

Możliwości przypisania zawartości frakcji granulometrycznych według PTG 2008/USDA do wybranych grup granulometrycznych PTG 1956 wyróżnionych na mapie glebowo-rolniczej

Michał Konrad Stępień^{1,2*}, Dariusz Gozdowski², Stanisław Marek Samborski¹

¹Katedra Agronomii, Instytut Rolnictwa, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

²Katedra Biometrii, Instytut Rolnictwa, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

* Autor korespondencyjny: Dr inż. Michał Stępień, michal1966@gmail.com, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1187-5043>

Streszczenie

Received: 2024-03-20
Accepted: 2024-09-13
Published online: 2024-09-13
Associated editor: Cezary Kabała

Słowa kluczowe:

Piasek
Pył
Ił
Mapa glebowo-rolnicza
Frakcja granulometryczna
Grupa granulometryczna

Stosowany na mapach glebowo-rolniczych podział gleb na grupy granulometryczne według PTG 1956 jest niezgodny z najbardziej rozpowszechnioną na świecie klasyfikacją USDA i opartym na niej nowym podziale gleb według PTG 2008. Dlatego celem niniejszej pracy było zaproponowanie przypisania zawartości frakcji granulometrycznych według PTG 2008/USDA do wybranych gatunków gleb – grup granulometrycznych – według podziału PTG 1956, przedstawionych na mapach glebowo-rolniczych Polski. Mapy te zaktualizowane w ten sposób, mogą zostać wykorzystane do modelowania wpływu zmian klimatu na środowisko i rolnictwo, oraz zjawisk erozyjnych i hydrologicznych w obrębie Polski. Do realizacji celu badań wykorzystano zestaw danych liczący 1085 próbek glebowych pochodzących z 15 miejscowości, z 7 województw, reprezentujących różne obszary Niżu Środkowoeuropejskiego i Wyżyny Małopolskiej. Próbkę zostały zaklasyfikowane do 18 grup granulometrycznych według PTG 1956, a także do 11 klas uziarnienia według PTG 2008/USDA – wszystkich z wyjątkiem pyłu. Dla posiadanego zestawu próbek glebowych reprezentującego różne gatunki gleb obliczono średnie i mediany zawartości frakcji piasku, pyłu oraz iłu, zarówno według klasyfikacji PTG 1956, jak i PTG 2008/USDA. Opracowano również uniwersalne równania liniowe regresji prostej i wielorakiej do szacowania zawartości frakcji granulometrycznych według klasyfikacji PTG 2008/USDA, na podstawie znanych zawartości frakcji granulometrycznych gatunków gleb według PTG 1956. Określono główną klasę uziarnienia według PTG 2008/USDA, którą można przypisać do każdego z gatunków gleb według PTG 1956, co umożliwiło odniesienie wyników badań własnych do wyników badań innych autorów, które również dotyczyły porównania uziarnienia gleb opisanego według obu wspomnianych klasyfikacji. Na podstawie wyników badań własnych oraz innych autorów przedstawiono wstępną propozycję przypisywania zawartości frakcji piasku, pyłu i iłu według klasyfikacji PTG 2008/USDA, do grup granulometrycznych PTG 1956. Wskazana jest weryfikacja oraz udoskonalenie przedstawionej propozycji z wykorzystaniem na przykład krzywej uziarnienia. Uniwersalność wykorzystania opracowanej metodyki mogłoby poprawić poszerzenie bazy danych próbek glebowych, szczególnie o mniej licznie reprezentowane grupy granulometryczne PTG 1956, takie jak: piasek luźny pylasty (plp), piasek słabo gliniasty pylasty (psp), piasek gliniasty lekki pylasty (pglp), ił (i), utwór pyłowy zwykły (plz) i utwór pyłowy ilasty (pli). Potrzebne jest również osobne opracowanie dotyczące specyficznych gatunków gleb takich jak: deluwia, mady, lessy, rędziny, gleby górskie i żwiry, które przedstawione są na mapach glebowo-rolniczych obejmujących ponad 10% użytków rolnych w Polsce. Należy także rozważyć uzależnienie przypisywania zawartości frakcji piasku, pyłu i iłu według klasyfikacji PTG 2008/USDA, od pochodzenia geologicznego poszczególnych materiałów macierzystych gleb, szczególnie w przypadku utworów pyłowych oraz iłów według PTG 1956.

