



Instytut Uprawy
Nawożenia i Gleboznawstwa
Państwowy Instytut Badawczy

Piotr Ochal

**WYKORZYSTANIE SYNTETYCZNEGO WSKAŹNIKA
DO OCENY STANU AGROCHEMICZNEGO GLEB
W POLSCE**

Praca doktorska wykonana w Zakładzie Żywienia Roślin i Nawożenia

Promotor: dr hab. Janusz Igras, prof. nadzw.

PUŁAWY 2011

Autor pragnie złożyć szczególne podziękowania wszystkim osobom, które przyczyniły się do powstania niniejszej pracy.

Wyrazy wdzięczności za powierzenie zadania opracowania wyników turnusu badań agrochemicznych właściwości gleb w Polsce za lata 2005 - 2008, udostępnionych Instytutowi przez Krajową Stację Chemiczno-Rolniczą w Wesolej k. Warszawy, kieruję w stronę dr hab. Janusza Igrasa, prof. nadzw., i Dyrekcji IUNG-PIB.

Serdecznie dziękuję Zarządowi Stowarzyszenie Przemysłu Wapienniczego w Krakowie za ufundowanie stypendium doktoranckiego w IUNG-PIB, umożliwiającego wykonanie tej pracy.

Dziękuję Promotorowi za okazaną pomoc i owocną współpracę. Niezwykle cenne były dla mnie konsultacje naukowe udzielone przez prof. dr hab. dr h.c. Mariusza Fotymę, uznanego specjalistę w zakresie testów glebowych i ich wykorzystania w doradztwie nawozowym, a także przez dr Krystynę Filipiak zaliczaną do grona znanych i cenionych statystyków rolniczych.

Piotr Ochal

Spis treści

1. WSTĘP	7
2. PRZEGLĄD PIŚMIENICTWA	10
2.1. Podstawy agrochemicznej żyzności gleby.....	10
2.1.1. Odczyn gleby	11
2.1.2. Fosfor w glebie.....	12
2.1.3. Potas w glebie.....	15
2.1.4. Magnez w glebie	17
2.2. Zależności pomiędzy poszczególnymi wskaźnikami agrochemicznej żyzności gleby	19
2.3. Syntetyczne wskaźniki produktywności i żyzności gleb	21
2.3.1. Wskaźnik waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej.....	22
2.3.2. Wskaźnik jakości fizycznej gleby.....	22
2.3.3. Wskaźnik jakości biologicznej gleby.....	23
2.3.4. Wskaźnik żyzności agrochemicznej gleby	23
2.4. Stan żyzności agrochemicznej gleb w Polsce i krajach sąsiednich ...	24
2.4.1. Stan żyzności agrochemicznej gleb w Polsce	24
2.4.2. Stan agrochemicznej żyzności gleb w krajach sąsiednich	25
3. METODYKA BADAŃ.....	29
3.1. Baza danych właściwości agrochemicznych gleb w Polsce	29
3.2. Przygotowanie zbioru danych do obliczeń	29
3.2.1. Kryteria merytoryczne	30
3.2.2. Kryteria statystyczne	31
4. WYNIKI BADAŃ	34
4.1. Charakterystyka właściwości agrochemicznych gleb.....	34

4.1.1. Podstawowe charakterystyki statystyczne	34
4.1.2. Zróżnicowanie wartości cech w obrębie kategorii agronomicznych gleb	35
4.1.3. Związki pomiędzy analizowanymi cechami gleby	38
4.1.4. Rozkład cech gleby z wykorzystaniem tabel kontyngencji	39
4.2. Syntetyczny wskaźnik żyzności gleb.....	46
4.2.1. Sposób wyznaczenia syntetycznego wskaźnika żyzności gleb.....	46
4.2.2. Kategoryzacja syntetycznego wskaźnika żyzności gleb.....	47
4.3. Regionalne zróżnicowanie właściwości agrochemicznych gleb.....	52
4.3.1. Kategorie agronomiczne gleb	52
4.3.2. Właściwości agrochemiczne gleb w województwach	53
4.3.3. Syntetyczny wskaźnik żyzności gleb SWŻG w województwach	65
4.3.4. Grupy województw o podobnych wskaźnikach żyzności gleb.....	69
5. DYSKUSJA.....	72
5.1. Wskaźniki żyzności gleby i zależności pomiędzy wskaźnikami.....	72
5.2. Syntetyczny wskaźnik żyzności gleb i jego kategoryzacja.....	79
5.3. Reprezentatywność wyników badań dla całego obszaru gruntów ornych w Polsce	82
5.4. Zmiany wskaźników żyzności gleby w czasie.....	84
5.5. Weryfikacja syntetycznego wskaźnika żyzności gleby	89
6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI.....	92
7. LITERATURA	94
SPIS TABEL.....	104
SPIS RYSUNKÓW	106

Indeks skrótów stosowanych w pracy

F - Snedecora - test F Snedecora

KSch-R - Krajowa Stacja Chemiczno-Rolnicza

Lq - dolny kwartył

Me - mediana

Min. - wartość minimalna

Maks. - wartość maksymalna

n - liczebność

OSCh-R - Okręgowe Stacje Chemiczno-Rolnicze

p - poziom ufności

P 95% - 95% przedział ufności dla wartości oczekiwanej

σ - odchylenie standardowe

Odch. std. - odchylenie standardowe

SWŻG - Syntetyczny Wskaźnik Żyzności Gleby

UE - Unia Europejska

Uq - górny kwartył

μ - średnia

WRPP - Wskaźnik Waloryzacji Rolniczej Przestrzeni Produkcyjnej

Tabela 1. Skrótów nazw województw w Polsce

Województwo	Skrót nazwy
Dolnośląskie	DOL
Kujawsko-Pomorskie	KUJ
Lubelskie	LUB
Lubuskie	LUS
Łódzkie	LOD
Małopolskie	MAL
Mazowieckie	MAZ
Opolskie	OPL
Podkarpackie	PDK
Podlaskie	PDL
Pomorskie	POM
Śląskie	SLS
Świętokrzyskie	SWT
Warmińsko-Mazurskie	WAM
Wielkopolskie	WLP
Zachodniopomorskie	ZAP

1. WSTĘP

Żyzność gleby jest to jej zdolność do zaopatrywania roślin w składniki mineralne oraz wodę [Fotyma i Mercik 1995 str. 209, Grzebisz 2008 str. 313]. W glebie wyróżnić można fazy stałą, ciekłą i gazową oraz fazę biologicznie czynną, w skład której wchodzi korzenie roślin [Łabętowicz 2000]. Z uwagi na złożoność procesów składających się na żyzność gleby i odmienne podejście metodyczne często, jakkolwiek umownie, wydziela się żyzność biologiczną, chemiczną i fizyczną.

Początki nowoczesnej chemii rolnej wiążą się z ilościową oceną agrochemicznej żyzności gleby z wykorzystaniem testów glebowych. W założeniach testy glebowe miały odwzorowywać dostępność składników mineralnych dla korzeni roślin [Fotyma i Mercik 1995 str. 212]. Podejście takie w czystej formie nie sprawdziło się i testy glebowe ocenia się z reguły metodami statystycznymi poprzez korelacje ich wartości z pobraniem danego składnika przez nadziemne części roślin [Fotyma i Mercik 1995 str. 212, Łabętowicz 2000]. Do powszechnie stosowanych w praktyce rolniczej należy test odczynu gleby oraz testy zawartości przyswajalnych form fosforu, potasu, magnezu, siarki i mikroelementów. Są to z reguły testy chemiczne polegające na pomiarze stężenia jonów wodorowych, ekstrakcji gleby określonymi roztworami i/lub zawartości innych jonów w roztworze ekstrakcyjnym. Procedury te są ściśle znormalizowane i dzięki temu dają powtarzalne wyniki. W Polsce stosuje się test mleczanowy Egnera DL do oznaczania zawartości przyswajalnego fosforu i potasu, test Schachtschabela do oznaczania przyswajalnego magnezu, test nefelometryczny do oznaczania przyswajalnej siarki i test Rinkisa do oznaczania zawartości mikroelementów [PN-R-04023:1996, PN-R-04022:1996/Az1:2002, PN-R-04020:1994/Az1:2004, PN-ISO 11048; 2002, Filipek 2006 str. 67]. Odczyn gleby oznaczany jest w roztworze $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ KCl. Testy glebowe, dla potrzeb praktycznego rolnictwa wykonują specjalistyczne stacje chemiczno-rolnicze, podległe Ministerstwu Rolnictwa i Rozwoju Wsi prowadzące także inne prace z zakresu agrochemicznej obsługi rolnictwa.

Historia badań chemiczno-rolniczych w Polsce ma ponad 150-letnią tradycję i pierwsze stacje chemiczno-rolnicze powstały już w okresie międzywojennym [Czuba i Boguszewska 2000, Lipiński 2005a]. W latach 40-tych po zakończeniu II wojny światowej reaktywowano działalność stacji chemiczno-rolniczych w Krakowie, Poznaniu, Warszawie i we Wrocławiu [Czuba i Boguszewska 2000]. Już w latach 50-tych poprzedniego stulecia powołano do życia wszystkie istniejące do dzisiaj stacje chemiczno-rolnicze w liczbie 17 jednostek. Początkowa działalność stacji przypadająca na lata 1955 - 1975 miała charakter inwentaryzacyjny. W latach 1955 - 1968 przebadano w Polsce, w zakresie odczynu i zawartości przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu wszystkie gleby użytkowane rolniczo [Lipiński 2005a]. Wyniki tych badań przekazywane były w formie map bezpośrednio gospodarstwom państwowym i spółdzielczym oraz jednostkom administracji terenowej z zadaniem upowszechniania ich wśród rolników. Mapy wykonywano oddzielnie dla odczynu i zawartości poszczególnych składników mineralnych.

Po roku 1975 zaprzestano systematycznych badań masowych na rzecz badań w gospodarstwach, które wykazywały zapotrzebowanie na wyniki oznaczeń agrochemicznych właściwości gleby. Wpłynęło to negatywnie na liczbę pobieranych próbek i na zmniejszenie areалу objętego badaniami, a tym samym na reprezentatywność wyników w skalach regionalnych. Pozytywnym aspektem tej zmiany było jednak lepsze wykorzystanie wyników chemicznej analizy gleby przez gospodarstwa zlecające analizy.

Wyniki badań agrochemicznych, podobnie jak niegdyś, są wykorzystywane do oceny stanu zasobności gleb w jednostkach administracyjnych i w skali całego kraju [Lipiński 2005a]. Ocenę taką prowadzi się w czteroletnich „turnusach” w układzie krocącym. Dotychczasowe zestawienia wykonywane były w układzie skategoryzowanym z wydzielaniem udziału próbek zaliczanych do jednej z przyjętych w Polsce kategorii (klasy) odczynu i zawartości poszczególnych składników mineralnych.

W ramach Programu Wieloletniego IUNG-PIB zacieśniono współpracę pomiędzy Instytutem i Krajową Stacją Chemiczno-Rolniczą (KSCh-R) z siedzibą w Wesolej k. Warszawy. KSCh-R udostępniła bazę wyników badań właściwości agrochemicznych gleb za lata 2005 - 2008 z zadaniem wykonania kolejnej ich syntezy. Zakładano, że synteza obok układu skategoryzowanego oparta będzie na

analizie danych liczbowych oraz, że posłuży ona do opracowania syntetycznego wskaźnika agrochemicznej żyzności gleby, obejmującego wszystkie analizowane cechy.

Hipoteza

Stan agrochemicznej żyzności gleby można określić jednym syntetycznym wskaźnikiem obejmującym odczyn oraz zawartość przyswajalnego fosforu, potasu i magnezu.

Cele pracy

Dla zweryfikowania hipotezy roboczej sformułowano następujące cele badań:

1. Dokonanie oceny poszczególnych wskaźników żyzności gleby: odczynu, zasobności w P_2O_5 , K_2O , Mg w zależności od jej kategorii agronomicznej w ujęciu ilościowym i skategoryzowanym.
2. Wyznaczenie zależności pomiędzy wskaźnikami żyzności gleby z uwzględnieniem jej kategorii agronomicznej.
3. Opracowanie syntetycznego wskaźnika agrochemicznej żyzności gleby (SWŻG).
4. Określenie terytorialnego zróżnicowania pojedynczych wskaźników żyzności gleby i wskaźnika syntetycznego.

2. PRZEGLĄD PIŚMIENICTWA

2.1. Podstawy agrochemicznej żyzności gleby

Jak podkreślono we wstępie pracy, agrochemiczna żyzność gleby jest to całokształt właściwości składających się na jej zdolność do zaopatrywania roślin w składniki mineralne (pokarmowe). Żyzna gleba charakteryzuje się pożądaną zawartością składników pokarmowych oraz zdolnością do ich przechodzenia w formy przyswajalne dla roślin [Łabętowicz 2000]. Dla celów praktycznych agrochemiczna żyzność gleby oceniana jest ilościowo z wykorzystaniem odpowiednich testów glebowych. Test ma wartość tylko wówczas, gdy wykazuje wysoką korelację ze wskaźnikami roślinnymi, takimi jak plon, wyżka plonu pod wpływem nawożenia, pobranie składnika lub przyrost pobrania [Fotyma i in. 1987 str. 33]. Ważna jest również łatwość wykonywania i powtarzalność wyników, a także uniwersalność testu rozumiana jako możliwość równoczesnego oznaczania kilku składników pokarmowych roślin [Fotyma i Mercik 1995 str. 214]. Ważnym elementem oceny przydatności testu jest jego kalibracja. W klasycznej kalibracji wykorzystuje się analizę regresji i korelacji pomiędzy wartościami testu i wskaźnikami roślinnymi, na podstawie wyników doświadczeń polowych.

Podstawowym wskaźnikiem roślinnym jest różnica plonu danej rośliny w obiekcie nawożonym składnikiem uwzględnianym w teście i w obiekcie bez nawożenia. Punktem centralnym kalibracji jest wartość krytyczna testu, przy której plon w obiekcie kontrolnym osiąga 95% plonu obiektu nawożonego [Grzebisz 2009 str. 124, 126]. Wokół wartości krytycznej wyznacza się centralny przedział testu określany w Polsce jako zawartość średnia. Poniżej tego przedziału wyznacza się najczęściej dwa przedziały określane, jako zawartość bardzo niska i niska, a powyżej również dwa przedziały określane jako zawartość wysoka i bardzo wysoka. W postępowaniu kalibracyjnym, obok zawartości danego składnika uwzględniane są z reguły inne właściwości gleby (niekiedy roślin) wpływające na zależność pomiędzy zawartością danego składnika w glebie i plonem (różnicą plonu) rośliny testowej. W Polsce w odniesieniu do testu potrzeb wapnowania oraz zawartości przyswajalnego potasu i magnezu dodatkowym

czynnikiem glebowym uwzględnianym w postępowaniu kalibracyjnym jest kategoria agronomiczna gleby [Obojski i Strączyński 1995, Lipiński 2000, Filipek i in. 2006]. W kalibracji testu fosforu czynnik ten nie jest uwzględniany. Zagadnienia te omówiono w odniesieniu do poszczególnych, analizowanych w tej pracy wskaźników chemicznej żyzności gleby.

2.1.1. Odczyn gleby

Jednym z najważniejszych czynników limitujących produkcję roślinną w Polsce jest duże zakwaszenie gleb [Filipek 2001b, Lipiński 2005b, Filipek 2005, Filipek i in. 2006, Grzebisz i in. 2006]. Przyczyniają się do niego zarówno warunki klimatyczno-glebowe, jak i działalność człowieka. Na większości obszaru kraju występują gleby wytworzone z kwaśnych skał osadowych, z których intensywnie następowało wymywanie kationów o charakterze zasadowym. Do tych procesów przyczyniają się dodatkowo opady oraz niskie temperatury, zwłaszcza w okresie jesienno-zimowym, a także niektóre procesy mikrobiologiczne. Pogorszenie odczynu gleby następuje także w wyniku stosowania nawozów azotowych oraz odprowadzania z plonem kationów zasadowych [Bednarek i Lipiński 1998, Filipek 2001b, Lipiński 2005b, Filipek 2005, Filipek i in. 2006].

W Polsce do celów doradztwa nawozowego przyjęto oznaczanie odczynu w roztworze 1 mol KCl · dm⁻³. Na podstawie wartości pH w KCl, gleby dzieli się na 5 grup: bardzo kwaśne pH < 4,5, kwaśne pH 4,6-5,5, lekko kwaśne pH 5,6-6,5, obojętne pH 6,6-7,2 i zasadowe > 7,2 [PN-ISO 10390, 1997]. W większości krajów UE stosuje się pomiar odczynu gleby w roztworze 1 mol CaCl₂ · dm⁻³, co może prowadzić do nieporozumień przy porównywaniu dawek środków wapnujących. Pomędzy wartościami odczynu pH_{KCl} i pH_{CaCl₂} występuje ścisła zależność, którą można opisać równaniem regresji wykładniczej [Fotyma i Dobers 2008]:

$$\text{pH}_{\text{CaCl}_2} = 1/(0,0375 + 0,735/\text{pH}_{\text{KCl}}), R = 98$$

również taka zależność występuje pomiędzy wartościami odczynu pH^H i pH_{CaCl₂} oraz pH_{KCl} i pH^H [Fotyma i Shepherd 2000]:

$$\text{pH}^{\text{H}} = 0,400 + 1,017 \text{pH}_{\text{CaCl}_2}, R = 91$$

$$\text{pH}_{\text{KCl}} = -1,996 + 1,192 \text{pH}^{\text{H}}, R = 97$$

W Polsce, na podstawie wartości pH i kategorii agronomicznej (składu granulometrycznego) gleby przyjmuje się pięć klas potrzeb wapnowania

i odpowiadających im dawek nawozów wapniowych [Obojski i Strączyński 1995] (tab. 2.1.1).

Tabela 2.1.1. Potrzeby wapnowania gleb mineralnych na gruntach ornych [Obojski i Strączyński 1995]

Ocena potrzeb wapnowania	Kategoria agronomiczna gleb – pH _{KCl}			
	b. lekkie	lekkie	średnie	ciężkie
Konieczne	do 4,0	do 4,5	do 5,0	do 5,5
Potrzebne	4,1-4,5	4,6-5,0	5,1-5,5	5,6-6,0
Wskazane	4,6-5,0	5,1-5,5	5,6-6,0	6,1-6,5
Ograniczone	5,1-5,5	5,6-6,0	6,1-6,5	6,6-7,0
Zbędne	od 5,6	od 6,1	od 6,6	od 7,1

2.1.2. Fosfor w glebie

Istotnym elementem agrochemicznej żyzności gleby jest zawartość w glebie fosforu. Fosfor odgrywa zasadniczą rolę w metabolizmie wszystkich organizmów żywych. Zawartość tego pierwiastka w roślinach wynosi 0,2 - 0,5% suchej masy. Fosfor występuje w połączeniach organicznych i nieorganicznych stanowiąc składnik kwasów nukleinowych (DNA), fosfolipidów i nośników energii (ATP). Nieorganiczne związki fosforu biorą udział w reakcjach enzymatycznych decydujących o wszystkich procesach metabolicznych rośliny [Barker i Pilbeam 2006 str. 52, Kirkby i Romheld 2006]. W skali globalnej fosfor jest uważany za główny czynnik ograniczający produkcję rolniczą, gdyż zasoby tego składnika są ograniczone i nieodnawialne. Szacuje się, że nadające się do eksploatacji złoża minerałów zawierających fosfor, przy obecnym tempie ich zużycia w rolnictwie wystarczą na 100 - 250 lat [EFMA 2006]. Pierwiastek ten ogranicza plony roślin na 30 - 40% gruntów ornych na świecie, a około 67% pól uprawnych charakteryzuje się niską i bardzo niską zawartością dostępnego fosforu [Runge-Metzger 1995, Batjes 1997]. Fosfor odgrywa ważną rolę w kształtowaniu żyzności i urodzajności gleb, zwłaszcza w warunkach rolnictwa intensywnego [Filipek 2002].

Z trzech głównych składników pokarmowych roślin najmniejszym współczynnikiem wykorzystania w pierwszym roku po zastosowaniu nawozów charakteryzuje się fosfor [Trawczyński 2002, Potarzycki 2003]. Rośliny uprawne

pobierają tylko 5 - 10% fosforu zastosowanego w nawozie w pierwszym roku, a 90% pobranego fosforu pochodzi z resztek roślinnych znajdujących się w glebie. Świeżo zastosowany fosfor nie może wyrównać niskiej zawartości fosforu glebowego [Csatho 2002]. Im wyższe stężenie fosforu w roztworze glebowym, tym sprawniejszy jest mechanizm zaopatrujący rośliny w ten pierwiastek, natomiast zbyt niskie stężenie fosforu w roztworze glebowym jest czynnikiem ograniczającym jego mobilność [Rutkowska i in. 2002].

Nadmierna akumulacja fosforu w glebie może spowodować ujemne skutki w środowisku naturalnym, a niewykorzystane w produkcji związki fosforu mogą się przemieszczać do wód gruntowych i otwartych, prowadząc do eutrofizacji i biodegradacji zbiorników wodnych [Sharpley 1995, Hayghart i in. 1998, Gburek i in. 2000, Igras 2002, McDowell i in. 2002].

Ogólna zawartość fosforu w warstwie ornej gleb uprawnych według różnych autorów waha się w granicach od 0,01 do 0,2% [Fotyma i Mercik 1995 str. 63, Potarzycki 2003, Mercik 2004 str. 179, Filipek 2006 str. 46].

Związki fosforu w glebie występują w formie organicznej i mineralnej. W glebach mineralnych przeciętnie 30 - 40% fosforu ogólnego znajduje się w związkach organicznych, a pozostałe 60 - 70% w połączeniach mineralnych [Górecki i in. 2002, Mercik 2004 str. 179]. W glebach mineralnych większość fosforu znajduje się w formie nieorganicznych fosforanów wapnia, żelaza, glinu i magnezu. Glebowa substancja organiczna zawiera ok. 0,5 - 0,7% P [Fotyma i in. 1987 str. 96, Mercik 2004 str. 179].

Źródłem związków organicznych zawierających fosfor w glebach są głównie resztki roślinne. Fosfor związków organicznych, w odróżnieniu od fosforu związków mineralnych, jest stale uwalniany do gleby w wyniku rozkładu substancji organicznej. Rośliny pobierają go po zmineralizowaniu związków organicznych [Zawadzki 1999 str. 190]. Wśród zidentyfikowanych dotychczas form fosforu organicznego przeważają związki: izotonylu (10 - 50% fosforu organicznego), fosfolipidy (1 - 5%) i kwasy nukleinowe (do 2,5%) [Potarzycki 2003]. W wyniku mineralizacji fosfor jest uwalniany z tych połączeń, a intensywność tego procesu zależy od stosunku węgla do fosforu w glebie. Im ten stosunek jest węższy, tym uruchamianie fosforu ze związków organicznych jest większe. Przy rozszerzaniu tego stosunku do ponad 300 : 1 wzrasta sorpcja biologiczna fosforu [Mercik 2004 str. 179, Filipek 2006 str. 46]. Jeśli w krótkim okresie po mineralizacji jony

fosforanowe nie zostaną pobrane przez rośliny, wówczas ulegają sorpcji przez fazę stałą gleby, tworząc trudno rozpuszczalne połączenia z kationami obecnymi w roztworze glebowym lub remobilizacji przez mikroorganizmy glebowe [Potarzycki 2003].

Ze względu na dostępność fosforu dla roślin oraz złożoność połączeń fosforu glebowego i ich przemian wyodrębnia się trzy podstawowe formy tego składnika, tj.: formę aktywną, formę ruchomą i formę zapasową [Filipek 2006 str. 47]. Stan zaopatrzenia roślin w fosfor zależy zarówno od ich zdolności do absorpcji fosforu, jak i od zdolności gleby do zabezpieczenia dopływu tego składnika do korzeni roślin [Fotyma i Kęsik 1984, Fotyma i Fotyma 1995].

Fosfor aktywny występuje w roztworze glebowym w formie jonów pochodzących z dysocjacji kwasu ortofosforowego: PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- [Mercik 2004 str. 179].

Fosfor ruchomy obejmuje świeżo strącone fosforany wapnia, żelaza i glinu w postaci niekryształicznej, aniony fosforanowe sorbowane na micelach koloidów glebowych posiadających dodatnio naładowane centra adsorpcji oraz fosfor zawarty w resztkach roślinnych, zwierzęcych, biomasie drobnoustrojów glebowych [Filipek 2006 str. 47]. Ilość fosforu w formie ruchomej można określić metodami wymiany izotopowej, z krzywych adsorpcji i desorpcji, na wymienniczkach jonowych oraz poprzez ekstrakcję gleby roztworami różnych substancji. Fosforany te stanowią około 10% całkowitej zawartości fosforu [Mercik 2004 str. 180].

Fosfor zapasowy stanowi około 90% fosforu glebowego [Filipek 2006 str. 47]. Mogą to być różnego rodzaju, waryscyt, strengit, fosforyty i inne związki [Mercik 2004 str. 180].

W Polsce do oznaczenia fosforu przyswajalnego stosuje się metodę Egnera-Riehma (DL) [Fotyma i Dobers 2008]. Metoda ta polega na ekstrakowaniu z gleby fosforu przyswajalnego za pomocą buforu mleczanowego. Metoda Egnera-Riehma (DL) jest stosowana także na Łotwie. W Belgii, na Węgrzech, na Litwie, w Norwegii, w Słowenii, w Szwecji, stosuje się metodę Egner-AL, polegającą na ekstrakcji i wymianie anionów fosforu za pomocą mleczanu amonu [Jordan-Meille 2011]. Metoda Olsena jest stosowana w Danii, w Anglii, we Francji, we Włoszech i w Hiszpanii i polega na ekstrakcji fosforu przyswajalnego przy użyciu wodorowęglanu sodu. Test Mehlicha III stosowany jest w Czechach, Słowacji i Estonii [Fotyma i Dobers 2008, Jordan-Meille 2011]. W Niemczech

i Austrii stosuje się test CAL, w którym ekstrakcja fosforu odbywa się przy użyciu kwasu octowego zbuforowanego mleczanem amonowym [Fotyma i Dobers 2008, Jordan-Meille 2011].

2.1.3. Potas w glebie

Elementem podstawowej analizy gleb dla potrzeb doradztwa nawozowego obok odczynu gleby, zawartości przyswajalnego fosforu i magnezu, jest ocena zasobności gleby w potas [Lipiński 2005d]. W ostatnim czasie niedobory potasu wymienia się na drugim miejscu po zakwaszeniu gleb jako czynnik najsilniej ograniczający żyzność gleby [Fotyma i Gosek 2000]. Potas, w odróżnieniu od azotu i fosforu, nie wchodzi w skład podstawowych substancji organicznych rośliny. Spełnia on istotną rolę w procesach fotosyntezy, oddychania czy regulacji uwodnienia tkanek. Rośliny mogą pobierać większe ilości potasu niż potrzebują, jeżeli znajdują go w glebie w dużej ilości. Jest to tak zwane „pobieranie luksusowe” [Merschner 1995, Syers 1998, Filipek 2001a, Stępień i in. 2001, Pettigrew 2007].

Potas nie tworzy związków organicznych w glebie i występuje tylko w formie mineralnej, zwłaszcza w strukturach krystalicznych glinokrzemianów [Filipek 2006 str. 52]. Zawartość potasu całkowitego w glebach Polski według różnych autorów mieści się w granicach 0,1 - 2,5% [Fotyma i in. 1987 str. 127, Fotyma i Mercik 1995 str. 69, Mercik 2004 str. 181, Filipek 2006 str. 52, Grzebisz 2009 str. 95]. Zawartość potasu całkowitego jest uzależniona od składu mineralogicznego gleby i zawartości utworów koloidalnych oraz pylastych. Dlatego też większe ilości tego pierwiastka wykazują gleby cięższe, o dużej pojemności kompleksu sorpcyjnego [Mercik 2004 str. 181].

Potas występuje w glebie w czterech formach jako potas aktywny (rozpuszczalny), potas wymienny, potas niewymienny i potas strukturalny [Syers 1998, Diatta 2004].

Potasem aktywnym określa się tę część potasu, którą ekstrahuje się z gleby wodą. Ta forma pierwiastka jest bezpośrednim źródłem jonów K^+ dla roślin, gdyż w takiej postaci chemicznej pierwiastek jest pobierany przez rośliny [Johnston 2007, Grzebisz 2009 str. 97]. Potas aktywny zawarty w roztworze glebowym, stanowi ok. 0,2% form ogólnych tego pierwiastka [Mercik 2004 str. 181].

W glebach Polski zależnie od kategorii agronomicznej waha się od kilkudziesięciu do $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ w warstwie ornej [Grzebisz 2009 str. 97].

Potas wymienny (ruchomy) zaabsorbowany jest na koloidach mineralnych i organicznych i stanowi 1 - 2% formy ogólnej [Mercik 2004 str. 181]. Zawartość form ruchomych oznacza się przez wypieranie kationów z kompleksu sorpcyjnego gleby za pomocą soli obojętnych, np. octanu amonu [Johnston 2007]. W przeciwieństwie do azotu i fosforu forma ruchoma kationów jest dokładnie zdefiniowana analitycznie [Fotyma i Mercik 1995 str. 71]. Z kompleksu sorpcyjnego, zależnie od warunków fizycznych środowiska, jon K^+ jest uwalniany do roztworu glebowego. W glebach Polski ilość potasu wymiennego wzrasta wraz ze wzrostem zawartości cząstek ilastych, ale jednocześnie zmniejsza się jego udział procentowy [Grzebisz 2009 str. 97].

Potas niewymienny znajduje się w przestrzeniach międzywarstwowych niektórych minerałów ilastych. Silne (niewymienne) wiązanie jonu K^+ polega na jego wnikanii do „pustych” przestrzeni w warstwach czworościanów krzemowych minerałów ilastych typu 2 : 1. Przestrzenie te mają niemal taką samą średnicę, jak jon K^+ i jon NH_4^+ , w stanie nieuwodnionym, tzn. 0,27 - 0,29 nm. Wnikanie jonu K^+ następuje wówczas, gdy warstwy minerału ulegają poszerzeniu np. przy jego nawilżaniu. Kurczenie się minerałów ilastych powodowane jest przez sam jon K^+ ściągający ku sobie warstwy minerału. Największą zdolność do silnego wiązania potasu wykazują gleby o dużej zawartości cząstek koloidalnych, składających się z illitu i wermikulitu, np. lessy, a pozbawione są jej gleby organiczne [Fotyma i Mercik 1995 str. 71 - 72].

Potas strukturalny w sieci krystalicznej pierwotnych i wtórnych minerałów krzemianowych i glinokrzemianowych, np. ortoklaz, muskowit, biotyt, leucyt, illit może stanowić ponad 90% potasu ogólnego [Mercik 2004 str. 181]. W glebach zasobnych w potas, a są nimi przeważnie gleby średnie i ciężkie, zdecydowana większość całkowitych zasobów potasu w glebie, występuje w związkach niedostępnych dla roślin uprawnych [Grzebisz 2009 str. 98].

Glebowe formy potasu ulegają licznym przemianom, które dotyczą przede wszystkim mobilizacji, immobilizacji, sorpcji, desorpcji, pobierania przez rośliny oraz wymywania do wód glebowo-gruntowych. Mobilizacja polega na uwalnianiu potasu z siatek krystalicznych minerałów zawierających ten składnik, z przestrzeni międzypakietowych oraz warstw powierzchniowych i krawędzi wtórnych minerałów

ilastych, a także z substancji organicznej do roztworu glebowego. Proces ten uzależniony jest od wielu czynników, z których najważniejszymi są: intensywność procesu wietrzenia, skład mineralogiczny gleby, wysycenie kompleksu sorpcyjnego kationami oraz zakwaszenie gleb [Filipek 2006 str. 52].

Immobilizacja potasu aktywnego, występującego w roztworze glebowym, zwana retrogradacją polega na trwałym zatrzymywaniu potasu w przestrzeniach międzypakietowych wtórnych minerałów ilastych, zwłaszcza illitu. Zachodzi ona intensywnie w glebach ciężkich o dużej zawartości illitu, o odczynie zbliżonym do obojętnego i w warunkach silnego wyeksploatowania gleb z potasu przyswajalnego. Procesowi temu sprzyjają występujące na przemian okresy suszy i silnego uwilgotnienia gleb. Sorpcja wymienna potasu zachodzi na koloidach mineralnych, organicznych i organiczno-mineralnych i w dużym stopniu zależy od pH gleby. W glebach zakwaszonych sorpcja kationu potasu jest ograniczona przez H^+ i Al^{3+} , które posiadając dużą energię wejścia do kompleksu sorpcyjnego łatwo wypierają K^+ do roztworu glebowego. Wynikiem tego jest zwiększenie wymywania potasu do wód gruntowych, drenarskich i powierzchniowych [Filipek 2006 str. 52].

