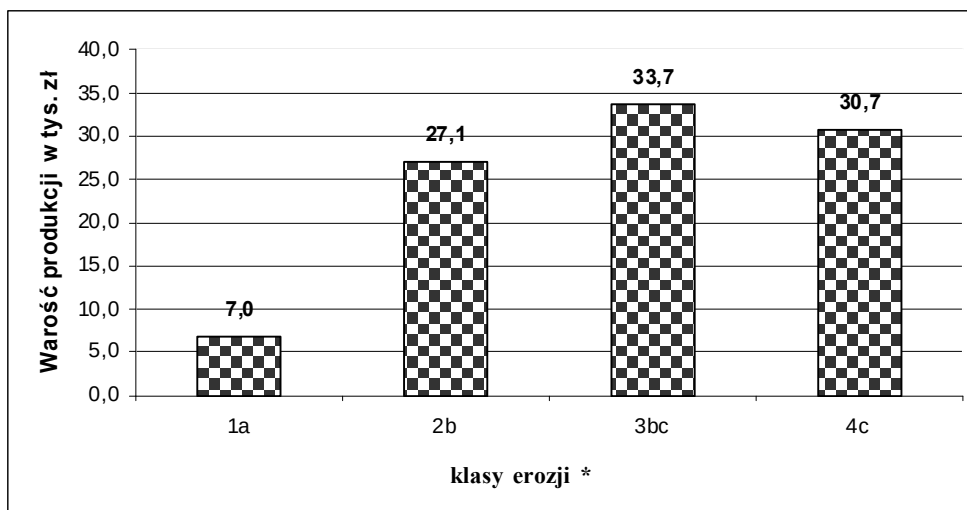


Rys. 6. Stosowanie nawożenia mineralnego w gospodarstwach zagrożonych erozją według klas zagrożenia erozją

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS.



Rys. 7. Nakłady i produkcja towarowa na 1 ha UR w gminie według klas zagrożenia erozją
 Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS.

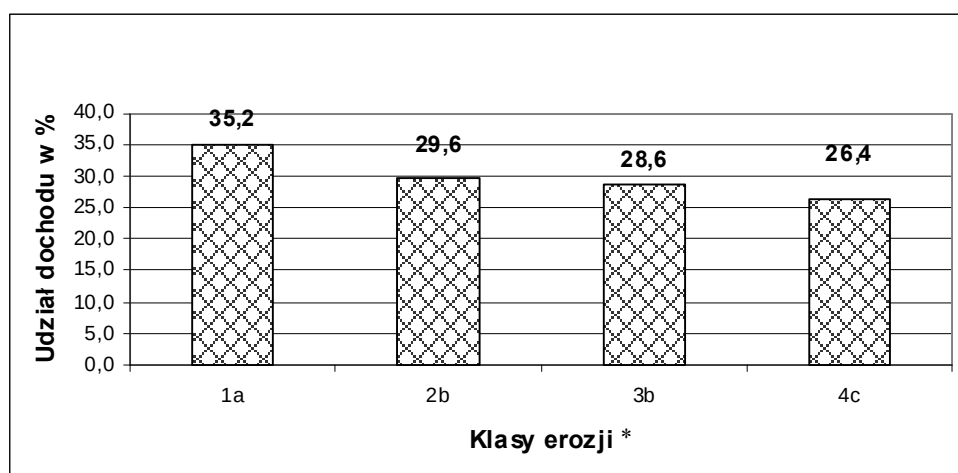


Rys. 8. Produkcja towarowa na gospodarstwo według klas zagrożenia erozją
 * jak na rys. 2
 Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS.

cych do pozostałych klas erozji. Poziom nakładów w 2 klasie erozji gruntów wynosi 1322 zł · ha⁻¹ UR i jest o 38% wyższy w porównaniu z występującym w 3 klasie erozji i odpowiednio o 23% wyższy niż w 4 klasie erozji (rys. 7). Wartość produkcji towarowej na jednostkę powierzchni w gospodarstwach należących do 2, 3 i 4 klasy erozji jest dwukrotnie wyższa w stosunku do osiąganey w gospodarstwach w 1 klasie erozji. O niskim poziomie uzyskiwanych dochodów rolniczych na obszarach najsilniej zagrożonych erozją świadczy produkcja towarowa w przeliczeniu na gospodarstwo, która w 1 klasie wynosi zaledwie 7 tys. zł i jest 4-5 razy mniejsza w stosunku do stwierdzonej w pozostałych klasach (rys. 8). Bardzo niskie dochody rolnicze w gospodarstwach należących do 1 klasy erozji obecnie w pewnym stopniu rekompensują emerytury i renty. Ich udział w dochodach tych gospodarstw wynosi ponad 35% i jest większy w stosunku do występującego w gospodarstwach z 2 i 4 klasy erozji – odpowiednio o 5,6 i 6,8% (rys. 9).

Podsumowanie

Przeprowadzona klasyfikacja gmin umożliwiła wyodrębnienie jednostek (gmin) należących do 1 klasy o szczególnie dużym zagrożeniu erozją, zaliczanych do obszarów problemowych rolnictwa (3) – charakteryzujących się istotnie gorszymi warunkami przyrodniczymi i ekonomiczno-organizacyjnymi. Na niekorzystny obraz gospodarstw rolniczych w tych gminach wpływa: mała powierzchnia gospodarstwa (średnio 4,5 ha), ponad dwukrotnie mniejsza niż średnia w kraju oraz w gminach należących do 3 i 4 klasy erozji, zdecydowanie większy udział użytków rolnych (o 60%) zakwalifikowanych do obszarów ONW o skrajnie niekorzystnych warunkach gospodarowania, mały udział roślin towarowych w płodozmianie, istotnie niższy (w porów-



Rys. 9. Dochód w gospodarstwach uzyskiwany z emerytur i rent według klas zagrożenia erozją

* jak na rys. 2

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS.

naniu z gospodarstwami w 3 i 4 klasie erozji) poziom nawożenia mineralnego. Gospodarstwa znajdujące się w 1 klasie charakteryzują się znacząco małą produkcją towarową w stosunku do ponoszonych nakładów, a produkcja towarowa liczona na gospodarstwo jest ponad czterokrotnie niższa niż w gospodarstwach występujących w pozostałych klasach erozji. Aktualnie niekorzystny bilans finansowy tej grupy gospodarstw w pewnym stopniu poprawia większy dochód uzyskiwany z rent i emerytur. W dalszych pracach warto przeprowadzić uzupełniającą analizę dochodów ludności pracującej w rolnictwie z działalności alternatywnej, tak aby całościowo ocenić rzeczywisty poziom dochodów na obszarach dużego zagrożenia erozją. Oceniając aspekty środowiskowe należy podkreślić, że rozdrobnione i ekstensywne rolnictwo na obszarach silnie zagrożonych erozją wodną znacznie lepiej chroni glebę przed degradacją w porównaniu z rolnictwem intensywnym, co ma korzystny wpływ na jakość i różnorodność środowiska. Nasuwają się jednak pytania, czy tak słabe finansowo i organizacyjnie gospodarstwa rolnicze mogą w obecnych czasach funkcjonować bez wyraźnego wsparcia finansowego i pomocy instytucji państwowych oraz czy pozostawienie gospodarstw w obecnej sytuacji finansowej nie doprowadzi w dłuższym okresie do wyludnienia tych obszarów.

Literatura

1. Filipiak K., Jadczyszyn J.: Kryteria wyboru i ocena obszarów problemowych rolnictwa w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2008, **12**: 103-111.
2. Józefaciuk A., Józefaciuk Cz.: Erozja agroekosystemów. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Warszawa, 1995.
3. Stuczyński T., Filipiak K., Kozyra J., Górski T., Jadczyszyn J. (red.): Obszary o niekorzystnych warunkach gospodarowania w Polsce. IUNG-PIB Puławy, 2006.
4. Terelak H., Terelak-Motowicka T., Stuczyński T., Pietruch Cz.: Pierwiastki śladowe w glebach użytków rolnych. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Warszawa, 2000.

Adres do korespondencji:

dr Jan Jadczyszyn
Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel.: (081) 886 34 21 w. 362
e-mail: janj@iung.pulawy.pl

Artur Łopatka, Tomasz Stuczyński, Jerzy Kozyra

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

**WYKORZYSTANIE METOD MODELOWANIA W PRZESTRZENNEJ
ANALIZIE ZAGROŻEŃ GLEB EROZJĄ WIETRZNĄ W KONTEKŚCIE
EUROPEJSKIEJ STRATEGII GLEBOWEJ***

Wstęp

Ze względu na wzrastającą rolę zarządzania zasobami przestrzeni i różnymi jej funkcjami obserwuje się wzrost zainteresowania bazami danych i możliwościami ich wykorzystania w procesach modelowania. Opracowania przestrzenne charakteryzujące gleby były do tej pory dostępne w formie analogowej. Przetworzenie do postaci cyfrowej map glebowo-rolniczych w skali 1:100 000 wykonane w ramach realizacji zadań programu wieloletniego IUNG - PIB umożliwia wykorzystanie danych glebowych w modelowaniu procesów zachodzących w przestrzeni. Nabiera to szczególnego znaczenia w kontekście przyjętego w 2006 roku dokumentu Europejskiej Strategii Glebowej (4). Strategia zakłada konieczność przestrzennego rozpoznania podstawowych zagrożeń gleb decydujących o ryzyku ograniczenia ich istotnych funkcji produkcyjnych, buforowych, retencyjnych, siedliskowych i kulturowych. W dokumencie strategii dużą wagę przywiązuje się do wykorzystania metod modelowania w celu wyznaczenia zagrożeń, takich jak spadek zawartości materii organicznej, erozja, zagęszczenie gleb, zasklepianie gleb w wyniku urbanizacji, osuwiska i zasolenie. Należy podkreślić, że przestrzenne opracowania zasięgów zagrożeń metodami pomiarowymi jest często niemożliwe z uwagi na duże koszty prac. Stosowane często w przeszłości oszacowania przestrzenne zagrożeń na podstawie kryteriów ustalonych przez ekspertów mają charakter wybitnie jakościowy, a przez to ograniczoną wiarygodność.

Z drugiej zaś strony słabością algorytmów wykorzystywanych w modelach opisujących mechanizmy analizowanych procesów jest trudność ich kalibracji i ograniczona dostępność danych rzeczywistych stanowiących parametry modelu. Opis poligonów na mapie glebowo-rolniczej, której podstawową treścią są kompleksy przydatności rolniczej gleb zawiera atrybuty uziarnienia profilu glebowego. Połączenie cyfrowej wersji mapy z bazą 4500 tak zwanych profili wzorcowych, zawierającą informacje o ich położeniu geograficznym oraz ilościowych charakterystykach właściwości po-

* Opracowanie wykonano w ramach zadań 1.1 i 1.3 w programie wieloletnim IUNG - PIB

szczególnych poziomów umożliwia generowanie map parametrów fizykochemicznych jako danych wejściowych dla potrzeb modelowania. We wcześniejszej publikacji (13) przedstawiono możliwości wykorzystania mapy glebowo-rolniczej do modelowania zagrożeń erozyjnych, spadku zawartości materii organicznej w glebach i zagęszczenia gleb. Słabo rozpoznany do tej pory zagadnieniem są zagrożenia będące następstwem erozji wietrznej. W wielu dotychczasowych publikacjach koncentrowano się na skutkach mierzonych w skali pola (11). Dość dobrze rozpoznane są również czynniki glebowo-klimatyczne decydujące o intensywności strat gleby w wyniku procesów erozyjnych (2, 3, 6, 7). Dane te nie były jednak do tej pory zintegrowane w postaci opracowania przestrzennego dla regionu bądź kraju.

W pracy przedstawiono wyniki pilotażowego wdrożenia modelu erozji wietrznej gleb dla województwa podlaskiego. Praca stanowi część cyklu opracowań poświęconych modelowaniu procesów degradacji gleb, mających na celu przestrzenną identyfikację zagrożeń i ich skali, jako jednej z podstaw dla wdrażania postulatów Strategii Glebowej w Polsce.

Założenia metodyczne

Zjawisko erozji wietrznej polegające na niszczeniu pokrywy glebowej w wyniku działania wiatru jest złożonym procesem zależnym od wzajemnego układu wielu czynników naturalnych i antropogenicznych. Do podstawowych czynników kształtujących nasilenie erozji wietrznej należy zaliczyć podatność materiału glebowego na wywiewanie, wilgotność gleb, prędkość wiatru, położenie w terenie, czas i sposób prowadzenia zabiegów uprawowych oraz stopień pokrycia roślinnością (6). Proces eolicznego przekształcania pokrywy glebowej można podzielić na trzy fazy: deflację, czyli wywiewanie, transport eoliczny i akumulację. Erozyjne straty gleby w danym obszarze są różnicą między wartością deflacji i akumulacji. Ponieważ proces akumulacji jest w porównaniu z deflacją przestrzennie mało zróżnicowany, stąd dobrym oszacowaniem przestrzennej zmienności strat erozyjnych jest deflacja. Z uwagi na złożoność interakcji zachodzących pomiędzy czynnikami kształtującymi deflację w modelowaniu procesu erozji wietrznej gleb stosuje się często metody jakościowe. Systemy Informacji Geograficznej (GIS) stwarzają potencjalną możliwość wykonywania analiz ilościowych, ale nie zawsze dysponujemy niezbędnymi danymi wejściowymi. Pierwszym etapem w takich analizach jest ocena potencjalnej deflacji. Wielkość ta wyraża ilość wywiewanej gleby w warunkach niskiego uwilgotnienia z jednostkowej powierzchni terenu pozbawionej okrywy roślinnej w jednostce czasu. Ilościowa ocena deflacji wymaga uwzględnienia trzech czynników: warunków wietrznych, rzeźby terenu i podatności gleb na deflację. Dla celów tego opracowania wykonano doświadczalne pomiary wywiewania cząstek z podstawowych gatunków gleb dominujących w pokrywie glebowej obszarów polodowcowych. Pomiary wykonano w stanach niskiej wilgotności gleb w celu scharakteryzowania deflacji potencjalnej, biorąc pod uwagę fakt, że gleby przesuszone są najbardziej podatne na wywiewanie. Pomiary podatności na

wywiewanie wykonano przy wietrze $7,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ trwającym przeciętnie 5 godzin, przy nachyleniu powierzchni równym 10% (10). Na podstawie uzyskanych danych pomiarowych wyznaczono funkcję wielkości deflacji w zależności od składu granulometrycznego gleb, tzn. zawartości frakcji piasku, pyłu i części spławialnych. Dysponując cyfrową mapą gleb oraz opisem rzeźby terenu i warunków wietrznych dokonano ilościowej oceny zagrożenia erozją wietrzną w województwie podlaskim.