1. Wstęp

Pomimo szybkiego rozwoju technologicznego gleba ma nadal kluczowe znaczenie dla produkcji żywności i funkcjonowania ekosystemu Ziemi (ISRIC, Lehmann i in. 2020). Progno-

zowanie, planowanie, a także bieżące użytkowanie i ochrona gleby wymaga jej znajomości na każdym poziomie: lokalnym, regionalnym i globalnym. Najlepszym sposobem poznania gleby jest jej badanie w terenie za pomocą tradycyjnych technik gleboznawczych, które powinny być uzupełnione przez szybko

rozwijające się nowe metody oceny właściwości gleby przy użyciu teledetekcji i rozwiązań z zakresu rolnictwa precyzyjnego, (Adamchuk i in., 2004). Rozwiązania te pozwalają na ocenę właściwości gleby w trybie ciągłym (ang. on-the-go) i przypisywanie współrzędnych geograficznych licznym punktom pomiarowym, dzięki wykorzystaniu odbiorników GNSS (ang. Global Navigation Satellite Systems), bazujących na globalnych systemach nawigacji satelitarnej, co pozwala na dokładniejsze wykreślanie granic konturów gleb na mapach. Jedną z najważniejszych cech gleby wpływających na niemal wszystkie inne właściwości gleby, a tym samym na pełnione funkcje i usługi ekosystemowe (Smreczak i in., 2017) oraz plon roślin jest jej uziarnienie, gdyż w bardzo dużym stopniu wpływa ono na dostępność wody dla roślin. W Polsce określono kategorie podatności gleb na suszę (ryzyko wystąpienia niedoborów wody w glebie) dla użytków rolnych na podstawie informacji o uziarnieniu warstw profilu glebowego przedstawionych na mapach glebowo-rolniczych (<https://susza.iung.pulawy.pl/kategorie>). Podstawowym czynnikiem decydującym o przynależności gleb do danej kategorii podatności gleb na suszę jest jej uziarnienie i jego zróżnicowanie w profilu glebowym do głębokości 1,5 m. Jednak duże znaczenie ma również położenie w terenie – głównie wysokość względna, forma rzeźby, nachylenie i wystawa.

Wspomniane mapy glebowo-rolnicze powstawały od lat sześćdziesiątych ubiegłego stulecia (Witek, 1965; Bednarek i in., 2011) w skali 1:5000 i objęły swoim zasięgiem tereny rolnicze całego kraju (Kabała i in., 2022). Informacje zawarte na tych mapach obejmują kompleks przydatności rolniczej, typ i podtyp gleby oraz uziarnienie. Na mapach glebowo-rolniczych uziarnienie gleby definiowane jest podobnie jak w systematykach gleb Polski, jako gatunek gleby (Przyrodniczo-genetyczna klasyfikacja gleb Polski, 1956; Genetyczna klasyfikacja gleb Polski, 1959; Bartoszewski i in., 1965; Systematyka gleb Polski, 1959; Systematyka gleb Polski, 1989; Systematyka gleb Polski, 2011; Systematyka gleb Polski, 2019). Podstawowe gatunki gleb – grupy granulometryczne – przedstawiane na mapach glebowo-rolniczych są zasadniczo zgodne z grupami granulometrycznymi (mechanicznymi) opisanymi w pierwszych pięciu wydaniach Systematyki gleb Polski od 1956 do 2011, określonymi w tej pracy jako PTG 1956. Wspomniane grupy granulometryczne po raz pierwszy zostały opisane w podręczniku Musierowicza (1956) i opierają się na rozgraniczeniu między częściami szkieletowymi, a ziemistymi przy średnicy cząstek 1 mm. Jednak w najnowszym, szóstym wydaniu gleb Polski z 2019 zastosowano klasyfikację uziarnienia PTG 2008, w której średnica cząstek rozgraniczająca części szkieletowe od ziemistych wynosi 2 mm. Zmieniono również graniczne wartości średnic cząstek glebowych dla poszczególnych frakcji granulometrycznych. Klasyfikacja ta jest de facto uszczegółowieniem szeroko stosowanej na świecie klasyfikacji USDA (ang. United States Department of Agriculture) i będzie w tej pracy określana jako PTG 2008/USDA. W klasyfikacji tej zmieniono grupy granulometryczne (gatunki) gleb, ale niektóre z nich mają te same nazwy co w poprzedniej klasyfikacji uziarnienia, np. piasek luźny, glina lekka i inne (Tabela S1). Z wielu badań wynika, że przypisanie nowych gatunków gleb – grup granulometrycznych – PTG 2008/USDA – do gatunków opisanych przez Musierowicza (1956) i przedstawionych na mapach glebo-