Potas przyswajalny w Polsce ekstrahuje się z gleby buforem mleczanowym [Fotyma i Dobers 2008], a jego stężenie w ekstrakcie oznacza się metodą ASA lub metodą ASE [Filipek 2006 str. 54]. Ta sama metoda również wykorzystywana jest na Łotwie. Test Mehlicha III stosowany jest w Czechach, Słowacji i Estonii [Fotyma i Dobers 2008]. W Niemczech i w Austrii stosuje się test CAL, a ekstrakcja odbywa się z użyciem kwasu octowego zbuforowanego mleczanem amonowym [Fotyma i Dobers 2008].

2.1.4. Magnez w glebie

Magnez należy także do składników pokarmowych, których ocena zawartości w glebie stanowi element doradztwa nawozowego. Magnez wchodzi w skład chlorofilu, barwnika niezbędnego w fotosyntezie, oraz odgrywa rolę aktywatora w wielu reakcjach enzymatycznych [Barker i Pilbeam 2006 str. 146, Cakmak i Kirkby 2007, Romheld i Kirkby 2007, Grzebisz i in. 2009, Grzebisz i in. 2010]. Ilości pobieranego magnezu przez rośliny są różne, ale mniejsze niż potasu i wapnia. Zależą one od gatunku rośliny oraz od obecności w glebie innych jonów [Zawadzki 1999 str. 195]. Na większą skalę badania zasobności gleb w magnez

rozpoczęto w latach 60-tych XX wieku i od tego czasu były tworzone racjonalne podstawy nawożenia tym składnikiem. Dziś określanie jego zawartości jest obok odczynu, fosforu i potasu jednym z podstawowych elementów diagnostyki stanu żyzności gleby [Lipiński 2005e].

Magnez ogólny stanowi w glebach Polski od 0,05 do 1,2%. Źródłem tego składnika są minerały takie jak: oliwin, serpentyn, talk, biotyt, hornblenda, augit i dolomit. Niewielkie ilości magnezu do 1% Mg ogólnego występują w glebie w postaci organicznej głównie fityny [Filipek 2006 str. 56]. Najniższą zawartość Mg stwierdza się w glebach piaszczystych, najwyższą zaś w glebach ilastych, gliniastych i lessowych. Zróżnicowanie zawartości magnezu ogółem w poziomach genetycznych różnych typów gleby jest znaczne i przede wszystkim związane z procesami bielicowania i płowienia [Filipek 2006 str. 55].

Przemiany magnezu w glebach obejmują mobilizację, sorpcję, desorpcję, pobieranie przez rośliny oraz wymywanie do wód. Podobnie jak w przypadku potasu, mobilizacja oraz sorpcja i desorpcja magnezu w glebach zależy w dużym stopniu od właściwości fizykochemicznych gleby, w tym głównie od pojemności sorpcyjnej, zawartości substancji organicznej i pH [Filipek 2006 str. 56].

Uwalniany w procesie wietrzenia jon Mg^{2+} może być sorbowany wymiennie przez koloidy glebowe. Odznacza się on, podobnie jak wapń, dużą energią wejścia do kompleksu sorpcyjnego gleb. Przy odczynie kwaśnym jony Mg^{2+} są z kompleksu sorpcyjnego usuwane przez jony H^+ łatwiej niż jony Ca^{2+} i łatwo wymywane, szczególnie z gleb lekkich [Zawadzki 1999 str. 195 - 196].

Obok zawartości całkowitej oznacza się [Filipek 2006 str. 56]:

- magnez w wyciągu 20% HCl, który stanowi rezerwę Mg w postaci łatwo rozpuszczalnych węglanów, uwięzionych jonów w przestrzeniach międzypakietowych minerałów ilastych typu 2 : 1, a nawet część z siatek krystalicznych minerałów pierwotnych,
- magnez wymienny ekstrahowany roztworem 1 mol $CH_3COONH_4 \cdot dm^{-3}$, który stanowi ruchomą, stosunkowo łatwo dostępną dla roślin pulę Mg w glebie; jego udział w kompleksie sorpcyjnym waha się od 4 do 20% całkowitej pojemności sorpcyjnej gleby; magnez wymienny stanowi około 5% całkowitej zawartości w glebie.

- magnez przyswajalny dla roślin oznaczany w wyciągu $0,0125 \text{ mol CaCl}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$, ilość tej formy, jest dodatkowo skorelowana zawartością frakcji glebowej o wymiarach $< 0,02 \text{ mm}$.

W Polsce magnez przyswajalny ekstrahuje się z gleby za pomocą roztworu chlorku wapnia o stężeniu $0,0125 \text{ mol CaCl}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ [Fotyma i Dobers 2008]. Przeprowadzony do roztworu magnez oznacza się metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej [Filipek 2006 str. 57]. Ten sam test stosowany jest również w Niemczech, Austrii i Słowenii. Test Mehlich III stosuje się w Czechach, Słowacji i Estonii. Do oznaczania magnezu przyswajalnego wykorzystywane są również inne testy DL, AL, i KCl, wykorzystywane odpowiednio na Łotwie, Litwie i Węgrzech [Fotyma i Dobers 2008].

2.2. Zależności pomiędzy poszczególnymi wskaźnikami agrochemicznej żyzności gleby

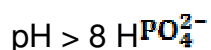
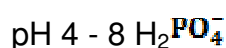
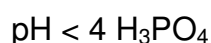
Znaczna część gleb na obszarze Polski wykazuje odczyn kwaśny lub bardzo kwaśny, co ma istotne implikacje dla dostępności składników pokarmowych [Lipiński 2000, Filipek 2001b, Lipiński 2005b, Filipek i in. 2006, Igras i Lipiński 2006, Lipiński i Igras 2006, Filipiak 2008]. W warunkach kwaśnego odczynu gleby maleje rozpuszczalność podstawowych składników pokarmowych, wzrasta zaś rozpuszczalność większości pierwiastków toksycznych dla roślin (metale ciężkie, glin). Zwiększona mobilność pierwiastków toksycznych w środowisku wpływa na wzrost ich akumulacji w roślinach, co stanowi poważne zagrożenie dla organizmów żywych. Zdolność danego pierwiastka do tworzenia różnych form w glebie, jest kontrolowana procesami sorpcji, desorpcji, strącania i rozpuszczania, a procesy te są ściśle związane ze zmianami odczynu [Badora 2002].

Dostępność fosforu glebowego zależy przede wszystkim od formy chemicznej oraz od mobilności pierwiastka. Fosfor absorbowany jest przez korzenie roślin w formie anionów H_2PO_4^- lub HPO_4^{2-} , a następnie włączany w cykl metaboliczny rośliny [Hinsinger i in. 2003]. Występowanie różnych form fosforu w glebie zależy od różnych czynników takich jak: odczyn gleby, aktywność innych jonów głównie wapnia, glinu i żelaza, rozpuszczalności fosforanów, ilości i stanu rozkładu materii organicznej, nawożenia [Moskal 1984, Grzywnowicz 1988,

Sharpley 1995, Łabętowicz i Rutkowska 2001c, Sapek i Sapek 2002, Filipek 2006 str. 48].

Rośliny pobierają fosfor wyłącznie w formie nieorganicznej, dlatego stworzenie warunków sprzyjających mineralizacji jego związków organicznych jest bardzo ważne. Proces uwalniania fosforu ze związków organicznych przebiega dzięki enzymom wydzielanym przez mikroorganizmy glebowe i korzenie roślin [Koper i Lemanowicz 2002]. Aktywność biologiczna gleby wpływa na dynamikę uwalniania fosforu z fazy stałej do roztworu glebowego. Mechanizm uwalniania tego pierwiastka do roztworu glebowego może polegać na produkcji przez mikroorganizmy glebowe kwasów organicznych, które obniżają wartość pH gleby i zwiększają rozpuszczalność związków fosforowych, szczególnie w glebach o wyższych wartościach pH [Adams i Odom 1985].

Dostępność fosforu dla roślin jest ograniczona zarówno w glebach kwaśnych, jak i zasadowych, głównie przez tworzenie się związków rozpuszczonego fosforu z Al i Fe w kwaśnych i Ca w glebach zasadowych [Mengel i Kirkby 2001 str. 454, Nurzyński 2003 str. 23, Grzebisz i in. 2006]. Zależnie od odczynu gleby, w roztworze glebowym dominują różne związki fosforu nieorganicznego, będące produktami trójstopniowej dysocjacji kwasu ortofosforowego [Grzebisz 2009 str. 79]:



Roślina pobiera z gleby tylko jony H_2PO_4^- , które występują w szerokim zakresie odczynu, ale optymalny dla nich przedział pH mieści się w granicach 5,5-7,2. Jony HPO_4^{2-} pojawiają się już w roztworze lekko kwaśnym a zrównanie stężenia obu tych form nieorganicznych zachodzi przy pH 7,2 [Grzebisz 2009 str. 81].

Czynnikami wpływającymi na rozpuszczalność i dostępność dla roślin potasu są: pH gleby, skład granulometryczny, ilość i jakość substancji organicznej, ilość i rodzaj minerałów ilastych, wilgotność gleby i wzajemne oddziaływanie pierwiastków na siebie [Kobierski i Dąbrowska-Naskręt 2005, Grzebisz i Fotyma 2009]. Dlatego przy wycenie zasobności gleb w ten składnik bierze się pod uwagę jej skład granulometryczny [Lipiński 2000, Filipek i in. 2006]. W kierunku od gleb

bardzo lekkich do ciężkich wzrasta zawartość potasu przyswajalnego w tym samym kierunku, maleje natomiast zawartość potasu rozpuszczalnego w wodzie [Łabętowicz i Rutkowska 2001a, Grzebisz 2009 str. 99, Fotyma 2010a]. Wyższą zawartość potasu wymiennego w glebach cięższych niż lekkich stwierdzono m.in. w pracach Filipka [2001a], Łabętowicza i Rutkowskiej [2001a], Wójcika [2001], Fotymy [2010a, b].

Ograniczenie żyzności gleby niską zawartością przyswajalnego potasu można wyjaśnić niekorzystnym składem granulometrycznym i mineralogicznym polskich gleb, oraz niewystarczającym poziomem nawożenia potasem. Fotyma i Gosek [2000] stwierdzili ścisłą korelację pomiędzy zawartością części pylastych i ilastych, a zawartością ogólnego i wymiennego potasu w glebach. W glebach bardzo lekkich i lekkich zawartość wymiennego potasu była dodatkowo skorelowana z wartością pH, natomiast w średnich i ciężkich zawartość potasu nie była związana z odczynem gleby. Gleby lekkie, nawet po zwapnowaniu do odczynu obojętnego, zawierają tylko około połowy ilości wymiennego potasu znajdującej w glebach ciężkich.

Dostępność magnezu w glebie uzależniona jest zarówno od odczynu, jak i kategorii agronomicznej [Filipek i in. 2006], dlatego przy wycenie zasobności gleb w ten składnik bierze się pod uwagę jej skład granulometryczny [Lipiński 2000]. Najlepszą zasobnością w magnez wykazują gleby o odczynie lekko kwaśnym i obojętnym [Filipek i in. 2006]. Na glebach kwaśnych oraz zasadowych magnez tworzy związki nierozpuszczalne w wodzie, a więc staje się nieprzyswajalny [Nurzyński 2003 str. 26]. Zawartość przyswajalnego magnezu w glebie wykazuje dodatnią korelację z zawartością cząstek ilastych [Łabętowicz i Rutkowska 2001a, Grzebisz 2009 str. 106]. Wyższą zawartość magnezu wymiennego w glebach cięższych niż lekkich stwierdzili Domska i in. [1988], Myland i Wilikinson [1989], Filipek [2001a], Łabętowicz i Rutkowska [2001b], Wójcik [2001].

2.3. Syntetyczne wskaźniki produktywności i żyzności gleb

Jak już wcześniej wspomniano na żyzność gleby składają się jej właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne. Właściwości te charakteryzowane są wieloma wskaźnikami. W poszczególnych dyscyplinach nauk rolniczych dąży

się do opracowania syntetycznych wskaźników produktywności i żyzności gleb, obejmujących możliwe szeroki zakres parametrów szczegółowych. W dalszym ciągu przeglądu piśmiennictwa omówiono niektóre wskaźniki syntetyczne stosowane głównie w badaniach rejonizacyjnych. Do wskaźników tych należy zaliczyć wskaźnik waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej (WRPP), wskaźnik jakości fizycznej gleby (S), wskaźnik jakości biologicznej, syntetyczny wskaźnik agrochemicznej żyzności gleby (SWGŻ).

2.3.1. Wskaźnik waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej

Wskaźnik waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej został opracowany w IUNG Puławy na podstawie ilościowych zależności między plonem a jakością siedliska i klimatem, w latach 70-tych ubiegłego stulecia [Witek i Górski 1977]. W systemie tym uwzględniono cztery parametry siedliska takie jak: jakość przydatności gleb, stosunki wodne, rzeźbę terenu oraz agroklimat. Wycenę warunków glebowo-przyrodniczych opracowaną metodami analizy statystycznej przeprowadzono dla gmin i województw, obliczając ogólny wskaźnik waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej (WRPP) jako miarę potencjału produkcyjnego siedliska. Wagi przyjęte w waloryzacji dla poszczególnych czynników są odzwierciedleniem ich oddziaływania na wielkość plonu. W waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej szczególne znaczenie mają warunki glebowe. W funkcji wskaźnika, jakości i przydatności gleb można wyjaśnić około 70% obserwowanej zmienności plonów. Wpływ pozostałych czynników jest znacznie mniejszy i wynosi łącznie około 30%. Udział wskaźnika cząstkowego agroklimatu ujmującego cały kompleks czynników klimatycznych zawiera się w przedziale 1 - 15 punktów, wskaźnika warunków wodnych w przedziale 1 - 5 punktów, a rzeźby terenu 0,1 - 5 punktów. Przeciętna wartość wskaźnika dla Polski wynosi 66,6 punktów, ale wskaźnik ten wykazuje znaczne zróżnicowanie regionalne [Stuczyński i in. 2007].

2.3.2. Wskaźnik jakości fizycznej gleby

W ostatnich latach opracowano i skalibrowano wskaźnik jakości fizycznej gleby [Dexter 2004a, b, c]. Wskaźnik jakości S został zdefiniowany przez autora jako tangens kąta nachylenia krzywej retencji wodnej gleby w punkcie jej przegięcia do osi potencjału wody glebowej. Wartości S mniejsze niż 0,020

reprezentują gleby o bardzo słabych fizycznych warunkach, w przedziale od 0,020 do 0,035 gleby o słabych fizycznych warunkach, natomiast większe niż 0,035 reprezentują gleby o dobrych fizycznych warunkach. Wskaźnik jakości fizycznej gleby, jest związany z porowatością mikrostrukturalną, która wpływa znacząco na wiele fizycznych cech gleby. Gleby z dominującą zawartością porów międzyziarnowych mają zwykle bardzo słabe, z rolniczego punktu widzenia, właściwości fizyczne. Poza piaskami, charakteryzują się np. niskim przewodnictwem wodnym i wysokimi oporami uprawy. Dlatego obecność porów II rzędu, która przejawia się dużą wartością wskaźnika S , jest niezbędnym warunkiem istnienia dobrej fizycznej jakości gleby.

2.3.3. Wskaźnik jakości biologicznej gleby

Jako syntetyczny wskaźnik jakości biologicznej gleby przyjmuje się najczęściej zawartość substancji organicznej (próchnicy). Zawartość próchnicy, zwłaszcza jej frakcji ruchomej jest skorelowana z szeregiem szczegółowych parametrów aktywności biologicznej gleby. Należą do niej liczebność grup mikroorganizmów, aktywność enzymów glebowych, wymiana gazowa gleby [Zawadzki 1999 str. 300]. Potencjalne wskaźniki żyzności biologicznej gleby zostały przedstawione w pracach Kucharskiego [1997] oraz Myśkowa i Zięby [1997]. Wskaźniki te zostały opracowane na podstawie enzymatycznej aktywności i zawartości węgla.

2.3.4. Wskaźnik żyzności agrochemicznej gleby

Dotychczas każdy z parametrów żyzności jest traktowany oddzielnie i nawet dla poszczególnych z nich brak jednego wskaźnika określającego na przykład stan zasobności gleby w fosfor czy potas. Wskaźnik taki jest konieczny przede wszystkim dla opracowań rejonizacyjnych w skalach jednostek administracyjnych czy hydrologicznych. Jedynym takim wskaźnikiem dla parametrów pojedynczych jest tzw. wskaźnik bonitacji negatywnej (lub niekiedy pozytywnej) Riehma. Jest to procentowy udział gleb wykazujących bardzo niską i niską oraz połowa udziału gleb wykazujących średnią zawartość danego składnika. Wskaźnik ten nie jest obecnie praktycznie stosowany.

W piśmiennictwie spotkano dotychczas dwie próby wyznaczenia syntetycznego wskaźnika obejmującego właściwości agrochemiczne gleby, Filipiak [2010] oraz Fotyma i Pecio [2010]. Filipiak [2010] podjęła próbę wyznaczenia syntetycznego wskaźnika żyzności gleb, obejmującego wszystkie powszechnie oznaczane parametry żyzności agrochemicznej, to jest odczyn, zawartość przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu oraz zawartość próchnicy.

2.4. Stan żyzności agrochemicznej gleb w Polsce i krajach sąsiednich

2.4.1. Stan żyzności agrochemicznej gleb w Polsce

Agrochemiczna żyzność gleby jest oceniana w większych w skali kraju lub regionu i stanowi wówczas bardzo ważny element polityki rolnej. Zagadnienie to nabiera ostatnio szczególnego znaczenia w związku z koncepcją opracowania tzw. Dyrektywy Glebowej przez Komisję UE. Terytorialne zróżnicowanie agrochemicznej żyzności gleb stanowi przedmiot prezentowanej rozprawy doktorskiej i poświęcono mu oddzielny rozdział w przeglądzie piśmiennictwa. Stan żyzności agrochemicznej gleb w Polsce opisano na podstawie prac Lipińskiego [2000, 2005a-e].

Z zestawień wyników badań z lat 1955 - 2004 wynika, że stan odczynu gleb w Polsce nie ulega na przestrzeni lat znaczącym zmianom i nadal udział gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych wynosi ponad 50% (tab. 2.4.1).

Tabela 2.4.1. Zestawienie zmian odczynu w latach 1955 - 2004

pH _{KCl}	Lata				
	1955 - 1965	1966 - 1975	1976 - 1993	1994 - 1999	2000 - 2004
B. kwaśny + kwaśny	58	56	56	55	53
L. kwaśny	25	26	26	26	28
Obojętny + zasadowy	17	18	18	19	19

W latach 1955 - 1993 zasobność gleb w fosfor i potas ulegała znaczącej poprawie, natomiast stan zasobności w magnez nie ulegał znaczącej zmianie (tab. 2.4.2). Poczynając od wczesnych lat 90-tych ubiegłego wieku następuje natomiast

ponowny spadek zawartości przyswajalnego fosforu i potasu w glebach naszego kraju. Wiąże się to ze spadkiem zużycia nawozów mineralnych i pogarszającą się, do momentu wstąpienia Polski do UE, sytuacją ekonomiczną w rolnictwie.

Tabela 2.4.2. Zestawienie zmian zawartości fosforu, potasu i magnezu przyswajalnego w latach 1955 - 2004

Cecha	Klasa zasobności	Lata				
		1955 - 1965	1966 - 1975	1976 - 1993	1994 - 1999	2000 - 2004
P ₂ O ₅	b. niska + niska	56	47	29	38	38
	średnia	29	33	27	27	26
	wysoka + b. wysoka	15	20	44	35	24
K ₂ O	b. niska + niska	65	53	41	49	47
	średnia	28	30	28	27	29
	wysoka + b. wysoka	7	17	31	24	24
Mg	b. niska + niska	33	43	42	35	34
	średnia	33	43	26	29	28
	wysoka + b. wysoka	34	23	32	36	29

2.4.2. Stan agrochemicznej żyzności gleb w krajach sąsiednich

W Republice Czeskiej w ogólnej powierzchni około 4,3 mln ha użytków rolnych gleby kwaśne zajmują obecnie około 22%, a gleby obojętne i zasadowe ponad 34%. Od połowy lat 60-tych do połowy lat 80-tych udział gleb kwaśnych systematycznie malał na korzyść gleb lekko kwaśnych i alkalicznych [Filipek i in. 2006].

W tabeli 2.4.3 przedstawiono procentowy udział użytków rolnych w tym kraju w klasach zawartości fosforu, potasu i magnezu. Porównując wyniki badań przeprowadzonych w dwóch rotacjach, stwierdzono generalnie spadek udziału gleb o wysokiej i bardzo wysokiej zawartości składników i wzrost udziału gleb o zawartości niskiej. Tym niemniej w Republice Czeskiej większość gleb należy do klas o odpowiedniej i dobrej zawartości fosforu, potasu i magnezu.

Tabela 2.4.3. Procentowy udział użytków rolnych w klasach zawartości fosforu, potasu i magnezu [Fotyma i Shepherd 2000]

Lata	Klasa zawartości	Składniki pokarmowe		
		fosfor	potas	magnez
1990 - 1992	niska	12,6	8,8	7,6
	odpowiednia	38,8	29,2	28,4
	dobra	14,4	36,2	33,1
	wysoka	28,5	17,6	17,8
	bardzo wysoka	5,45	8,15	13,0
1993 - 1998	niska	27,4	13,7	23,1
	odpowiednia	30,8	34,8	33,1
	dobra	19,7	32,9	22,9
	wysoka	11,7	11,8	12,3
	bardzo wysoka	10,4	6,76	8,65

W Estonii z ogólnej powierzchni około 0,77 mln ha użytków rolnych tylko niespełna 6% wykazuje odczyn poniżej 5,0 pH a ponad 65% charakteryzuje się odczynem obojętnymi i alkalicznym - pH ponad 6,0 [Filipek i in. 2006].

Na Litwie dysponującej arealem około 3,5 mln ha użytków rolnych, tylko niespełna 9% gleb wykazuje odczyn poniżej pH 5,0, a dalsze 20% odczyn poniżej pH 5,5. Niemal 70% areалу zajmują gleby o odczynie bliskim obojętnemu i zasadowemu, pH powyżej 6,0. Począwszy od lat 60-tych odczyn gleb w tym kraju ulegał systematycznej poprawie, co wynikało z dużego zużycia nawozów wapniowych [Filipek i in. 2006].

Użytki rolne na Łotwie zajmują obszar około 2,5 mln, z czego ponad 15% stanowią ugory i odłogi [Filipek i in. 2006]. Stan żyzności gleb na Łotwie przedstawiono w ujęciu historycznym w tabelach 2.4.4 i 2.4.5 Jak wynika z tych tabel, udział gleb o odczynie kwaśnym systematycznie się zmniejszał i w latach 90-tych wynosił tylko około 20%, natomiast znacznie wzrósł udział gleb o uregulowanym odczynie.

Tabela 2.4.4. Udział gleb w klasach odczynu w latach 1965 - 1998 [Fotyma i Shepherd 2000]

Lata	% badanego obszaru			średnie pH
	kwaśne ≤ 5,5	I. kwaśne 5,6 - 6,0	obojętne >6,0	
1965 - 1972	49,1	13,9	37,0	-
1973 - 1979	27,7	15,0	57,0	6,4
1980 - 1985	16,6	14,0	70,0	6,4
1986 - 1990	23,0	21,0	56,0	6,4
1992 - 1998	18,9	19,6	61,5	6,2

Na przestrzeni analizowanych lat polepszył się również wyraźnie stan zasobności gleb w fosfor i potas.

Tabela 2.4.5. Udział gleb w klasach zasobności w fosfor i potas w latach 1965 - 1998 [Fotyma i Shepherd 2000]

Lata	% badanego obszaru			Średnia zawartość P w mg · kg ⁻¹
	niska ≤ 70	średnia 70-140	wysoka > 140	
1965 - 1972	82,2	12,6	5,2	-
1973 - 1979	68,7	21,3	10,0	28
1980 - 1985	52,4	28,6	19,0	38
1986 - 1990	38,7	38,2	24,0	47
1992 - 1998	32,7	36,5	30,8	-
Lata	% badanego obszaru			Średnia zawartość K w mg · kg ⁻¹
	niska ≤ 80	średnia 80-160	wysoka > 160	
1965 - 1972	45,1	37,6	17,3	-
1973 - 1979	33,4	37,6	29,0	118
1980 - 1985	28,5	39,5	32,0	117
1986 - 1990	20,8	44,2	35,0	125
1992 - 1998	17,6	50,4	32,0	-

Magnez przyswajalny zaczęto oznaczać dopiero od 1996 roku [Fotyma i Shepherd 2000]. W klasie zawartości niskiej odnotowano 14,4% badanych gleb, w klasie średniej 42,0% badanych gleb i w klasie wysokiej 43,6% badanych gleb [Fotyma i Shepherd 2000].

W Republice Słowackiej dysponującej arealem około 2,4 mln ha tylko poniżej 20% gleb wykazuje odczyn bardzo kwaśny, a ponad 50% gleb wykazuje odczyn obojętny i alkaliczny. W okresie po II wojnie światowej do początku lat 90-tych odczyn gleb ulegał wyraźnej poprawie [Filipek i in. 2006] (tab. 2.4.6). Stan zasobności gleb w magnez był na Słowacji zawsze dobry, co wynika z przewagi gleb ciężkich i o uregulowanym odczynie. Na przestrzeni lat 1970 - 1994 systematycznej poprawie ulegał natomiast stan zasobności gleb w fosfor i potas.

Tabela 2.4.6 Procentowy udział gleb w klasach zasobności dla fosforu, potasu i magnezu w latach 1971 - 1994 [Fotyma i Shepherd 2000]

Lata	Klasa zawartości	Składniki pokarmowe		
		fosfor	potas	magnez
1971 - 1975	niska	47,2	16,3	1,4
	średnia	33,7	36,9	5,5
	wysoka	19,1	46,0	93,1
1976 - 1980	niska	26,2	8,2	1,5
	średnia	46,3	30,7	5,2
	wysoka	27,5	61,1	93,2
1981 - 1983	niska	15,6	10,6	1,5
	średnia	52,3	32,5	5,2
	wysoka	32,1	56,9	93,3
1984 - 1986	niska	10,7	10,8	1,3
	średnia	43,5	28,8	5,1
	wysoka	45,8	60,4	93,6
1987 - 1989	niska	13,1	3,5	1,2
	średnia	42,1	18,3	5,8
	wysoka	44,8	78,2	93,0
1990 - 1994	niska	11,9	8,3	1,7
	średnia	38,0	25,3	6,6
	wysoka	50,1	66,4	91,7

3. METODYKA BADAŃ

3.1. Baza danych właściwości agrochemicznych gleb w Polsce

W pracy wykorzystano wyniki badań właściwości agrochemicznych gleb gruntów ornych w Polsce przeprowadzonych przez Okręgowe Stacje Chemiczno-Rolnicze (OSCh-R) w latach 2005 - 2008. Wyniki te udostępniono IUNG-PIB w formie bazy danych, której rekordy odpowiadały punktom pobierania próbek w kolejnych latach badań. Baza obejmuje dane liczbowe dla odczynu (pH_{KCl}), zawartości przyswajalnych form fosforu (P_2O_5), potasu (K_2O) i magnezu (Mg) oraz dane jakościowe dla kategorii agronomicznych gleb. Do obliczeń wykorzystano 957 551 obserwacji z bazy danych zawierającej 974 624 rekordów.

Praca ma charakter metodyczny ze względu na jej cel i różnorodność stosowanych metod statystycznych, stąd też szczególny nacisk położono na opis sposobu przygotowania i opracowania wyników bardzo licznego zbioru obserwacji.

3.2. Przygotowanie zbioru danych do obliczeń

Przed podjęciem analiz statystycznych ze zbioru danych usunięto niekompletne rekordy, w których brakowało niektórych z badanych cech (pH_{KCl} , P_2O_5 , K_2O , Mg, kategoria agronomiczna), lub cechy te miały wartości zerowe. Na tej podstawie z bazy danych usunięto 9120 rekordów. Wstępną charakterystykę badanych cech dla kompletnej bazy danych przedstawiono w tabeli 3.1.1. W kolejnym kroku przygotowanie zbioru danych do obliczeń podzielono na dwa etapy. Pierwszy etap - merytoryczny, polegał na oczyszczeniu zbioru danych z obserwacji skrajnie odstających, a drugi etap - statystyczny polegał na usunięciu tzw. błędów grubych.

Tabela 3.1.1. Statystyka dla kompletnej bazy danych

Cecha	n	μ	Me	Min.	Maks.	Odch. std.	Skośność
pH _{KCl}	965504	5,62	5,60	0,40	13,00	1,07	0,165
P ₂ O ₅	965504	15,53	13,40	0,10	999,00	11,25	7,562
K ₂ O	965504	15,10	13,10	0,10	902,00	10,03	5,443
Mg	965504	6,48	5,40	0,10	526,20	4,58	5,448

n – liczebność, μ – średnia, Me – mediana

3.2.1. Kryteria merytoryczne

Na podstawie danych literaturowych oraz wiedzy autora z bazy danych usunięto rekordy zawierające obserwacje skrajnie odstające. Dla odczynu gleby wyeliminowano wyniki $< \text{pH } 3,0$ i $> \text{pH } 10,0$, dla fosforu i potasu wyniki zawartości $> 100 \text{ mg P}_2\text{O}_5/\text{K}_2\text{O} \cdot 100\text{g}^{-1}$ gleby, a dla magnezu $> 50 \text{ mg Mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ gleby. W Polsce, w glebach użytkowanych rolniczo nie spotyka się wykraczających poza te przedziały wartości właściwości agrochemicznych gleby. Tak niskie (dla pH) lub wysokie wartości analizowanych zmiennych można tłumaczyć błędami pobrania próbek gleby, błędami analitycznymi i błędami przy wprowadzaniu wyników do bazy danych. Rozkład liczebności próbek w przedziałach wartości pH i zawartości składników przyswajalnych zamieszczono w tabelach 3.1.2 i 3.1.3. Jak wynika z tych tabel, procent usuniętych wyników, zaznaczonych kolorem niebieskim był bardzo niewielki. Usuwając wynik dla dowolnej cechy gleby wyłączało z bazy danych cały rekord. W sumie w postępowaniu merytorycznym wyłączono 1 846 rekordów, co stanowi 0,19% ich liczebności w kompletnej bazie danych.

Tabela 3.1.2. Liczebność próbek w zależności od przedziału odczynu

Przedział pH	n	%
$\leq 3,0$	59	0,01
$3,0 \leq x < 4,0$	33664	3,49
$4,0 \leq x < 5,0$	276954	28,68
$5,0 \leq x < 6,0$	283024	29,31
$6,0 \leq x < 7,0$	240877	24,95
$7,0 \leq x < 8,0$	128281	13,29
$8,0 \leq x < 9,0$	2514	0,26
$9,0 \leq x < 10,0$	128	0,01
$\leq x < 11,0$	3	0,00

n - liczebność

Tabela 3.1.3. Liczebność próbek w zależności od zasobności gleb w fosfor, potas i magnez

Przedział zasobności	Zawartość P_2O_5		Zawartość K_2O		Zawartość Mg	
	n	%	n	%	n	%
$0,0 \leq x < 50,0$	953274	98,73	957357	99,16	965401	99,99
$50,0 \leq x < 100,0$	11022	1,14	7570	0,78	85	0,01
$100,0 \leq x < 150,0$	870	0,09	430	0,04	12	0,00
$150,0 \leq x < 200,0$	209	0,02	93	0,01	1	0,00
$200,0 \leq x$	122	0,01	51	0,00	5	0,00

n - liczebność

3.2.2. Kryteria statystyczne

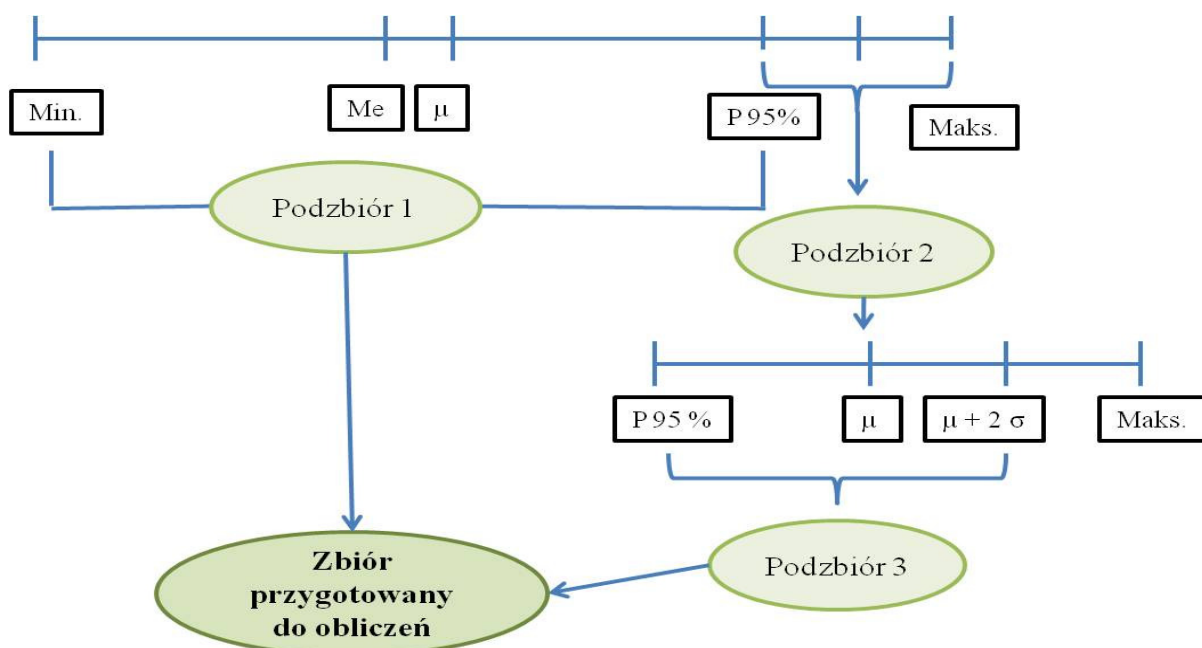
W tabeli 3.1.4 przedstawiono podstawowe charakterystyki statystyczne cech gleby w bazie danych po usunięciu wartości skrajnie odstających. Rozkład wartości wszystkich analizowanych cech odbiegał od rozkładu normalnego i miał charakter lewo skośny, co skomplikowało proces dalszej, statystycznej eliminacji obserwacji obciążonych grubym błędem.