Opis modelu

Postać funkcji opisującej wielkość potencjalnej deflacji (D_{pot}) według przedstawionej koncepcji można zapisać wzorem:

$$D_{pot} = \lambda S(Sa, Si, Cl)W(V_i, f_i, h, sl, \varphi) \quad (1)$$

gdzie: S jest funkcją składu granulometrycznego gleby, czyli zawartości frakcji piasku (Sa), pyłu (Si) oraz części spławialnych (Cl); (rys. 1):

$$S = \text{Exp}(-1,85 \text{Ln}(Cl) - 1,09 \text{Ln}(Si) - 1,07 \text{Ln}(Sa) + 15,66) \quad R^2 = 0,57 \quad (2)$$

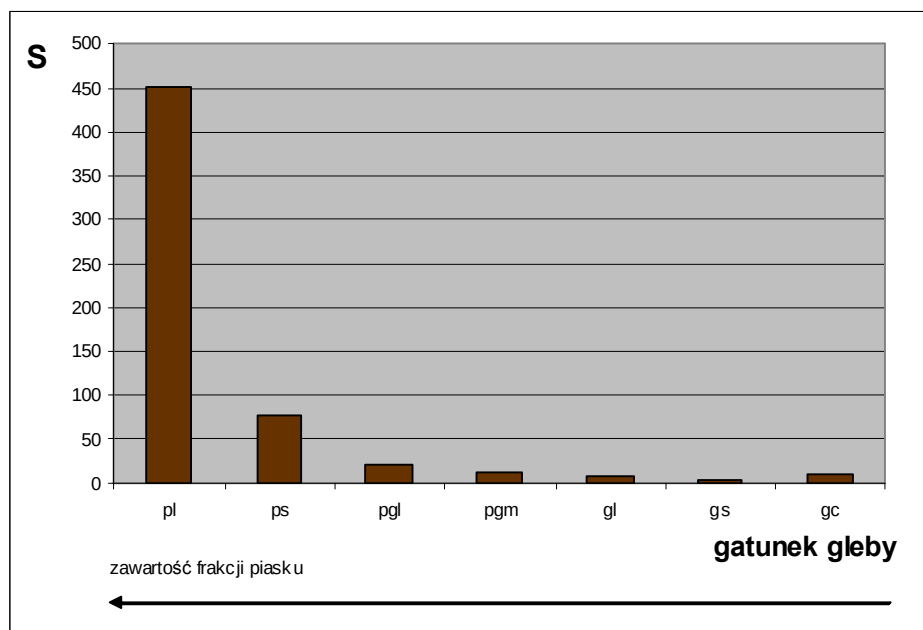
Stała $\lambda = 1/578,5$ została wybrana tak, aby wartość deflacji potencjalnej była w przybliżeniu masą gleby (w tonach) potencjalnie wywiewanej z jednego hektara w ciągu jednego roku.

Na podstawie danych literaturowych przyjęto, że średnia deflacja potencjalna dla Polski wynosi $30 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Ponadto założono, że deflacja potencjalna w województwie podlaskim jest zbliżona do średniej deflacji potencjalnej dla kraju. Należy podkreślić, że wyznaczona w ten sposób bezwzględna wartość deflacji jest arbitralna i w przeciwieństwie do względnego zróżnicowania deflacji zobrazowanego na mapie traktowana być musi jedynie jako informacja pogładowa.

Ogólna postać wzoru opisującego wpływ rzeźby i warunków wietrznych na deflację jest następująca:

$$W = \sum_{i=1}^8 \left[f_i \left(1 + \frac{sl}{90} \Omega_i \right)^k V^3(V_i, h, \varphi) \right] \quad (3)$$

gdzie: f indeksowane przez i są częstościami wiatrów w 8 głównych kierunkach róży wiatrów, sl jest nachyleniem stoku w stopniach, Ω i k są współczynnikami empirycznymi, a V jest średnią prędkością wiatru wyznaczoną z algorytmów modelu agroklimatu Polski (5). Zależy ona od wysokości nad poziom morza (h), szerokości geograficznej (φ) i współczynnika dla prędkości wiatru w 8 kierunkach róży wiatrów (V_i). Powyższy wzór oznacza, że w celu uzyskania łącznej ilości wywianej gleby należy zsumować ilości gleby wywiewanej w okresach, gdy wiatr wieje w każdym z ośmiu przedziałów kierunków wyznaczonych przez różę wiatrów.



Rys. 1. Zależność funkcji S od zawartości frakcji piasku w różnych gatunkach gleby
 Źródło: Opracowanie własne.

Erodująca siła wiatru, jak wynika z badań *Chepila* (3), jest proporcjonalna do trzeciej potęgi prędkości wiatru i zależy od nachylenia stoku, tak jak to przedstawiono w tabeli 1.

Konieczna poprawka uwzględniająca rzeźbę terenu i odróżniająca wzór na funkcję W od wzoru *Skidmore'a* i *Woodruffa* (12) jest zapisana jako wyraz podniesiony do potęgi k . Jego konstrukcja została przeprowadzona tak, aby spełnić następujące warunki (8):

1. wzór powinien być możliwie prosty i zawierać niewielką liczbę stałych empirycznych;
2. skutek erozyjny wiatru wiejącego wzdłuż stoku jest taki sam, jak wiatru wiejącego nad powierzchnią nienachyloną;

Tabela 1

Względne wartości deflacji przy zróżnicowanej rzeźbie terenu

Spadek stoku (sl) (%)	Względna wartość deflacji (Drel)	
	wierzchowina	górną część stoku
do 1,5	100	100
3,0	150	130
6,0	320	230
10,0	660	370

Źródło: *Chepil W. S. i in.*, 1964 (2).

3. w przypadku granicznego nachylenia 90° na zawietrznej erozja nie występuje;
4. wiatry pośrednie między wiatrem prostopadłym i równoległym do kierunku nachylenia stoku mają skutek erozyjny większy od wiatru równoległego o pewien ułamek tego o ile większy skutek erozyjny ma wiatr prostopadły od wiatru równoległego do stoku. Wartość tego ułamka to *cosinus* kąta pomiędzy wektorem prędkości wiatru a ekspozycją stoku;
5. wpływ nachylenia stoku na wartość deflacji jest taki, jak u C h e p i l a (2).

Wymóg spełnienia warunków 2-4 pozwala wyznaczyć współczynniki Ω zależne od kierunku wiatru i ekspozycji stoków (tab. 2).

Tabela 2

Postać współczynników Ω w zależności od kierunków wiatrów i ekspozycji stoku

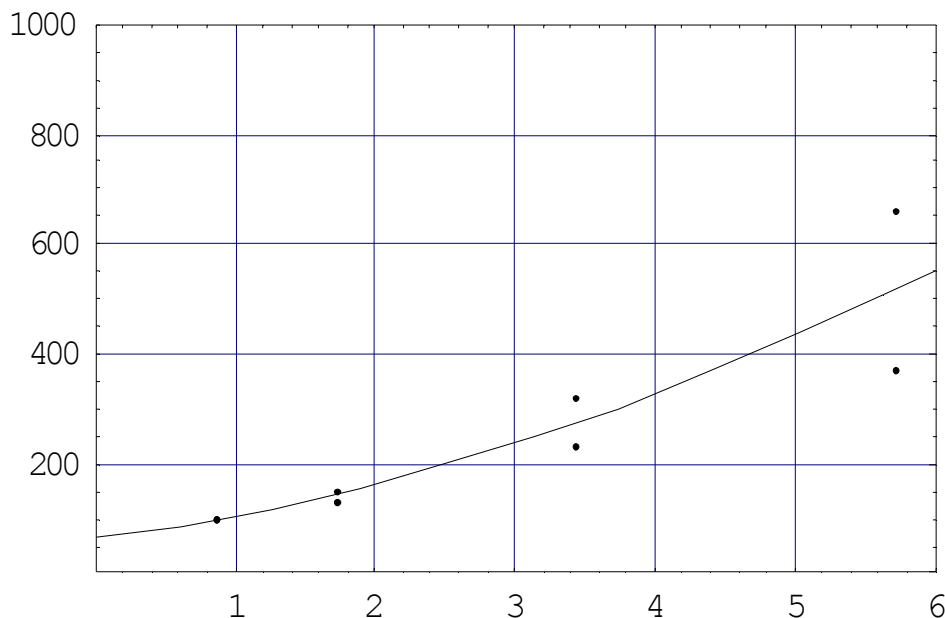
Ekspozycja stoku Kierunek wiatru	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
N	Ω	$\frac{\sqrt{2}}{2} \omega$	0	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	-1	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	0	$\frac{\sqrt{2}}{2} \omega$
NE	$\frac{\sqrt{2}}{2} \omega$	Ω	$\frac{\sqrt{2}}{2} \omega$	0	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	-1	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	0
E	0	$\frac{\sqrt{2}}{2} \omega$	ω	$\frac{\sqrt{2}}{2} \omega$	0	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	-1	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$
SE	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	0	$\frac{\sqrt{2}}{2} \omega$	ω	$\frac{\sqrt{2}}{2} \omega$	0	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	-1
S	-1	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	0	$\frac{\sqrt{2}}{2} \omega$	ω	$\frac{\sqrt{2}}{2} \omega$	0	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$
SW	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	-1	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	0	$\frac{\sqrt{2}}{2} \omega$	ω	$\frac{\sqrt{2}}{2} \omega$	0
W	0	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	-1	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	0	$\frac{\sqrt{2}}{2} \omega$	ω	$\frac{\sqrt{2}}{2} \omega$
NW	$\frac{\sqrt{2}}{2} \omega$	0	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	-1	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	0	$\frac{\sqrt{2}}{2} \omega$	ω

Źródło: Opracowanie własne.

Wielkość ω jest stałą, która wraz ze stałą k mogą być wyznaczone dzięki spełnieniu warunku 5 przez dopasowanie funkcji:

$$Drel(sl) = const. \cdot \left\{ \left[\frac{1}{8} \left(1 + \frac{sl}{90} \omega \right)^k \right] + \left[\frac{1}{8} \left(1 + \frac{sl}{90} (-1) \right)^k \right] + \left[\frac{2}{8} \left(1 + \frac{sl}{90} 0 \right)^k \right] + \left[\frac{2}{8} \left(1 + \frac{sl}{90} \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \omega \right) \right)^k \right] + \left[\frac{2}{8} \left(1 + \frac{sl}{90} \left(-\frac{\sqrt{2}}{2} \right) \right)^k \right] \right\} \quad (4)$$

do danych doświadczalnych (tab. 1).



Rys. 2. Dopasowanie funkcji Drel do danych doświadczalnych

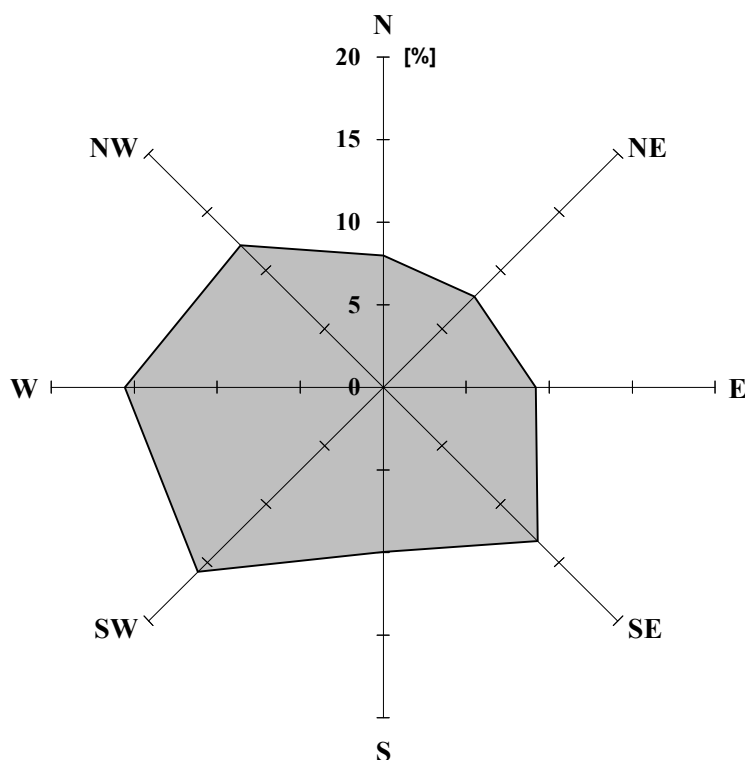
Źródło: Opracowanie własne.

W rezultacie uzyskuje się: $k = 1,83$ i $\omega = 79,8$; przy $R^2 = 0,94$ (rys. 2).

Opis warunków wietrznych

Wartości częstości wiatru f_i (wzór 1) dla 8-kierunkowej róży wiatrów zostały wyznaczone jako średnia z 4 stacji meteorologicznych w województwie podlaskim (rys. 3). Z przeprowadzonej analizy wynika, że na obszarze tym dominują wiatry z sektora zachodniego (SW – 15,8%, W – 15,6%, NW – 12,1%). Ponadto dużą częstość w tym regionie mają wiatry z kierunku SE – 13,2%. Najmniejsze częstości wiatrów występują z kierunków NE – 7,8%, N – 8,0%, E – 9,2%, S – 10,0%.