Tabela 3.1.4. Statystyka opisowa analizowanych cech po usunięciu obserwacji skrajnie odstających

Cecha	n	μ	Me	Min.	Maks.	Odch. std	Skośność
pH _{KCl}	963658	5,62	5,60	3,10	9,90	1,064	0,169
P ₂ O ₅	963658	15,35	13,30	0,10	99,90	9,907	1,916
K ₂ O	963658	14,99	13,10	0,10	99,80	9,286	1,735
Mg	963658	6,46	5,40	0,10	49,50	4,427	1,616

n – liczebność, μ – średnia, Me – mediana

Z analizy literatury wynika, że jeżeli rozkład danych jest normalny, za obserwacje obarczone grubym błędem przyjmuje się te z nich, które leżą poza przedziałem 3 odchyłeń standardowych od wartości średniej [Wagner i Błażczak 1986]. Przy rozkładzie odbiegającym od normalnego zastosowano inne podejście, przeprowadzone w kilku kolejnych krokach. Jest to podejście wykorzystywane w IUNG-PIB przy opracowywaniu dużych zbiorów danych [Igras 2004, Fotyma i in. 2004, Igras i Jadczyzyn 2008, Fotyma 2009]. W pierwszym kroku zbiór danych z tabeli 3.1.4 podzielono na 2 podzbiory oddzielnie dla każdej cechy. Pierwszy podzbiór obejmował wyniki mieszczące się w granicach 95% przedziału ufności dla wartości oczekiwanej. W drugim podzbiórze znalazło się 5% obserwacji pozostałych. W następnym etapie podzbiór drugi poddano dalszej analizie statystycznej. Z podzbioru odrzucono wartości przewyższające dwukrotnie odchylenie standardowe, a wyniki poniżej tej granicy dołączono do podzbioru pierwszego, stanowiącego podstawę do dalszych obliczeń. Schemat eliminacji błędów grubych dla fosforu, potasu i magnezu dokonany w dwóch kolejnych krokach przedstawiono na rysunku 3.1.1. Dla odczynu gleby proces eliminowania błędów grubych można było zakończyć już po pierwszym kroku, ze względu na rozkład tej cechy zbliżony do normalnego. W sumie usunięto ze zbioru danych kolejnych 6 107 rekordów, eliminując w opisany sposób błędy grube.



μ - średnia, Me – mediana, σ - odchylenie standardowe

Rys. 3.1.1. Schemat eliminacji błędów grubych

Eliminacja obserwacji skrajnie odstających i błędów grubych spowodowała usunięcie z bazy danych 17 073 rekordów, co stanowiło 1,75% ogólnej ich liczby. Ostatecznie baza danych do właściwych obliczeń statystycznych liczyła 957 551 obserwacji.

4. WYNIKI BADAŃ

4.1. Charakterystyka właściwości agrochemicznych gleb

4.1.1. Podstawowe charakterystyki statystyczne

Wyselekcjonowany w omówiony sposób zbiór danych poddano w pierwszym rzędzie statystyce opisowej (tab. 4.1.1). Wszystkie dane, z wyjątkiem kategorii agronomicznej gleby, mają charakter ilościowy i opisano je w zwykły sposób podając miary przeciętne oraz charakterystyki rozkładu. Rozkład danych odbiegał w dosyć znacznym stopniu od rozkładu normalnego, na co wskazują współczynniki skośności i kurtozy. W rozkładzie normalnym podstawowymi parametrami są średnia i odchylenie standardowe, natomiast właściwymi parametrami rozkładu skośnego jest mediana, jako miara wartości przeciętnej i fraktyle jako miara rozrzutu [Wagner i Błażczak 1986]. Jediną zmienną opisową w bazie danych jest kategoria agronomiczna gleby, oceniana przez agrochemików metodą „palcową”.

Tabela 4.1.1. Wartości podstawowych parametrów statystycznych w ostatecznej bazie danych

Statystyka	Cecha			
	pH _{KCl}	Zawartość fosforu mg P ₂ O ₅ ·100 ⁻¹ g gleby	Zawartość potasu mg K ₂ O·100 ⁻¹ g gleby	Zawartość magnezu mg Mg·100 ⁻¹ g gleby
n	957551			
μ	5,62	15,18	14,82	6,39
Me	5,59	13,30	13,00	5,40
Odch. std.	1,063	9,376	8,787	4,256
Skośność	0,174	1,501	1,274	1,368
Kurtoza	-0,971	3,730	2,587	2,181
Przedziały	Przeciętna wartość cechy w kolejnych pentyłach			
0 – 20 %	4,54	7,70	7,50	2,90
20 – 40 %	5,21	11,40	11,10	4,50
40 – 60 %	5,90	15,50	15,20	6,40

60 – 80 %	6,67	21,60	21,20	9,30
80 – 100 %	8,30	66,30	60,00	25,60

n – liczebność, μ - średnia, Me – mediana

4.1.2. Zróżnicowanie wartości cech w obrębie kategorii agronomicznych gleb

W tabeli 4.1.2. podano procentowy udział próbek zaliczonych do czterech wyróżnionych kategorii agronomicznych. Ze wstępnej analizy danych wynikało, że wartości wszystkich cech liczbowych wykazują znaczne zróżnicowanie pomiędzy kategoriami agronomicznymi gleby (tab. 4.1.2). Rozkłady tych cech w obrębie poszczególnych kategorii agronomicznych nadal odbiegały od rozkładu normalnego, na co pośrednio wskazują odmienne wartości średniej arytmetycznej i mediany. Jak wynika z ostatniej kolumny w tabeli 4.1.2, największe liczebności wykazywały próbki gleb zaliczonych do kategorii gleb lekkich i średnich.

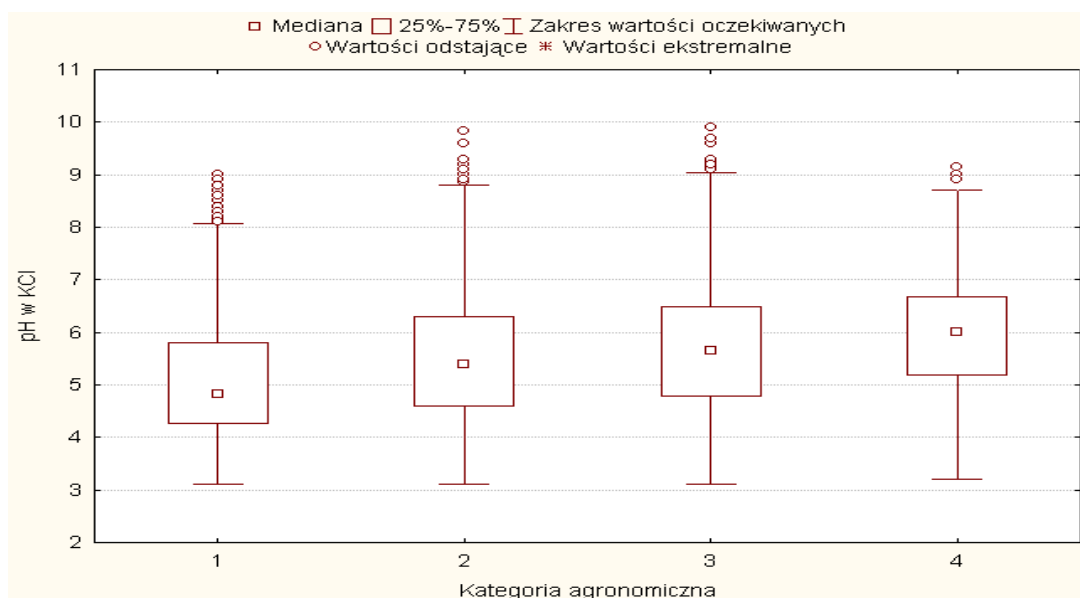
Tabela 4.1.2. Wartości średnie i mediany analizowanych cech gleby według kategorii agronomicznych

Kategoria agronomiczna gleb	pH _{KCl}		P ₂ O ₅		K ₂ O		Mg		n i (%) próbek
	μ	Me	μ	Me	μ	Me	μ	Me	
B. lekkie	5,12	4,83	14,05	12,5	9,12	7,6	3,66	3,0	37170 (3,9)
Lekkie	5,49	5,40	15,39	13,8	12,58	11,2	4,72	4,0	376602 (39,3)
Średnie	5,68	5,64	14,94	12,9	15,89	14,3	7,27	6,3	413098 (43,1)
Ciężkie	5,93	6,00	15,63	13,3	19,50	18,3	9,21	8,4	130681 (13,6)
Ogółem	5,62	5,59	15,18	13,3	14,82	13,0	6,39	5,4	957551 (100)

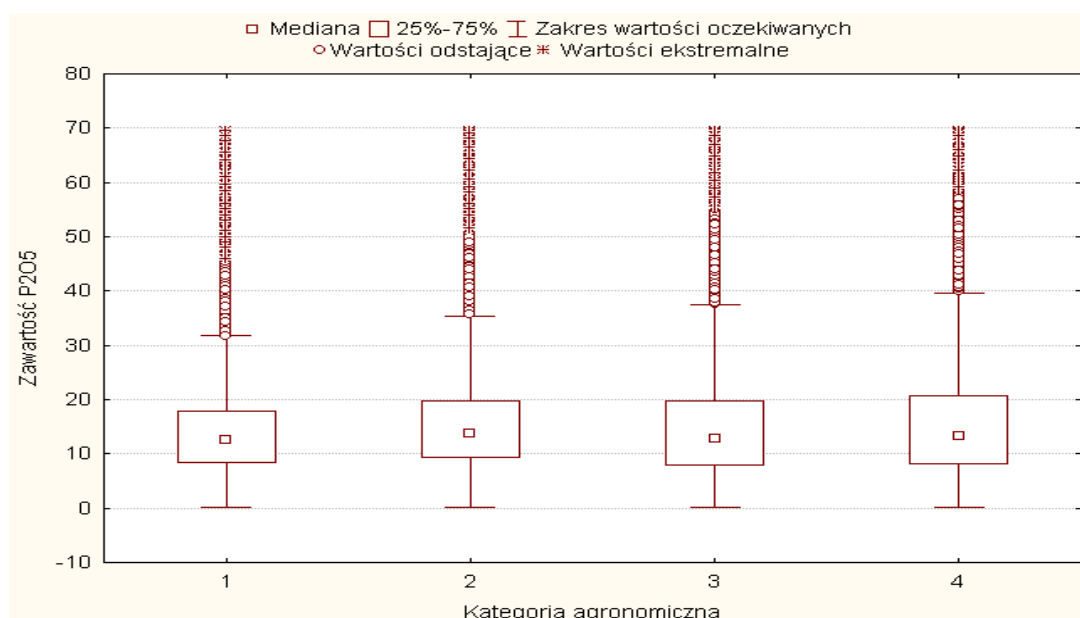
μ – średnia, Me – mediana, n - liczebność

Wartości średnie i mediany dla większości analizowanych cech gleby zmieniały się wraz z kategorią agronomiczną. Różnica zawartości potasu pomiędzy glebami bardzo lekkimi i ciężkimi była niemal 2,5-krotna, a różnica zawartości magnezu niemal 3-krotna. Przeciętna (wyrażona medianą) wartość odczynu gleby zmieniała się od kwaśnej w glebach bardzo lekkich do lekko kwaśnej w glebach ciężkich. Jedynie zawartość przyswajalnego fosforu była względnie niezależna od kategorii agronomicznej gleby. Prawidłowości te

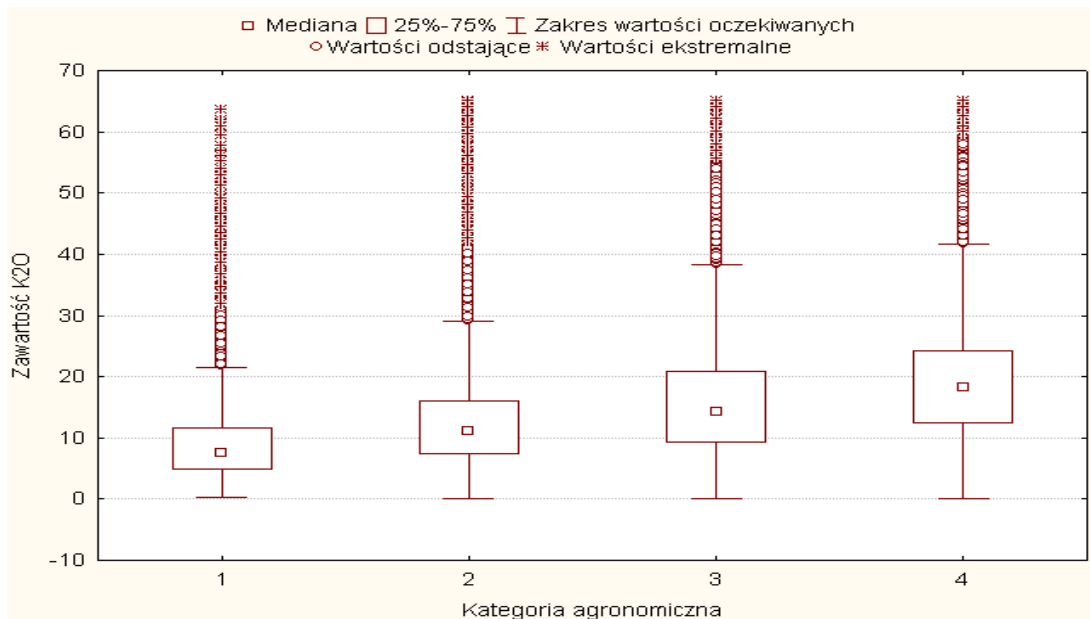
wyznaczyły kierunek, w którym przeprowadzono dalszą analizę zgromadzonego materiału. Wartości analizowanych cech wykazują bardzo dużą zmienność w obrębie poszczególnych kategorii agronomicznych gleby. Wskazują na to wyniki analizy przeprowadzonej metodą Box- and - Whisker Plot (rys. 4.1.1 – 4.1.4).



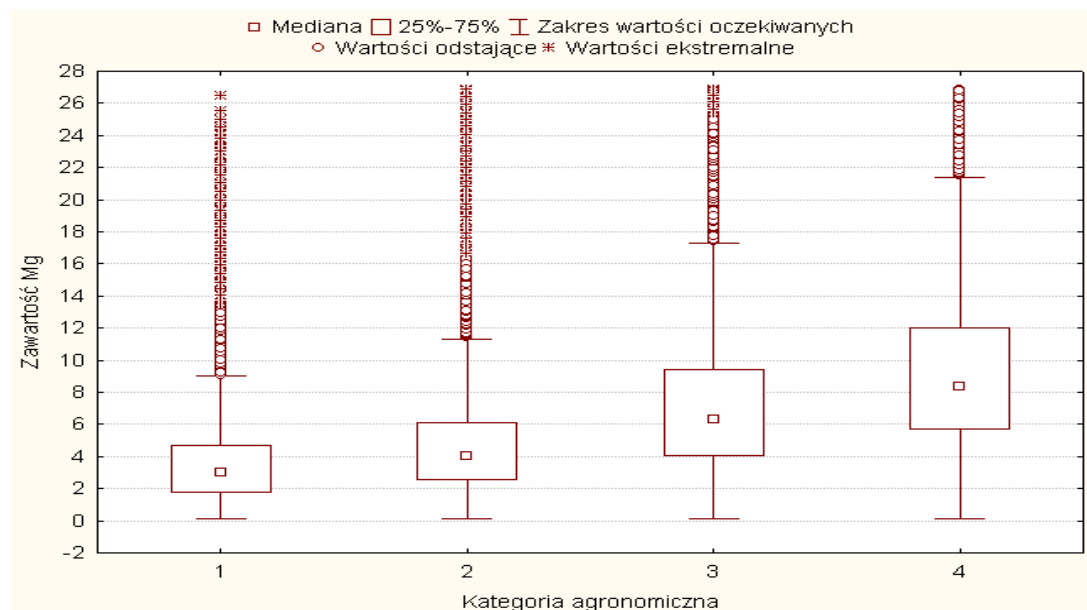
Rys. 4.1.1. Rozkład wartości pH w zależności od kategorii agronomicznej gleby



Rys. 4.1.2. Rozkład zawartości przyswajalnego fosforu w zależności od kategorii agronomicznej gleby



Rys. 4.1.3. Rozkład zawartości przyswajalnego potasu w zależności od kategorii agronomicznej gleby



Rys. 4.1.4. Rozkład zawartości przyswajalnego magnezu w zależności od kategorii agronomicznej gleby

Jako kryterium oceny zmienności danych przedstawionych na tych rysunkach przyjęto zakresy wartości cech poniżej wartości odstających i ekstremalnych. Według takiego kryterium najmniejszą zmienność wykazywała zawartość przyswajalnego fosforu i odczyn gleby, a największą zawartość przyswajalnego potasu i magnezu. Zakresy zmienności wszystkich analizowanych

cech były najmniejsze w kategorii gleb bardzo lekkich. Należy jednak przypomnieć o stosunkowo małej liczbie próbek tych gleb. Z kolei, zakresy zmienności analizowanych cech dla fosforu, potasu i magnezu były najwyższe w kategorii gleb bardzo ciężkich, a dla odczynu w kategorii agronomicznej lekkiej i średniej. Według tego kryterium zaobserwowano niewiele wartości poza zakresem oczekiwanym dla pH gleby. W przypadku pozostałych analizowanych cech udział wartości odstających i ekstremalnych malał wraz ze wzrostem kategorii agronomicznej gleby, a najsilniejszą zależność zaobserwowano dla potasu i magnezu.

W celu sprawdzenia istotności różnic pomiędzy średnimi zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji (tab. 4.1.3). W wyniku przeprowadzonej analizy wszystkie cechy różniły się istotnie na poziomie $p < 0,05$. Przeprowadzono również test porównań wielokrotnych *Tukeya*, dla sprawdzenia, które średnie różnią się istotnie między sobą z uwzględnieniem składu granulometrycznego. Wszystkie badane średnie okazały się statystycznie istotne na poziomie $p < 0,05$ (dane nie zamieszczone w pracy).

Tabela 4.1.3. Analiza wariancji dla cech gleby

Cecha	F –Snedecora	p
pH _{KCl}	7760,86	0,00
P ₂ O ₅	436,28	0,00
K ₂ O	30438,90	0,00
Mg	58397,87	0,00

4.1.3. Związki pomiędzy analizowanymi cechami gleby

Analizowane cechy gleby były ze sobą w różnym stopniu skorelowane (tab. 4.1.4). Ze względu na dużą liczebność obserwacji wszystkie współczynniki korelacji okazały się istotne na poziomie ufności $p < 0,05$. Najwyższe współczynniki korelacji stwierdzono pomiędzy odczynem gleby, a zawartością przyswajalnego fosforu oraz pomiędzy zawartościami przyswajalnego fosforu i potasu. Siła korelacji była przy tym niezależna od kategorii agronomicznej gleby (dane nie zamieszczone w pracy). Najsłabsza korelacja, również niezależnie od kategorii

agronomicznej gleby wystąpiła pomiędzy zawartościami przyswajalnego fosforu i przyswajalnego magnezu. Korelacja pomiędzy zawartościami przyswajalnego potasu i przyswajalnego magnezu była natomiast uzależniona od kategorii agronomicznej gleby. Siła tej korelacji ulegała wyraźnemu zmniejszeniu w kierunku od gleb bardzo lekkich do gleb ciężkich.

Tabela 4.1.4. Współczynniki korelacji między analizowanymi cechami dla całego zbioru danych

	pH _{KCl}	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
pH _{KCl}	-	-	-	-
P ₂ O ₅	0,432	-	-	-
K ₂ O	0,250	0,416	-	-
Mg	0,232	0,044	0,309	-

Z uwagi na opisowy charakter tej cechy, nie można było obliczyć korelacji pomiędzy składem granulometrycznym (kategorią agronomiczną) gleby, a pozostałymi jej cechami.

4.1.4. Rozkład cech gleby z wykorzystaniem tabel kontyngencji

Wartości wszystkich cech ilościowych, w bazie danych, skategoryzowano zgodnie z pięcioklasowym podziałem przyjętym przez OSCh-R w Polsce [Lipiński 2005a]. Jedyną cechą nie ilościową tzn. kategorią agronomiczną jest skategoryzowana w podziale czteroklasowym. Dla uwidocznienia zależności pomiędzy zmiennymi skategoryzowanymi posłużono się tabelami kontyngencji. Ten rodzaj analizy pokazuje ilość i procentowy udział obserwacji w każdej z możliwych kombinacji kategorii poszczególnych zmiennych. Tabele kontyngencji umożliwiają łatwe wyróżnienie związków pomiędzy analizowanymi zmiennymi, zarówno o charakterze ilościowym, jak i jakościowym.

Na podstawie statystyk opisowych wykazano ścisłe związki pomiędzy kategorią agronomiczną gleby a jej odczynem oraz zawartością przyswajalnego potasu i magnezu. Związki te przedstawiono w kolejnych tabelach kontyngencji (tab. 4.1.5 - 4.1.7). Z analizy danych zawartych w tabeli 4.1.5 wynika, że praktycznie cały areal gleb bardzo lekkich i lekkich stanowią gleby kwaśne, a

ponad połowa areалу gleb średnich i ciężkich wykazuje odczyn od lekko kwaśnego do zasadowego (tab. 4.1.5). W analizowanej bazie danych gleby bardzo kwaśne i kwaśne stanowiły niemal 50% ogółu zgromadzonych próbek, a gleby o uregulowanym odczynie zaledwie nieco ponad 20% próbek.

Tabela 4.1.5. Stan zakwaszenia gleb zaliczanych do różnych kategorii agronomicznych

Kategoria agronomiczna gleb	% próbek zaliczonych do klas odczynu					Ogółem
	b. kwaśny	kwaśny	l. kwaśny	obojętny	zasadowy	
B. lekkie	39,42	30,13	17,95	7,90	4,61	3,88
Lekkie	23,99	31,49	25,00	12,17	7,34	39,33
Średnie	18,08	29,08	28,84	16,32	7,67	43,14
Ciężkie	10,53	24,09	36,84	19,08	9,46	13,65
Ogółem	20,21	29,39	28,00	14,74	7,66	100,0

Gleby bardzo lekkie i lekkie charakteryzują się niską do średniej, a gleby średnie i ciężkie, średnią do bardzo wysokiej zasobnością w potas (tab. 4.1.6). Zależności te są jednak znacznie słabsze od zależności pomiędzy kategorią agronomiczną i odczynem gleby. W skali ogólnej gleby o bardzo niskiej i niskiej zawartości potasu stanowiły ponad 40% próbek, a gleby o zawartości wysokiej i bardzo wysokiej nieco ponad 25% próbek.

Tabela 4.1.6. Stan zasobności w potas gleb zaliczanych do różnych kategorii agronomicznych

Kategoria agronomiczna gleb	% próbek zaliczonych do klas zawartości potasu				
	b. niska	niska	średnia	wysoka	b. wysoka
B. lekkie	7,06	42,97	28,84	12,29	8,84
Lekkie	12,20	31,19	27,66	15,78	13,18
Średnie	17,25	24,45	31,53	12,86	13,91
Ciężkie	15,88	20,02	41,46	9,67	12,97
Ogółem	14,68	27,21	31,26	13,55	13,30

Próbki gleby zgromadzone w bazie danych w niemal 40% charakteryzowały się wysoką i bardzo wysoką zawartością przyswajalnego magnezu (tab. 4.1.7),

a tylko w nieco ponad 30% zasobnością bardzo niską i niską. Stanowi to dosyć zasadniczą różnicę w stosunku do odczynu i zasobności gleb w potas. Nie stwierdzono również jednoznacznej zależności pomiędzy kategorią agronomiczną gleby i zawartością w niej przyswajalnego magnezu. W tym miejscu należy przypomnieć, że kategoryzacja gleb pod względem zawartości przyswajalnych form potasu i magnezu uwzględnia już kategorie agronomiczne gleby.

Tabela 4.1.7. Stan zasobności gleb w magnez zaliczanych do różnych kategorii agronomicznych

Kategoria agronomiczna gleb	Udział próbek zaliczonych do klas zawartości magnezu (%)				
	b. niska	niska	średnia	wysoka	b. wysoka
B. lekkie	9,06	22,61	35,98	17,84	14,51
Lekkie	16,04	17,36	30,83	18,36	17,40
Średnie	13,71	22,72	20,85	15,89	26,82
Ciężkie	11,59	16,17	35,53	20,64	16,06
Ogółem	14,16	19,71	27,37	17,59	21,17

Kategoria agronomiczna gleby nie ma wpływu na zawartość przyswajalnego fosforu (tab. 4.1.8). W skali ogólnej ponad 40% analizowanych próbek gleb wykazywało wysoką i bardzo wysoką zawartość fosforu, a nieco ponad 30% próbek zawartość bardzo niską i niską. Zależności były tu, zatem podobne do stwierdzonych w przypadku magnezu. Kategoryzacja gleb pod względem zawartości fosforu nie uwzględnia kategorii agronomicznej gleby. Stanowi to zasadniczą różnicę w stosunku do kategoryzacji gleb pod względem zawartości potasu i magnezu.

Tabela 4.1.8. Stan zasobności w fosfor gleb zaliczanych do różnych kategorii agronomicznych

Kategoria agronomiczna gleb	Udział próbek gleb zaliczonych do klas zawartości fosforu (%)				
	b. niska	niska	średnia	wysoka	b. wysoka
B. lekkie	7,57	27,16	29,10	17,58	18,59
Lekkie	5,83	22,84	28,26	19,16	23,92
Średnie	11,19	24,43	24,37	16,37	23,64
Ciężkie	11,17	23,35	23,34	16,62	25,53
Ogółem	8,94	23,76	25,94	17,55	23,81

W obrębie ilościowych cech gleby, zarówno na podstawie statystyk opisowych, jak i rachunku korelacji stwierdzono ścisłą zależność pomiędzy odczynem gleby i zawartością przyswajalnego fosforu oraz mniej ścisłą, ale wyraźną zależność pomiędzy odczynem i zawartością przyswajalnego potasu. Uwidacznia się to również w odpowiednich tabelach kontyngencji (tab. 4.1.9 i 4.1.10).

Tabela 4.1.9. Stan zasobności w fosfor gleb zaliczanych do różnych przedziałów odczynu

Odczyn	Udział próbek gleby zaliczonych do klas zawartości fosforu (%)					Ogółem
	b. niska	niska	średnia	wysoka	b. wysoka	
B. kwaśny	17,82	34,69	27,19	12,82	7,48	20,21
Kwaśny	11,69	31,26	29,81	15,71	11,52	29,39
L. kwaśny	4,61	19,17	27,01	21,19	28,02	28,00
Obojętny	2,31	10,15	19,03	19,87	48,64	14,74
Zasadowy	3,52	9,14	17,21	19,25	50,89	7,66
Ogółem	8,94	23,76	25,94	17,55	23,81	100,0

Z analizy tabeli 4.1.9 wynika, że gleby bardzo kwaśne w ponad 50%, a gleby kwaśne w ponad 40% próbek wykazują bardzo niską i niską zawartość przyswajalnego fosforu. W glebach o odczynie obojętnym i zasadowym udział gleb o bardzo niskiej i niskiej zawartości fosforu nie przekracza natomiast 13%. Próbkami

gleb o uregulowanym odczynie w ponad 50% charakteryzują się bardzo wysoką zawartością fosforu. Sugeruje to konieczność uwzględniania odczynu gleby przy kategoryzacji gleb pod względem zawartości przyswajalnego fosforu.

Również zawartość potasu związana jest w pewnym stopniu z odczynem gleby (tab. 4.1.10). Ponad 60% gleb bardzo kwaśnych i ponad 40% kwaśnych charakteryzuje się bardzo niską i niską zawartością potasu przyswajalnego. Gleby o odczynie lekko kwaśnym i obojętnym tylko w około 30% wykazują bardzo niską i niską zawartość potasu. W glebach o odczynie obojętnym stwierdza się natomiast tendencje do obniżenia zawartości przyswajalnego potasu w stosunku do gleb o odczynie lekko kwaśnym i obojętnym. W skali ogólnej przeważają próbki gleb o bardzo niskiej i niskiej zawartości potasu. Niemal 1/3 próbek gleby zgromadzonych w analizowanej bazie danych wykazuje średnią zawartość tego składnika.

Tabela 4.1.10. Stan zasobności w potas gleb zaliczanych do różnych przedziałów odczynu

Odczyn	Udział próbek zaliczonych do klas zawartości potasu (%)					Ogółem
	b. niska	niska	średnia	wysoka	b. wysoka	
B. kwaśny	25,85	37,08	24,37	7,49	5,21	20,21
Kwaśny	13,97	28,76	32,47	13,47	11,33	29,39
L. kwaśny	9,96	22,35	34,30	16,56	16,83	28,00
Obojętny	10,48	21,69	32,52	15,83	19,48	14,74
Zasadowy	13,30	23,66	31,22	14,44	17,38	7,66
Ogółem	14,68	27,21	31,26	13,55	13,30	100,0

W przypadku magnezu, wpływ odczynu gleby na zawartość przyswajalnych form tego pierwiastka jest bardziej złożony. Ponad 50% próbek gleb o odczynie lekko kwaśnym i obojętnym wykazuje wysoką i bardzo wysoką zawartość magnezu (tab. 4.1.11). Udział takich próbek ulega bardzo znacznemu zmniejszeniu w glebach o odczynie bardzo kwaśnym, ale zmniejsza się również w glebach o odczynie obojętnym. Ponad 50% próbek gleb o odczynie bardzo kwaśnym wykazuje niedobór magnezu (zasobność bardzo niska i niska),

natomiast w glebach o odczynie obojętnym udział takich próbek nie przekracza 35%.

Tabela 4.1.11. Stan zasobności w magnez gleb zaliczanych do różnych przedziałów odczynu

Odczyn	Udział próbek zaliczonych do klas zawartości magnezu (%)					Ogółem
	b. niska	niska	średnia	wysoka	b. wysoka	
B. kwaśny	37,16	26,26	20,64	7,34	8,60	20,21
Kwaśny	9,92	20,91	31,07	18,70	19,40	29,39
L. kwaśny	5,05	14,54	27,69	22,93	29,78	28,00
Obojętny	7,48	17,05	28,13	20,10	27,24	14,74
Zasadowy	15,86	21,89	28,30	15,95	18,00	7,66
Ogółem	14,16	19,71	27,37	17,59	21,17	100,0

Zależności pomiędzy pozostałymi, ilościowymi cechami gleb są słabe lub bardzo słabe. Jak już stwierdzono wcześniej interpretując wyniki rachunku korelacji, nie występuje praktycznie żadna zależność pomiędzy zawartościami przyswajalnego fosforu i magnezu. Słaba jest także zależność pomiędzy zawartościami potasu i magnezu, a nieco silniejsza pomiędzy zawartościami potasu i fosforu. Te ostatnie zależności obrazują odpowiednie tabele kontyngencji (tab. 4.1.12 i 4.1.13).

Próbki gleb o bardzo niskiej i niskiej zawartości potasu są jednocześnie mało zasobne w magnez (tab. 4.1.12). W kategorii gleb o bardzo niskiej zawartości potasu ponad 52% próbek gleb wykazuje bardzo niską i niską zawartość magnezu. Próbki gleb wykazujące wysoką i bardzo wysoką zawartość potasu są z kolei zasobne również w magnez. W kategorii gleb o bardzo wysokiej zawartości potasu niemal 60% próbek wykazuje wysoką i bardzo wysoką zawartość przyswajalnego magnezu.

Tabela. 4.1.12. Stan zasobności w magnez gleb zaliczanych do różnych przedziałów zasobności w potas

Klasa zawartości K ₂ O	Udział próbek zaliczonych do klas zawartości magnezu (%)					Ogółem
	b. niska	niska	średnia	wysoka	b. wysoka	
B. niska	31,65	21,34	20,12	11,47	15,41	14,68
Niska	19,08	23,87	26,64	13,93	16,48	27,21
Średnia	9,80	20,56	30,70	18,74	20,20	31,26
Wysoka	5,59	15,51	30,76	22,74	25,41	13,55
B. wysoka	3,74	11,71	25,58	23,89	35,08	13,30
Ogółem	14,16	19,71	27,37	17,59	21,17	100,0

Kolejna tabela kontyngencji wskazuje na związek pomiędzy zawartościami potasu i fosforu (tab. 4.1.13). W szczególności gleby o bardzo niskiej i niskiej zawartości fosforu są jednocześnie mało zasobne w potas. W kategorii gleb o bardzo niskiej i niskiej zawartości fosforu udział próbek gleb zasobnych w potas stanowi zaledwie kilka do kilkunastu procent. W kategorii gleb o wysokiej i bardzo wysokiej zawartości fosforu udział próbek gleb zasobnych w potas wynosi od ponad 30% do niemal 50%. Doprowadzając gleby do wysokiej kultury rolnicy, jako jeden z czynników agrotechnicznych stosują równocześnie nawożenie fosforem i potasem.

Tabela. 4.1.13. Stan zasobności w potas gleb zaliczany do przedziałów zasobności w fosfor

Klasa zawartości P ₂ O ₅	Udział próbek zaliczonych do klas zawartości potasu (%)					Ogółem
	b. niska	niska	średnia	wysoka	b. wysoka	
B. niska	41,06	33,41	18,94	4,06	2,53	8,94
Niska	21,72	35,71	29,60	8,17	4,80	23,76
Średnia	12,74	30,64	34,69	13,12	8,80	25,94
Wysoka	8,43	24,07	35,39	17,43	14,68	17,55
B. wysoka	4,47	14,99	30,75	20,09	29,70	23,81
Ogółem	14,68	27,21	31,26	13,55	13,30	100

4.2. Syntetyczny wskaźnik żyzności gleb

4.2.1. Sposób wyznaczenia syntetycznego wskaźnika żyzności gleb

W poprzednim rozdziale podano charakterystykę poszczególnych analizowanych cech gleby. W opracowaniach przestrzennych, w skali od gospodarstwa poprzez region, do całego kraju interesująca jest syntetyczna ocena stanu żyzności gleby obejmująca wszystkie jej cechy, w badanym przypadku agrochemiczne. W ujęciu statystycznym możliwe są tutaj dwa podejścia. Przy braku korelacji między analizowanymi zmiennymi, wskaźnik syntetyczny można wyznaczyć metodą addytywną jako średnią arytmetyczną, geometryczną lub ważoną. Jeżeli zmienne (cechy gleby) wyrażone są w różnych jednostkach, najlepszą miarą jest średnia ważona, ale trudność polega wówczas na wyznaczeniu rzeczywistych wag. W praktyce zmienne poddaje się procesowi standaryzacji i jako wskaźnik syntetyczny przyjmuje się wartość średnią, wszystkich standaryzowanych ilościowych cech. Jeżeli analizowane zmienne są skorelowane, posługiwanie się średnią jest nieprawidłowe i właściwą metodą statystyczną jest wówczas analiza czynnikowa. Głównym celem tej metody jest wykrycie czynnika lub czynników będących kompleksowym źródłem informacji o analizowanym zbiorze. Zastosowanie tej metody prowadzi z reguły do znacznej redukcji liczby wejściowych zmiennych [Filipiak 2010].

W badaniach własnych analizowane ilościowe cechy gleby - odczyn oraz zawartość przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu były wzajemnie skorelowane, co umożliwiło zastosowanie drugiej z wymienionych metod. Do analizy nie można było oczywiście wprowadzić zmiennej jakościowej, jaką była kategoria agronomiczna gleby. Zgodnie z założeniem metody do analizy czynnikowej wprowadza się zmienne w postaci standaryzowanej. Wykonując klasyczną analizę czynnikową otrzymano jeden istotny czynnik, który zachowywał ponad 86% wspólnej wariancji, zaś dwa czynniki obejmowały całość wariancji analizowanych zmiennych (tab. 4.2.1). Odwzorowanie czterech analizowanych zmiennych w jednym zespołowym czynniku można zatem uznać za bardzo dobre. Ten zespołowy czynnik będzie w dalszym ciągu określany mianem syntetycznego wskaźnika żyzności gleby (SWŻG). Z analizy ładunków czynnikowych, czyli korelacji między danymi wejściowymi i wyznaczonym wskaźnikiem wynika, że

największy udział w syntetycznym wskaźniku żyzności mają kolejno zasobność gleb w fosfor, potas, pH oraz zasobność gleb w magnez (tab. 4.2.2).

Tabela 4.2.1. Wartości własne dla analizy czynnikowej

Czynnik	Wartość własna	% ogółu wariacji	% skumulowany
1	1,11859	86,64	86,64
2	0,172432	13,356	100,0

Tabela 4.2.2. Ładunki czynnikowe cech

Zmienne	Ładunki czynnikowe
pH _{KCl}	0,548551
P ₂ O ₅	0,607943
K ₂ O	0,575494
Mg	0,341891

Wartość syntetycznego wskaźnika żyzności gleby opisuje równanie:

$$SW\dot{Z}G = 0,548551X_1 + 0,607943X_2 + 0,575494X_3 + 0,341891X_4$$

W równaniu kolejne zmienne X_1 , X_2 , X_3 i X_4 są standaryzowanymi wartościami odpowiednio dla pH, P₂O₅, K₂O i Mg obliczonymi przez odjęcie od każdej obserwacji wartości średniej cechy i podzielenie jej przez odchylenie standardowe. Po przeliczeniu na wartości w jednostkach rzeczywistych równanie przyjmuje postać:

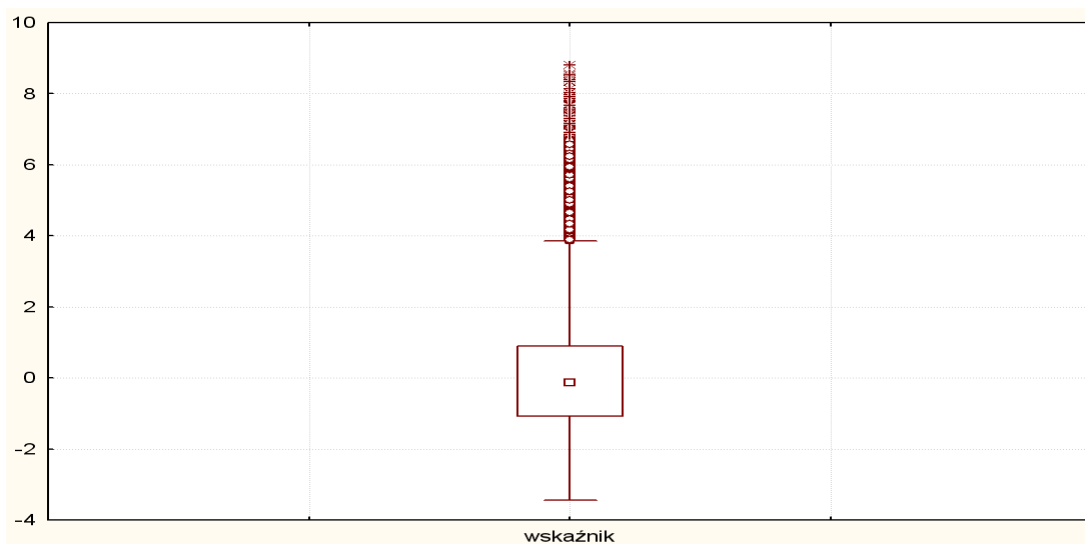
$$SW\dot{Z}G = -5,0313 + 0,5160pH + 0,0648P_2O_5 + 0,0655K_2O + 0,0803Mg$$

Wstawiając do tego ostatniego równania rzeczywiste wartości zmiennych można obliczyć dla każdej próbki gleby syntetyczny wskaźnik jej żyzności.

4.2.2. Kategoryzacja syntetycznego wskaźnika żyzności gleb

Syntetyczny wskaźnik żyzności gleby skategoryzowano w 5 klasach celem zachowania jednolitego podejścia przyjętego w Polsce dla ilościowych cech agrochemicznych gleby. Jeżeli rozkład wartości wskaźnika byłby normalny, wówczas do kategoryzacji można wykorzystać wartość średnią i odchylenie standardowe σ . Dla danych standaryzowanych wartość średnia równa się 0. Do

pierwszej grupy zalicza się wówczas obserwacje mniejsze od $-1,5 \sigma$, do drugiej należą do przedziału $<-1,5 \sigma -0,5 \sigma>$, do trzeciej (środkowej) wartości od $-0,5 \sigma$ do $+0,5 \sigma$, do czwartej wartości od $+0,5 \sigma$ do $+1,5 \sigma$, a do piątej obserwacje większe od tej wartości [Filipiak 2010]. SWŻG wyliczony dla każdej z 957 551 obserwacji jest zmienną standaryzowaną ze średnią równą zero i odchyleniem standardowym równym 1,443. Rozkład tego wskaźnika różni się jednak istotnie od rozkładu normalnego (rys. 4.2.1). Rozkład jest niesymetryczny i lewo skośny (mediana $-0,12$ jest mniejsza od wartości średniej równej 0). Klasyfikacja wskaźnika nie jest zatem symetryczna ani w teoretycznym przedziale dwóch odchyłeń standardowych (-2σ , $+2 \sigma$), ani w przedziale wyznaczonym z dwóch rzeczywistych odchyłeń standardowych znormalizowanego czynnika ($-2,886 \sigma$, $+2,886 \sigma$).



Rys. 4.2.1. Empiryczny rozkład syntetycznego wskaźnika żyzności gleb

Kategoryzacji wskaźnika dokonano dwoma sposobami. Pierwszy sposób polegał na podziale wartości wskaźnika na 5 fraktyli (pentyli), zawierających po 20% wyników (tab. 4.2.2.). Kolejne pentyle określono jako żyzność bardzo niską, niską, średnią, wysoką i bardzo wysoką. W tabeli 4.2.3 przedstawiono mediany oraz dolny i górny kwartył badanych cech w klasach żyzności wyznaczonych tym sposobem.

Tabela 4.2.3. Przedziały klas żyzności wyznaczonych przy użyciu pentyli rozkładu empirycznego

Klasa żyzności	Żyzność gleby	SWŻG
1	b. niska	$\leq -1,29$
2	niska	$-1,29 - -0,50$
3	średnia	$-0,50 - 0,25$
4	wysoka	$0,25 - 1,16$
5	b. wysoka	$\geq 1,16$

Tabela 4.2.4. Charakterystyki statystyczne cech w klasach żyzności wyznaczonych przy użyciu pentyli rozkładu empirycznego

Żyzność	Statystyki											
	pH			P ₂ O ₅			K ₂ O			Mg		
	Me	Lq	Uq	Me	Lq	Uq	Me	Lq	Uq	Me	Lq	Uq
B. niska	4,33	4,10	4,70	7,70	5,00	10,80	6,70	4,50	9,10	2,70	1,70	4,10
Niska	5,01	4,60	5,50	10,30	7,20	13,60	11,00	8,00	14,00	4,50	3,10	6,70
Średnia	5,70	5,13	6,23	12,70	9,30	16,30	13,50	9,90	17,60	5,80	4,00	8,40
Wysoka	6,20	5,69	6,84	16,90	12,80	21,00	16,50	12,10	21,30	6,70	4,60	9,60
B. wysoka	6,70	6,19	7,20	25,00	20,10	32,00	23,80	18,00	30,10	8,10	5,50	11,50
Ogółem	5,59	4,70	6,44	13,30	8,60	19,80	13,00	8,40	19,50	5,40	3,30	8,40

Me - mediana, Lq - dolny kwartył, Uq - górny kwartył

Drugi sposób polegał na zastosowaniu przedziałów zgodnie z wyliczonym dla wskaźnika odchyleniem standardowym ($-1,443 \sigma$, $+1,443 \sigma$). Klasy żyzności gleby wyznaczone tym sposobem przedstawiono w tabeli 4.2.4, natomiast mediany oraz dolny i górny kwartył badanych cech w klasach żyzności w tabeli 4.2.5. Dla większej przejrzystości, na rysunku 4.2.2, przedstawiono procentowy udział poszczególnych klas żyzności gleby w badanej populacji.

Tabela 4.2.5. Przedziały klas żyzności wyznaczonych zgodnie z odchyleniem standardowym

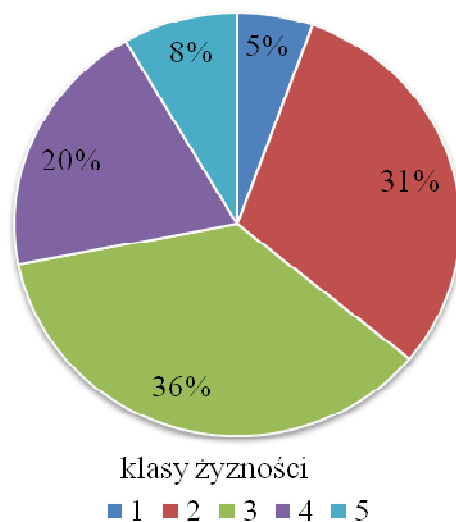
Klasa	Żyzność	SWŻG (wartości	SWŻG (wartości	Liczba i %
-------	---------	----------------	----------------	------------

żyźności	gleby	teoretyczne)	rzeczywiste)	obserwacji
1	b. niska	$\leq -1,5\sigma$	$\leq -2,1$	52632 (5,5)
2	niska	$-1,5\sigma - 0,5\sigma$	$-2,1 - -0,7$	290656 (30,35)
3	średnia	$0,5\sigma$ do $+0,5\sigma$	$-0,7 - 0,7$	345444 (36,08)
4	wysoka	$+0,5\sigma$ do $+1,5\sigma$	$0,7 - 2,1$	188647 (19,70)
5	b. wysoka	$>1,5\sigma$	$\geq 2,1$	80172 (8,37)

Tabela 4.2.6. Podstawowe statystyki cech w klasach żyźności wyznaczonych zgodnie z odchyleniem standardowym

Żyźność	Statystyki											
	pH			P ₂ O ₅			K ₂ O			Mg		
	Me	Lq	Uq	Me	Lq	Uq	Me	Lq	Uq	Me	Lq	Uq
B. niska	4,12	3,99	4,32	6,00	3,70	8,40	4,50	3,00	6,00	1,80	1,20	2,70
Niska	4,70	4,30	5,18	9,30	6,30	12,60	9,00	6,50	12,00	3,70	2,50	5,60
Średnia	5,80	5,20	6,40	13,40	9,80	17,40	14,00	10,00	18,30	6,00	4,10	8,60
Wysoka	6,50	5,97	7,10	20,70	16,20	25,00	19,50	14,90	24,30	7,30	5,00	10,40
B. wysoka	6,82	6,30	7,23	31,00	25,00	40,00	28,70	22,70	35,50	8,80	6,10	12,50
Ogół	5,59	4,70	6,44	13,30	8,60	19,80	13,00	8,40	19,50	5,40	3,30	8,40

Me - mediana, Lq - dolny kwartył, Uq - górny kwartył



Rys. 4.2.2. Udział poszczególnych klas żyźności gleb w badanej populacji

Do oceny poprawności klasyfikacji SWŻG, wyznaczonego dwoma sposobami, wykorzystano metodę analizy wariancji z przedziałami ufności Tukeya. Poprawna klasyfikacja zmiennej zespołowej powinna powodować istotne różnice między klasami dla większości pojedynczych zmiennych. Na podstawie wyników

zamieszczonych w tabeli 4.2.6 i 4.2.7 widać, że wszystkie średnie badanych cech, niezależnie od sposobu kategoryzacji, różnią się istotnie między klasami żyzności. Najniższe wartości dla cech charakteryzują klasę 1, o bardzo niskiej żyzności i wzrastają do klasy 5, czyli do gleb bardzo żyznych. Średnie wartości analizowanych cech gleby, wyznaczone przy użyciu fraktyli rozkładu empirycznego, dla klasy żyzności bardzo niskiej i niskiej są wyższe, od średnich cech gleby wyznaczonych zgodnie z odchyleniem standardowym. W przypadku klas dla żyzności średniej, wysokiej i bardzo wysokiej występuje zależność odwrotna.

Tabela 4.2.7. Średnie wartości analizowanych cech w klasach żyzności gleby wyznaczonych przy użyciu pentyli rozkładu empirycznego

Klasa żyzności	pH	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
1	4,43 a*	8,18 a	7,10 a	3,26 a
2	5,09 b	10,69 b	11,22 b	5,37 b
3	5,71 c	13,02 c	13,96 c	6,69 c
4	6,22 d	17,07 d	17,00 d	7,66 d
5	6,63 e	27,07 e	24,90 e	9,00 e

* te same litery przy średnich oznaczają brak istotnych różnic

Tabela 4.2.8. Średnie wartości analizowanych cech w klasach żyzności gleby wyznaczonych zgodnie z odchyleniem standardowym

Klasa żyzności	pH	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
1	4,16 a*	6,25 a	4,74 a	2,18 a
2	4,78 b	9,72 b	9,51 b	4,47 b
3	5,81 c	13,80 c	14,51 c	6,88 c
4	6,47 d	20,94 d	20,00 d	8,22 d
5	6,73 e	33,18 e	29,79 e	9,74 e

* te same litery przy średnich oznaczają brak istotnych różnic

Metoda weryfikacji, poprawności dla klasyfikacji syntetycznego wskaźnika potwierdza, że oba sposoby kategoryzacji są poprawne. Dlatego w dalszej części pracy zastosowano obydwie kategoryzacje.

4.3. Regionalne zróżnicowanie właściwości agrochemicznych gleb

Stacje chemiczno-rolnicze wykonują analizy właściwości agrochemicznych gleb na zlecenie rolników. Wyniki analiz wykorzystywane są przez zleceniodawców do zaleceń nawozowych i kontroli poprawności stosowanego nawożenia. Wyniki masowych badań właściwości agrochemicznych gleb zgromadzone w bazie danych mogą również służyć do oceny żyzności gleb w skali regionalnej lub w skali całego kraju.

Opracowanie takiej oceny było zasadniczym celem badań. Z uwagi na przejrzystość opracowania i zapewnienie koniecznej reprezentatywności danych, ocenę regionalnego zróżnicowania właściwości agrochemicznych gleby dokonano w skali województw. Zgromadzony w bazie danych materiał pozwala również na dokonywanie analizy w mniejszych skalach, powiatów, gmin, a nawet wsi, ale pozostawiono to do oddzielnych opracowań, które mogą być wykonane w przyszłości na zlecenie zainteresowanych jednostek administracyjnych.

4.3.1. Kategorie agronomiczne gleb

Z poprzedniego rozdziału pracy wynika, że właściwości agrochemiczne gleb mające charakter zmiennych ilościowych były uwikłane z ich kategorią agronomiczną, określaną w sposób jakościowy. Z tego względu analizę terytorialnego zróżnicowania właściwości agrochemicznych gleb rozpoczęto od przedstawienia udziału próbek, zaliczanych do poszczególnych kategorii agronomicznych w województwach. Jest to ważne, ponieważ w skali całego zbioru danych, a więc w skali Polski, udział próbek gleb bardzo lekkich wynosił niespełna 4%, gleb lekkich ok. 39%, gleb średnich ok. 43%, a gleb ciężkich 13,6% (tab. 4.1.2), co nie w pełni odpowiada rozkładowi w populacji generalnej gleb w Polsce. Według badań wykonanych przez Stuczyńskiego i in. [2008] gleby bardzo lekkie stanowią ok. 25%, gleby lekkie ok. 35%, gleby średnie ok. 29%, a gleby ciężkie ok. 11% ogółu gleb w naszym kraju (tab. 4.3.1). W bazie danych OSCh-R udział próbek gleb bardzo lekkich był zatem znacznie mniejszy, udział gleb średnich znacznie większy, a udziały gleb lekkich i ciężkich nieznacznie większy. Różnice te wpłynęły na dalszy kierunek rozważań nad rzeczywistym zróżnicowaniem cech agronomicznych gleby w skali Polski i poszczególnych województw. Problem ten będzie szerzej omówiony w dyskusji wyników.

Udział próbek gleby w poszczególnych kategoriach agronomicznych był zróżnicowany w województwach (tab. 4.3.1). Większy, niż średni w kraju udział próbek w kategorii agronomicznej gleb bardzo lekkich, występował w województwach PDL, LOD, LUS, WLP, KUJ, w kategorii agronomicznej gleb lekkich w województwach ZAP, LUS, KUJ, WLP, LOD, PDL, POM, MAZ, w kategorii agronomicznej gleb średnich w województwach PDK, LUB, SWT, WAM, MAZ, SLS, a w kategorii agronomicznej gleb ciężkich, w województwach MAL, OPL, DOL, SLS, POM.

Tabela 4.3.1. Porównanie liczby i udziału próbek gleb (%) w kategoriach agronomicznych wg badań własnych i Stuczyńskiego i in. [2008]

Woj.	Liczba próbek	Udział gleb (%) w kategoriach agronomicznych w badaniach własnych				Udział gleb (%) w kategoriach agronomicznych w badaniach Stuczyńskiego i in. [2008]			
		b. lekkie	lekkie	średnie	ciężkie	b. lekkie	lekkie	średnie	ciężkie
DOL	75364	1,73	10,94	41,46	45,87	9,3	16,3	30,1	44,4
KUJ	87699	6,47	58,86	32,46	2,21	21,2	48,6	28,2	2,0
LUB	65872	2,40	24,95	63,68	8,97	12,2	34,6	47,2	6,0
LUS	26872	10,42	59,50	18,12	11,96	33,8	38,4	22,9	4,9
LOD	47572	11,98	51,94	35,13	0,95	37,4	50,4	12,0	0,1
MAL	25057	0,34	8,31	36,25	55,1	3,8	9,5	47,6	39,1
MAZ	87579	3,10	41,07	51,95	3,88	35,5	45,5	17,5	1,4
OPL	49726	0,60	17,36	35,50	46,54	6,9	22,3	40,9	30,0
PDK	73551	1,11	18,15	80,26	0,48	13,9	29,1	22,6	34,4
PDL	21510	26,00	50,08	23,65	0,27	26,5	38,8	32,7	2,0
POM	75213	1,05	49,76	34,23	14,96	22,8	37,5	25,8	13,9
SLS	63730	0,74	14,62	47,96	36,68	23,7	21,6	33,3	21,4
SWT	19259	0,72	33,22	63,26	2,80	25,5	16,8	43,9	13,9
WAM	58473	0,41	36,87	52,17	10,54	17,6	25,6	48,7	8,1
WLP	110707	7,82	56,64	34,56	0,97	38,0	48,2	13,4	0,3
ZAP	69367	0,43	74,09	23,42	2,06	20,3	50,0	27,5	2,3
Polska	957551	3,88	39,33	43,14	13,65	23,4	36,1	29,4	11,1

4.3.2. Właściwości agrochemiczne gleb w województwach

Z przeprowadzonej analizy wynika, że przeciętne (mediany) wartości analizowanych cech gleby były znacznie zróżnicowane pomiędzy województwami (tab. 4.3.2). Większe niż w kraju przeciętne wartości odczynu stwierdzono

w województwach DOL, KUJ, LUB, LUS, OPL, SWT, WLP i ZAP. W większości tych województw, z wyjątkiem LUB i SWT stwierdzono także większe od przeciętnej dla kraju zawartości przyswajalnego fosforu. Jest to zgodne ze stwierdzoną uprzednio wysoką korelacją pH i zawartością przyswajalnego fosforu. Większe od przeciętnych dla Polski, zawartości potasu występują w województwach DOL, LUS, OPL, POM, WAM, i ZAP, a zawartości przyswajalnego magnezu w województwach DOL, MAL, OPL, PDK, SLS, SWT i WAM. Z wyjątkiem województw DOL i OPL, województwa o wysokiej zawartości potasu nie pokrywały się z województwami o podobnej zawartości magnezu. Stanowi to z kolei potwierdzenie niskiej korelacji pomiędzy zawartościami tych dwóch składników w glebach Polski. Ogólnie można stwierdzić, że próbki gleb pochodzące z województw DOL, LUS, OPL i ZAP wyróżniały się wyższą od przeciętnej dla Polski zawartością fosforu, potasu i magnezu oraz mniej kwaśnym odczynem gleb (wyższa wartość pH). Trudniej natomiast wyróżnić grupę województw o jednoznacznie gorszych elementach żyzności gleby. Dlatego też należało przeanalizować różnice pomiędzy województwami dla każdego z badanych wskaźników oddzielnie. Należy podkreślić, że przy podawaniu charakterystyk liczbowych (a nie skategoryzowanych) dla poszczególnych wskaźników nie uwzględnia się kategorii agronomicznej gleby.

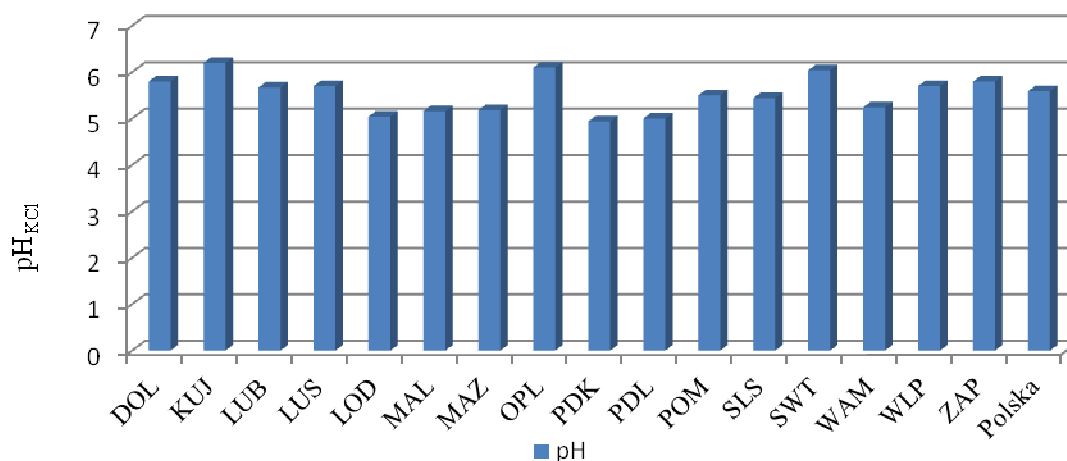
Tabela 4.3.2. Parametry statystyczne analizowanych cech gleby według województw

Województwa	pH _{KCl}			P ₂ O ₅			K ₂ O			Mg		
	Me	Lq	Uq	Me	Lq	Uq	Me	Lq	Uq	Me	Lq	Uq

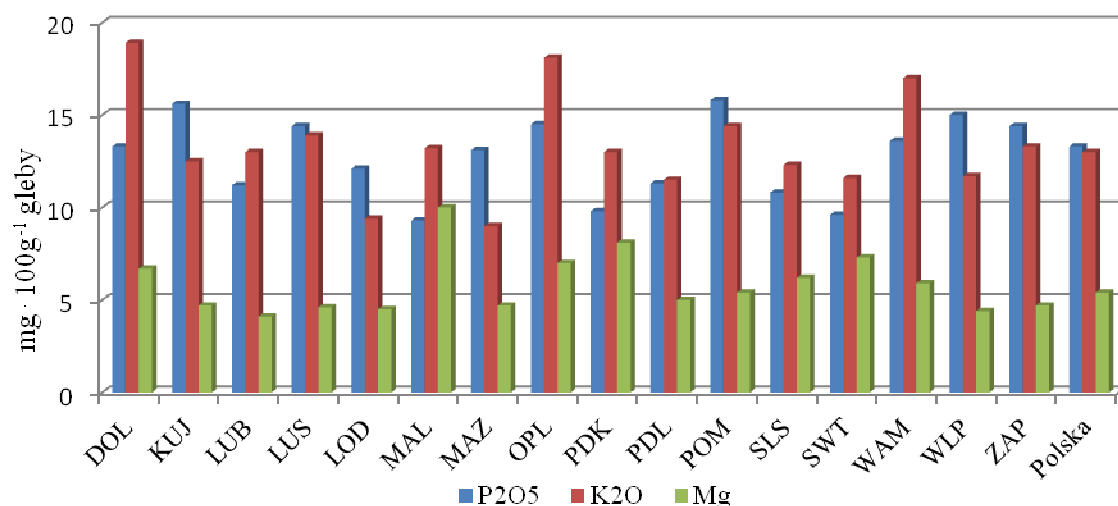
DOL	5,80	5,00	6,50	13,30	8,20	20,50	18,90	12,90	25,30	6,70	4,40	9,60
KUJ	6,20	5,30	7,10	15,60	10,40	23,40	12,50	8,60	18,00	4,70	3,20	6,80
LUB	5,67	4,69	6,77	11,20	7,20	17,20	13,00	8,00	19,00	4,10	2,50	7,00
LUS	5,70	5,00	6,30	14,40	10,30	19,50	13,90	9,30	19,60	4,60	2,80	7,60
LOD	5,04	4,38	5,92	12,10	8,00	18,50	9,40	6,00	14,50	4,50	2,60	6,70
MAL	5,16	4,40	6,26	9,30	4,80	16,80	13,20	8,20	20,60	10,00	6,70	14,10
MAZ	5,18	4,39	6,19	13,10	8,80	19,00	9,00	5,70	14,00	4,70	2,80	7,50
OPL	6,10	5,40	6,60	14,50	9,80	20,90	18,10	12,40	24,00	7,00	4,80	9,70
PDK	4,94	4,30	5,91	9,80	5,70	16,00	13,00	8,00	19,00	8,10	4,70	13,10
PDL	5,00	4,40	5,90	11,30	7,70	16,40	11,50	8,20	15,90	5,00	3,20	7,60
POM	5,50	4,80	6,33	15,80	10,60	23,60	14,40	9,60	21,00	5,40	3,10	9,20
SLS	5,44	4,62	6,19	10,80	6,20	17,30	12,30	7,10	19,10	6,20	3,50	9,60
SWT	6,04	4,81	7,08	9,60	5,30	17,30	11,60	7,40	18,00	7,30	4,60	10,60
WAM	5,24	4,61	6,00	13,60	9,20	19,40	17,00	12,50	22,50	5,90	3,80	8,70
WLP	5,70	4,90	6,50	15,00	10,80	21,30	11,70	7,80	16,80	4,40	2,90	6,20
ZAP	5,80	5,00	6,70	14,40	10,60	19,90	13,30	9,70	18,00	4,70	3,10	6,70
Polska	5,59	4,70	6,44	13,30	8,60	19,80	13,00	8,40	19,50	5,40	3,30	8,40

Me - mediana, Lq - dolny kwartyl, Uq - górny kwartyl

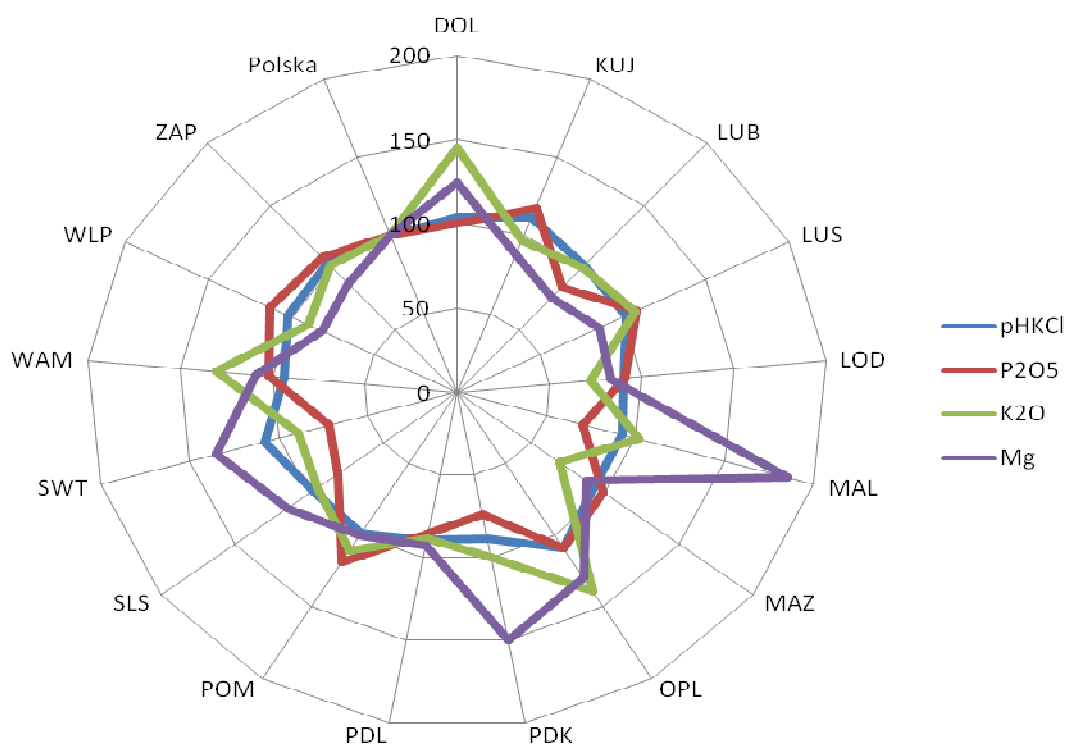
Dla większej przejrzystości dane zamieszczone w tabeli 4.3.2 przedstawiono również, na rysunkach 4.3.1 i 4.3.2 w postaci wykresu liniowego oraz na rysunku 4.3.3 w formie wykresu radarowego.