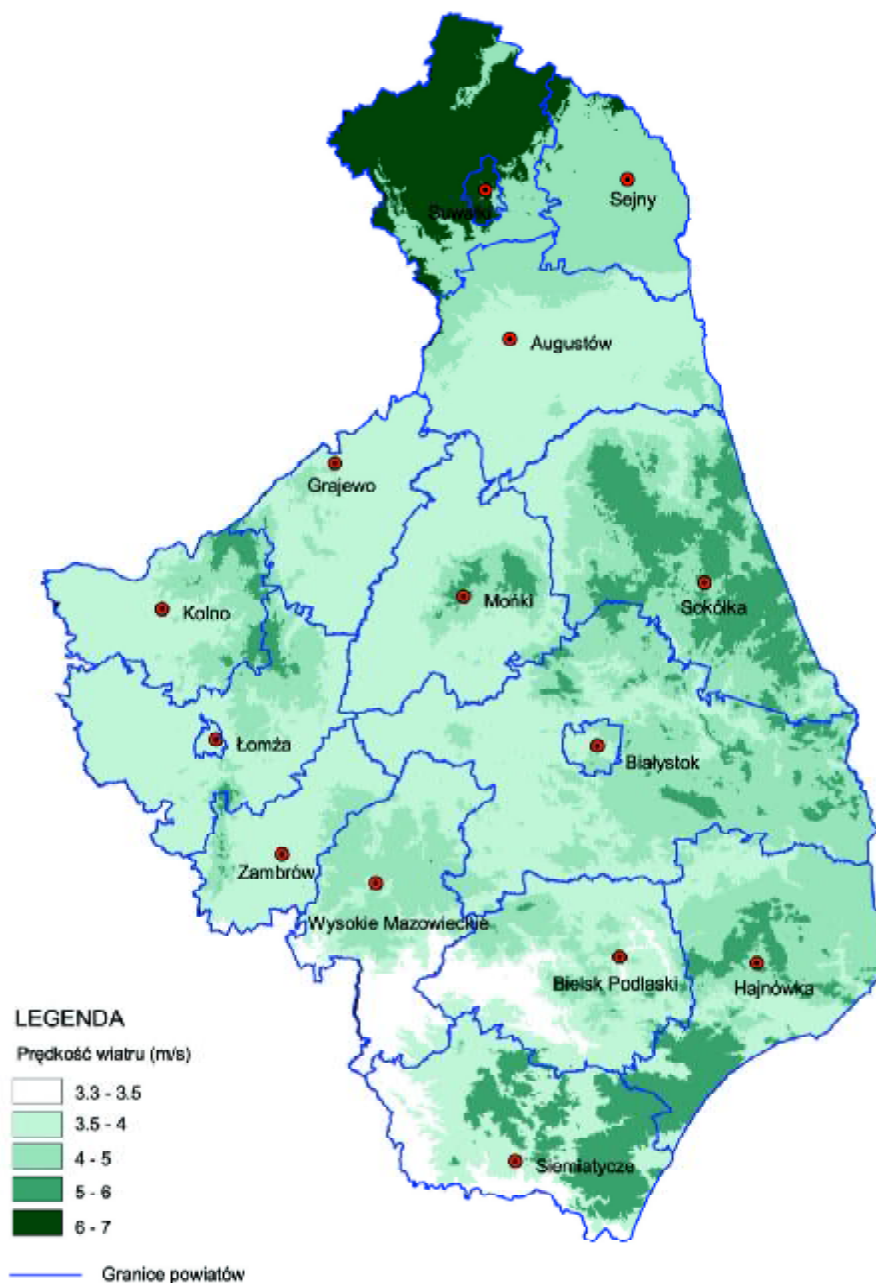
Średnie prędkości wiatru (I) w województwie podlaskim (rys. 4) wyznaczono według algorytmu średnich prędkości wiatru w Polsce z modelu agroklimatu Polski (5). W algorytmie tym notowania z poszczególnych stacji opisane zostały metodą analizy harmonicznego w funkcji współrzędnych geograficznych (h i φ). Ponadto algorytm uwzględnia dwie poprawki związane z położeniem komórki grida w obrębie dolin i wierzchołków. Przyjęto że doliny pokrywają się z obszarami kompleksów przydatności rolniczej – użytki zielone (1z, 2z, 3z), a jako wierzchołki sklasyfikowano obszary o spadkach od 0 do 5%. Obliczona według algorytmu średnia prędkość wiatru w województwie podlaskim wynosi $3,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Minimalne wartości występują w dolinach części południowo-zachodniej (około $3,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), a maksymalne na obszarach wyżej położonych w północnej części województwa (powyżej $5,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$). Średnie



Rys. 3. Udział kierunków wiatru w województwie podlaskim (%)
Źródło: Opracowanie własne.

prędkości wiatru w zależności od kierunku określono na podstawie notowań z 4 stacji znajdujących się na obszarze województwa, wyznaczając odpowiednie wagi względem wartości średniej (tab. 3). Z przeprowadzonej analizy wynika, że średnie prędkości wiatru z kierunku W są większe od wartości średniej prędkości o 13%, a z kierunków SE i SW większe o około 10%. Natomiast średnie prędkości wiatrów z kierunków N i NE są mniejsze od średniej prędkości o około 15%.

Średnie prędkości i częstości występowania wiatru według 8-kierunkowej różnicy wiatrów ze stacji w Białej Podlaskiej, Białymstoku, Osowcu, Sokółce i Suwałkach zaczerpnięto z „Atlasu klimatycznego Polski” (1). Do wyznaczenia średniej prędkości wiatru dla punktów modelu wysokościowego wykorzystano algorytm opracowany na podstawie danych dla całej Polski z modelu agroklimatu (5). Cyfrowy model wysokościowy wykorzystany w pracy obejmował obszar województwa podlaskiego. Zawartość poszczególnych frakcji granulometrycznych została wyznaczona według algorytmu opisanego szczegółowo w metodzie wyznaczania retencyjności gleb województwa podlaskiego (9).



Rys. 4. Średnie prędkości wiatru w województwie podlaskim
Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 3

Średnie prędkości wiatru w województwie podlaskim z 8 kierunków róży wiatrów (V_k) i wartość względna (V_i) w stosunku do wartości średniej

Kierunek wiatru	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
V_k	3,2	3,3	4,0	4,3	3,8	4,2	4,3	3,7
$V_i(V_k/V)$	0,84	0,85	1,03	1,11	0,98	1,10	1,13	0,97

Źródło: Opracowanie własne.

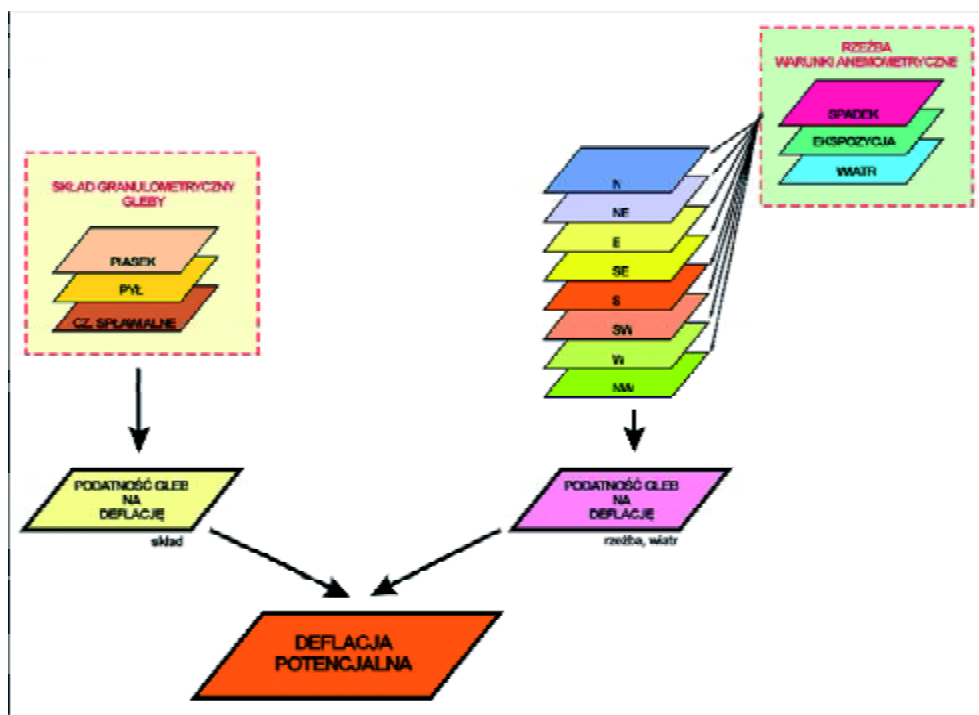
Algorytm analizy erozji wietrznej

Analizy GIS wykonano w programie ERDAS IMAGINE. Pierwszym etapem pracy było wyodrębnienie dolin i wierzchołków do potrzeb algorytmu wyznaczającego średnią prędkość wiatru. Następnie opracowano mapę ekspozycji stoków, która została przeklasyfikowana zgodnie z 8-kierunkową różą wiatrów i mapą spadków. Wyznaczone warstwy posłużyły jako dane wejściowe do określenia (według zaprezentowanej metody) potencjalnej deflacji (D_{pot}); (rys. 5).

Mapa erozji wietrznej gleb województwa podlaskiego

Na mapie potencjalnej erozji wietrznej gleb została zobrazowana przestrzenna zmienność deflacji modelowana z zastosowaniem opisanej metody (rys. 6). Opracowanie oddaje istotę deflacji potencjalnej, niemniej przyjęto, że na obszarach leśnych i użytkach zielonych deflacja jest znikoma i wymienione użytki zostały zakwalifikowane do terenów, na których erozja nie występuje. W opracowaniu wyróżniono cztery kategorie narażenia gleb na erozję:

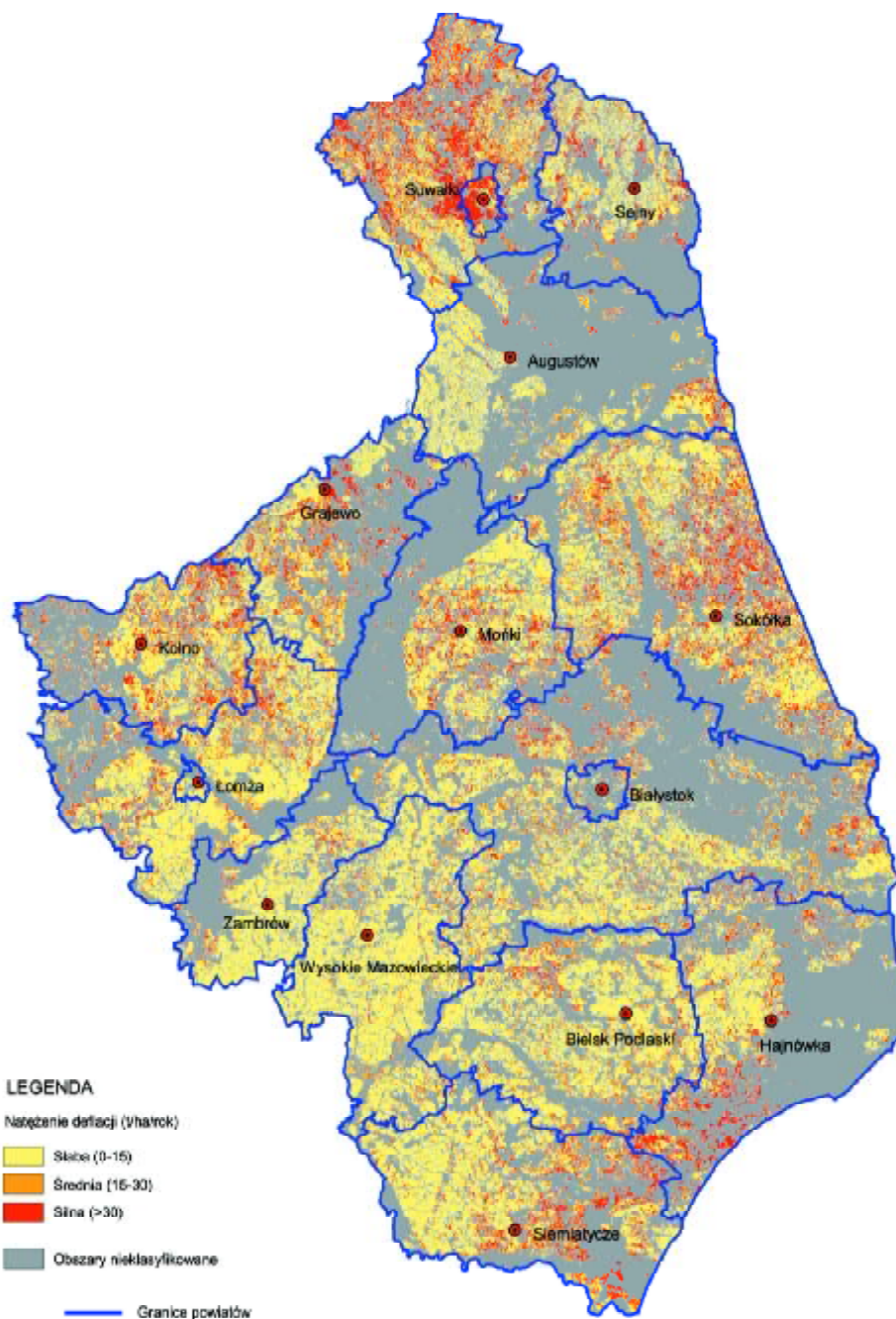
1. nie występuje (las, użytki zielone, wody, tereny zabudowane, nieużytki rolne, nieużytki wodne, żwiry);
2. słaba ($0-15 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$), występująca na 68,84% powierzchni gruntów ornych woj. podlaskiego;
3. średnia ($15-30 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$), występująca na 13,39% powierzchni woj. podlaskiego;
4. silna (powyżej $30 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$), występująca na 17,77% powierzchni woj. podlaskiego.



Rys. 5. Schemat algorytmu obliczeń deflacji potencjalnej

Źródło: Opracowanie własne.

Przedstawione na mapach wyniki stanowią pierwszą w Polsce próbę ilościowego podejścia do wyznaczenia przestrzennego zróżnicowania deflacji z uwzględnieniem właściwości gleb i topoklimatu. Opracowana metoda może być wykorzystana w dalszych pracach zmierzających do ilościowej oceny erozji wietrznej gleb w Polsce. Do obszarów najbardziej narażonych na erozję wietrzną w województwie podlaskim należy zaliczyć następujące powiaty: suwalski, sokólski, kolneński, hajnowski i grajewski (tab. 4). Najmniejszym zagrożeniem erozją wietrzną charakteryzuje się pokrywa glebowa powiatów zambrowskiego i wysoko-mazowieckiego. Na obszarach, gdzie zagrożenie erozją wietrzną w stopniu silnym obejmuje ponad 20% powierzchni gleb uzasadnione jest wdrożenie odpowiednich działań zapobiegawczych, do których należy przede wszystkim wykonywanie zabiegów uprawowych przy optymalnym uwilgotnieniu gleb. Dodać należy, że wobec wydatnego zmniejszenia emisji pyłów pochodzenia przemysłowego w ostatnich latach istotnym źródłem zapylenia powietrza są procesy erozji wietrznej. Zagadnienie to nie jest dostatecznie doceniane jako istotny czynnik kształtujący poziom narażenia zdrowotnego populacji zamieszkującej obszary zagrożone.



Rys. 6. Potencjalna erozja wietrzna gleb województwa podlaskiego
Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 4

Powierzchnie gruntów ornych (GO) narażonych na różne stopnie erozji wietrznej według powiatów

Powiat	Erozja słaba		Erozja średnia		Erozja silna	
	ha	%	ha	%	ha	%
Augustów	34576,1	78,4	5210,8	11,8	4290,4	9,7
Białystok	78953,8	69,7	18315,3	16,2	16081,4	14,2
Bielsk Podlaski	62058,7	79,5	9915,1	12,7	6098,4	7,8
Grajewo	24442,2	59,9	6772,0	16,6	9576,4	23,5
Hajnówka	29497,3	59,0	6691,2	13,4	13768,3	27,6
Kolno	30323,5	58,6	9115,1	17,6	12299,3	23,8
Łomża	60459,6	76,5	9501,3	12,0	9034,6	11,4
Mońki	35909,1	69,4	6437,8	12,4	9398,4	18,2
Sejny	22939,4	70,6	2652,9	8,2	6887,3	21,2
Siemiatycze	53991,8	70,1	8827,0	11,5	14158,7	18,4
Sokółka	65690,4	60,3	16535,5	15,2	26663,4	24,5
Suwałki	32595,8	40,6	15776,9	19,6	31954,5	39,8
Wysokie Mazowieckie	75548,6	89,0	6364,6	7,5	3011,4	3,5
Zambrów	32652,3	88,7	2260,3	6,1	1905,6	5,2
WOJ. PODLASKIE	639618,9	68,8	124365,5	13,4	165131	17,8

Źródło: Opracowanie własne.

Literatura

1. Atlas klimatyczny Polski. Część tabelaryczna – wiatr. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 1971.
2. Ch e p i l W. S., S i d d o w a y F. H., A r m b r u s t D. V.: Wind erodibility of knolly terrain. J. Soil Water Conserv., 1964, **19(5)**: 179-181.
3. Ch e p i l W. S.: Influence of moisture on erodibility of soil by wind. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 1956, **20**: 288-291.
4. COM 231 Communication from the Commission to The Council and European Parliament. The European Economic and Social Committee of The Regions. Thematic Strategy for Soil Protection, 2006.
5. G ó r s k i T., Z a l i w s k i A.: Model agroklimatu Polski. Pam. Puł., 2002, **130**: 251-260.
6. J ó z e f a c i u k C z., J ó z e f a c i u k A.: Erozja agroekosystemów. Bibl. Monit. Środ., Warszawa, 1995.
7. J ó z e f a c i u k C z., J ó z e f a c i u k A.: Mechanizm i wskazówki metodyczne badania procesów erozji. Bibl. Monit. Środ., Warszawa, 1996.
8. K o z y r a J., Ł o p a t k a A., P u d e ł k o R.: Próba oceny deflacji do potrzeb modelowania potencjalnej erozji wietrznej gleb. Mat. XXXIV Semin. Zast. Matematyki, Kobyla Góra, 2004.
9. Ł o p a t k a A., S t u c z y Ń s k i T., C z y ż E., K o z y r a J., J a d c z y s z y n J.: Analiza warunków wodnych gleb i zagrożeń związanych z suszą na przykładzie województwa podlaskiego. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2007, **5**: 79-105.
10. N o w o c i e Ń E., P o d o l s k i B., W a w e r R., J a d c z y s z y n J.: Określenie wskaźników podatności różnych gatunków gleb na erozję wodną i wietrzną. Raport końcowy z tematu badawczego nr 2.21. IUNG Puławy, 2002.

11. P o d s i a d ł o w s k i S.: Rola uprawy mechanicznej w stymulacji procesu erozji eolicznej gleb lekkich. Roczn. AR Poznań, Rozpr. Nauk., 1995, **264**.
12. S k i d m o r e E. L., W o o d r u f f N. P.: Wind erosion forces in the United States and their use in predicting soil loss. USDA, ARS, Agriculture Handbook, 1968, **346(42)**.
13. S t u c z y ń s k i T., K o z y r a J., Ł o p a t k a A., S i e b i e l e c G., J a d c z y s z y n J., K o z a P., D o r o s z e w s k i A., W a w e r R., N o w o c i e ń E.: Przyrodnicze uwarunkowania produkcji rolniczej w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2007, **7**: 77-115.

Adres do korespondencji:

dr Artur Łopatka
Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel.: (081) 886-34-21, w 325
e-mail: artur@iung.pulawy.pl

Przemysław Turos

GEOSYSTEMS Polska Sp. z o.o., Warszawa

SATELITARNE SYSTEMY OBSERWACJI ZIEMI – SIŁA RÓŻNORODNOŚCI

Wstęp

Zagadnienia przyrodnicze w badaniach przestrzeni geograficznej są jednymi z bardziej wymagających ze względu na złożoność dziedziny i różnorodność celów opracowań, zaś najbardziej wszechstronnym, dokładnym i aktualnym źródłem informacji geograficznej są zobrazowania satelitarne. Jednak wybór właściwego pod względem merytorycznym i ekonomicznym źródła danych obrazowych jest zadaniem złożonym. Potrzeby użytkowników informacji obrazowej, rejestrowanej z pułapu satelitarnego, są różne w zależności od przyjętej metodyki i założeń opracowania (zakres tematyczny, skala), dynamiki obserwowanych zjawisk (sytuacje kryzysowe, monitoring rozwoju roślin, aktualizacja map) i wielkości obszaru zainteresowania (zasięg lokalny, regionalny, krajowy). Tym samym różne są wymagania stawiane systemom satelitarnym w zakresie rozdzielczości przestrzennej (wymiar najmniejszego fragmentu terenu reprezentowanego w strukturze danych – terenowy rozmiar piksela), rozdzielczości spektralnej (wyrażana w ilości kanałów rejestracji i ich zakresie) i radiometrycznej (czułość rejestracji), a także rozdzielczości czasowej (potencjalny interwał akwizycji) i zasięgu terenowego (wielkości obrazowanego obszaru).

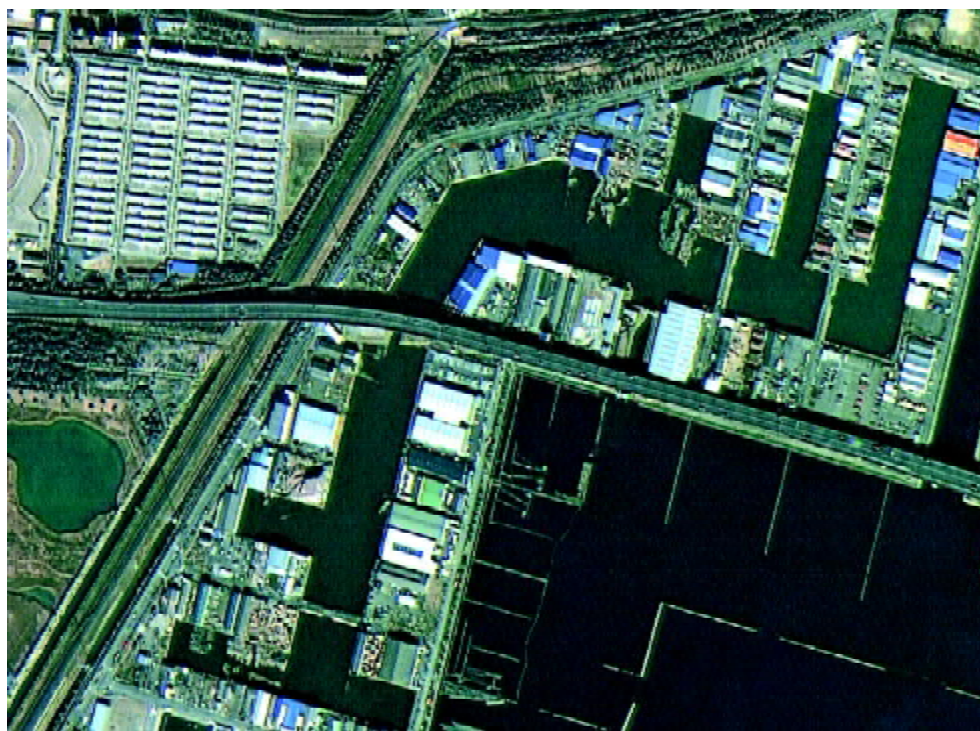
Publikacja ta stanowi przegląd możliwości kilku spośród stosowanych obecnie obserwacyjnych systemów satelitarnych. Zostały one podzielone na dwie grupy wykorzystujące odmienne technologie pozyskiwania zobrazowań. Systemy optyczne rejestrują promieniowanie odbite Słońca. Mimo uzależnienia od oświetlenia słonecznego i warunków atmosferycznych od lat dostarczają dużych ilości informacji o właściwościach fizycznych i chemicznych obiektów na powierzchni Ziemi. Natomiast instrumenty satelitów mikrofalowych (radarowe), należących do systemów aktywnych, same są źródłem promieniowania. Pozwala to na uniezależnienie od oświetlenia słonecznego i w znacznej mierze od warunków pogodowych. Zakres widma elektromagnetycznego wykorzystywany przez satelity radarowe umożliwia badanie szorstkości powierzchni (przy zdolności penetracji roślinności i gruntu w pewnych zakresach pasma radarowego), jej ekspozycji i właściwości dielektrycznych.

Systemy optyczne

Precyzyjna identyfikacja zbiorowisk roślinnych, kondycji roślinności i monitoring zmienności warunków siedliskowych to najistotniejsze elementy badań o profilu przyrodniczo-rolniczym, gdzie cechy obrazowań satelitarnych rejestrowanych przez systemy optyczne są najbardziej pomocne. O ich przydatności decydują parametry rozdzielczości przestrzennej, spektralnej, radiometrycznej i czasowej. Najistotniejsza z punktu widzenia rejestracji cech roślinności wydaje się być rozdzielczość spektralna, czyli ilość kanałów spektralnych rejestrujących określony zakres promieniowania elektromagnetycznego. Zwykle zmienność cech roślinności najlepiej reprezentują wartości i wzajemny stosunek poziomu promieniowania rejestrowanego przez kanały czerwony (R – *red*) i bliskiej podczerwieni (NIR – *near infrared*). Można przyjąć, że wzrost liczby kanałów rejestracji oznacza wzrost ilości informacji dostarczanej przez obrazowanie satelitarne. Dodatkowo cennych danych w postaci numerycznych modeli rzeźby terenu, przydatnych chociażby w modelowaniu erozji gleb, dostarcza fotogrametria. Produkcja tych danych opiera się na analizie stereopar, czyli par obrazów pozwalających na zbudowanie trójwymiarowego modelu powierzchni terenu.

Najpopularniejszym rozwiązaniem w zakresie obrazowań satelitarnych oferowanych komercyjnie są jednometrowe obrazowania w paśmie optycznym. Szeroki obszar ich zastosowań oraz wysoka wartość informacyjna na potrzeby delimitacji i identyfikacji obiektów dla opracowań w skalach od 1 : 5000 do 1 : 2000 zostały już dobrze poznane. Do satelitów dysponujących możliwościami obrazowania z rozdzielczością 1 m dołączył 28 lipca 2006 r. południowokoreański satelita KOMPSAT-2.

Przy dużym obciążeniu istniejących systemów wydłuża się czas oczekiwania na rejestrację obrazowań. Obciążenie najpopularniejszych systemów 1-metrowych w drugiej połowie 2008 roku nie pozwala zaplanować akwizycji w dającym się przewidzieć terminie. Obecność satelity KOMPSAT-2 na orbicie należy rozumieć przede wszystkim nie jako konkurencję, lecz uzupełnienie możliwości obrazowania systemów stosowanych obecnie, umożliwiające szybszy dostęp do aktualnych obrazowań. KOMPSAT-2 rejestruje obrazowania z rozdzielczością terenową 1 m w kanale panchromatycznym i 4 m w kanałach barwnych (B, G, R, NIR) z orbity 685 km (rys. 1). System jest w stanie pozyskiwać dziennie 7500 scen o wymiarach terenowych 15 x 15 km (1,7 mln. km). Charakterystyka obrazowań KOMPSAT-2 czyni je odpowiednim materiałem obrazowym na potrzeby wykrycia i identyfikacji relatywnie niewielkich obiektów (pojazdów, dróg i innych obiektów liniowych, mebli ulicznych, ogrodzeń, pojedynczych drzew i krzewów, zatorów lodowych itp.), delimitację niewielkich obszarów uszkodzeń upraw i drzewostanu, lokalizację nowo powstałych budynków i rozpoznanie typów zabudowy, a także optymalizację i planowanie sieci drogowej i kolejowej. Obrazowania KOMPSAT-2 są właściwe dla potrzeb precyzyjnego kartowania terenu (1 : 5000) i fotointerpretacji (1 : 2000), co w połączeniu z wysokim potencjałem obrazowania w czasie jednego przejścia powoduje, że KOMPSAT-2 odpowiada wymaganiom szczegółowych analiz obszarów, nawet o znacznej powierzchni.

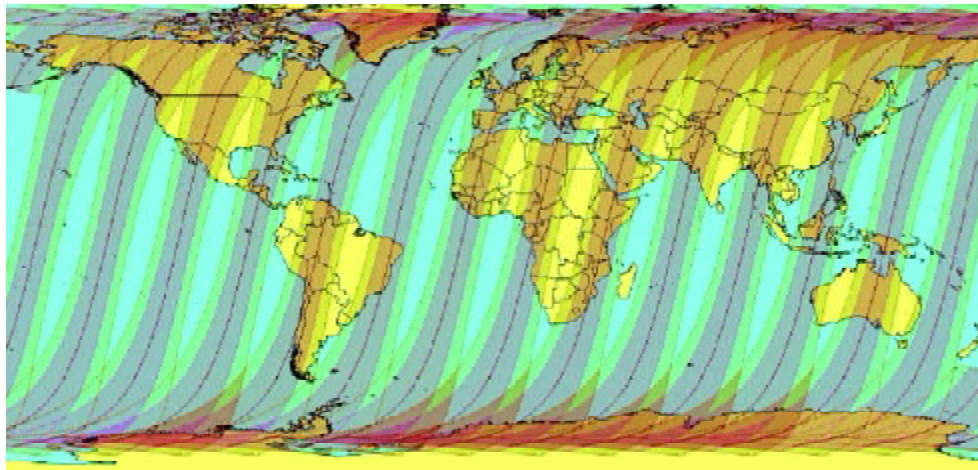


Rys. 1. Zobrazowanie z satelity KOMPSAT-2 (fragment Nagoja, Japonia)

Źródło: Spot Image.