Rys. 4.3.1. Przeciętne wartości pH dla województw



Rys. 4.3.2. Przeciętne wartości P₂O₅, K₂O i Mg dla województw



Rys. 4.3.3. Rozkład procentowy właściwości gleby w województwach w stosunku do przeciętnych wartości dla Polski

Z uwagi na możliwość dokonania porównań z dotychczasowymi zestawieniami właściwości agrochemicznych gleb w Polsce i dla lepszej czytelności danych podano je również w ujęciu skategoryzowanym. Dodatkową

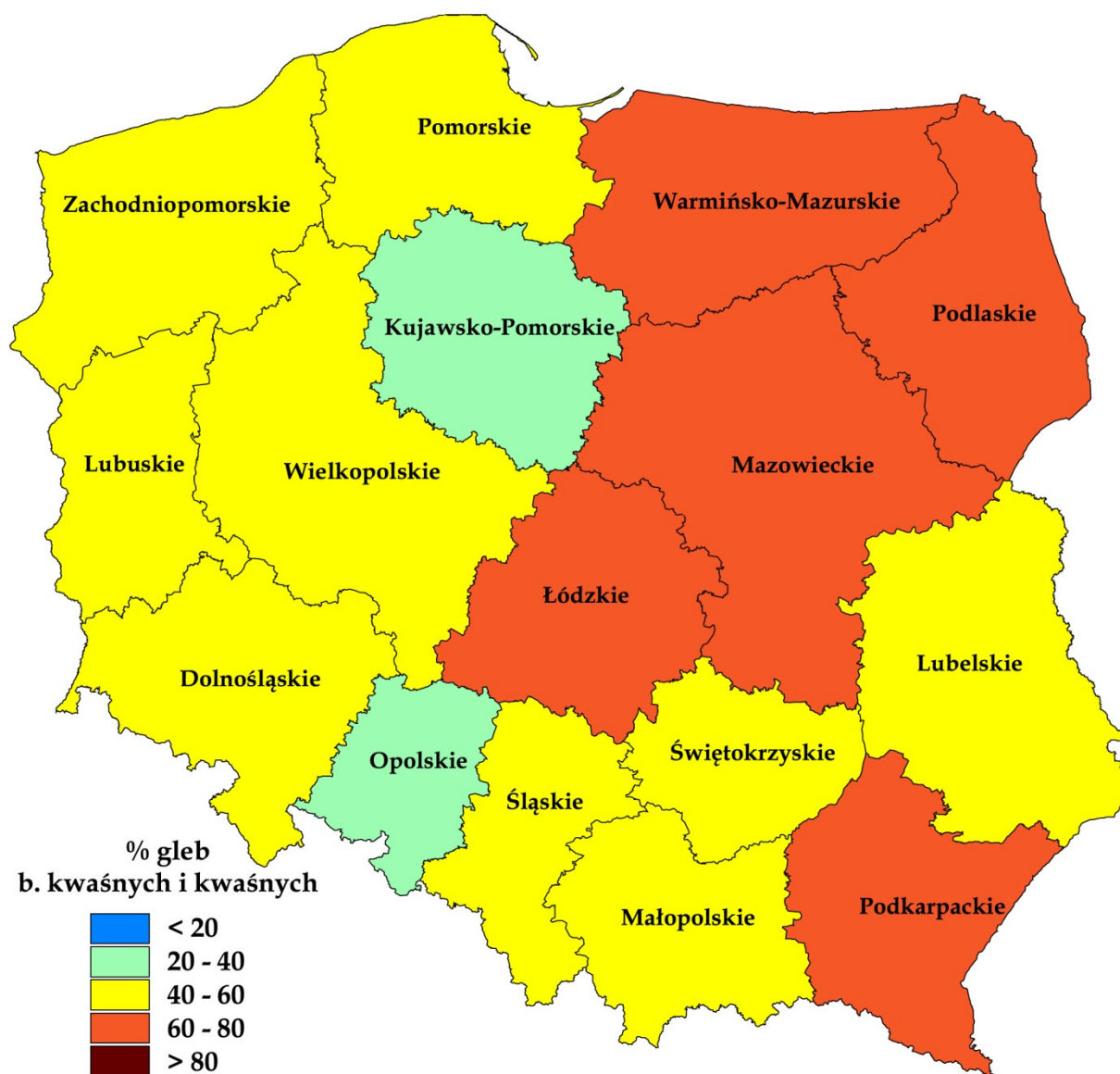
zaletą takiego podejścia jest to, że dane w ujęciu skategoryzowanym, w odniesieniu do potasu i magnezu uwzględniają również kategorie agronomiczne gleby.

Odczyn gleby

Na rysunku 4.3.4 przedstawiono przestrzenne zróżnicowanie procentowego udziału próbek gleb o odczynie bardzo kwaśnym i kwaśnym. Udział tych gleb decyduje o zapotrzebowaniu na nawozy wapniowe w poszczególnych województwach. Próbki gleb o odczynie bardzo kwaśnym i kwaśnym stanowiły w kraju około 50%, gleb o odczynie lekko kwaśnym 28% i gleb o odczynie obojętnym i zasadowym około 22% (tab. 4.3.3). Gleby najsilniej zakwaszone występują w województwach: PDK, PDL, LOD, WAM, MAZ i MAL. Najmniej takich gleb występuje w województwach OPL i KUJ. Najwięcej gleb o odczynie obojętnym i zasadowym występuje w województwach KUJ i SWT.

Tabela 4.3.3. Przestrzenne zróżnicowanie udziału próbek w klasach odczynu w województwach

Województwa	Udział próbek w klasach odczynu (%)				
	b. kwaśny	kwaśny	l. kwaśny	obojętny	zasadowy
DOL	14,27	28,70	33,85	14,22	8,95
KUJ	10,17	21,19	27,98	23,27	17,39
LUB	21,06	26,27	23,37	14,53	14,78
LUS	12,58	32,85	37,91	11,77	4,90
LOD	32,14	33,34	21,72	9,08	3,71
MAL	31,32	28,55	20,90	14,59	4,64
MAZ	31,24	29,09	22,00	12,91	4,76
OPL	6,04	22,71	45,57	19,54	6,13
PDK	36,28	30,53	19,32	11,40	2,47
PDL	31,65	34,78	21,30	10,05	2,22
POM	16,75	34,41	29,08	17,82	1,94
SLS	23,14	30,67	32,00	11,16	3,04
SWT	19,02	21,77	21,02	20,05	18,13
WAM	22,13	39,28	25,45	11,13	2,01
WLP	15,82	28,31	30,94	14,12	10,82
ZAP	11,69	30,88	29,93	16,20	11,31
Polska	20,21	29,39	28,00	14,74	7,66



Rys. 4.3.4. Procentowy udział gleb o odczynie bardzo kwaśnym i kwaśnym w województwach

Przyswajalny fosfor

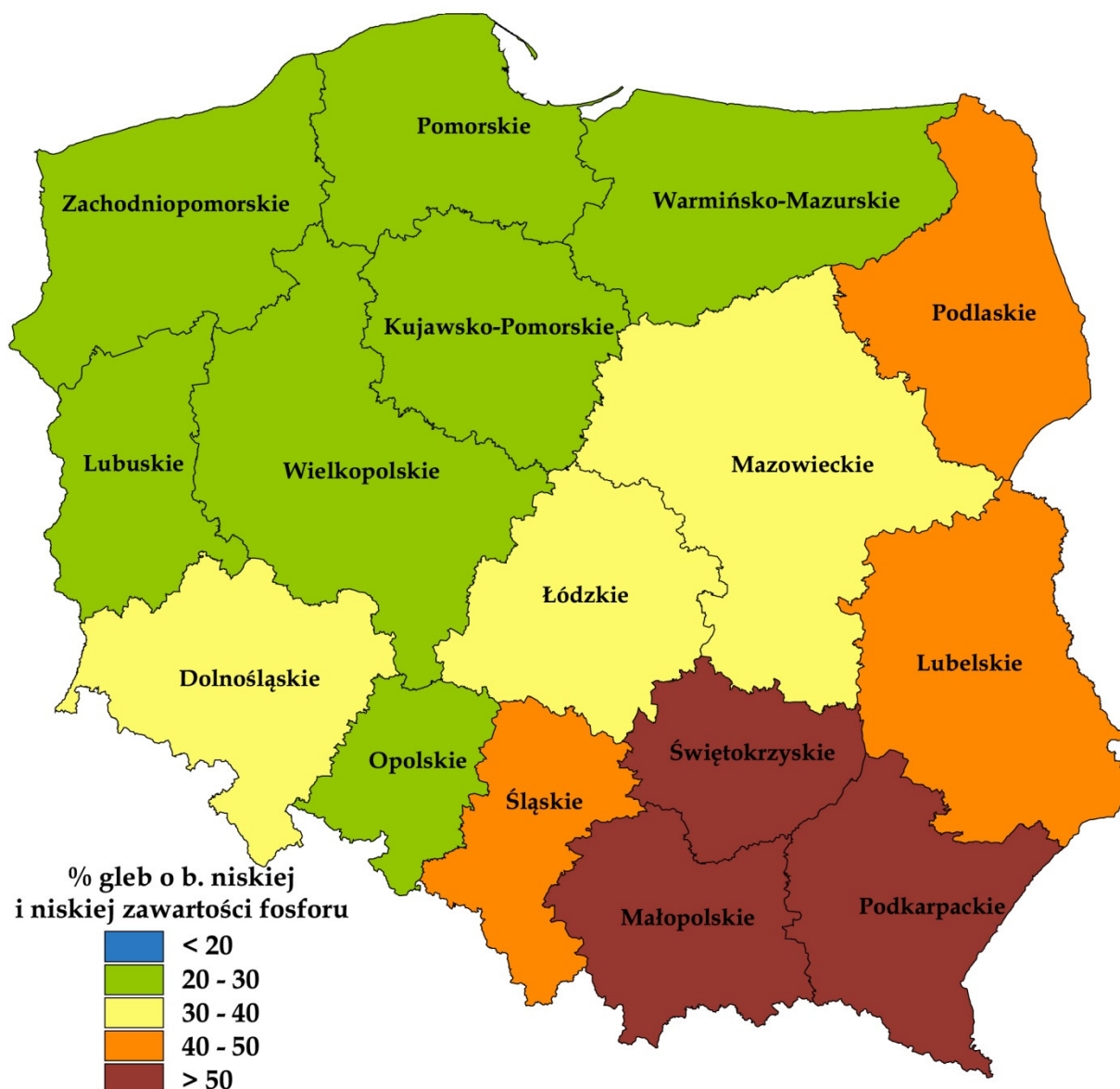
Na rysunku 4.3.5 przedstawiono procentowy udział gleb o bardzo niskiej i niskiej zawartości przyswajalnego fosforu (tab. 4.3.4). W skali Polski niespełna 33% próbek gleb charakteryzuje się bardzo niską i niską zawartością przyswajalnego fosforu. Najwięcej próbek gleb o zawartości bardzo niskiej i niskiej występuje w województwach MAL, SWT, PDK, SLS, PDL. W pozostałych województwach udział takich gleb nie przekracza 40%. Udział gleb o wysokiej

i bardzo wysokiej zawartości fosforu w skali Polski jest znaczący i wynosi ponad 41%. Najlepszą zasobnością w fosfor przyswajalny charakteryzują się województwa POM, KUJ, WLP, OPL, ZAP, LUS i DOL.

Tabela 4.3.4. Przestrzenne zróżnicowanie udziału próbek w klasach zawartości fosforu w województwach

Województwa	Udział próbek w klasach zasobności (%)				
	b. niska	niska	średnia	wysoka	b. wysoka
DOL	11,47	22,58	23,54	16,21	26,20
KUJ	4,03	19,08	24,41	18,82	33,66
LUB	12,23	30,96	29,00	16,88	10,94
LUS	2,95	20,52	30,88	22,95	22,70
LOD	8,09	30,03	25,85	14,94	21,10
MAL	26,47	27,14	17,17	10,30	18,92
MAZ	6,91	25,29	27,87	17,84	22,09
OPL	4,50	21,61	26,58	19,46	27,85
PDK	21,06	30,23	20,93	11,60	16,19
PDL	9,21	32,20	28,39	15,03	15,16
POM	3,92	18,86	24,66	18,74	33,82
SLS	18,93	27,30	21,58	13,65	18,54
SWT	23,58	28,42	17,59	10,08	20,33
WAM	5,77	24,22	27,89	19,15	22,97
WLP	3,21	18,20	28,99	21,97	27,63
ZAP	2,68	19,27	31,75	21,64	24,66
Polska	8,94	23,76	25,94	17,55	23,81

Me - mediana, Lq - dolny kwartył, Uq - górny kwartył



Rys. 4.3.5. Procentowy udział gleb o bardzo niskiej i niskiej zawartości przyswajalnego fosforu

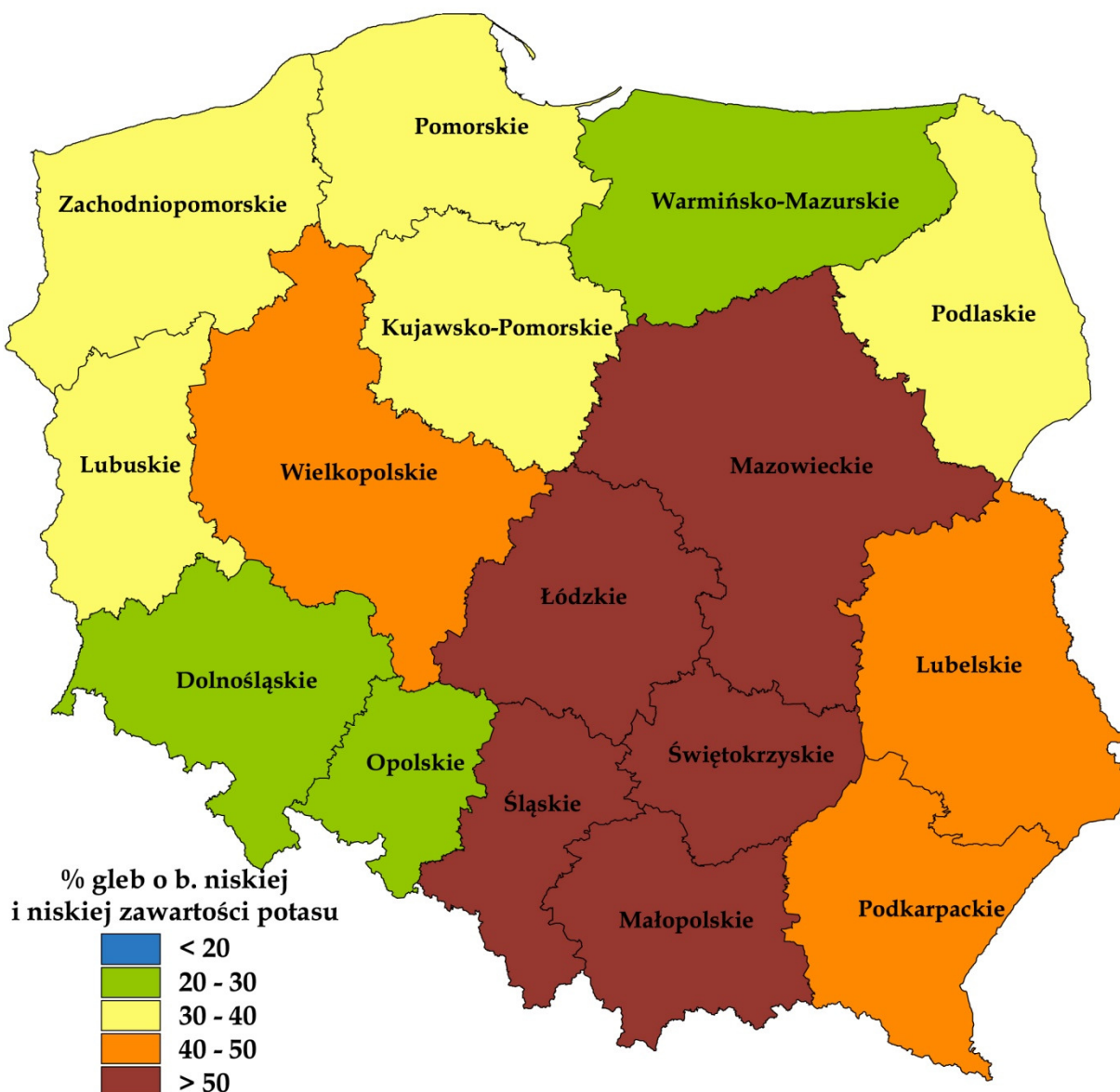
Przyswajalny potas

Na rysunku 4.3.6 przedstawiono procentowy udział gleb o bardzo niskiej i niskiej zawartości przyswajalnego potasu (tab. 4.3.5). W skali Polski udział próbek gleb o bardzo niskiej i niskiej zawartości potasu przyswajalnego wynosi około 42%. Najwięcej takich gleb występuje w województwach MAZ (ponad 65%) i LOD (ponad 59%). W województwach SLS, MAL, SWT udział próbek gleb o małej zasobności w potas przekracza 50%. Najmniej gleb ubogich w potas przyswajalny występuje natomiast w województwach WAM i OPL, odpowiednio ponad 21% i 27%. Gleby o wysokiej i bardzo wysokiej zawartości potasu

charakteryzowały w skali Polski niespełna 27%. Najlepiej pod tym względem wypadają województwa; WAM, LUS, OPL, ZAP, KUJ, gdzie udział gleb o wysokiej i bardzo wysokiej zawartości potasu wynosi od 30% do niespełna 40%.

Tabela 4.3.5. Przestrzenne zróżnicowanie udziału próbek gleb w klasach zawartości potasu w województwach

Województwa	Udział próbek w klasach zasobności (%)				
	b. niska	niska	średnia	wysoka	b. wysoka
DOL	8,15	18,03	36,87	15,42	21,53
KUJ	10,57	28,51	30,60	15,50	14,82
LUB	16,31	29,19	31,17	10,95	12,38
LUS	9,05	25,03	30,15	17,73	18,04
LOD	22,78	36,55	23,49	9,02	8,16
MAL	25,80	25,00	28,24	8,28	12,70
MAZ	30,80	34,55	20,66	6,80	7,19
OPL	8,77	18,90	37,04	17,99	17,30
PDK	19,07	27,92	29,10	10,81	13,10
PDL	5,97	31,34	36,59	16,14	9,96
POM	8,09	26,62	33,87	14,88	16,53
SLS	27,62	25,57	31,49	9,89	5,42
SWT	19,80	30,50	25,88	10,73	13,08
WAM	3,79	17,99	38,69	20,48	19,04
WLP	12,61	30,81	31,26	13,87	11,45
ZAP	6,28	26,86	34,96	18,68	13,22
Polska	14,68	27,21	31,26	13,55	13,30



Rys. 4.3.6. Procentowy udział gleb o bardzo niskiej i niskiej zawartości przyswajalnego potasu

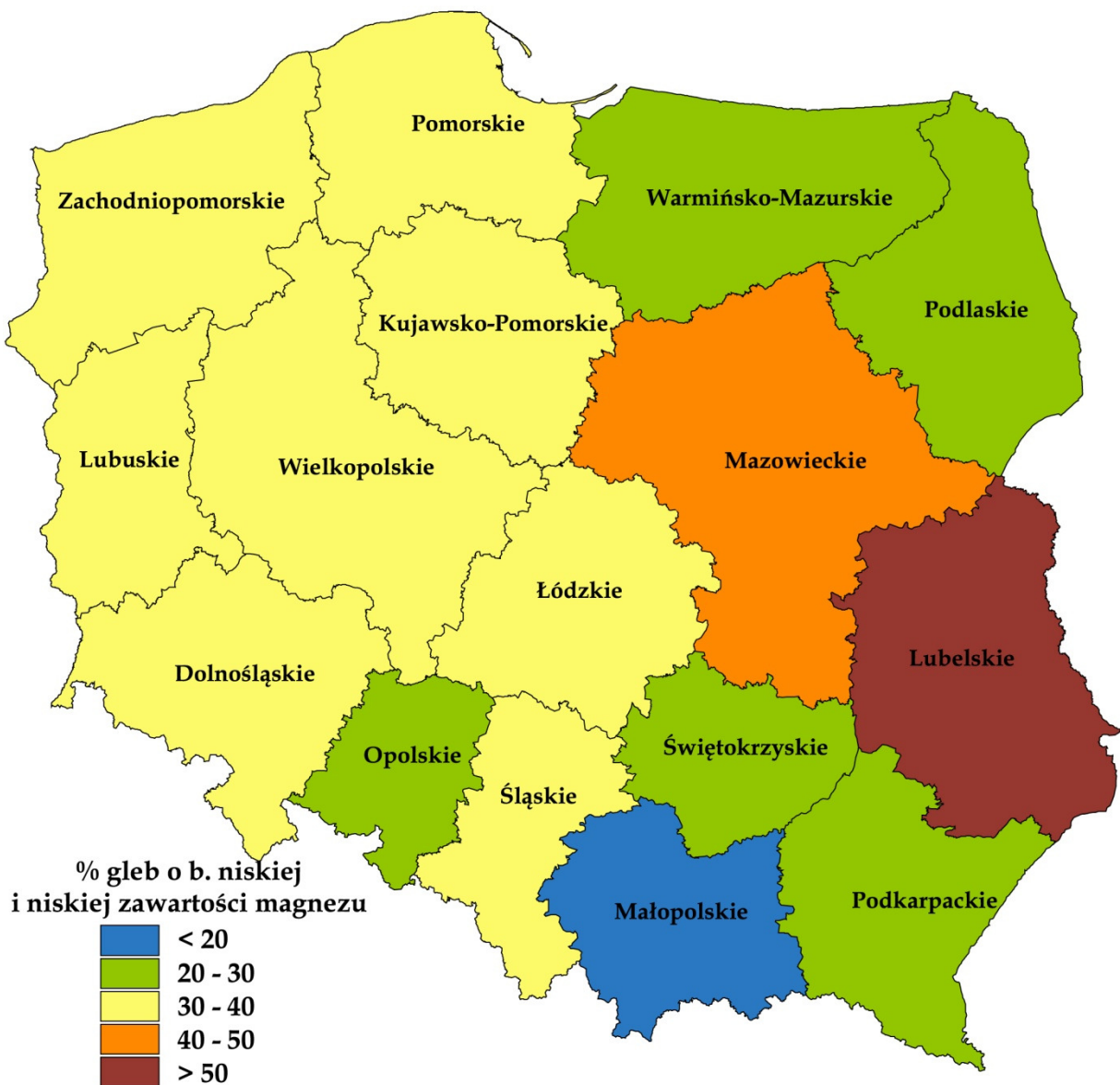
Przyswajalny magnez

Na rysunku 4.3.7 przedstawiono procentowy udział gleb o bardzo niskiej i niskiej zawartości przyswajalnego magnezu. Udział próbek gleb o bardzo niskiej i niskiej zawartości magnezu wynosi niespełna 34% (tab. 4.3.6). Najwięcej gleb ubogich w magnez odnotowano w województwach LUB, MAZ, LOD, SLS, WLP. W tych województwach próbki gleb o bardzo niskiej i niskiej zawartości magnezu wahały się w przedziale od 37% do 54%. Najmniejsze udziały próbek gleb ubogich w magnez występują w województwach MAL i PDL, odpowiednio od 17% do 21%.

Gleby o wysokiej i bardzo wysokiej zawartości tego składnika stanowiły w tych województwach niespełna 39%. Najlepszą zasobnością w magnez charakteryzują się gleby województwa MAL i SWT.

Tabela 4.3.6. Przestrzenne zróżnicowanie udziału próbek gleb w klasach zawartości magnezu w województwach

Województwa	Udział próbek w klasach zasobności (%)				
	b. niska	niska	średnia	wysoka	b. wysoka
DOL	12,94	20,17	31,13	18,37	17,38
KUJ	10,44	21,44	31,88	18,89	17,36
LUB	28,81	25,32	19,68	13,15	13,04
LUS	15,07	17,41	27,46	18,50	21,57
LOD	18,05	21,71	26,44	17,49	16,31
MAL	6,40	10,99	23,88	19,73	39,00
MAZ	18,32	22,73	24,90	14,91	19,14
OPL	8,95	18,49	34,58	21,10	16,88
PDK	9,58	13,60	17,05	14,36	45,41
PDL	6,62	14,31	30,90	22,84	25,33
POM	13,87	18,51	25,74	17,27	24,61
SLS	20,15	18,84	25,43	15,36	20,23
SWT	7,78	14,70	19,74	17,47	40,30
WAM	9,00	18,87	28,52	20,87	22,73
WLP	14,52	22,63	32,02	18,01	12,82
ZAP	12,06	19,17	31,79	19,89	17,08
Polska	14,16	19,71	27,37	17,59	21,17



Rys. 4.3.7. Procentowy udział gleb o bardzo niskiej i niskiej zawartości przyswajalnego magnezu

4.3.3. Syntetyczny wskaźnik żyzności gleb SWŻG w województwach

Jak podano w podrozdziale 4.2.2, kategoryzacji wskaźnika żyzności gleby dokonano dwoma metodami, przy użyciu pentyli rozkładu empirycznego i zgodnie z odchyleniem standardowym od średniej. Obydwie metody okazały się równo cenne i dlatego zastosowano je w ocenie przestrzennego zróżnicowania żyzności gleb w województwach.

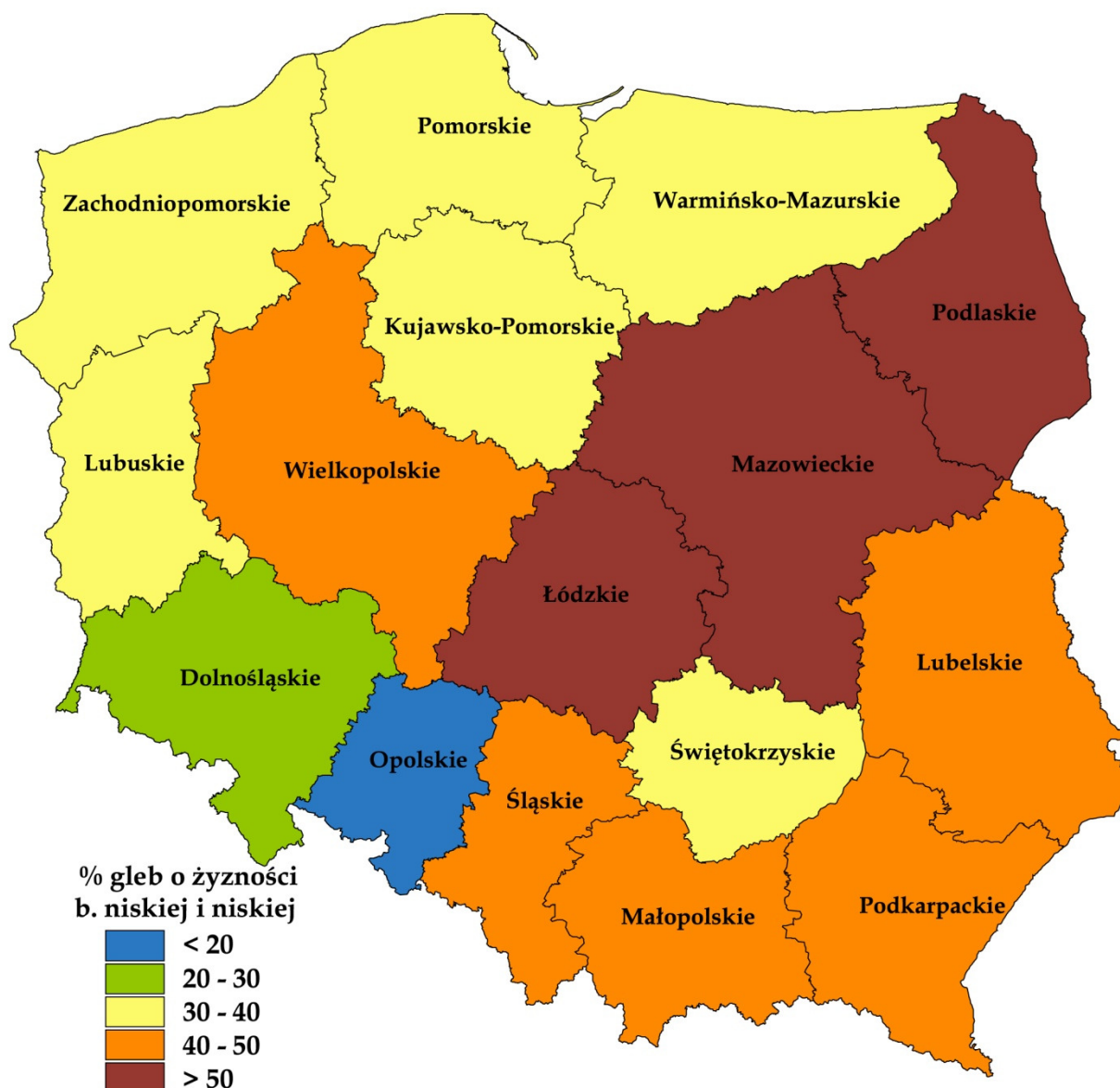
Klasyfikacja na podstawie pentyli rozkładu empirycznego

Na rysunku 4.3.8 przedstawiono procentowy udział próbek gleb o bardzo niskiej i niskiej żyzności wyznaczonych przy użyciu pentyli rozkładu empirycznego w województwach. Najwięcej próbek gleb o żyzności bardzo niskiej i niskiej wyznaczonych przy użyciu pentyli rozkładu empirycznego występuje w województwach LOD 60%, PDL 58% i MAZ 55% (tab. 4.3.7). Największą żyznością charakteryzują się natomiast próbki gleb z województw OPL, DOL, KUJ i POM. W województwach tych procent próbek w klasach żyzności wysokiej i bardzo wysokiej wynosi odpowiednio 60%, 53%, 49% i 46%.