Operacyjny tajwański satelita FORMOSAT-2, obrazujący od połowy 2006 roku z rozdzielczością 2 m, charakteryzuje się najwyższą (wśród wysokorozdzielczych satelitów optycznych) jednodniową rozdzielczością czasową. Realizowane jest to poprzez zastosowanie jedynie 14 orbit dziennych satelity oraz możliwości wychylenia korpusu poprzecznie i podłużnie wobec orbity o $\pm 45^\circ$ (rys. 2).

Pozwala to na: codzienny monitoring (ograniczony jedynie warunkami atmosferycznymi) przy tym samym kącie obrazowania, akwizycję z określonym interwałem lub w wyznaczonych okresach (monitoring rozwoju upraw) oraz szybkie wykonanie pokrycia wielkoobszarowego. Daje to również gwarancję wykorzystania każdego dnia o wymaganych do rejestracji warunkach atmosferycznych. Zobrazowania satelity FORMOSAT-2 spełniają wymagania opracowań w skali 1 : 10000. Obrazowanie z wysoką częstotliwością i regularnością znajduje zastosowanie w identyfikacji upraw i badaniu kondycji roślin, a ponadto dzięki potencjałowi codziennej akwizycji ułatwia pozyskanie zobrazowań przy sprzyjających warunkach atmosferycznych w ściśle określonym przedziale czasowym. Jest to szczególnie istotne przy pracach dotyczących prognozowania plonów. Dostępny w zobrazowaniach kanał niebieski pozwala na uzyskanie kompozycji w barwach naturalnych bez konieczności dodatkowego przetwarzania danych. Kanał ten, osobno lub razem z pozostałymi kanałami spektralnymi,



Rys. 2. Możliwości obrazowania satelity FORMOSAT-2 przy wychyleniu poprzecznym 30° i 45°
Źródło: Spot Image.

dostarcza także informacji istotnych dla kartowania płytkich wód dzięki możliwości penetrowania zbiorników wodnych nawet do 20 m. Informacja z kanału niebieskiego jest również istotna w analizach realizowanych na potrzeby rolnictwa i leśnictwa (rys. 3).

Rodzina francuskich satelitów SPOT od połowy lat osiemdziesiątych dostarcza wartościowych dla wielu dziedzin gospodarki, administracji i nauki zobrazowań satelitarnych o zróżnicowanych parametrach. Produkty powstające na bazie zobrazowań SPOT obejmują sceny i ortoobrazy panchromatyczne i wielokanałowe w rozdzielczościach od 20 do 2,5 m (rys. 4). Parametry zobrazowań SPOT są efektem kompromisu pomiędzy wymaganiami dotyczącymi rozdzielczości terenowej a pokryciem przestrzennym (pas obrazowania 60 km w nadirze oraz możliwość wychylenia sensora poprzecznie do orbity $\pm 27^\circ$). Zobrazowania SPOT znajdują zastosowanie nie tylko w dziedzinie badań środowiskowych, ale także w wywiadzie wojskowym, katastrofie, planowaniu przestrzennym. Najnowszy z serii francuskich satelitów SPOT-5 dysponuje możliwością wykonywania zobrazowań w pokryciu stereo w kanale panchromatycznym o rozdzielczości 10 m, co realizowane jest przez kolejne, poza głównym skanerem wielospektralnym HRG (High Resolution Geometric), urządzenie HRS (High Resolution Stereoscopic). Opracowany na podstawie tych danych numeryczny model rzeźby terenu może służyć potrzebom ortorektyfikacji obrazów HRG, co jest szczególnie istotne dla obszarów, dla których nie istnieją dane wysokościowe.

Możliwość rejestracji w kanale średniej podczzerwieni to cecha skanera LISS-III, indyjskiego satelity IRS-P6 Resourcesat. Dodatkowa informacja pozwala na dokładniejszą identyfikację pewnych cech roślinności. Skaner LISS-III rejestruje zobrazowania z rozdzielczością terenową 20 m.

Wyjątkowe wymagania wiążą się z opracowaniami o zasięgu regionalnym, krajowym lub nawet transgranicznym. Takie aplikacje wymagają kompletnego pokrycia



Rys. 3. Satelita FORMOSAT-2 rejestruje obrazy także w zakresie promieniowania niebieskiego (Kozloduy, Bułgaria)

Źródło: Spot Image.

znacznych obszarów spójnym materiałem obrazowym. Zasób EURO-MAPS dla Polski spełnia te wymagania przy wysokich parametrach i korzystnej cenie. EURO-MAPS to jednolita radiometrycznie mozaika zobrazowań indyjskiego satelity IRS-P6 Resourcesat w barwach rzeczywistych, opracowana dla obszaru całej Polski (rys. 5). Orto-mozaika powstała na podstawie zortorektyfikowanych z wysoką dokładnością geometryczną oraz zmozaikowanych i zbalansowanych radiometrycznie zobrazowań satelitarnych o rozdzielczości 5 m. Dzięki temu produkt jest jednolity geometrycznie i radiometrycznie dla całej powierzchni kraju. Wysoka rozdzielczość oraz wysoka dokładność przetworzenia w połączeniu z cechą homogeniczności dla całego obszaru pokrycia czyni z tego zasobu wartościowe źródło danych dla badań w zakresie ochrony środowiska, rolnictwa, leśnictwa, zagospodarowania przestrzennego czy kartografii. Rozdzielczość terenowa pozwala na zastosowanie EURO-MAPS nawet w opracowaniach o skali 1 : 20000. Dodatkowo dostępne jest archiwum pięciokanałowych ortobrazów (G, R, NIR, SIWR i syntetyzowany B), które stanowiły podstawę opracowania ortomozaiki. Najwyższa możliwa aktualność zasobu utrzymywana jest dzięki systematycznemu włączaniu do mozaiki nowo pozyskanych ortobrazów. Jest to kolejny tego typu produkt w Europie.



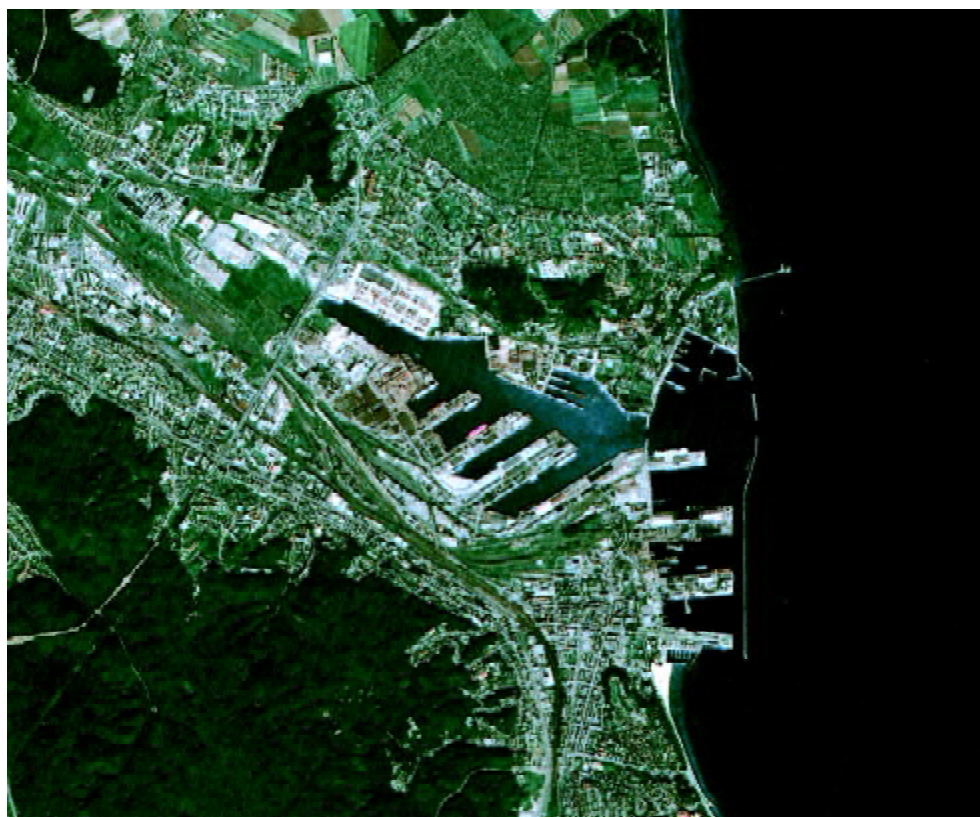
Rys. 4. Centralna część Warszawy z Wisłą i Stadionem X-lecia na zobrazowaniu satelity SPOT-5 o rozdzielczości 2,5 m; kanał niebieski został zsyntetyzowany dla potrzeb stworzenia kompozycji w barwach rzeczywistych

Źródło: Spot Image.

Systemy mikrofalowe

Charakterystyka aktywnych skanerów mikrofalowych umożliwia obrazowanie powierzchni ziemi niezależnie od oświetlenia słonecznego i warunków atmosferycznych. Możliwości takie są niezastąpione w przypadku zjawisk dynamicznych o charakterze klęsk żywiołowych, kiedy istotny jest czas otrzymania aktualnej informacji obrazowej. Rozwój mikrofalowych systemów satelitarnych wiąże się ze zwiększeniem rozdzielczości terenowej zobrazowań, umożliwieniem rejestracji pełnej informacji polaryzacyjnej, a także dużą elastycznością. Zaawansowane zastosowania obejmują radargrametrię (tworzenie modeli wysokościowych na podstawie stereopar), interferometrię (metoda oparta na analizie fazy fali powracającej do anteny, służąca precyzyjnemu badaniu zmian poziomu gruntu) oraz polarymetrię (analiza obrazów rejestrowanych przy różnej polaryzacji wiązki).

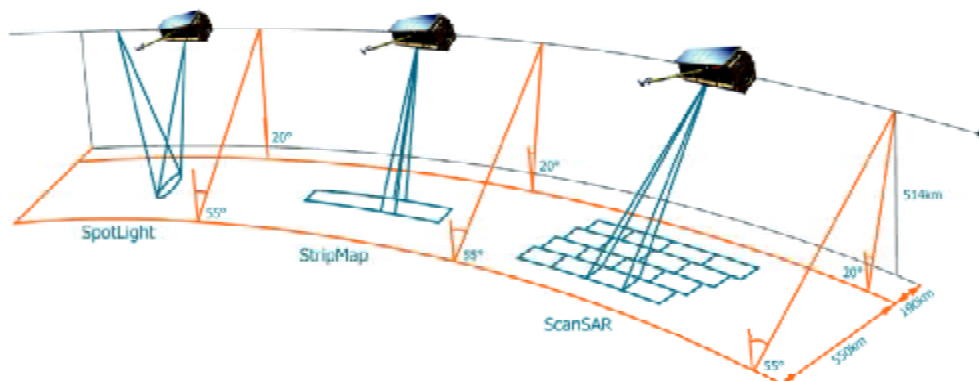
W dniu 26 czerwca 2007 r. został umieszczony na orbicie niemiecki satelita radarowy TerraSAR-X. Charakterystyka orbity i możliwość sterowania wiązką promieniowania pozwoliły na uzyskanie regularnego interwału akwizycji 2,5 dnia. Obrazy rejestrowane są w trzech podstawowych trybach, różniących się rozdzielczością (1-16 m) i powierzchnią sceny (50-15000 km²); (rys. 6).



Rys. 5. Port w Gdyni – fragment mozaiki EURO-MAPS opartej o zobrazenia satelity IRS-P6 (5 m)
Źródło: GEOSYSTEMS Polska.

Tryb SpotLight (1 m) to najbardziej zaawansowany produkt obrazowy pochodzący z satelitarnego systemu mikrofalowego. W kierunku zasięgu (czyli poprzecznie do kierunku ruchu satelity), dzięki odpowiedniej częstotliwości sygnału (300 MHz), osiąga rozdzielczość 1 m. Metrowa rozdzielczość w kierunku równoległym do orbity osiągnięta jest dzięki sterowaniu wiązki, która przez możliwie najdłuższy czas skierowana jest na obrazowany fragment terenu. Tryb StripMap (3 m) obejmuje pas terenu opromieniowany ciągłą sekwencją impulsów, przy zachowaniu stałych kątów wiązki. Efektem jest ciągły pas obrazu o jednakowych parametrach (w kierunku poruszania się satelity) i rozdzielczości 3 m. Tryb ScanSAR (16 m) umożliwia pokrycie dowolnego obszaru globu o powierzchni do 100000 km² w czasie tygodniowej kampanii akwizycji.

Całkowity pas obrazowania o szerokości ok. 100 km jest osiągnięty poprzez quasi-symultaniczne skanowanie czterech przylegających pasów z różnym kątem wiązki. Maksymalna rozdzielczość obrazów pozyskiwanych przez system wynosi 1 m i jest najwyższa spośród dotychczas oferowanych przez satelity mikrofalowe. Ułatwia to spełnianie wymagań stawianych danym obrazowym w opracowaniach o bardzo róż-



Rys. 6. Operacyjne tryby obrazowania satelity mikrofalowego TerraSAR-X

Źródło: GEOSYSTEMS Polska.