Tabela 4.3.7. Przestrzenne zróżnicowanie wskaźnika i udział (%) próbek w klasach żyzności wyznaczonych przy użyciu pentyli rozkładu empirycznego w województwach

Województwa	Statystyka			Udział próbek w klasach żyzności (%)				
	Me	Lq	Uq	b. niska	niska	średnia	wysoka	b. wysoka
DOL	0,40	-0,57	1,45	10,73	15,99	19,36	22,96	30,95
KUJ	0,21	-0,72	1,15	13,34	17,29	20,66	24,05	24,66
LUB	-0,36	-1,30	0,68	25,51	20,94	18,87	18,69	15,99
LUS	-0,01	-0,83	0,79	14,36	20,41	23,89	25,27	16,07
LOD	-0,88	-1,70	0,21	37,87	22,19	15,68	12,50	11,77
MAL	-0,21	-1,13	0,93	20,88	21,94	18,85	17,26	21,08
MAZ	-0,70	-1,57	0,41	33,80	21,41	16,88	14,33	13,57
OPL	0,56	-0,24	1,46	6,30	12,67	20,95	27,82	32,26
PKD	-0,37	-1,27	0,67	24,62	22,04	19,66	16,87	16,81
PDL	-0,74	-1,45	0,16	30,93	26,76	19,21	13,53	9,58
POM	0,12	-0,86	1,25	15,08	18,85	19,45	20,08	26,54
SLS	-0,38	-1,41	0,70	27,94	19,30	18,18	17,67	16,91
SWT	-0,10	-1,13	0,90	21,48	18,47	19,05	21,57	19,42
WAM	0,01	-0,79	0,91	12,63	21,14	24,03	22,15	20,06
WLP	-0,16	-1,07	0,79	19,51	20,98	21,01	21,49	17,01
ZAP	-0,04	-0,82	0,79	12,73	22,42	24,49	23,30	17,06
Polska	-0,12	-1,08	0,89	20,08	19,92	20,02	20,15	19,83

Me - mediana, Lq - dolny kwartył, Uq - górny kwartył



Rys. 4.3.8. Procentowy udział gleb o bardzo niskiej i niskiej żyzności wyznaczonych przy użyciu pentyli rozkładu empirycznego

Klasyfikacja na podstawie odchylenia standardowego

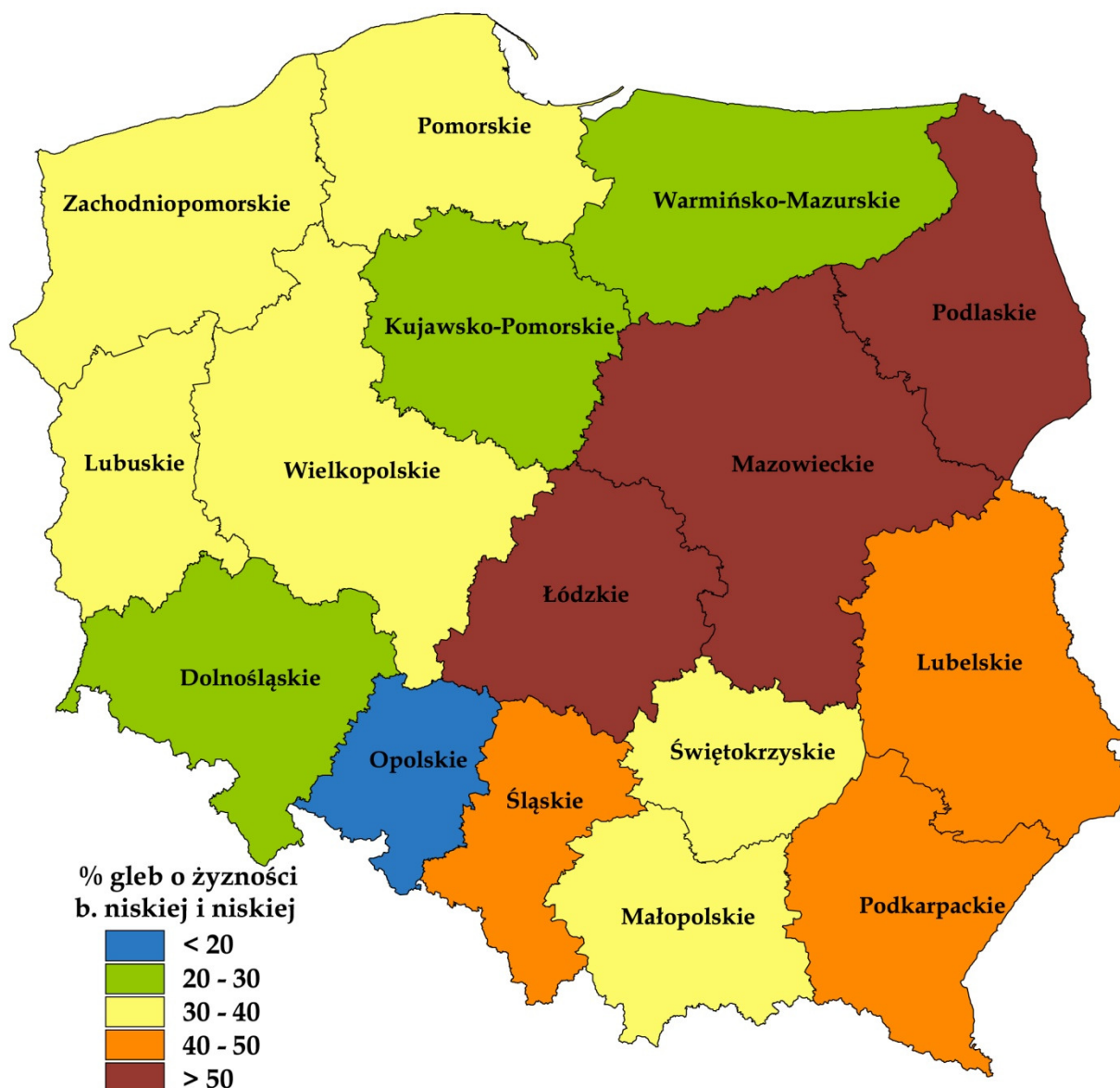
Najwięcej próbek gleb o żyzności bardzo niskiej i niskiej wyznaczonych z uwzględnieniem odchylenia standardowego, występuje w województwach LOD - 56%, PDL - 53% i MAZ - 51%. Najwięcej próbek gleb o żyzności wysokiej i bardzo wysokiej zarejestrowano natomiast w województwach OPL - 44% i DOL - 41% (tab. 4.3.8).

Na rysunku 4.3.9 przedstawiono procentowy udział gleb o bardzo niskiej i niskiej żyzności wyznaczonych z uwzględnieniem odchylenia standardowego.

Tabela 4.3.8 Przestrzenne zróżnicowanie wskaźnika i udział (%) próbek gleb w klasach żyzności wyznaczonych z uwzględnieniem odchylenia standardowego

Województwa	Statystyka			Udział próbek w klasach żyzności (%)				
	Me	Lq	Uq	b. niska	niska	średnia	wysoka	b. wysoka
DOL	0,40	-0,57	1,45	2,34	20,70	35,98	26,44	14,55
KUJ	0,21	-0,72	1,15	3,25	23,50	38,00	26,42	8,84
LUB	-0,36	-1,30	0,68	7,40	34,90	34,24	17,15	6,31
LUS	-0,01	-0,83	0,79	2,44	27,71	43,60	21,26	4,99
LOD	-0,88	-1,70	0,21	14,26	41,83	27,26	11,39	5,26
MAL	-0,21	-1,13	0,93	5,82	32,71	33,54	17,72	10,21
MAZ	-0,70	-1,57	0,41	10,60	40,69	29,66	13,35	5,70
OPL	0,56	-0,24	1,46	1,11	14,67	40,11	29,74	14,38
PDK	-0,37	-1,27	0,67	7,57	34,69	34,34	15,23	8,17
PDL	-0,74	-1,45	0,16	6,56	46,34	32,51	10,75	3,84
POM	0,12	-0,86	1,25	2,90	27,17	35,06	21,16	13,69
SLS	-0,38	-1,41	0,70	10,65	32,60	32,70	16,88	7,17
SWT	-0,10	-1,13	0,90	6,94	28,96	35,40	22,02	6,68
WAM	0,01	-0,79	0,91	1,97	27,00	42,32	20,46	8,24
WLP	-0,16	-1,07	0,79	4,42	31,66	38,03	19,85	6,04
ZAP	-0,04	-0,82	0,79	1,56	28,67	43,70	19,93	6,14
Polska	-0,12	-1,08	0,89	5,50	30,35	36,08	19,70	8,37

Me - mediana, Lq - dolny kwartył, Uq - górny kwartył



Rys. 4.3.9. Procentowy udział gleb o bardzo niskiej i niskiej żyzności wyznaczonych z uwzględnieniem odchylenia standardowego

Jak wynika z ww. tabel i rysunków, przestrzenne zróżnicowanie wskaźnika żyzności gleb przedstawia się zatem bardzo podobnie, niezależnie od metody kategoryzacji tego wskaźnika.

4.3.4. Grupy województw o podobnych wskaźnikach żyzności gleb

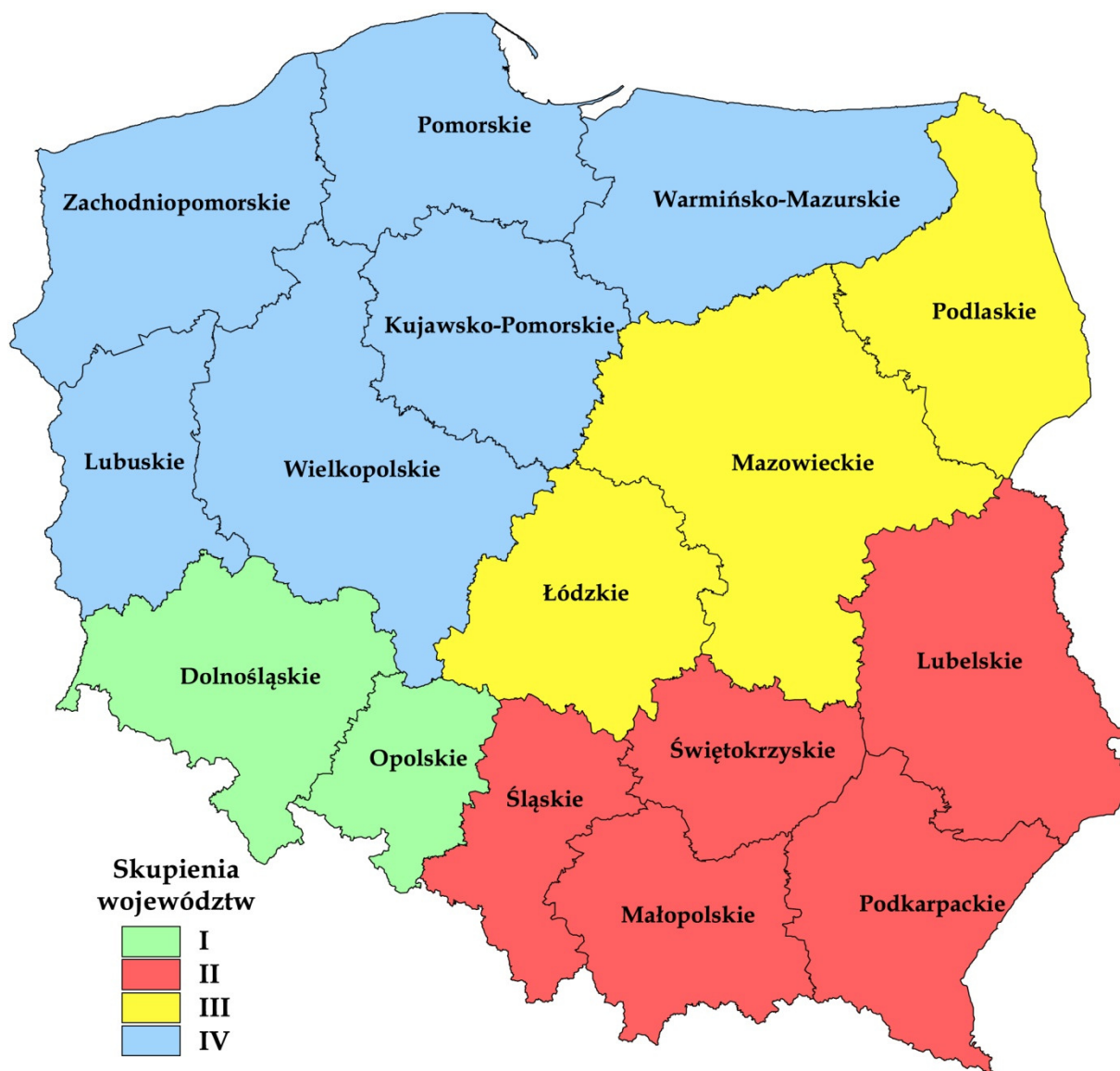
Z poprzednich rozważań wynika, że pod względem pojedynczych wskaźników żyzności gleb województwa grupują się w dosyć podobny sposób. Potwierdzono to stosując metodę analizy skupień (według Warda). Do analizy skupień wprowadzono wszystkie pojedyncze wskaźniki żyzności, SWŻG oraz

wskaźnik waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej (WRPP) opracowany w IUNG-PIB [Witek i Górski 1977, Stuczyński i in. 2000] (tab. 4.3.9). Celem wprowadzenia tego ostatniego wskaźnika było stworzenie możliwości rozróżnienia naturalnych, tj. będących wynikiem procesu glebotwórczego i agrotechnicznych czynników wpływających na żyzność gleby.

Tabela 4.3.9. Średnie wartości wskaźników w wydzielonych skupieniach województw

Skupienie	Województwa	Wartości średnie					
		pH	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	SWŻG	WRPP
1	DOL, OPL	5,95	13,9	18,5	6,85	0,48	78,25
2	KUJ, LUS, POM, WAM, WLP, ZAP	5,69	14,8	13,8	4,95	0,02	66,3
3	LUB, MAL, PDK, SLS, SWT	5,45	10,14	12,62	7,14	-0,28	69,46
4	LOD, MAZ, PDL	5,07	12,17	9,97	4,73	-0,77	58,93

W wyniku tej analizy wyróżniono 4 skupienia województw (rys. 4.3.10). W pierwszym skupieniu znalazły się dwa województwa - DOL i OPL charakteryzujące się niemal wszystkimi najlepszymi wskaźnikami żyzności z wyjątkiem fosforu przyswajalnego a jednocześnie o najlepszych warunkach naturalnych do produkcji rolniczej. Czwarte skupienie obejmuje trzy województwa, LOD, MAZ i PDL, w których wszystkie wskaźniki żyzności pozostają na najniższym poziomie oprócz fosforu przyswajalnego. Województwa te mają równocześnie najgorsze warunki naturalne do produkcji rolniczej. Skupienie trzecie różni się od skupienia drugiego gorszymi wskaźnikami żyzności gleb, z wyjątkiem zawartości przyswajalnego magnezu. W tym skupieniu naturalne warunki do produkcji rolniczej są lepsze niż w województwach skupienia drugiego. O gorszych wskaźnikach żyzności gleby zdecydowały tutaj prawdopodobnie czynniki agrotechniczne.



Rys. 4.3.10. Skupienia przeciętnych wartości cech i wskaźników w województwach

5. DYSKUSJA

5.1. Wskaźniki żyzności gleby i zależności pomiędzy wskaźnikami

W badaniach własnych wartość odczynu gleby i zawartości wszystkich analizowanych składników mineralnych miały rozkład lewo skośny i znacznie odbiegały od rozkładu normalnego (tab. 4.1.1), a mediany badanych cech były zawsze niższe od wartości średniej. W związku z tym, jako miarę położenia wartości przeciętnej przyjęto medianę. Według Wagnera i Błażczaka [1986] zastosowanie takiej miary jest uzasadnione, gdy w zbiorze danych znajdują się obserwacje znacznie odstające od średniej (skrajne), co wpływa na skośność rozkładu danych. Z teorii i praktyki opracowań statystycznych wynika, że większość obserwacji dotyczących ekosystemów rolniczych ma charakter lewo skośny znacznie odbiegający od rozkładu normalnego. Przy takim charakterze rozkładu posługiwanie się średnią arytmetyczną jest niepoprawne i jako wartość przeciętną zaleca się przyjmować medianę [Igras 2004, Fotyma i in. 2004, Fotyma 2010a].

Odczyn gleby

W badaniach własnych wykazano ścisły związek pomiędzy kategorią agronomiczną gleby a procentowym udziałem próbek gleb zaliczonych do wyróżnionych klas odczynu (tab. 4.1.5). Gleby bardzo lekkie i lekkie wykazywały w przewadze odczyn bardzo kwaśny i kwaśny, natomiast gleby średnie i ciężkie odczyn od lekko kwaśnego do obojętnego. Podobne wyniki otrzymali Fotyma i Pietruch [2001] oraz Filipek i in. [2006]. Fotyma i Pietruch [2001] oraz Filipek i in. [2006], podali po raz pierwszy współczynniki korekcyjne do szacowania udziału gleb zaliczonych do określonej kategorii agronomicznej i określonej klasy odczynu analizując dane dla 90 tysięcy próbek gleby. Wykorzystując powyższą koncepcję, oraz dysponując znacznie większą liczbą wyników analiz wyznaczono własne współczynniki korekcyjne i zamieszczono je w tabeli 5.1.1.

Tabela 5.1.1. Współczynniki korekcyjne do szacowania udziału gleb zaliczonych do określonej kategorii agronomicznej i określonej klasy odczynu

Kategoria agronomiczna gleb	Współczynniki korekcyjne **					% próbek *
	b. kwaśny	kwaśny	l. kwaśny	obojętny	zasadowy	
B. lekkie	1,95	1,03	0,64	0,54	0,61	3,88
Lekkie	1,19	1,07	0,89	0,83	0,96	39,33
Średnie	0,89	0,99	1,03	1,11	1,00	43,14
Ciężkie	0,52	0,82	1,32	1,29	1,23	13,65
% próbek *	20,21	29,39	28	14,74	7,66	100

* udział (%) próbek z tabeli 4.1.5, ** wyliczone ze stosunku rzeczywistego udziału gleb w danym przedziale do udziału proporcjonalnego

Dysponując oddzielnym zestawieniem procentowego udziału gleb zaliczonych do kategorii gleb bardzo lekkich, z badań kartograficznych i oddzielnie udziałem gleb zaliczonych do przedziału odczynu bardzo kwaśnego, z badań agrochemicznych można obliczyć przewidywany udział gleb jednocześnie bardzo lekkich i o bardzo kwaśnym odczynie. Stosuje się wówczas prosty wzór (przykład numeryczny na danych z tabeli (5.1.1):

przewidywany udział gleb b. lekkich i o bardzo kwaśnym odczynie (%) = $(20,21 \cdot 3,88 \cdot 1,95)/100 = 1,53$ (proporcjonalny udział gleb (%) = $20,21 \cdot 3,88/100 = 0,78$)

Zaproponowane przez autora współczynniki przeliczeniowe różnią się dosyć znacznie od zaproponowanych przez Filipka i in. [2006], wydają się jednak bardziej wiarygodne z uwagi na 10-krotną różnicę w liczbie próbek na podstawie, których były wyliczane. Tendencje w obydwu propozycjach są natomiast jednakowe i sprowadzają się do tego, że rzeczywisty udział gleb bardzo lekkich i lekkich, a jednocześnie bardzo kwaśnych i kwaśnych jest większy od udziału proporcjonalnego. Rzeczywisty udział gleb średnich i ciężkich, a jednocześnie bardzo kwaśnych i kwaśnych jest natomiast mniejszy od udziału proporcjonalnego. Odwrotna jest prawidłowość dla gleb bardzo lekkich i lekkich,

a jednocześnie o odczynie zasadowym i obojętnym oraz gleb średnich i ciężkich, jednocześnie o takim samym odczynie.

Przy małej pojemności sorpcyjnej gleb bardzo lekkich i lekkich ich silne zakwaszenie narusza równowagę jonową i wywołuje szereg niekorzystnych skutków o charakterze zarówno rolniczym jak i ekologicznym [Bednarek i Lipiński 1995, Kaczor 1998, Harpiak i in. 1999, Kaczor i Kozłowska 2003]. Wapnowanie jest zatem podstawowym zabiegiem decydującym o żyzności gleb w Polsce [Fotyma i Pietruch 2001].

Zawartość przyswajalnego fosforu

W badaniach agrochemicznych, od połowy lat 60-tych przy oznaczaniu zasobności gleb w fosfor przyswajalny zrezygnowano z uwzględniania zawartość części spławialnych [Lipiński 2000]. Badania własne potwierdzają brak wpływu kategorii agronomicznej na zawartość fosforu przyswajalnego (tab. 4.1.8), natomiast wykazano ścisły związek pomiędzy zawartością fosforu i odczynem gleby. Gleby bardzo kwaśne i kwaśne charakteryzowały się równocześnie bardzo niską i niską zawartością przyswajalnego fosforu, natomiast gleby o uregulowanym odczynie wykazywały znacznie lepszą zasobność w ten składnik. Otrzymane wyniki są zgodne z badaniami innych autorów [Filipek i in. 2005, Grzywnowicz 1988, Łabętowicz i Rutkowska 2001c, Grzebisz i in. 2006], obejmującymi jednak znacznie mniejsze liczby próbek gleby. Na glebach kwaśnych o pH poniżej 5,5, fosfor łączy się z żelazem, glinem i manganem tworząc związki nierozpuszczalne w wodzie i staje się nieprzyswajalny dla roślin [Koper i Lemanowicz 2005, Grzebisz i in. 2006]. W badaniach Bednarka i Tkaczyka [2002] wapnowanie gleby kwaśnej zwiększało ilość przyswajalnego fosforu. Również Dauageliene [2002] podaje, że wzrost pH gleby do poziomu 6,0 wpłynął dodatnio na zawartość ruchomego fosforu. Jak podaje Koper i Lemanowicz [2005], w celu stworzenia najlepszych warunków pobierania fosforu przez rośliny, odczyn gleby powinien być utrzymywany w zakresie od lekko kwaśnego do obojętnego. Wapnowanie gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych wpływa, zatem na zwiększenie zawartości przyswajalnego fosforu w glebie.

Stwierdzony silny związek odczynu i zawartości przyswajalnego fosforu umożliwia zaproponowanie dwukierunkowej klasyfikacji zasobności gleb w fosfor

z uwzględnieniem ich odczynu (tab. 5.1.2). Klasyfikację tę oparto o pentylowy rozkład liczebności próbek o określonej zawartości fosforu w przedziałach odczynu gleb.

Tabela 5.1.2. Przedziały pentylowe zawartości fosforu przyswajalnego w mg P₂O₅ · 100g⁻¹ gleby w zależności od klasy odczynu gleby

Odczyn gleby	P ₂ O ₅ · 100g ⁻¹ gleby w przedziale pentylowym					Me	n
	0-20 b.niska	20-40 niska	40-60 średnia	60-80 wysoka	80-99,9 b. wysoka		
B. Kwaśny	<5,4	5,5-8,3	8,4-11,2	11,3-15,1	>15,1	9,7	193481
Kwaśny	<6,6	6,7-9,7	9,8-12,7	12,8-16,9	>16,9	11,1	281412
L. Kwaśny	<9,3	9,4-13,0	13,1-17,0	17,1-22,7	>22,7	15,0	268132
Obojętny	<12,3	12,4-17,3	17,4-22,3	22,4-28,1	>28,1	20,0	141148
Zasadowy	<12,9	13,0-18,8	18,9-24,8	24,9-28,9	>28,9	21,3	73378
Ogółem	<7,7	7,8-11,4	11,5-15,5	15,6-21,6	>21,6	13,3	957551
Przedziały oficjalne*	<5,0	5,1 – 10,0	10,1 - 15,0	15,1 – 20	>20	-	-

Me – mediana, n - liczebność, *przedziały oficjalne [PN-R-04023:1996]

Jak wynika z tabeli 5.1.2, przedziały zasobności gleb w fosfor, bez uwzględnienia odczynu gleby (ogółem) są podobne lub nawet bardzo podobne do przedziałów oficjalnie przyjętych [PN-R-04023:1996]. Jediną większą różnicę stanowi wyższa wartość przedziału dla niskiej zawartości fosforu. Wprowadzenie odczynu gleby, co wynika z badań własnych, jako drugiego czynnika kategoryzującego dosyć zasadniczo zmienia sytuację. Dla gleb o odczynie obojętnym i zasadowym zaproponowane górne przedziały we wszystkich grupach odczynu są znacznie wyższe od przedziałów dla gleb o odczynie bardzo kwaśnym i kwaśnym. W praktyce nawożenia oznaczałoby to przesunięcie części nawozów fosforowych z gleb o uregulowanym odczynie na gleby o odczynie kwaśnym.

Zawartość przyswajalnego potasu

Kalibracja zasobności gleb w potas ma w Polsce układ dwukierunkowy i uwzględnia zarówno zawartość przyswajalnych form tego składnika, jak i kategorię agronomiczną gleby. Taki układ znalazł pełne potwierdzenie w badaniach własnych, z których wynika że zawartość przyswajalnego potasu

zależy istotnie od składu granulometrycznego gleby (rys. 4.1.3). Prawidłowość ta jest zresztą znana i fakt wzrostu zawartości potasu przyswajalnego w miarę poprawy kategorii agronomicznej gleby podnosi w swoich pracach wielu autorów [Lipiński 2000, Filipek i in. 2006, Łabętowicz i Rutkowska 2001a, Fotyma 2010a].

Niepodnoszona dotychczas szerzej w piśmiennictwie jest natomiast stwierdzona w badaniach własnych zależność pomiędzy zawartością przyswajalnego potasu i odczynem gleby (tab. 4.1.10). W miarę wzrostu pH gleby wzrasta również w sposób liniowy zawartość przyswajalnego potasu. Zależność ta jest jednak w dużej mierze pozorna i wynika z potrójnej zależności: pH - skład granulometryczny - zawartość przyswajalnego potasu. Na podobny charakter tej zależności zwraca uwagę również Fotyma [2005a, b] w pracy dotyczącej zależności pomiędzy przyswajalną (Egner-DL) i rozpuszczalną w wodzie formą potasu. Na podstawie swoich badań Fotyma [2010a] zaproponował nowe wartości kalibracyjne dla potasu, różniące się dosyć znacznie od wartości oficjalnie przyjętych w naszym kraju. Dla sprawdzenia tych wartości autor rozprawy dokonał pentylowego rozkładu liczebności próbek o określonej zawartości potasu w obrębie czterech kategorii agronomicznych gleby (tab. 5.1.3). Jest to podejście analogiczne do zaproponowanego dla fosforu.

Tabela 5.1.3. Przedziały pentytowe zawartości potasu przyswajalnego w mg K₂O · 100g⁻¹ gleby w zależności od kategorii agronomicznej gleby

Kategoria agronomiczna gleby	K ₂ O · 100g ⁻¹ gleby w przedziale pentytowym					Me	n
	0-20 b. niska	20-40 niska	40-60 średnia	60-80 wysoka	80-99,9 b.wysoka		
B. lekka	<4,2*	4,3-6,5	6,6-9,0	9,1-13,3	>13,3	7,6	37170
	<5,5*	5,6-8,4	8,5-11,3	11,4-15,0	>15,1		
	<2,5*	2,6-7,5	7,6-12,5	12,6-17,5	>17,6		
Lekka	<6,6	6,7-9,8	9,9-13,0	13,1-17,6	>17,6	11,2	376602
	<6,7	6,8-9,8	9,9-13,0	13,1-16,9	>17,0		
	<5,0	5,1-10,0	10,1-15,0	15,1-20,0	>20,1		
Średnia	<8,1	8,2-12,3	12,4-16,5	16,6-22,7	>22,7	14,3	413098
	<9,0	9,1-12,6	12,7-16,2	16,3-20,4	>20,5		
	<7,5	7,6-12,5	12,6-20,0	20,1-25,0	>25,1		
Ciężka	<11,1	11,1-16,0	16,1-20,8	20,9-26,2	>26,2	18,3	130681
	<9,8	9,9-13,6	13,6-17,0	17,1-21,4	>21,5		
	<10,0	10,1-15,0	15,1-25,0	25,1-30,0	>30,1		
Całość	<7,5	7,6-11,1	11,2-15,2	15,3-21,2	>21,2	13,0	957551

Me - mediana, n - liczebność,

* zaproponowane przez autora pracy, * zaproponowane przez Fotymę [2010a],
*oficjalnie przyjęte [PN-R-04022:1996]

Jak wynika z tabeli 5.1.3, przedziały zawartości przyswajalnego potasu zaproponowane przez autora pracy dla gleb bardzo lekkich i lekkich są bliższe przedziałom zaproponowanym przez Fotymę [2010a]. Zaproponowane przez autora pracy przedziały dla średniej do bardzo wysokiej zawartości potasu są natomiast zbliżone lub bardzo zbliżone do przedziałów oficjalnie przyjętych [PN-R-04022:1996]. W praktyce nawozowej przyjęcie przedziałów pentytowych zaproponowanych przez autora pracy oznaczałoby zalecanie większych od dotychczasowych dawek nawozów na gleby o bardzo niskiej i (częściowo) niskiej zawartości przyswajalnego potasu.

Zawartość przyswajalnego magnezu

Podobnie jak w przypadku potasu, w badaniach własnych zawartość przyswajalnego magnezu zależała od kategorii agronomicznej i odczynu gleby. Zawartość magnezu ulegała zwiększeniu w miarę poprawy składu granulometrycznego gleby (rys. 4.1.4). Na taką prawidłowość wskazują zresztą wyniki badań wielu autorów [Domska i in. 1988, Myland i Wilkinson 1989, Filipek 2001, 2006, Łabętowicz i Rutkowska 2001b, Wójcik 2001] i znajduje ona odbicie w dwukierunkowej klasyfikacji zasobności gleb w magnez. Analogicznie jak w przypadku potasu, autor pracy dokonał pentylowego rozkładu liczebności próbek o określonej zawartości magnezu w obrębie wyróżnionych kategorii agronomicznych gleby (tab. 5.1.4).

Tabela 5.1.4. Przedziały pentylowe zawartości magnezu przyswajalnego w mg Mg · 100g⁻¹ gleby w zależności od kategorii agronomicznej gleby

Kategoria agronomiczna gleby	Mg · 100g ⁻¹ gleby w przedziale pentylowym					Me	n
	0-20 b. niska	20-40 niska	40-60 średnia	60-80 wysoka	80-99,9 b. wysoka		
B. lekka	<1,6* <1,0*	1,7-2,5 1,1-2,0	2,6-3,5 2,1-4,0	3,6-5,3 4,1-6,0	>5,3 >6,0	3,0	37170
Lekka	<2,3 <2,0	2,4-3,4 2,1-3,0	3,4-4,7 3,1-5,0	4,7-6,7 5,1-7,0	>6,7 >7,0	4,0	376602
Średnia	<3,6 <3,0	3,7-5,4 3,1-5,0	5,5-7,3 5,1-7,0	7,4-10,3 7,1-9,0	>10,3 >9,0	6,3	413098
Ciężka	<5,2 <4,0	5,3-7,4 4,1-6,0	7,5-9,6 6,1-10,0	9,7-13,0 10,1-14,0	>13,0 >14,0	7,4	130681
Całość	<2,9	3,0-4,5	4,6-6,4	6,5-9,3	9,4-25,6	5,4	957551

Me - mediana, n - liczebność,

* zaproponowane przez autora pracy, * oficjalnie przyjęte [PN-R-04020]

Jak wynika z tabeli 5.1.4, przedziały zawartości magnezu zaproponowane przez autora na podstawie rozkładu pentylowego, nie różnią się w sposób zasadniczy od przedziałów oficjalnie przyjętych [PN-R-04020:1994]. Jedyna większa różnica polega na nieco większych granicznych zawartościach magnezu w przedziałach zawartości bardzo niskiej i niskiej.

Stwierdzona w badaniach własnych zależność zawartości przyswajalnego magnezu od odczynu gleby miała charakter paraboliczny. Zawartość przyswajalnego magnezu wzrastała w kierunku od gleb o odczynie bardzo kwaśnym do gleb o odczynie lekko kwaśnym i ulegała następnie obniżeniu w glebach o odczynie obojętnym i zasadowym (tab.4.1.11). Stanowi to zasadniczą różnicę w stosunku do opisanej wyżej liniowej zależności pomiędzy zawartością przyswajalnego potasu i odczynem, pH gleby. Z uwagi na charakter tej zależności trudno ją tłumaczyć wspomnianą przy omawianiu potasu potrójną zależnością: pH - skład granulometryczny gleby - zawartość przyswajalnego magnezu. Należy w tym miejscu podkreślić odmienny charakter testów zasobności gleb w potas (Egner-DL) i w magnez (Schachtschabel). Do kwaśnego roztworu mleczanu wapnia (Egner-DL) przechodzą zarówno jony potasu znajdujące się w roztworze glebowym, jak i część jonów wymiennie związanych w kompleksie sorpcyjnym gleby. W piśmiennictwie podkreśla się zresztą ścisłą korelację pomiędzy zawartością potasu przyswajalnego ekstrahowanego roztworem mleczanowym i potasu wymiennego ekstrahowanego roztworem octanu amonowego [Fotyma 2010c]. W teście Schachtschabela roztworem ekstrakcyjnym jest bardzo słaby ($0,0125 \text{ mol CaCl}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$) roztwór chlorku wapnia. Roztworem tym ekstrahuje się prawie wyłącznie jony magnezu znajdujące się w roztworze glebowym. Ilość ekstrahowanych jonów zależy od ustalającej się równowagi jonów wodorowych H^+ wapniowych Ca^{2+} i magnezowych Mg^{2+} . W glebach kwaśnych równowaga przesunięta jest na korzyść jonów wodorowych, a w glebach o odczynie obojętnym i zasadowym na korzyść jonów wapniowych. W obydwu skrajnych sytuacjach koncentracja jonów magnezu w roztworze ekstrakcyjnym ulega obniżeniu.