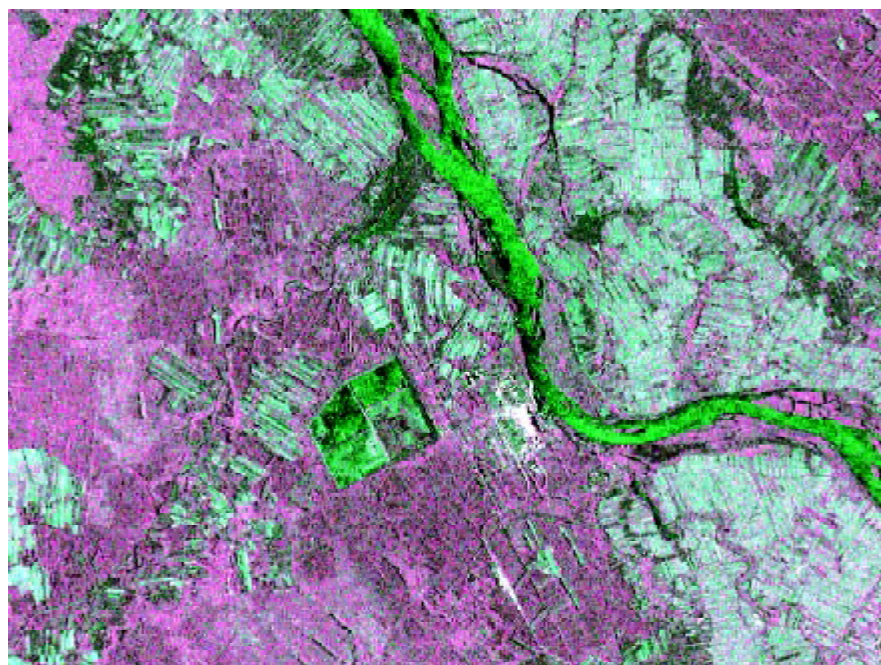
nych poziomach skalowych. Dla fal pasma X, zastosowanego w systemie, powierzchnie roślin, gruntu i innych obiektów są nieprzenikalne dzięki temu rejestrowany przez TerraSAR-X obraz jest łatwy do interpretacji wizualnej (elementy pokrycia terenu, infrastruktura, pojazdy); (rys. 7).

Dzięki charakterystyce systemu radarowego obrazowane są cechy obiektów niedostępne skanerom optycznym, takie jak: właściwości dielektryczne, szorstkość i ruch obiektów. Obraz może być rejestrowany w kombinacji kilku różnych polaryzacji wiązki jednocześnie. Powstaje więc obraz wielokanałowy, który może zostać przedstawiony jako kompozycja barwna (rys. 8). Cztery dostępne tryby polaryzacji (VV, VH, HV i HH) w pełni opisują właściwości polarymetryczne rejestrowanych obiektów. Większa zawartość informacyjna takich danych pozwala na pełniejszą i dokładniejszą interpretację obrazowań. Umożliwia to identyfikację i delimitację obiektów niewidocznych na obrazowaniach optycznych (np. niektóre zbiorowiska roślinne). Wysokorozdzielcze obrazowania mikrofalowe są wartościowym uzupełnieniem obrazowań optycznych.

W dniu 14 grudnia 2007 roku na orbitę wyniesiony został drugi z kanadyjskich satelitów mikrofalowych RADARSAT-2. Podobnie jak TerraSAR-X przenosi radar z syntetyzowaną aperturą (SAR). Obrazowania RADARSAT od ponad 10 lat wykorzystywane są w geologii, oceanografii, klasyfikacji szaty roślinnej, monitoringu pokrywy lodowej i zanieczyszczeń morskich. Od początku maja br. dostępne są komercyjnie produkty RADARSAT-2. Obejmują one produkty obrazowe o rozdzielczości od 3 do 100 m rejestrowane w trybach pojedynczej, podwójnej i poczwórnej polaryzacji. Szerokość pasa obrazowania wynosi od 25 do 170 km (rys. 9). Cechą, która odróżnia satelitę RADARSAT-2 od TerraSAR-X jest stała możliwość obrazowania w obu kierunkach zasięgu anteny; w przypadku TerraSAR-X obrazowanie w lewo od anteny udostępniane jest tylko w szczególnych sytuacjach. Pozwala to na skrócenie interwału akwizycji do 24 godzin powyżej 70° szerokości geograficznej.



Rys. 7. Południowo-zachodnia część Wrocławia. Obraz w rozdzielczości 1,25 m w polaryzacji HH
Źródło: GEOSYSTEMS Polska.



Rys. 8. Otoczenie Elektrociepłowni „Kozienice”. Obraz w rozdzielczości 4,75 m pozyskany w dwóch polaryzacjach VV i VH, zaprezentowany w kompozycji barwnej RGB (VV,VH,VV+VH)
Źródło: GEOSYSTEMS Polska.



Rys. 9. Zobrazowanie z satelity RADARSAT-2 wykonane w poczwórnej polaryzacji i rozdzielczości 10 m; San Francisco, USA

Źródło: MDA.

Podsumowanie

Obecnie szeroko dostrzegana jest potrzeba popularyzacji w Polsce wiedzy o dostępności i możliwościach wykorzystania systemów obserwacji ziemi w przedsiębiorstwach z dziedziny rolnictwa. Wspomaganie decyzji w zakresie zabiegów agrarnych czy szacowania plonów na podstawie informacji pozyskanych zdalnie z pułapu satelitarnego jest powszechnie stosowane na całym świecie. Upowszechnienie technik teledetekcji i systemów informacji przestrzennej jako narzędzia zarządzania rolniczą przestrzenią produkcyjną na poziomie lokalnym, regionalnym i krajowym jest warunkiem koniecznym do spełnienia wymagań konkurencyjności na rynkach międzynarodowych oraz zapewnienia odpowiedniego poziomu jakościowego i ilościowego produkcji rolniczej w Polsce.

Literatura

1. Bouillon A., Bernard M., Gignoux P., Orsoni A., Rudowska V., Baudoin A.: SPOT-5 HRS geometric performances: Using block adjustment as a key DEM generation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2006, **60**:134-146.
2. McNairn H., Shang J., Champagne C., Huffman E., Smith A., Fiset T.: A Multi-sensor approach to inventorying agricultural land use. 31st International Symposium on Remote Sensing of the Environment, Saint Petersburg, Russia, June 20-24, 2005.
3. Chen L. C., Teo T. A., Liu C. L.: The geometrical comparisons of RSM and RFM for FORMOSAT-2 satellite image. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2006, **60**: 573-579.
4. Panigrahy S., Manjunatha K. R., Chakraborty M., Kundub N., Parihara J. S.: Evaluation of RADARSAT standard beam data for identification of potato and rice crops in India. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 1999, **54**: 254-262.
5. Ioannidis C., Vassilaki D.: Combined use of spaceborne optical and SAR data – incompatible data sources or a useful procedure? Integrating Generations FIG Working Week 2008, Stockholm, 2008.

Adres do korespondencji:

mgr Przemysław Turoś
GEOSYSTEMS Polska Sp. z o.o.
ul. Smolna 38 lok.5
00-375 Warszawa
tel.: (+48) 502-228-898
przemyslaw.turos@geosystems.com.pl
przemyslaw.turos@gmail.com

Jan Jadczyzyn, Krystyna Filipiak, Tomasz Stuczyński

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

**OCENA PRZESTRZENNEGO ROZMIESZCZENIA GLEB
PODLEGAJĄCYCH SKRAJNEJ MARGINALIZACJI NA OBSZARACH
ONW W POLSCE***

Wstęp

Obszary wykorzystywane rolniczo w Europie charakteryzują się znacznym zróżnicowaniem warunków przyrodniczych, w tym głównie siedliska glebowego, rzeźby terenu i czynników klimatycznych. Zróżnicowanie takie występuje również w skali Polski. Udział najlepszych gleb pszennych kompleksów 1, 2 i 3 wynosi zaledwie 26,3%, a żytnich najsłabszych kompleksów 6 i 7 prawie 30%. Działalność rolnicza na obszarach o małym potencjale produkcyjnym jest niskodochodowa i niekonkurencyjna w porównaniu z terenami urodzajnymi. Produkcja rolnicza w skrajnie niekorzystnych warunkach może przynosić straty ekonomiczne, a w dłuższym horyzoncie czasowym może być przyczyną wyludniania się tych obszarów, niekorzystnych zmian w krajobrazie i bioróżnorodności oraz marginalizacji życia społecznego. W ramach wspólnej polityki rolnej (CAP) Unia Europejska wspiera finansowo obszary o niekorzystnych warunkach gospodarowania (ONW), za które uważa się tereny niskiej produktywności spowodowanej słabą jakością gleb, niekorzystnymi warunkami klimatycznymi i topograficznymi oraz małym i zmniejszającym się zaludnieniem. Państwa członkowskie zobowiązane są do prowadzenia specjalnego systemu dopłat dla rolników, aby zrekompensować im straty związane z uciążliwością gospodarowania w rejonach o mniej korzystnych warunkach środowiska. Polska uruchomiła program dopłat do obszarów ONW po akcesji do EU w 2004 roku. Subwencje z tego tytułu mają na celu podwyższenie dochodów rolników i utrzymanie uprawy ziemi z możliwością modernizacji gospodarstw, a także rozwoju funkcji pozarolniczych. Dotychczasowe wydzielenia obszarów ONW w poszczególnych krajach Europy nie były prowadzone według jednolitych kryteriów. Przyjęte w Polsce metody wydzielania ONW bazują na kryteriach demograficznych i waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej opisaną za pomocą wskaźników charakteryzujących jakość i przydatność gleb, stosunki wodne, warunki klimatyczne i rzeźbę terenu (4). Z uwagi na dużą zmienność siedliska glebo-

* Opracowanie wykonano w ramach zadań 1.1 i 1.3 w programie wieloletnim IUNG - PIB

wego w Polsce proces kwalifikacji obszarów ONW prowadzono dwuetapowo. W pierwszym etapie do obszarów ONW włączono całe gminy spełniające kryterium gęstości zaludnienia oraz wskaźnika waloryzacji dla gminy (3). W drugim, do obszarów ONW włączono pojedyncze obręby geodezyjne o słabych glebach, położone w gminach, które charakteryzują się znacznym przestrzennym zróżnicowaniem gleb, choć ze względu na przeciętną wartość współczynnika waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej nie zostały zakwalifikowane w całości do ONW.

Odrębne kryteria wyboru stosowano na obszarach nizinnych i górskich. Na nizinach wydzielono strefę niziną I i niziną II. Do strefy nizinnej I kwalifikowano wszystkie gminy o wartości wskaźnika waloryzacji w zakresie 52-56 punktów oraz gminy o wskaźniku powyżej 56 punktów przy niskim zaludnieniu poniżej 60 osób/km², a do strefy nizinnej II zaliczono automatycznie wszystkie gminy o wskaźniku waloryzacji **rpp** poniżej 52 punktów (2). W terenach górskich ONW wydzielono na podstawie położenia danego obszaru nad poziomem morza. Do strefy górskiej ONW włączono obszary położone powyżej 500 m n.p.m., a do strefy ze specyficznymi utrudnieniami obszary między 350-500 m n.p.m. Bazę danych dla potrzeb kwalifikacji gmin w terenach górskich oraz pojedynczych obrębów geodezyjnych na obszarach nizinnych stworzono w IUNG-PIB z wykorzystaniem specjalizowanej aplikacji w systemie informacji przestrzennej GIS i w oparciu o wysokorozdzielcze zdjęcia satelitarne, numeryczną mapę glebowo-rolniczą w skali 1 : 25000, numeryczny model rzeźby terenu, granice obrębów geodezyjnych oraz zestawienia klas bonitacyjnych dla obrębów geodezyjnych (3). W Polsce do obszarów ONW, łącznie we wszystkich strefach, włączono 56,52% użytków rolnych (tab. 1). Największy areal (39,45% UR) zakwalifikowano do strefy nizinnej I i ponad trzykrotnie mniejszą powierzchnię (12,86%) do strefy nizinnej II. Obszary ONW stref górskiej i o specyficznym warunkach gospodarowania zajmują łącznie 4,21% powierzchni użytków rolnych.

Tabela 1

Powierzchnia obszarów ONW w Polsce

Nazwa strefy ONW	Powierzchnia UR włączona do ONW	
	ha	%
Strefa nizinna I	6 441 465	39,45
Strefa nizinna II	2 099 915	12,86
Strefa górską	197 770	1,21
Strefa o specyficznych utrudnieniach	489 140	3,00
Razem	9 228 290	56,52

Źródło: MRiRW – PROW, powierzchnia referencyjna UR w Polsce 16 327,40 tys. ha.

Metodyka badań

Warunki przyrodnicze i organizacyjne prowadzenia działalności rolniczej w obrębie obszarów ONW w Polsce są znacznie zróżnicowane. Wskaźnik waloryzacji charakteryzujący w sposób syntetyczny jakość i potencjał produkcyjny środowiska na tych terenach zawiera się w przedziale 31-82,5 punktów, przy średnim wskaźniku dla kraju 66,6 pkt. A więc do obszarów ONW zaliczano również gminy o znacznie lepszych od przeciętnych w kraju warunkach przyrodniczych w przypadku odpowiednio niskiego zaludnienia, np. przy zaludnieniu poniżej 25 osób/km² kwalifikowano gminy o wartości wskaźnika w przedziale 72,6-82,5 punktów. Wydzielenie obszarów ONW charakteryzujących się skrajnie niekorzystnymi warunkami gospodarowania przeprowadzono wyłącznie w oparciu o czynniki przyrodnicze, decydujące o potencjale produkcyjnym i znacznie wyższych nakładach produkcyjnych w stosunku do ponoszonych na obszarach poza ONW. Do terenów tych zaliczono grunty położone w strefie nizinnej II, w której wartość wskaźnika waloryzacji nie przekracza 52 punktów, grunty w strefie górskiej położone powyżej 500 m n.p.m. oraz w strefie o specyficznych utrudnieniach położone w przedziale wysokości 350-500 m n.p.m. Przyjęte kryteria są zgodne z delimitacją obszarów problemowych rolnictwa (1). Na podstawie tych założeń opracowano mapę obszarów ONW o skrajnie niekorzystnych warunkach gospodarowania i obliczono ich powierzchnie w stosunku do powierzchni użytków rolnych w gminie. Badania przeprowadzono w 2171 gminach wiejskich i wiejsko-miejskich, z pominięciem obszarów miejskich, w których rolnictwo odgrywa marginalną funkcję. Gminy, w których wystąpiły grunty zaliczone do ONW podzielono na 4 klasy terenów o skrajnie niekorzystnych warunkach dla rolnictwa:

- klasa 1 – powyżej lub 50% powierzchni gminy należy do obszarów ONW,
- klasa 2 – od 30 do 50% powierzchni gminy należy do obszarów ONW,
- klasa 3 – od 10 do 30% powierzchni gminy należy do obszarów ONW,
- klasa 4 – poniżej 10% powierzchni gminy należy do obszarów ONW.

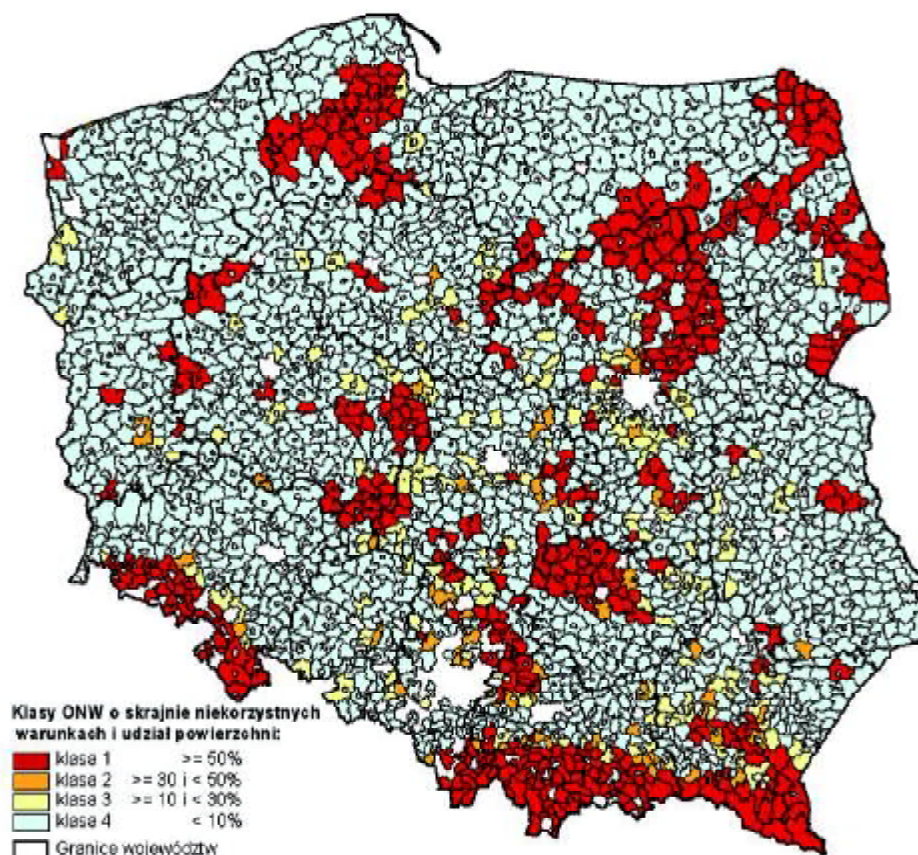
Zgodnie z powyższą metodyką wykonano mapę obszarów ONW według przyjętych klas o skrajnie niekorzystnych warunkach dla rolnictwa. W kolejnym etapie prac przeprowadzono analizę warunków przyrodniczo-ekonomicznych gospodarstw położonych w wyodrębnionych grupach gmin. W badaniach wykorzystano wyniki analiz przestrzennych realizowanych na bazie danych monitoringu gleb (1) oraz dane spisu rolnego dla gmin z 2002 roku. W wydzielonych klasach obliczono wartości przeciętne (średnie i mediany) analizowanych cech diagnostycznych zastosowanych do delimitacji obszarów problemowych oraz cech dodatkowych, charakteryzujących warunki produkcji rolniczej. W zależności od rozkładu zmiennych wykorzystano testy parametryczne (analiza wariancji, test Tukeya) lub nieparametryczne (analiza rang, test Mo-oda) do oceny istotności różnic między przyjętymi klasami obszarów ONW o skrajnie niekorzystnych warunkach dla rolnictwa. Na wykresach przedstawiono charakterystykę analizowanych cech przyrodniczych, organizacyjnych i gospodarczych na tle wydzielonych klas w poszczególnych gminach. Szczegółowej analizie poddano ocenę zagrożenia gruntów erozją wodną w stopniu średnim i silnym, zakwaszenie gleb, po-

wierzchnię gospodarstw, udział roślin towarowych w strukturze zasiewów, poziom nawożenia mineralnego i naturalnego, nakłady i wartość produkcji towarowej w przeliczeniu na 1 ha UR i na gospodarstwo oraz udział dochodów uzyskiwanych przez gospodarstwa z rent i emerytur.

Omówienie wyników

Analizując wyniki klasyfikacji gmin, w których odsetek użytków rolnych należących do obszarów ONW o skrajnie niekorzystnych warunkach gospodarowania jest szczególnie duży stwierdzono, że do 1 klasy, w której udział gruntów stref nizinnej II, górskiej i o specyficznych utrudnieniach przekracza 50% zakwalifikowano 422 gminy. Do 2 klasy, w której udział gruntów strefy nizinnej II, górskiej i o specyficznych utrudnieniach leży w przedziale 30-50% użytków rolnych zakwalifikowano 55 gmin, a do 3 klasy – 157 gmin. Pozostałe 1537 gmin (klasa 4) można traktować jako tereny o warunkach odpowiednich do produkcji rolniczej. Grunty ONW o skrajnie niekorzystnych warunkach gospodarowania są rozmieszczone na powierzchni całego kraju (rys. 1). Największa koncentracja gmin należących do 1 klasy znajduje się na południu kraju, w województwach małopolskim, podkarpackim, dolnośląskim i świętokrzyskim oraz w północno-wschodniej i północnej części Polski, obejmując województwa podlaskie, pomorskie i część północną województwa mazowieckiego. Znacznie mniejsza koncentracja obszarów ONW występuje w województwach wielkopolskim, śląskim i warmińsko-mazurskim (rys. 1). Gminy należące do 1 klasy nie występują w województwie opolskim.

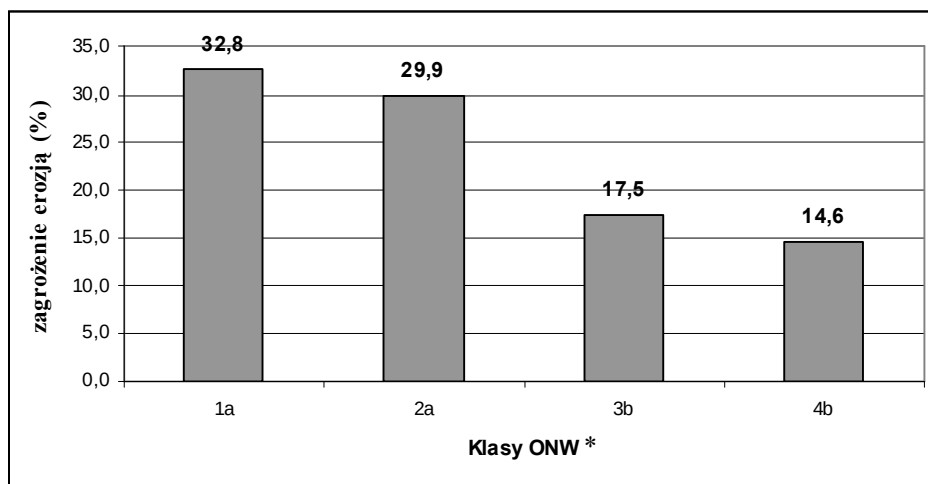
Ocena obszarów ONW o skrajnie niekorzystnych warunkach gospodarowania uwidoczniła istotnie większe zagrożenie erozją wodną potencjalną (w stopniu średnim i silnym) dwóch pierwszych klas, sięgające około 30% powierzchni ogólnej gmin (rys. 2). Zagrożenie erozją w 3 i 4 klasie jest o połowę niższe. Udział gleb bardzo kwaśnych w 1 klasie ONW wynosi ponad 27% powierzchni i jest dwukrotnie większy w stosunku do 3 i 4 klasy (rys. 3). Średnia powierzchnia gospodarstwa w 1 klasie ONW wynosi 7,3 ha i jest o 1,5 ha większa w porównaniu z powierzchnią w 3 klasie i o 2,5 ha mniejsza w stosunku do wielkości w 4 klasie (rys. 4). Wzrost powierzchni gospodarstwa w tej klasie w stosunku do występującego w 3 klasie może wynikać z udziału gmin o najmniejszych gospodarstwach w części południowej kraju oraz powierzchnio-wo większych w części północnej i północno-wschodniej. W 1 i 2 klasie ONW stwierdzono istotnie niższy (o 12%) udział gruntów ornych pod zasiewami w stosunku do występującego w 3 klasie i o 17% niższy w stosunku do znajdującego się w 4 klasie (rys. 5). Gospodarstwa w 1 i 2 klasie ONW mają najmniejszy udział roślin towarowych w strukturze zasiewów (rys. 6). Udział powierzchni rzepaku ozimego w 1 klasie nie przekracza 0,5%, kukurydzy na zielonkę – 1,1%, a buraka cukrowego praktycznie nie uprawia się. Udział rzepaku ozimego i buraka cukrowego w 3 i 4 klasie jest kilkakrotnie większy w stosunku do jego udziału w 1 i 2 klasie (rys. 6). Poziom nawożenia mineralnego gleb azotem, fosforem i potasem w 1 i 2 klasie ONW jest istotnie niższy



Rys. 1. Mapa obszarów ONW o skrajnie niekorzystnych warunkach gospodarowania według przyjętych klas

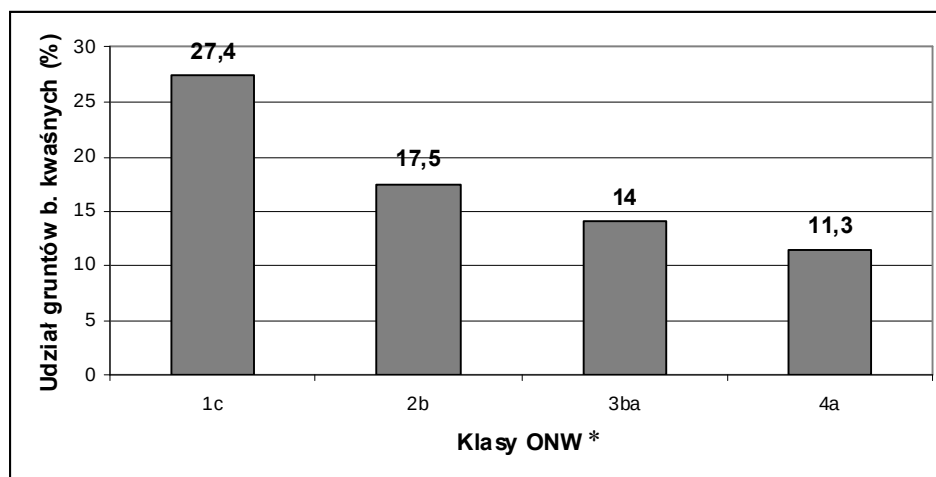
Źródło: Opracowanie własne.

w porównaniu ze stwierdzonym w klasie 3 i 4 (rys. 7). We wszystkich analizowanych klasach występuje bardzo niski odsetek gospodarstw stosujących nawozy wapniowe. Udział gleb wapnowanych w 1 i 2 klasie nie przekracza 10%, a w dwóch kolejnych jest tylko dwukrotnie wyższy. Odmienne stosowane jest nawożenie naturalne. Ponad 46% gospodarstw w 1 klasie ONW stosuje nawozy naturalne, tj. o ponad 11% więcej niż w 2 klasie i ponad 6% więcej niż w 3 klasie (rys. 7). Przeciętna produkcja towarowa gospodarstwa w 1 klasie ONW wynosi zaledwie 12,6 tys. zł i jest prawie dwukrotnie niższa w stosunku do osiągananej przez gospodarstwa w klasie 3 i prawie trzykrotnie niższa w stosunku do uzyskiwanej przez gospodarstwa w 4 klasie (rys. 8). Produkcja towarowa na jednostkę powierzchni w 1 klasie gospodarstw wynosi 1219 zł · ha⁻¹ UR i zaledwie pokrywa wartość ponoszonych nakładów (rys. 9). Dopiero w 2 klasie ONW rolnicy uzyskują niewielki dochód o wartości około 300 zł · ha⁻¹ UR. Wartość produkcji towarowej w 4 klasie ONW wynosi 2251 zł · ha⁻¹ UR i jest ponad



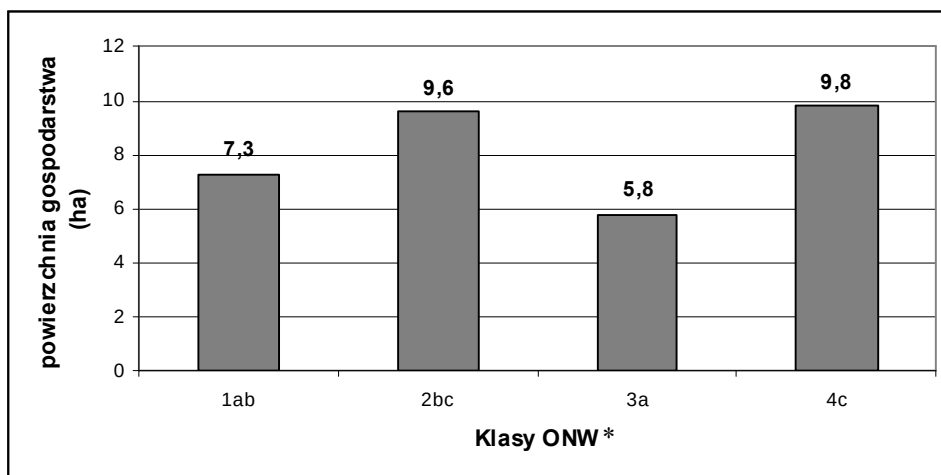
Rys. 2. Zagrożenie gleb erozją wodną w klasach ONW o skrajnie niekorzystnych warunkach gospodarowania

* jednakowe litery oznaczają brak istotnych różnic między klasami gruntów ONW
Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 3. Udział gleb bardzo kwaśnych w klasach ONW o skrajnie niekorzystnych warunkach gospodarowania