5.2. Syntetyczny wskaźnik żyzności gleb i jego kategoryzacja

Nowością w badaniach własnych jest wyznaczenie syntetycznego wskaźnika żyzności gleby (SWŻG), obejmującego 4 wskaźniki cząstkowe, tj.: pH oraz zawartość przyswajalnych form P, K i Mg. Dotychczas w piśmiennictwie nie spotkano prób wyznaczenia syntetycznego wskaźnika. Jedyna praca, w której przedstawiono koncepcję takiego wskaźnika i dokonano jego wyliczenia i walidacji na podstawie zbioru danych o liczebności ponad 11 tysięcy obserwacji została

przedstawiona przez Filipiak [2010]. Autor, współpracując blisko z Filipiak wykorzystał tę koncepcję do interpretacji wyników dysponowanego zbioru danych o liczebności, co należy w tym miejscu przypomnieć, ponad 900 tysięcy próbek gleby. Zbiór taki można uznać za reprezentację populacji generalnej gospodarstw w Polsce korzystających z wyników badań agrochemicznych właściwości gleb.

Syntetyczny wskaźnik żyzności gleby opisany jest równaniem wyprowadzonym na podstawie przeprowadzonej analizy czynnikowej i obejmuje dowolną liczbę cech (wskaźników cząstkowych) o charakterze ilościowym. Filipiak [2010] uwzględniła w swojej pracy 6 takich wskaźników: zawartość cząstek spławialnych, zawartość próchnicy, pH oraz zawartość przyswajalnych form P, K, i Mg. W wyniku przeprowadzonej analizy czynnikowej Filipiak [2010] uzyskała jeden zespołowy czynnik, zachowujący 74,5% wspólnej wariancji i nazwała go syntetycznym wskaźnikiem żyzności gleby. Z przeprowadzonej dalej analizy ładunków czynnikowych wynikało, że największy udział w tym wskaźniku miały kolejno: zasobność gleb w potas (0,808), fosfor (0,781), magnez (0,472) i wartość pH (0,339), natomiast udział zawartości próchnicy i cząstek spławialnych był marginalny. Z tego względu, jak również z uwagi na zakres badań agrochemicznych, w których nie uwzględnia się zawartości próchnicy i udziału cząstek spławialnych, Filipiak [2010] transformowała swoje równanie SWŻG do postaci cztero-wskaźnikowej:

$$\text{SWŻG} = -4,100 + 0,305 \text{ pH} + 0,056 \text{ P}_2\text{O}_5 + 0,076 \text{ K}_2\text{O} + 0,117 \text{ Mg}$$

Stwarza to możliwość porównania, z również cztero- wskaźnikowym równaniem wyznaczonym w badaniach własnych:

$$\text{SWŻG} = -5,0313 + 0,5160 \text{ pH} + 0,0648 \text{ P}_2\text{O}_5 + 0,0655 \text{ K}_2\text{O} + 0,0803 \text{ Mg}$$

W badaniach własnych zespołowy czynnik jakim jest SWŻG zachował 86,6% wariancji wspólnej, a więc nawet więcej niż w badaniach Filipiak [2010], a z analizy ładunków czynnikowych wynikało, że największy udział w tym wskaźniku miały kolejno zasobność gleby w fosfor (0,60), zasobność w potas (0,57), odczyn pH gleby (0,55) i jej zasobność w magnez (0,34). W porównaniu

z danymi Filipiak [2010], w równaniu własnym większy udział ma zatem odczyn gleby, a mniejszy jej zasobność w potas.

Syntetyczny wskaźnik żyzności gleby wyznaczyli również ostatnio Fotyma i Pecio [2010] na podstawie wyników badań prowadzonych metodą obserwacji naukowych, w siatce 403 punktów na polu o powierzchni około 50 ha. Liczebność obserwacji była tutaj bez porównania mniejsza niż w badaniach Filipiak [2010] i w badaniach własnych. Według Fotymy i Pecio [2010] syntetyczny wskaźnik zachował niemal 70% ogólnej wariancji, a największy w nim udział miały kolejno udział próchnicy (0,91), zawartość potasu (0,84) i zawartość magnezu (0,77). Wartość wskaźnika nie zależała natomiast od zawartości fosforu i odczynu, pH gleby. Można to tłumaczyć dobrą i wyrównaną zasobnością gleby w fosfor, oraz optymalnym i również wyrównanym w obrębie pola odczynem gleby. Z bardzo nielicznych danych piśmiennictwa, jak również z badań własnych wynika, że równanie SWŻG nie ma charakteru uniwersalnego i musi być wyznaczane dla każdego, dużego zbioru danych. Obecnie, z uwagi na liczebność danych, najbardziej miarodajne wydaje się równanie wyznaczone przez autora pracy w badaniach własnych.

W celu zastosowania praktycznego (SWŻG) musi być skategoryzowany, to znaczy trzeba wyznaczyć jego przedziały odpowiadające określonym poziomom żyzności gleby. Zachowując przyjęty w Polsce 5 stopniowy system kategoryzacji pojedynczych wskaźników agrochemicznej żyzności gleb, wyznaczono 5 przedziałów SWŻG. Syntetyczny wskaźnik wyliczony dla każdego rekordu z bazy danych jest zmienną standaryzowaną ze średnią równą zero i odchyleniem standardowym równym 1,443. Rozkład tego wskaźnika jest jednak niesymetryczny i lewo skośny (mediana -0,12 jest mniejsza od wartości średniej równej 0). Niesymetryczna jest również klasyfikacja wskaźnika ani w teoretycznym przedziale dwóch odchyłeń standardowych (-2σ , $+2\sigma$), ani w przedziale wyznaczonym z dwóch rzeczywistych odchyłeń standardowych znormalizowanego czynnika ($-2,886\sigma$, $+2,886\sigma$). W tej sytuacji możliwe są dwa sposoby kategoryzacji wskaźnika, które zastosowano w badaniach własnych. Pierwszy sposób polegał na podziale wartości wskaźnika na 5 pentyli, zawierających po 20% wyników (tab. 4.2.2). Podobną metodę zastosowali Igras [2004] oraz Fotyma i in. [2009]. Drugi sposób polegał na podziale wartości wskaźnika również na 5 przedziałów, ale na podstawie wyliczonego dla wskaźnika odchylenia

standardowego. Taką metodę zastosowała w swojej pracy Filipiak [2010]. Zaletą pierwszej metody jest podział wartości wskaźnika na 5 klas o równej liczebności wyników, ale wadą to, że jego rozkład nie jest symetryczny. Wady tej pozbawiona jest oczywiście druga metoda. Przedziały wartości wskaźnika wyliczone obydwu metodami zestawiono w tabeli 5.2.1.

Tabela 5.2.1. Przedziały wartości SWŻG zestawione metodą pentyli i metodą według odchylenia standardowego

Klasa żyzności	Żyzność gleby	SWŻG metoda pentyli	Udział obserwacji w klasie %	SWŻG metoda odchylenia standardowego	Udział obserwacji w klasie %
1	b. niska	$\leq -1,29$	20	$\leq -2,1$	5,5
2	niska	$-1,29 - -0,50$	20	$-2,1 - -0,7$	30,35
3	średnia	$-0,50 - 0,25$	20	$-0,7 - 0,7$	36,08
4	wysoka	$0,25 - 1,16$	20	$0,7 - 2,1$	19,70
5	b. wysoka	$\geq 1,16$	20	$\geq 2,1$	8,37

Wyznaczone dwoma metodami przedziały różnią się znacznie i dla oceny ich poprawności zastosowano metodę analizy wariancji z przedziałami ufności Tukey'a dla wszystkich czterech cech składających się na wskaźnik syntetyczny. Wartości wszystkich cech gleby pomiędzy klasami żyzności okazały się istotne, niezależnie od przyjętej metody wyznaczenia tych klas. Obydwie metody kategoryzacji wskaźnika są zatem jednakowo poprawne. W dalszych częściach dyskusji posługiwano się przedziałami wartości SWŻG wyznaczonymi metodą pentyli, jako powszechnie już stosowaną w badaniach nad oceną właściwości agrochemicznych [Igras 2004, Fotyma i in. 2009].

5.3. Reprezentatywność wyników badań dla całego obszaru gruntów ornych w Polsce

Próbki gleby, w których dokonano oznaczeń ich właściwości agrochemicznych pochodzą z gospodarstw korzystających z wyników badań okręgowych stacji chemiczno-rolniczych (OSCh-R) i nie zawsze są reprezentatywne dla całego obszaru gruntów ornych w Polsce. Gospodarstwa

współpracujące ze stacjami chemiczno-rolniczymi należą do przodujących w rolnictwie i dysponują lepszymi od przeciętnych i o wyższej kulturze glebami. Są to jednak przypuszczenia, które trudno zweryfikować nie dysponując szczegółowymi informacjami o tych gospodarstwach. Jedyną miarodajną, ilościową informacją, jaką dysponował autor pracy był skład granulometryczny, a właściwie kategoria agronomiczna gleby. Najbardziej reprezentatywne dane dotyczące udziału gleb zaliczonych do poszczególnych kategorii agronomicznych przedstawił Stuczyński i in. [2008] korzystając z największej bazy danych o glebach, zgromadzonych dla celów kartograficznych przez IUNG-PIB. Według tego autora gleby bardzo lekkie stanowią 23,4%, lekkie 36,1%, średnie 29,4% i ciężkie 11,1% ogólnej powierzchni gruntów ornych w Polsce. W bazie danych OSCh-R, którą dysponował autor tej pracy próbki gleb bardzo lekkich stanowiły zaledwie 3,88%, lekkie 39,3%, średnie 43,1% i ciężkie 13,7% ogółu próbek. W badaniach własnych udział gleb bardzo lekkich był zatem znacznie niedoszacowany, a udział gleb pozostałych, zwłaszcza średnich i ciężkich znacznie przeszacowany w stosunku do rzeczywistego udziału gleb w Polsce. Potwierdza to przypuszczenie, że próbki gleb OSCh-R pochodzą z gospodarstw dysponujących lepszymi od przeciętnych w Polsce glebami. Nasuwa się w związku z tym pytanie dotyczące reprezentatywności danych własnych dotyczących wskaźników żyzności gleby, pH oraz zawartości przyswajalnych form P, K i Mg. Dotyczy to w szczególności odczynu gleby, gdyż rozkład odczynu w glebach bardzo lekkich był w badaniach własnych przesunięty w kierunku odczynu bardzo kwaśnego i kwaśnego, a w glebach średnich i ciężkich w kierunku odczynu od lekko kwaśnego do zasadowego (tab. 5.3.1). Po zastosowaniu odpowiednich współczynników korekcyjnych z tabeli 5.1.1 i przyjmując procentowy podział gleb na kategorie według Stuczyńskiego i in. [2008], udział gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych w Polsce uległby dosyć znacznemu zwiększeniu, a udział gleb pozostałych, zmniejszeniu w stosunku do wartości wynikających z zestawień autora (tab. 5.3.1).

Tabela 5.3.1. Zestawienie wyników badań dla odczynu gleby przed i po przeliczeniu

% gleb w klasach odczynu	Odczyn				
	b. kwaśny	kwaśny	l. kwaśny	obojętny	zasadowy
1*	20,2	29,4	28,0	14,7	7,7
2**	24,4	29,6	25,8	13,2	7,0
3***	26,2	30,4	23,8	16,2	3,3

* udział gleb w klasach odczynu według zestawień autora (%), ** udział gleb w klasach odczynu z uwzględnieniem udziału kategorii gleb według Stuczyńskiego i in. [2008] (%), *** udział gleb w klasach odczynu według zestawień Stuczyńskiego (dane udostępnione)

Dodatkową możliwość weryfikacji danych dotyczących odczynu stwarza opracowanie Stuczyńskiego (dane udostępnione) na bazie około 40 tys. danych, dotyczących stanu zanieczyszczenia gleb Polski metalami ciężkimi i siarką (wyniki zamieszczono w tab. 5.3.1). Otrzymane wyniki w obydwu zestawieniach są podobne, niemniej jednak w badaniach własnych zaznacza się mniejszy udział gleb o odczynie obojętnym a większy udział gleb o odczynie zasadowym.

Pewne, nieistotne różnice stwierdzono również dla udziału gleb w klasach zawartości potasu i magnezu przyswajalnego (dane nieprzytoczone w pracy). W związku z niewielkimi różnicami wyniki własne dotyczące udziału gleb w klasach zawartości przyswajalnych składników pokarmowych można uznać za reprezentatywne dla całego kraju, mimo że pochodzą z lepszych gospodarstw rolnych. W tym miejscu trzeba jednak przypomnieć, że wyniki badań OSCh-R odnoszą się do liczby i procentowego udziału próbek gleb, a nie do powierzchni gruntów objętych badaniami. Różnica ta nie musi być jednak znaczna, gdyż zgodnie z normą [PN-R-04031:1997] każda próbka gleby powinna teoretycznie reprezentować powierzchnię 4 ha.

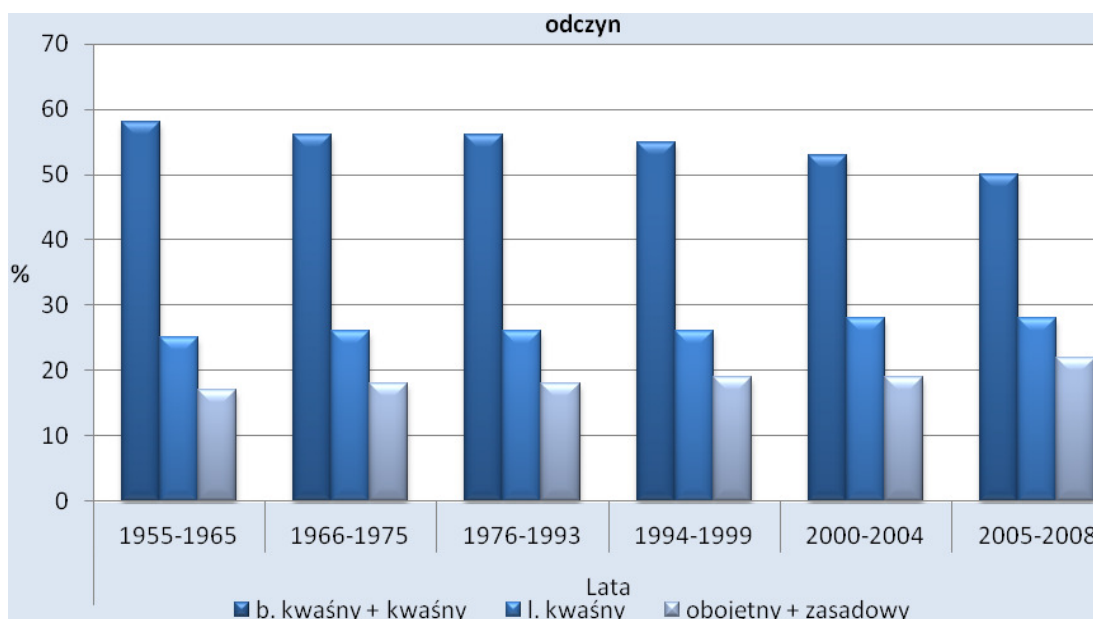
5.4. Zmiany wskaźników żyzności gleby w czasie

Jak już wcześniej wspomniano, upowszechnienie badań agrochemicznych właściwości gleb w Polsce nastąpiło w latach 50-tych ubiegłego stulecia. W tych latach, w uzupełnieniu reaktywowanych czterech stacji istniejących jeszcze przed II wojną światową, utworzono wszystkie istniejące do dzisiaj stacje chemiczno-

rolnicze OSCh-R. Podstawowym zadaniem OSCh-R było pełne rozpoznanie właściwości agrochemicznych gleb Polski na podstawie analiz reprezentatywnych dla kraju próbek gleby. W latach 1955 - 1968 przebadano wszystkie gleby w Polsce oznaczając w próbkach odczyn oraz zawartość przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu. Od połowy lat 70-tych, a szczególnie w okresie po transformacji ustrojowej, próbki gleby pobierane są na życzenie rolników i wyniki analiz przekazywane również w formie zaleceń nawozowych. Zwiększyło to praktyczne znaczenie badań agrochemicznych, ale pobierane próbki nie są już reprezentatywne dla całego arealu użytków rolnych, a dotyczą lepszych gospodarstw rolnych. OSCh-R dokonują jednak nadal w okresach kilkuletnich podsumowania wyników badań podając procentowy udział próbek zaliczanych do określonych klas odczynu i zawartości przyswajalnych form składników mineralnych. Przez analogię do wczesnych lat powojennych, okresy te są nazywane turnusami badań agrochemicznych właściwości gleb. Poszerzone podsumowanie ostatniego turnusu obejmującego lata 2005 - 2008, na mocy porozumienia stron, zlecono IUNG-PIB i zadanie to stało się przedmiotem prezentowanej pracy. W ramach pracy dokonano również porównania stanu żyzności gleb w Polsce w ujęciu historycznym. Wyniki za lata ubiegłe pochodzą z syntez wykonanych głównie przez Lipińskiego [2000, 2005a-e] oraz Obojskiego i Strączyńskiego [1995].

Odczyn, pH gleb

Z zestawień wyników badań z lat 1955 - 2004 i opracowania własnego za lata 2005 - 2008 wynika, że procentowy udział próbek gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych ulega powolnemu, ale systematycznemu zmniejszeniu z 58% w latach pięćdziesiątych do 50% w chwili obecnej. Nieznacznie, o kilka procent wzrósł procentowy udział próbek w klasach odczynu lekko kwaśnego i obojętnego. Zależności te przedstawiono na rysunku 5.4.1.

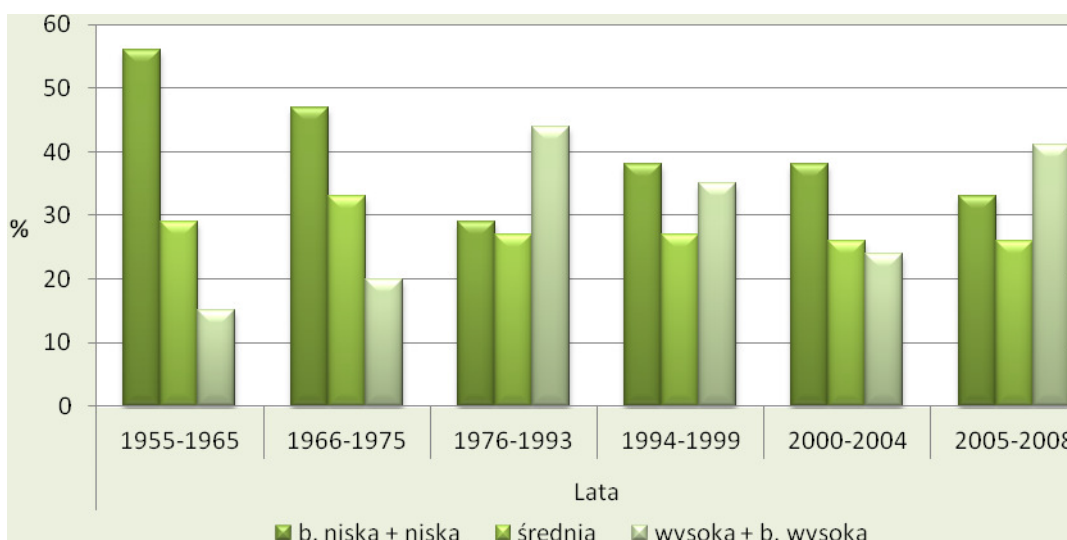


Rys. 5.4.1. Zestawienie zmian odczynu pH gleby w latach 1955 - 2008

Poprawa odczynu gleby w okresie ponad 50 lat jest niewielka, i zwłaszcza w ostatnim okresie prawdopodobnie wynika ze zmiany podejścia do badań agrochemicznych z inwentaryzacyjnego (cały obszar kraju) na usługowy (lepsze gospodarstwa). Zużycie nawozów wapniowych w Polsce, nawet w najlepszym okresie lat 70-tych i 80-tych było mniejsze od zapotrzebowania, a w ostatnich latach uległo obniżeniu do niemal symbolicznego $40 \text{ kg CaO} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ [Filipek i in. 2006, Kopiński i in. 2010]. Tak małe zużycie nawozów nie jest w stanie pokryć strat wapnia wynoszonego z plonem roślin i wymywanego w głąb profilu gleby.

Fosfor przyswajalny

Do połowy lat 90-tych następowała wyraźna poprawa zasobności gleb w fosfor przyswajalny dla roślin (rys. 5.4.2). Udział gleb o bardzo niskiej i niskiej zawartości składnika uległ obniżeniu z ponad 55% do niespełna 30%, a udział gleb o zawartości wysokiej i bardzo wysokiej zwiększył się z ok. 15% w połowie lat 60-tych do ponad 40% w pierwszej połowie dekady lat 90-tych.



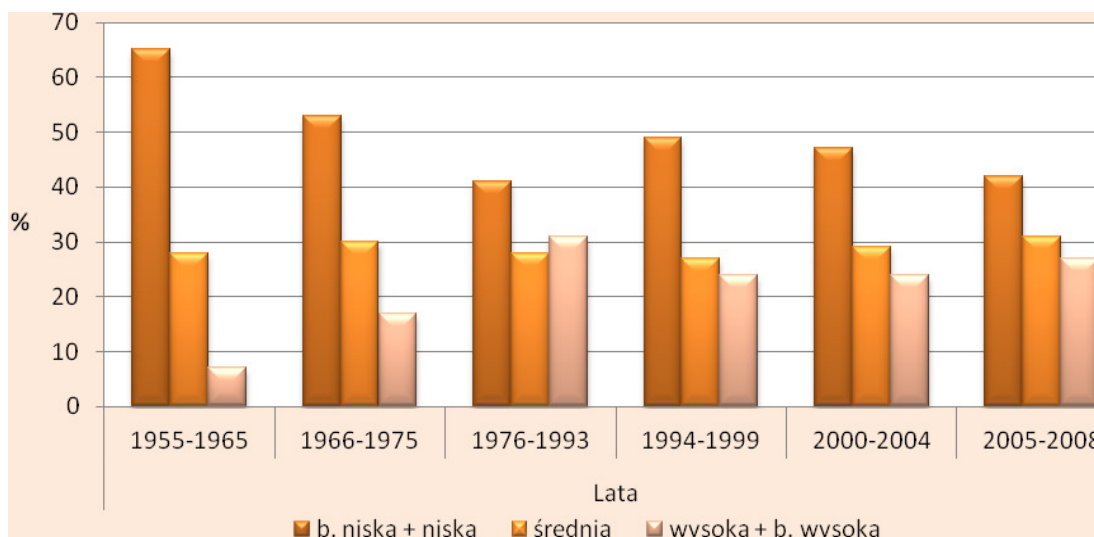
Rys. 5.4.2. Zestawienie zmian zawartości fosforu przyswajalnego w latach 1955 – 2008

W okresie od połowy lat 90-tych do połowy pierwszej dekady XXI wieku zasobność gleb w fosfor uległa ponownemu pogorszeniu osiągając stan niemal z połowy dekady lat 70-tych ubiegłego wieku. Wiąże się to z bardzo znacznym spadkiem zużycia nawozów fosforowych i wzrostem ujemnego salda tego składnika [Fotyła 2002, Gaj 2003]. W badaniach własnych obejmujących lata 2005 - 2008 stwierdzono dosyć znaczną poprawę zasobności gleb w fosfor. Wynika to jednak prawdopodobnie ze zwiększonego zużycia nawozów fosforowych w gospodarstwach korzystających z wyników badań OSCh-R.

Potas przyswajalny

W całym okresie II dekady XX wieku do połowy lat 90-tych następowała systematyczna poprawa zasobności gleb w potas (rys. 5.4.3). Sytuacja była zatem bardzo podobna do opisanej dla fosforu. Od połowy lat 90-tych w początkowym okresie transformacji ustrojowej zużycie nawozów potasowych, podobnie jak fosforowych, bardzo znacznie spadło [Fotyła i Gosek 2000] co spowodowało ponowny wzrost procentowego udziału gleb (próbek) o bardzo niskiej i niskiej i obniżenie udziału gleb o dobrej zasobności w ten składnik. Na podstawie badań własnych można sądzić o postępującej odbudowie zasobności gleb w potas, przynajmniej w lepszych gospodarstwach rolnych. Gospodarstwa te,

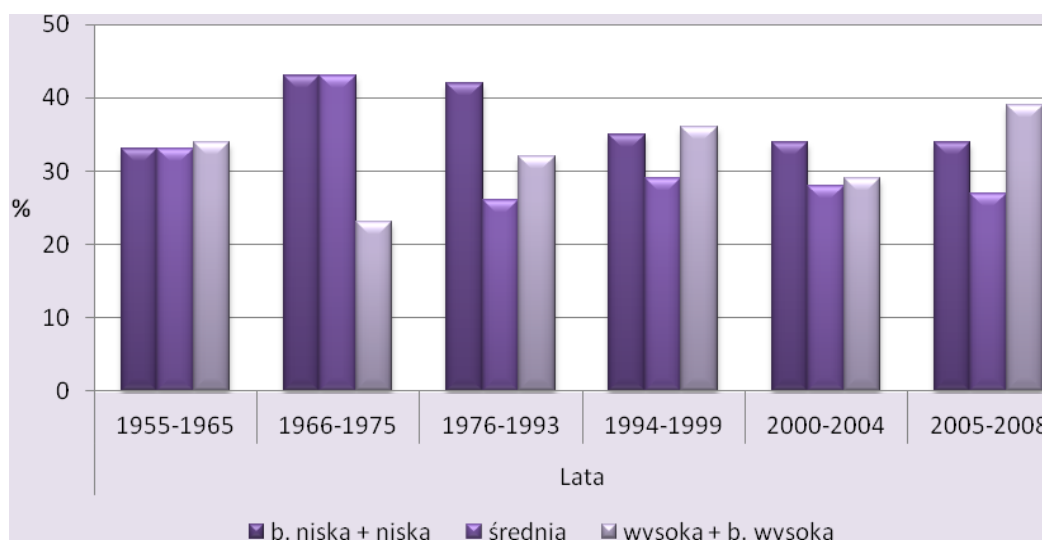
najprawdopodobniej większe obszarowo, stosują większe dawki nawozów mineralnych, w tym potasowych [Kęsik i in. 2010].



Rys. 5.4.3. Zestawienie zmian zawartości potasu przyswajalnego w latach 1955 – 2008

Magnez przyswajalny

Zasobności gleb w magnez w analizowanym okresie ponad 50 lat uległa stosunkowo niewielkim zmianom. W praktyce po około 1/3 ogólnego arealu gleb (próbek) wykazuje odpowiednio bardzo niską i niską, średnią oraz wysoką i bardzo wysoką zawartość tego składnika (rys. 5.4.4). W Polsce stosuje się bardzo niewielkie ilości siarczanu magnezowego i nawozów potasowych zawierających magnez. Prawie cała ilość tego składnika pochodzi z nawozów wapniowo-magnezowych [Fotyma i Zięba 1989, Filipek i in. 2006] i zasobność gleb w magnez wiąże się przede wszystkim z ich odczynem.

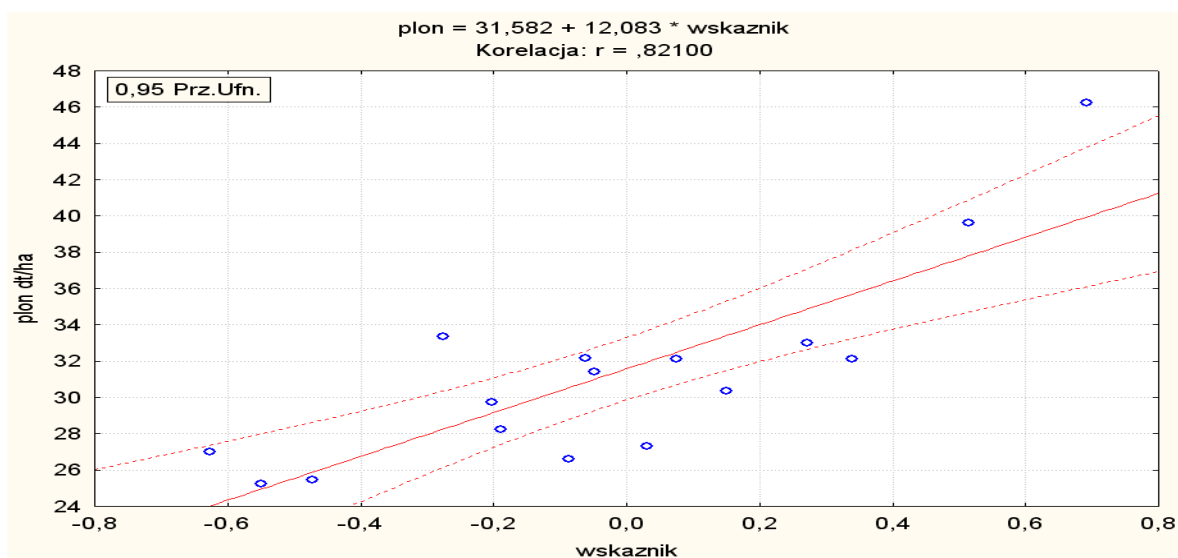


Rys. 5.4.4. Zestawienie zmian zawartości magnezu przyswajalnego w latach 1955 – 2008

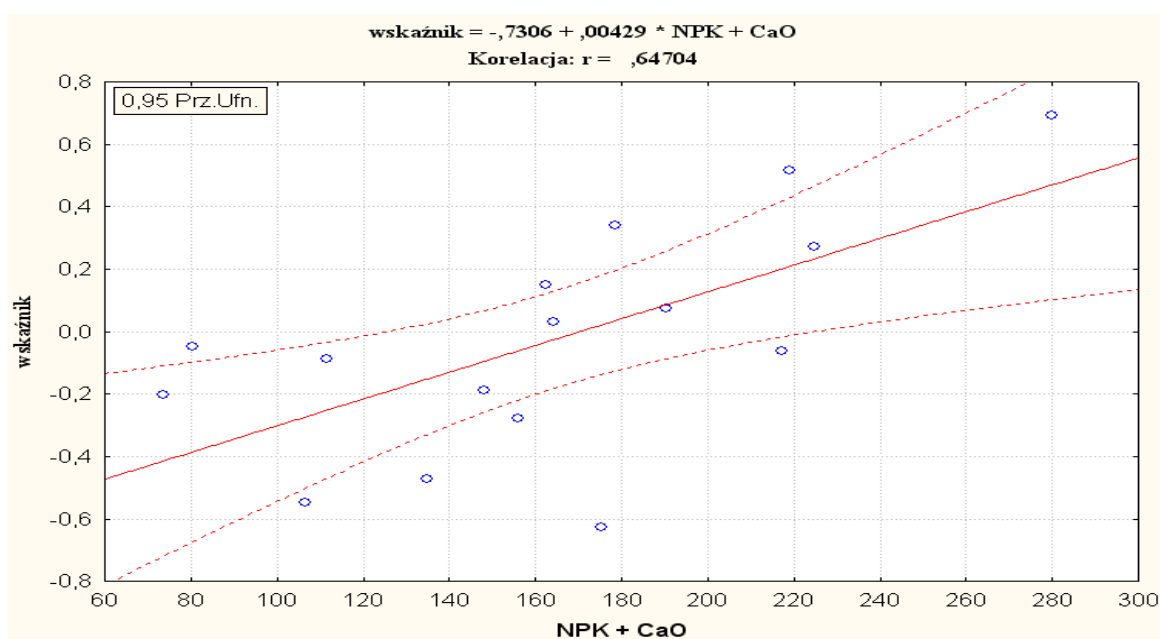
5.5. Weryfikacja syntetycznego wskaźnika żyzności gleby

Filipiak [2010] zweryfikowała syntetyczny wskaźnik żyzności gleby dwoma metodami. Pierwsza z nich, zastosowana również w badaniach własnych, polegała na udowodnieniu istotności różnic wartości pojedynczych wskaźników żyzności gleby pomiędzy kolejnymi przedziałami wskaźnika syntetycznego. Weryfikacja taka opiera się o stwierdzenie, że poprawna klasyfikacja zmiennej zespołowej powinna znaleźć odbicie w istotności różnic pomiędzy klasami zmiennych pojedynczych [Filipiak 2010]. Druga metoda, zastosowana przez ww. autorkę, polegała na wyznaczeniu zależności regresyjnej pomiędzy SWŻG i wielkością plonów roślin w punktach, w których pobierano próbki gleby. W badaniach własnych nie dysponowano takim możliwościami ze względu na brak danych odnośnie plonów roślin. Podjęto jednak próbę weryfikacji SWŻG wyznaczonego w badaniach własnych w stosunku do średnich plonów zbóż oraz zużycia nawozów mineralnych w województwach w oparciu o dane statystyki masowej. Wartości zmiennych niezależnych pochodzą z danych GUS [2006 - 2009] i uśredniono je dla okresu lat 2005 - 2008, którego dotyczą również wartości wskaźnika SWŻG. Próba ta zakończyła się powodzeniem i stwierdzono istotny związek zarówno pomiędzy plonami zbóż (rys 5.5.1), jak i zużyciem nawozów mineralnych, łącznie z wapnem nawozowym (rys. 5.5.2) a wartością

syntetycznego wskaźnika żyzności gleb. W ujęciu przyczynowo skutkowym należałoby prawidłowo mówić o zależności plonów od wartości tego wskaźnika i o zależności wskaźnika od zużycia nawozów mineralnych, wpływających na żyzność gleby.