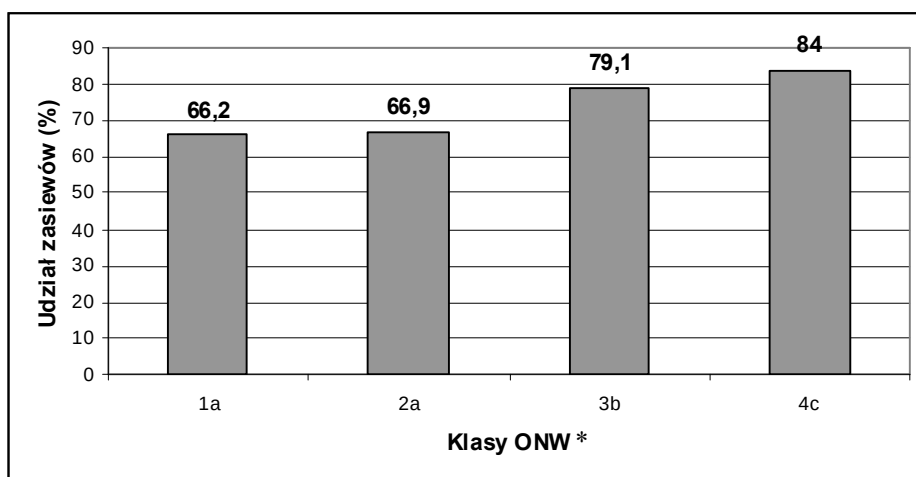
* oznaczenia jak na rys. 2
Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 4. Średnia powierzchnia gospodarstwa w klasach ONW o skrajnie niekorzystnych warunkach gospodarowania

* oznaczenia jak na rys. 2

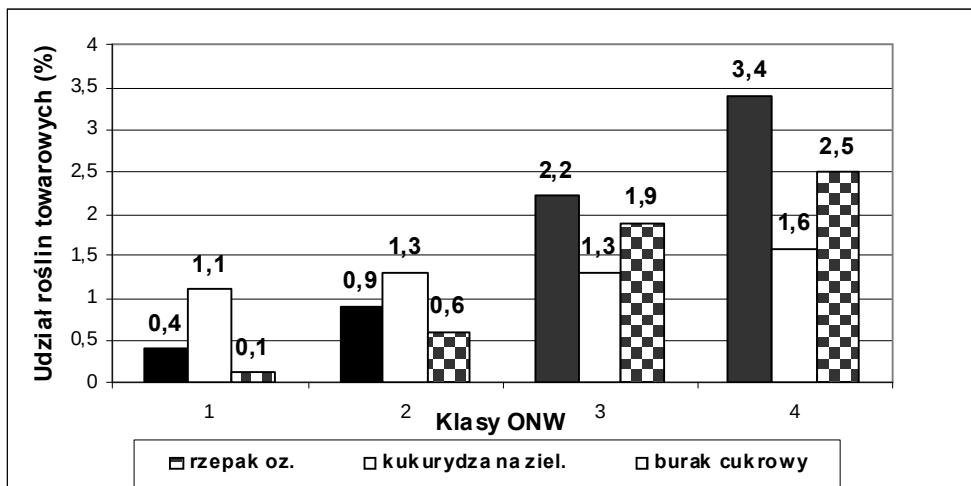
Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS.



Rys. 5. Powierzchnia gruntów ornych pod zasiewami w klasach ONW o skrajnie niekorzystnych warunkach gospodarowania

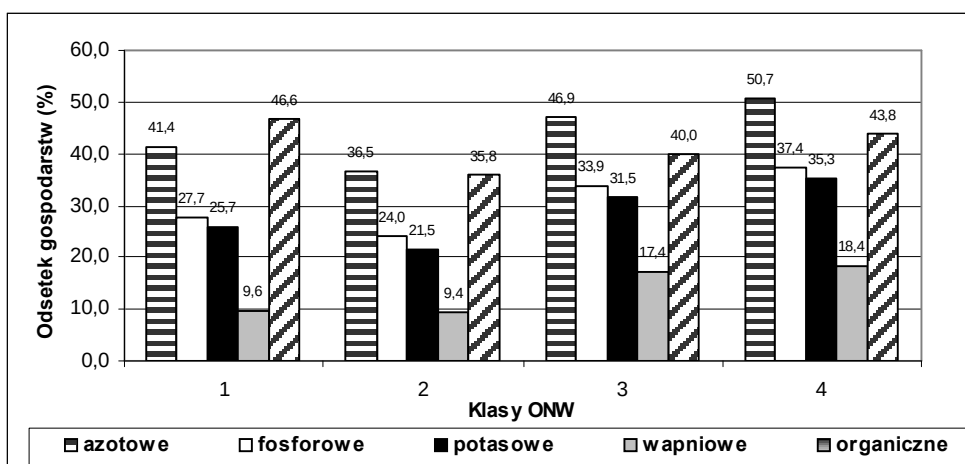
* oznaczenia jak na rys. 2

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS.



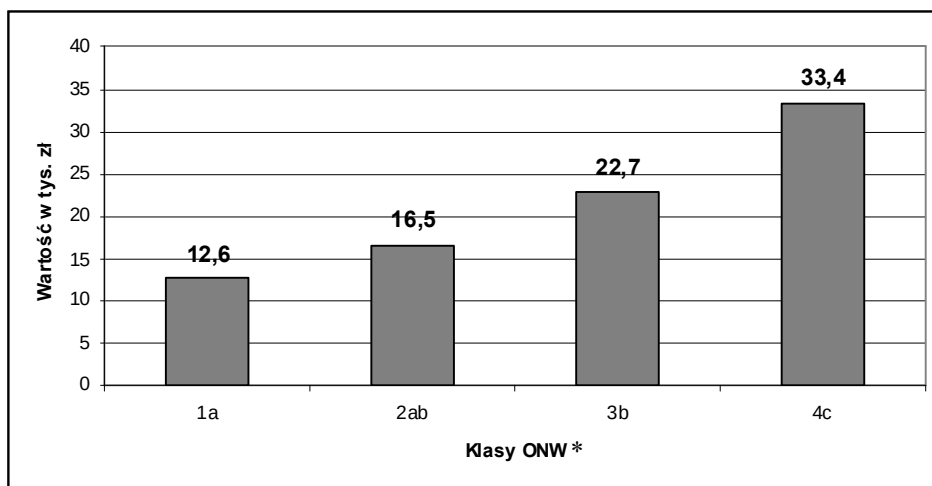
Rys. 6. Udział roślin towarowych w strukturze zasiewów w klasach ONW o skrajnie niekorzystnych warunkach gospodarowania

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS.



Rys. 7. Udział gospodarstw stosujących nawożenie mineralne i naturalne w klasach ONW o skrajnie niekorzystnych warunkach gospodarowania

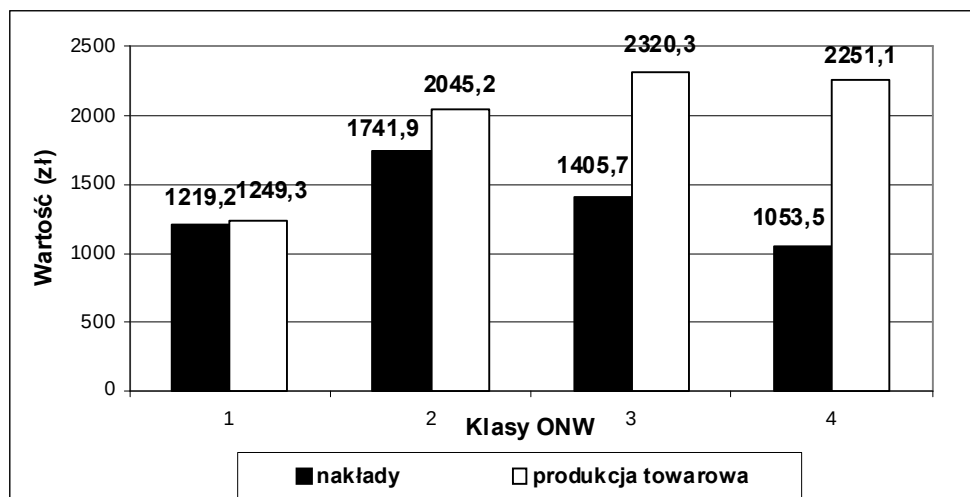
Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS.



Rys. 8. Produkcja towarowa w przeliczeniu na gospodarstwo w klasach ONW o skrajnie niekorzystnych warunkach gospodarowania

* oznaczenia jak na rys. 2

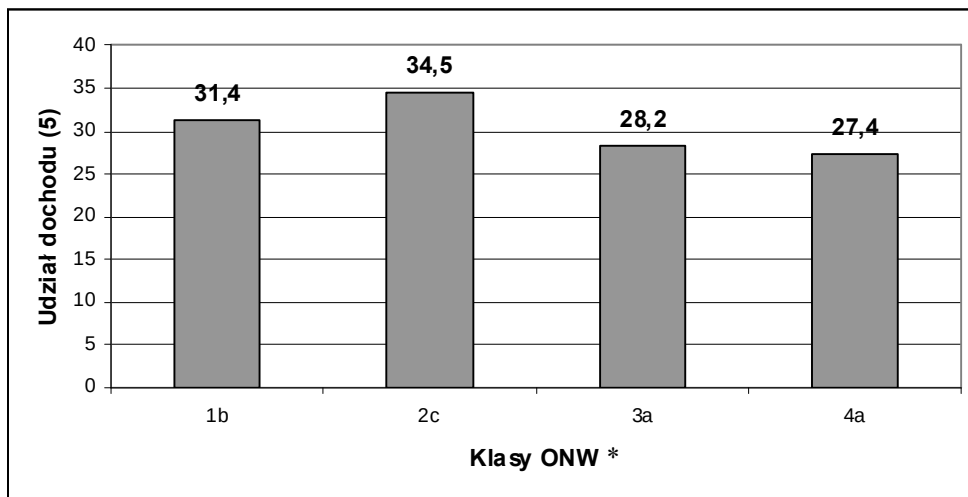
Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS.



Rys. 9. Nakłady i produkcja towarowa w przeliczeniu na 1 ha UR w klasach ONW o skrajnie niekorzystnych warunkach gospodarowania

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS.

dwukrotnie większa od ponoszonych nakładów. W gospodarstwach należących do 1 i 2 klasy ONW zaznaczył się istotnie wyższy poziom dochodów z rent i emerytur w stosunku do uzyskiwanych w gospodarstwach 3 i 4 klasy (rys. 10).



Rys. 10. Udział gospodarstw z przewagą dochodów uzyskiwanych z emerytur i rent w klasach ONW o skrajnie niekorzystnych warunkach gospodarowania

* oznaczenia jak na rys. 2

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS.

Podsumowanie

Przeprowadzone analizy uwiaryściły istotne różnice warunków przyrodniczych i organizacyjno-ekonomicznych rolnictwa na obszarach o przeważającym udziale gruntów ONW o skrajnie niekorzystnych warunkach gospodarowania. Najgorszymi warunkami dla rolnictwa cechują się obszary w 1 klasie ONW, gdzie występuje największe zagrożenie erozją i największy udział gleb bardzo kwaśnych, wynoszący ponad 27% powierzchni. W większości gospodarstw leżących w gminach tej grupy prowadzona jest gospodarka ekstensywna i niskodochodowa. Świadczy o tym mały udział gospodarstw stosujących nawożenie mineralne i wapnowanie gleb oraz struktura zasiewów roślin towarowych, która w znacznej mierze jest związana z niekorzystnymi warunkami siedliska dla produkcji roślinnej. Utrzymywanie w dłuższym okresie nieadekwatnego do potrzeb wapnowania może prowadzić do trwałej degradacji gleby, ubytku materii organicznej, niekorzystnych zmian właściwości fizykochemicznych i obniżenia poziomu plonów. Bardzo mały udział roślin towarowych w strukturze zasiewów oraz niski poziom plonów uniemożliwia rolnikom uzyskiwanie dochodu z działalności rolniczej. W gospodarstwach tych następuje dekapitalizacja środków trwałych i brak możliwości ich bieżącego odtwarzania. Budżet rodzinny tej grupy gospo-

darstw jest aktualnie uzupełniany dochodami z rent i emerytur. Brak dodatkowego finansowego wsparcia ludności żyjącej z rolnictwa na obszarach o skrajnie niekorzystnych warunkach gospodarowania może prowadzić do depopulacji, zaniechania działalności rolniczej i trwałych zmian w krajobrazie.

Literatura

1. Filipiak K., Jadczyszyn J.: Kryteria wyboru i ocena obszarów problemowych rolnictwa w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2008, **12**: 103-112.
2. Program Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2004–2006. MRiRW Warszawa, 2004.
3. Stuczyński T., Filipiak K., Kozyra J., Górski T., Jadczyszyn J. (red.): Obszary o niekorzystnych warunkach gospodarowania w Polsce. IUNG-PIB Puławy, 2006,
4. Witk T. (red.): Waloryzacja rolniczej przestrzeni produkcyjnej Polski według gmin. IUNG Puławy, 1993, (A)56.

Adres do korespondencji:

dr Jan Jadczyszyn
Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel.: (081) 886 34 21 w. 362
e-mail: janj@iung.pulawy.pl

WSKAZÓWKI DLA AUTORÓW

W serii wydawniczej „**STUDIA I RAPORTY IUNG-PIB**” publikowane są recenzowane prace z zakresu agronomii i kształtowania środowiska rolniczego, wykonane w ramach zadań programu wieloletniego pn. „Kształtowanie środowiska rolniczego Polski oraz zrównoważony rozwój produkcji rolniczej”. W zeszytach problemowych 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: wstęp, wyniki i dyskusja bądź omówienie wyników, podsumowanie, 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
- umieszczone w oddzielnych plikach
- pod tabelą przypis ze wskazaniem źródła danych (autorstwa)

rysunki

- czarno-białe
- wykresy w programie Word lub Excel
- wymiary w zakresie 12,5 cm × 18,5 cm
- dołączony wydruk w odpowiednich wymiarach, bardzo dobrej jakości, na białym papierze lub na folii
- w podpisach czcionka 9 p.
- na dyskietce 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 składać w 2 egzemplarzach. Po recenzji oryginalny egzemplarz recenzowany i ostateczną wersję pracy, uwzględniającą uwagi recenzenta i redaktora, składać do Redakcji w 1 egzemplarzu i na dyskietce lub przesłać e-mailem na adres:

Dział Upowszechniania i Wydawnictw IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
e-mail: imarcinkowska@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.

Publikacja dostępna na stronie <http://iung.pulawy.pl/> pod hasłem Wydawnictwa.