Rys. 5.5.1. Współczynnik korelacji pomiędzy plonem a wartością SWŻG



Rys. 5.5.2. Współczynnik korelacji pomiędzy wskaźnikiem SWŻG a zużyciem nawozów mineralnych i wapniowych

Syntetyczny wskaźnik żyzności gleby może być zatem wykorzystywany do różnego rodzaju opracowań regionalnych, na równi ze wskaźnikiem waloryzacji

rolniczej przestrzeni produkcyjnej [Witek i Górski 1977], lub innymi wskaźnikami służącymi do oceny zróżnicowania rolniczej przestrzeni produkcyjnej. Na żądanie zainteresowanych osób lub instytucji autor pracy może wyliczyć wartość SWŻG dla powiatów czy nawet mniejszych jednostek administracyjnych.

6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Praca powstała w wyniku porozumienia zawartego pomiędzy Krajową Stacją Chemiczno-Rolniczą (KSCh-R) w Wesołej k. Warszawy i Instytutem Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowym Instytutem Badawczym w Puławach IUNG-PIB, przy finansowym wsparciu Stowarzyszenia Przemysłu Wapienniczego (SPW) w Krakowie. KSCh-R udostępniła bazę danych o wynikach badań agrochemicznych przeprowadzonych w latach 2005 – 2008, obejmującą ponad 950 tysięcy rekordów. W skład rekordu odpowiadającego próbce gleby wchodziły oznaczenia pH oraz przyswajalnych form P, K i Mg. IUNG-PIB zobowiązał się do naukowego opracowania wyników łącznie z ich publikacją, co stanowi przedmiot rozprawy doktorskiej realizowanej w ramach stypendium przyznanego przez SPW w Krakowie. Z przeprowadzonych badań wynikają następujące wnioski i stwierdzenia:

1. Po raz pierwszy dokonano naukowego opracowania wyników pełnego turnusu badań agrochemicznych właściwości gleby z wykorzystaniem danych numerycznych (pH, zawartość składnika w mg), a nie tylko skategoryzowanych. Jedynym czynnikiem skategoryzowanym, którą musiał się posłużyć autor była kategoria agronomiczna gleby.
2. Ze źródłowej bazy danych po jej wyczyszczeniu z danych odstających (metodą ekspercką) i błędów grubych (metodami statystycznymi) usunięto 1,75% rekordów. Do naukowego opracowania wyników przyjęto ostatecznie 957 551 rekordów, każdy zawierający 4 zmienne, tj. pH, oraz przyswajalnych form P, K i Mg. Rozkłady tych zmiennych odbiegały znacznie od rozkładu normalnego i dlatego jako miarę przeciętną przyjęto medianę, a jako miarę rozproszenia – fraktyle rozkładu empirycznego.
3. Stwierdzono silny związek pomiędzy odczynem gleby a zawartością przyswajalnego fosforu oraz pomiędzy zawartościami przyswajalnego fosforu i potasu.

4. Wyznaczono współczynniki korekcyjne do przeliczania udziału gleb o różnym stopniu zakwaszenia w obrębie kategorii agronomicznych. Zaproponowano dwukierunkową klasyfikację zawartości fosforu z uwzględnieniem odczynu gleby oraz korekty klas zawartości przyswajalnego potasu i magnezu.
5. W pracy rozwinięto zupełnie nową koncepcję syntetycznego wskaźnika żyzności gleby. Wyznaczono równanie tego wskaźnika, które z uwagi na bardzo dużą liczebność danych ma charakter uniwersalny. Wyznaczono przedziały wskaźnika i dokonano jego weryfikacji w stosunku do plonów roślin i zużycia nawozów mineralnych w województwach.
6. Z przeprowadzonej analizy wynika, że stan agrochemicznej żyzności gleb w Polsce jest ogólnie niezadawalający. Niemal 50% gleb w kraju wykazuje odczyn bardzo kwaśny i kwaśny, ponad 32% odznacza się bardzo niską zawartością fosforu, 42% gleb bardzo niską i niską zawartością potasu i 34% gleb bardzo niską i niską zawartością magnezu.
7. Stan zasobności gleb w Polsce wykazuje dużą zmienność przestrzenną. Dokonano uszeregowania województw według odczynu gleby, zawartości przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu, a także co stanowi nowość w piśmiennictwie, według wartości syntetycznego wskaźnika żyzności gleb.

7. LITERATURA

1. Adams F., Odom I.W. 1985: Effect of pH and phosphorus rates on soil-solution phosphorus and phosphorus availability. *Soil. Sci.*, 140: 202-205.
2. Badora A. 2002: Wpływ pH na mobilność pierwiastków w glebach. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 482: 21-36.
3. Barker A.V., Pilbeam D.J. (red.) 2006: Handbook of plant nutrition. Taylor & Francis Boca Raton, London, New York. ss.662.
4. Batjes N. H. 1997: A world data set of derived properties by FAO-UNESCO soil unit for global modeling. *Soil Use and Management* 13: 9-16.
5. Bednarek W., Lipiński W. 1995: Fizykochemiczne właściwości gleby zdegradowanej poddanej oddziaływaniu i wapnowania i nawożenia mineralnego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 418: 643-648.
6. Bednarek W., Lipiński W. 1998: Kationy wymienne w glebie poddanej oddziaływaniu zróżnicowanego nawożenia mineralnego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 456: 147-151.
7. Bednarek W., Tkaczyk P. 2002: Wskaźnik zakwaszenia gleby wapnowanej nawożonej azotem i fosforem. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 482: 53-58.
8. Cakmak I., Kirkby E.A. 2007: Role of magnesium nutrition in growth and stress tolerance. *International Fertilizer Society. Proceedings* 612.
9. Csatho P. 2002: Phosphorus balance in Hungary and selected European countries. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization* 13: 83-104.
10. Czuba R., Boguszewska M. 2000: Historia i zadania Stacji Chemiczno Rolniczych w Polsce *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization* 3a: 7-18.
11. Dexter A.R. 2004: Soil physical quality Part I. Theory, effects of soil texture, density. And organic matter, and affects on root growth. *Geoderma* 120: 201-214.

12. Dexter A.R. 2004: Soil physical quality: Part II. Friability, tillage, tilth and hard-setting. *Geoderma* 120: 215-225.
13. Dexter A.R. 2004: Soil physical quality Part III: Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory. *Geoderma* 120: 227-239.
14. Diatta J.B. 2004: Geochemia potasu. *J. Elementol.* nr 9(4) Suppl. 17-26.
15. Domska D., Bobrzecka D., Wojtkowiak K. 1998: Zmiany zawartości składników pokarmowych w glebach w zależności od ich odczynu. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.* 456: 525-529.
16. Daugeliene N. 2002: Acidification indices of the soils fertilized with arduous organic wastes. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.* 482: 129-134.
17. EFMA. 2006: Understanding phosphorus and its use in agriculture. Brussels.
18. Filipek T. 2001a: Wpływ zakwaszenia na zawartość potasu i magnezu oraz stosunek K:Mg w glebach oraz roślinach zbożowych. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.* 480: 41-49.
19. Filipek T. 2001b: Przyrodnicze i antropogeniczne przyczyny oraz skutki zakwaszenia gleb. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization* 8: 5-26.
20. Filipek T. 2002: Zarządzanie zasobami fosforu w środowisku rolniczym. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization* 13: 247-258.
21. Filipek T. 2005: Dynamika antropogenicznych przyczyn zakwaszenia gleb w Polsce w ostatnich latach. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization* 23: 67-83.
22. Filipek T. (red.) 2006: *Chemia rolna. Praca zbiorowa* Wydawnictwo AR Lublin. ss. 282.
23. Filipek T., Fotyma M., Lipiński W. 2006: Stan, przyczyny i skutki zakwaszenia gleb ornych w Polsce. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization* 27: 7-38.
24. Filipiak K. 2008: Uwarunkowania produkcji rolniczej na obszarach gleb silnie zakwaszonych. *Studia i Raporty IUNG–PIB zeszyt* 12: 113-122.

25. Filipiak K. 2010: Syntetyczny wskaźnik żyzności gleby. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization 41: 7-16.
26. Fotyma M., Kęsik K. 1984: Stan i perspektywy badań dotyczących przemian fosforu w glebie i nawożenia tym składnikiem. Prace Nauk. AE we Wrocławiu. Chemia. 267: 67-87.
27. Fotyma M., Mercik S., Faber A. 1987: Chemiczne podstawy żyzności gleb i nawożenia. PWRiL Warszawa. ss. 320.
28. Fotyma M., Zięba S. 1989: Wapnowanie – czym, jak, dlaczego? PWRiL. Warszawa. ss. 52.
29. Fotyma M., Fotyma E. 1995: Współczesne metody badania żyzności gleby i możliwości ich wykorzystania w doradztwie nawozowym. Zesz. Nauk. Post. Nauk Rol. 421a: 95-104.
30. Fotyma M., Mercik S. 1995: Chemia rolna. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa. ss. 356.
31. Fotyma M., Gosek S. 2000: Zmiany w zużyciu nawozów potasowych i ich konsekwencje dla żyzności gleby i poziomu produkcji roślinnej w Polsce. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization 2.
32. Fotyma M., Shepherd M. 2000: Soil fertility evaluation in Czech Republic, Latvia, Poland, Slovak Republic, and the United Kingdom. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization 3.
33. Fotyma M., Pietruch Cz. 2001: Aktualny stan zakwaszenia gleb i zapotrzebowania na nawozy wapniowe w Polsce. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization 8: 27-50.
34. Fotyma M. 2002: Zrównoważona gospodarka fosforem w rolnictwie Polskim. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization 13: 160-172.
35. Fotyma E., Fotyma M., Pietruch Cz. 2004: Zawartość azotu mineralnego w glebach gruntów ornych w Polsce. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization 3: 11-54.

36. Fotyma M., Gosek S., Lipiński W. 2005a: Zawartość i udział różnych form potasu w glebach wyżyny lubelskiej. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization* 24: 57-70.
37. Fotyma M., Gosek S., Strączyk D. 2005b: The content and relations of different forms of potassium in the soils of Lublin region. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization* 24: 124-132.
38. Fotyma M., Dobers E. S. 2008: Soil testing methods and fertilizer recommendations in Central–Eastern European countries *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization* 30.
39. Fotyma M. 2009: Monitoring of N_{min} content in soils of Poland. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization* 37: 108-128.
40. Fotyma M. 2010a: New approach to fertilizer recommendations concerning potassium Case of Poland. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization* 40: 5-18.
41. Fotyma M. 2010b: Kalibracja testu potasu przyswajalnego dla roślin. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization* 41: 17-25.
42. Fotyma M. 2010c: Methods of soil testing for available potassium content in central-eastern european countries. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization* 40: 19-24.
43. Fotyma M., Pecio A. 2010: Przestrzenna zmienność żyzność i produktywność w obrębie pola produkcyjnego. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization* 41: 26-42.
44. Gaj R. 2003: Zużycie nawozów fosforowych w Polsce. *J. Elementol.* nr 9(4) Suppl. 77-82.
45. Gburek W. J., Sharpley A. N., Heathwaite L., Folmar G. J. 2000: Phosphorus management at the watershed scale: modification of phosphorus index. *J. of Environ. Quality* 29: 130-144.
46. Górecki H., Biskupski A., Hofmann J. 2002: Postęp w technologii produkcji nawozów fosforowych z uwzględnieniem wykorzystania surowców wtórnych i odpadowych. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization* 13: 9-36.

47. Grzebisz W., Diatta J.B., Szczepaniak W. 2006: Produkcyjne i ekologiczne uwarunkowania wapnowania gleb gruntów orných. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization 27: 69-85.
48. Grzebisz W. 2008: Nawożenie roślin ogrodniczych. PWRiL Poznań. ss. 428
49. Grzebisz W. 2009: Nawożenie roślin ogrodniczych. PWRiL Poznań. ss. 376.
50. Grzebisz W., Szczepaniak W., Gaj R., Barłóg P., Przygocka-Cyna K. 2009: Yield farming functions of potassium and magnesium fertilizers in the course of a plant growth. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization 34: 25-39.
51. Grzebisz W., Fotyma M. 2009: Recommendations and use of potassium fertilizers in Central-Eastern Europe (CEE). Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization 34: 53-72.
52. Grzebisz W., Przygocka-Cyna K., Szczepaniak W., Diatta J., Potarzycki J. 2010: Magnesium as a nutritional tool of nitrogen efficient management – plant production and environment. J. Elementol. 15(4):771-788.
53. Grzywnowicz I. 1998: Możliwość zwiększenia dostępności fosforu dla roślin w wyniku wapnowania oraz nawożenia magnezem. Wydawnictwo AE Wrocław: 235-241.
54. GUS Warszawa 2006 - 2009: Rolnictwo.
55. Harpiak, J.T., Malhi, S.S., Nyborg M., Wiśniowska-Kielian B. 1999: Soil degradation under the influence of long-term nitrogen fertilization and possibility of counteracting by liming. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 467: 353-361.
56. Hayghart P.M., Hepworth L., Jarvis S., C. 1998: Form of phosphorus transfer and hydrological pathways from soil under grazed grassland. Eur. J. Soil. Sci. 49: 65-62.
57. Hinsinger P., Plassard C., Tang C., Jaillard B. 2003: Origins of root induced pH changes in the rhizosphere and their responses environmental constraints. Plant and Soil 248: 43-59.

58. Igras J. 2002: Ocena strat fosforu pochodzącego z produkcji rolniczej w Polsce. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization* 13: 275-284.
59. Igras J. 2004: Zawartość składników mineralnych w wodach drenarskich z użytków rolniczych w Polsce. IUNG-PIB Puławy.
60. Igras J., Lipiński W. 2006: Regionalne zróżnicowanie stanu agrochemicznego gleb w Polsce. *Studia i Raporty IUNG–PIB, zeszyt 3*: 71-79.
61. Igras J., Jadczyżyn T. 2008: Zawartość azotanów i fosforanów w płytkich wodach gruntowych w Polsce. *Problemy Inżynierii Rolniczej* 60: 91-101.
62. Johnston A., E., Poulton P., R., Syers K., J., P. 2001: Phosphorus, potassium, and sulphur cycles in agricultural soils. International Fertilizer Society. Proceeding 465.
63. Johnston A.E. 2007: Potassium magnesium and soil fertility: long term experimental evidence. International Fertilizer Society. Proceeding 613.
64. Jordan-Meille L. 2011: An overview of fertiliser-P recommendations in Europe: Soil testing, calibration, and fertiliser recommendations. *European Journal of Agronomy*. Praca w druku.
65. Kaczor A., 1998: Odżywianie się roślin w warunkach gleb silnie zakwaszonych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 456: 55-62.
66. Kaczor A., Kozłowska J. 2003: Wpływ nawożenia roślin różnymi formami azotu i potasu na odczyn i zasobność gleby w fosfor. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 493: 375-379.
67. Kęsik K., Zarychta M., Krasowicz S. 2010: Dawki NPK stosowane w praktyce rolniczej pod zboża jare na tle zaleceń nawozowych. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization* 41: 51-97.
68. Kirkby, E.A., Romheld, V. 2006: Physiological aspects of plant phosphorus in relation to its acquisition from the soil by crop plants. International Fertilizer Society. Proceeding 588.
69. Kobiński M., Dąbkowska-Naskręt H. 2005: Potas w zróżnicowanych typologicznie glebach równiny inowrocławskiej. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization* 24: 173-181.

70. Koper J., Lemanowicz J. 2002: Wpływ system uprawy żyta ozimego na aktywność biochemiczną gleby oraz zawartość wybranych form fosforu. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization* 13: 182-188.
71. Koper J., Lemanowicz J. 2005: Zmiany zawartości fosforu oraz aktywność fosfatazy w glebie w zależności od doboru roślin w zmianowaniu. *Fragmenta agronomica* nr 1(85).
72. Kopiński J., Matyka M., Ochal P., Igras J. 2010: Tendencje zmian zużycia nawozów mineralnych w Polsce. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization* 41: 106-119.
73. Kucharski J. 1997: Relacje między aktywnością enzymów a żyznością gleby. *AR Kraków*: 327-347.
74. Lipiński W. 2000: Odczyn i zasobność gleb w świetle badań stacji chemiczno - rolniczych. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization* 3: 89-105.
75. Lipiński W. 2005a: Pięćdziesiąt lat działalności stacji chemiczno rolniczych w Polsce. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization* 23: 7-25.
76. Lipiński W. 2005b: Odczyn gleb Polski. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization* 23: 33-40.
77. Lipiński W. 2005c: Zasobność gleb Polski w fosfor przyswajalny. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization* 23: 49-54.
78. Lipiński W. 2005d: Zasobność gleb Polski w potas przyswajalny. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization* 23: 55-60.
79. Lipiński W. 2005e: Zasobność gleb Polski w magnez przyswajalny. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization* 23: 61-66.
80. Lipiński W., Igras J. 2006: Zmiany odczynu gleb Polski. *Bibliotheca Fragmenta Agronomica* 10: 51-54.
81. Łabętowicz J. 2000: Współczesne poglądy na żyzność i metody testowania gleb. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization* 3a: 106-130.
82. Łabętowicz J., Rutkowska B. 2001a: Czynniki kształtujące stężenie potasu w roztworze glebowym gleb użytkowanych rolniczo w Polsce. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.* 480: 95-102.

83. Łabętowicz J., Rutkowska B. 2001b: Czynniki kształtujące stężenie magnezu w roztworze glebowym gleb użytkowanych rolniczo w Polsce. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol. 480: 103-111.
84. Łabętowicz J., Rutkowska B. 2001c: Czynniki kształtujące stężenie fosforu w roztworze glebowym gleb rolniczych Polski. Wydawnictwo AE Wrocław: 151-159.
85. McDowell R.W., Sharpley A. N., Kleinman P.J.A. 2002: Integrating phosphorus and nitrogen decision management at watershed scales. Journal of American Water Resources Association, 38, 2: 479-491.
86. Mengel K., Kirkby E.A. 2001: Principles of plant nutrition. Edition Kluwer Dordrecht. ss. 883.
87. Mercik S. (red.) 2004: Chemia rolna. Wydawnictwo SGGW Warszawa. ss.287.
88. Merschner H. 1995: Function of mineral nutrients: macronutrients (potassium). Mineral Nutrition of Higher Plants. Hohenheim. 299-312.
89. Moskal S. 1984: Wpływ nawożenia i zmianowania na formy fosforu w glebie. Symp. Nauk. „60 lat statystycznych doświadczeń nawozowych na polu doświadczalnym SGGW-AR w Skierniewicach”, Skierniewice, 31 V – 1 VI 1984, 72-78.
90. Myland H. F., Wilkinsom S. R. 1989: Soil factors affecting magnesium availability in plant-animal systems. J. of Animal Sci. 76(12): 3437-3444.
91. Myśków W., Zięba S. 1997: Aktywność biologiczna gleby w aspekcie jej żyzności i urodzajności. Biuletyn informacyjny IUNG I/II kwartał nr 5: 24-26.
92. Nurzyński J. 2003: Nawożenie roślin ogrodniczych. Wydawnictwo AR Lublin. ss.153.
93. Obojski J., Strączyński S. 1995: Odczyn i zasobność gleb Polski w makro i mikroelementy. IUNG Puławy.
94. Pettigrew W.T. 2007: Potassium influence on crop yield and quality. International Fertilizer Society. Proceeding 614.
95. PN-R-04020:1994/Az1: 2004: Analiza chemiczno-rolnicza gleby - Oznaczanie zawartości przyswajalnego magnezu.

96. PN-R-04023:1996: Analiza chemiczno-rolnicza gleby - Oznaczanie zawartości przyswajalnego fosforu w glebach mineralnych.
97. PN-R-04022:1996/Az1: 2002: Analiza chemiczno-rolnicza gleby - Oznaczanie zawartości przyswajalnego potasu w glebach mineralnych.
98. PN-R-04031: 1997: Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Pobieranie próbek.
99. PN-ISO 10390: 1997: Jakość gleby - oznaczanie pH.
100. PN-R-04032: 1998: Gleby i utwory mineralne - Pobieranie próbek i oznaczanie składu granulometrycznego.
101. PN-ISO 11048:2002: Jakość gleby - Oznaczanie siarczanów(VI) rozpuszczalnych w wodzie i rozpuszczalnych w kwasie.
102. Potarzycki J. 2003: Fosfor w glebie. J. Elementol. nr 8(3) Suppl. 19-32.
103. Romheld V., Kirkby E.A. 2007: Magnesium functions in crop nutrition and yield. International Fertilizer Society. Proceedings 616.
104. Runge-Metzger A. 1995: Closing the cycle: obstacles efficient P management for improved global security. In: Tiessen H. Ed. Phosphorus in the global environment. Chichester, UK: John Wiley and Sons Ltd, 27-42.
105. Rutkowska B., Łabętowicz J., Szulc W. 2002: Stężenie fosforu w roztworze glebowym w zróżnicowanych warunkach glebowych i nawozowych. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization 13: 285-296.
106. Sapek A., Sapek B. 2002: Obieg i bilans fosforu w łańcuchu pokarmowym człowieka w Polsce. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization 13: 105-123.
107. Sharpley A.N. 1995: Soil phosphorus dynamics: agronomic and environmental impacts. Ecological Engineering 5: 261-279.
108. Stępień W., Mercik S., Turemka E., 2001: Działanie wzrastających dawek potasu na plonowanie i skład chemiczny roślin na glebach o zróżnicowanych właściwościach fizykochemicznych. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol. 480: 141-148.

109. Stuczyński T., Budzyńska K., Gawrysiak L., Zaliwski A. 2000: Waloryzacja rolniczej przestrzeni produkcyjnej Polski. Biuletyn informacyjny IUNG nr 12: 4-17.
110. Stuczyński T., Kozyra J., Łopatka A., Siebielec G., Jadczyzyn J., Kozyra P., Doroszewski A., Wawer R., Nowocień E. 2007: Przyrodnicze uwarunkowania produkcji rolniczej w Polsce. Studia i Raporty IUNG–PIB Puławy nr 7: 77-115.
111. Stuczyński T., Łopatka A., Kozyra P.: 2008: Zestawienia powierzchni gleb w Polsce. Maszynopis IUNG-PIB, Puławy.
112. Stępień W., Mercik S., Szara E. 2005: Działanie wieloletniego nawożenia potasem, magnezem i wapnowania na plony i skład chemiczny roślin. Fragmenta Agronomica nr 1 (85): 283-289.
113. Syers J.K. 1998: Soil and plant potassium in agriculture. Fertiliser Society ISBN 0853100454.
114. Trawczyński C. 2002: Wykorzystanie fosforu przez ziemniak w warunkach zróżnicowanego nawożenia. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization 13: 228-237.
115. Wagner W., Błażczak P. 1986: Statystyka matematyczna z elementami doświadczalnictwa. AR Poznań. ss. 397.
116. Wójcik J. 2001: Potas i magnez w glebach leśnych polski pod drzewostanami sosnowymi. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol. 480: 149-159.
117. Witek T., Górski T. 1997: Przyrodnicza bonitacja rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce. Wyd. Geologiczne, Warszawa.
118. Zawadzki S. (red) 1999: Gleboznawstwo. PWRiL Warszawa. ss. 560.

SPIS TABEL

Tabela 1. Skróty nazw województw w Polsce.....	6
Tabela 2.1.1. Potrzeby wapnowania gleb mineralnych na gruntach ornym [Obojski i Strączyński 1995].....	12
Tabela 2.4.1. Zestawienie zmian odczynu w latach 1955 - 2004.....	25
Tabela 2.4.2. Zestawienie zmian zawartości fosforu, potasu i magnezu przyswajalnego w latach 1955 - 2004.....	25
Tabela 2.4.3. Procentowy udział użytków rolnych w klasach zawartości fosforu, potasu i magnezu [Fotyma i Shepherd 2000].....	26
Tabela 2.4.4. Udział gleb w klasach odczynu w latach 1965 - 1998 [Fotyma i Shepherd 2000].....	27
Tabela 2.4.5. Udział gleb w klasach zasobności w fosfor i potas w latach 1965 - 1998 [Fotyma i Shepherd 2000].....	28
Tabela 2.4.6. Procentowy udział gleb w klasach zasobności dla fosforu, potasu i magnezu w latach 1971 - 1994 [Fotyma i Shepherd 2000].....	29
Tabela 3.1.1. Statystyka dla kompletnej bazy danych.....	31
Tabela 3.1.2. Liczebność próbek w zależności od przedziału odczynu.....	32
Tabela 3.1.3. Liczebność próbek w zależności od zasobności gleb w fosfor, potas i magnez.....	32
Tabela 3.1.4. Statystyka opisowa analizowanych cech po usunięciu obserwacji skrajnie odstających.....	33
Tabela 4.1.1. Wartości podstawowych parametrów statystycznych w ostatecznej bazie danych.....	35
Tabela 4.1.2. Wartości średnie i mediany analizowanych cech gleby według kategorii agronomicznych.....	36
Tabela 4.1.3. Analiza wariancji dla cech gleby.....	39
Tabela 4.1.4. Współczynniki korelacji między analizowanymi cechami dla całego zbioru danych.....	40
Tabela 4.1.5. Stan zakwaszenia gleb zaliczanych do różnych kategorii agronomicznych.....	41

Tabela 4.1.6. Stan zasobności w potas gleb zaliczanych do różnych kategorii agronomicznych.....	41
Tabela 4.1.7. Stan zasobności gleb w magnez zaliczanych do różnych kategorii agronomicznych.....	42
Tabela 4.1.8. Stan zasobności w fosfor gleb zaliczanych do różnych kategorii agronomicznych.....	43
Tabela 4.1.9. Stan zasobności w fosfor gleb zaliczanych do różnych przedziałów odczynu.....	43
Tabela 4.1.10. Stan zasobności w potas gleb zaliczanych do różnych przedziałów odczynu.....	44
Tabela 4.1.11. Stan zasobności w magnez gleb zaliczanych do różnych przedziałów odczynu.....	45
Tabela. 4.1.12. Stan zasobności w magnez gleb zaliczanych do różnych przedziałów zasobności w potas.....	46
Tabela. 4.1.13. Stan zasobności w potas gleb zaliczany do przedziałów zasobności w fosfor.....	46
Tabela 4.2.1. Wartości własne dla analizy czynnikowej.....	48
Tabela 4.2.2. Ładunki czynnikowe cech.....	48
Tabela 4.2.2. Przedziały klas żyzności wyznaczonych przy użyciu pentyli rozkładu empirycznego.....	50
Tabela 4.2.3. Charakterystyki statystyczne cech w klasach żyzności wyznaczonych przy użyciu pentyli rozkładu empirycznego.....	50
Tabela 4.2.4. Przedziały klas żyzności wyznaczonych zgodnie z odchyleniem standardowym.....	51
Tabela 4.2.5. Podstawowe statystyki cech w klasach żyzności wyznaczonych zgodnie z odchyleniem standardowym.....	51
Tabela 4.2.6. Średnie wartości analizowanych cech w klasach żyzności gleby wyznaczonych przy użyciu pentyli rozkładu empirycznego.....	52
Tabela 4.2.7. Średnie wartości analizowanych cech w klasach żyzności gleby wyznaczonych zgodnie z odchyleniem standardowym.....	52
Tabela 4.3.1. Porównanie liczby i udziału próbek gleb (%) w kategoriach agronomicznych wg badań własnych i Stuczyńskiego i in. [2008]...54	54
Tabela 4.3.2. Parametry statystyczne analizowanych cech gleby według województw.....	56

Tabela 4.3.3. Przestrzenne zróżnicowanie udziału próbek w klasach odczynu w województwach.....	59
Tabela 4.3.4. Przestrzenne zróżnicowanie udziału próbek w klasach zawartości fosforu w województwach.....	61
Tabela 4.3.5. Przestrzenne zróżnicowanie udziału próbek gleb w klasach zawartości potasu w województwach.....	63
Tabela 4.3.6. Przestrzenne zróżnicowanie udziału próbek gleb w klasach zawartości magnezu w województwach.....	65
Tabela 4.3.7. Przestrzenne zróżnicowanie wskaźnika i udział (%) próbek w klasach żyzności wyznaczonych przy użyciu pentyli rozkładu empirycznego w województwach.....	67
Tabela 4.3.8. Przestrzenne zróżnicowanie wskaźnika i udział (%) próbek gleb w klasach żyzności wyznaczonych z uwzględnieniem odchylenia standardowego.....	69
Tabela 4.3.9. Średnie wartości wskaźników w wydzielonych skupieniach województw.....	71
Tabela 5.1.1. Współczynniki korekcyjne do szacowania udziału gleb zaliczonych do określonej kategorii agronomicznej i określonej klasy odczynu.....	74
Tabela 5.1.2. Przedziały pentylowe zawartości fosforu przyswajalnego w mg $P_2O_5 \cdot 100g^{-1}$ gleby w zależności od klasy odczynu gleby.....	76
Tabela 5.1.3. Przedziały pentylowe zawartości potasu przyswajalnego w mg $K_2O \cdot 100g^{-1}$ gleby w zależności od kategorii agronomicznej gleby.....	78
Tabela 5.1.4. Przedziały pentylowe zawartości magnezu przyswajalnego w mg $Mg \cdot 100g^{-1}$ gleby w zależności od kategorii agronomicznej gleby.....	79
Tabela 5.2.1. Przedziały wartość SWŻG zestawione metodą pentyli i metodą według odchylenia standardowego.....	83
Tabela 5.3.1. Zestawienie wyników badań dla odczynu gleby przed i po przeliczeniu.....	85

SPIS RYSUNKÓW

Rys. 3.1.1. Schemat eliminacji błędów grubych.....	34
Rys. 4.1.1. Rozkład wartości pH w zależności od kategorii agronomicznej gleby...	37

Rys. 4.1.2. Rozkład zawartości przyswajalnego fosforu w zależności od kategorii agronomicznej gleby.....	37
Rys. 4.1.3. Rozkład zawartości przyswajalnego potasu w zależności od kategorii agronomicznej gleby.....	38
Rys. 4.1.4. Rozkład zawartości przyswajalnego magnezu w zależności od kategorii agronomicznej gleby.....	38
Rys. 4.2.1. Empiryczny rozkład syntetycznego wskaźnika żyzności gleb.....	49
Rys. 4.2.2. Udział poszczególnych klas żyzności gleb w badanej populacji.....	51
Rys. 4.3.1. Przeciętne wartości pH dla województw.....	56
Rys. 4.3.2. Przeciętne wartości P ₂ O ₅ , K ₂ O i Mg dla województw.....	57
Rys. 4.3.3. Rozkład procentowy właściwości gleby w województwach w stosunku do przeciętnych wartości dla Polski.....	57
Rys. 4.3.4. Procentowy udział gleb o odczynie bardzo kwaśnym i kwaśnym w województwach.....	60
Rys. 4.3.5. Procentowy udział gleb o bardzo niskiej i niskiej zawartości przyswajalnego fosforu.....	62
Rys. 4.3.6. Procentowy udział gleb o bardzo niskiej i niskiej zawartości przyswajalnego potasu.....	64
Rys. 4.3.7. Procentowy udział gleb o bardzo niskiej i niskiej zawartości przyswajalnego magnezu.....	66
Rys. 4.3.8. Procentowy udział gleb o bardzo niskiej i niskiej żyzności wyznaczonych przy użyciu pentyli rozkładu empirycznego.....	68
Rys. 4.3.9. Procentowy udział gleb o bardzo niskiej i niskiej żyzności wyznaczonych z uwzględnieniem odchylenia standardowego.....	70
Rys. 4.3.10. Skupienia przeciętnych wartości cech i wskaźników w województwach.....	72
Rys. 5.4.1. Zestawienie zmian odczynu pH gleby w latach 1955 - 2008.....	87
Rys. 5.4.2. Zestawienie zmian zawartości fosforu przyswajalnego w latach 1955 - 2008.....	88
Rys. 5.4.3. Zestawienie zmian zawartości potasu przyswajalnego w latach 1955 - 2008.....	89
Rys. 5.4.4. Zestawienie zmian zawartości magnezu przyswajalnego w latach 1955 - 2008.....	90
Rys. 5.5.1. Współczynnik korelacji pomiędzy plonem a wartością SWŻG.....	91

Rys. 5.5.2. Współczynnik korelacji pomiędzy wskaźnikiem SWGŻ a zużyciem
nawozów mineralnych i wapniowych.....91