wo-rolniczych jest możliwe w sposób przybliżony i niekiedy niejednoznaczny (Drzymala i Mocek, 2004; Kabała i Marzec, 2007; Kobierski, 2010; Orzechowski i Smólczyński, 2010; Róžański, 2010; Jadczyński i in., 2016; Stępień i in., 2018). Jednak szczególne znaczenie dla przygotowania modeli prognozujących: wpływ spodziewanych zmian klimatu na środowisko i produkcję rolniczą, oraz zjawiska erozyjne i hydrologiczne, ma podanie najbardziej prawdopodobnej zawartości frakcji granulometrycznych według PTG 2008/USDA, dla poszczególnych gatunków gleb wyszczególnionych na mapach glebowo-rolniczych. Używanie ujednoliconej klasyfikacji frakcji granulometrycznych gleb w skali kontynentu, czy nawet całego świata, ułatwi stworzenie takich modeli dla większych obszarów. Dane pozwalające na samodzielne ustalenie zawartości poszczególnych frakcji granulometrycznych według PTG 2008/USDA w gatunkach gleb wyszczególnionych na mapach glebowo-rolniczych Polski zostały podane w niektórych spośród tych prac (Kabała i Marzec, 2010; Kobierski, 2010; Róžański, 2010), oraz w Soil Sequences Atlas (Świtoniak i Charzyński, 2014, 2018a, 2018b, 2018c, 2022). Jednak dane te pochodzą zazwyczaj z niewielkiej liczby profili glebowych i/lub dotyczą jednej specyficznej grupy gleb lub jednego regionu Polski (Kabała i Marzec, 2010; Orzechowski i Smólczyński, 2010; Orzechowski i in., 2020).

Bazy danych glebowych opracowane dla całego świata obejmują również zawartości frakcji granulometrycznych zgodnie z PTG 2008/USDA (Richer-de-Forges i in., 2023). Przykładem takiej bazy o względnie dużej rozdzielczości przestrzennej (250 m) jest SoilGrids2.0. Jednak z różnych badań wynika, że dane w niej zawarte wykazują niewielką zgodność z wynikami badań terenowych wykonanymi w Namibii (Buenemann i in., 2023), Francji (Richer-de-Forges i in., 2013) i Ghanie (Maynard i in., 2023), chociaż w dwóch ostatnich pracach ocena uziarnienia została wykonana w polu metodą organoleptyczną. Jeśli przyjąć założenie, że dla terenu Polski baza ta lepiej odzwierciedla uziarnienie gleb niż dla Francji, Ghany lub Namibii, to mała rozdzielczość bazy SoilGrids2.0 uniemożliwia wykorzystanie jej do celów użytkowania rolniczego na poziomie lokalnym. Mapy glebowo-rolnicze Polski w skali 1:5000, obejmujące praktycznie wszystkie użytki rolne kraju są wyjątkowe w skali Europy i Świata. Mapy w takiej skali powstały w Niemczech po roku 1934 (Dobers i in., 2010), a mapy w mniejszych skalach (1:10000 do 1:50000) w innych krajach, np. na Ukrainie należącej wówczas do ZSRR (lata 1957–1961, skale 1:10000 i 1:25000, Ahasova, 2016), w dawnej Czechosłowacji (1960–1972, 1:10000, Němeček i Kozák, 2005), na Węgrzech (1:50000, Dobos i in., 2010), w Belgii (1947–1973 (1:20000, od 0,7 do 1 obserwacji na hektar, Vitharana i in., 2008) i w Niderlandach (1964–1995, 1:50000, Hartemink i Sonneveld, 2013). W USA skala map glebowych zależy od stanu i hrabstwa, ale dla obszarów intensywnego rolnictwa wykonano mapy glebowe drugiego rzędu w skali od 1:12000 do 1:24000 (korespondencja elektroniczna z Bradley'em Millerem z Iowa State University, 30 czerwca 2024 r.). Na mapach takich najmniejsza powierzchnia konturu (wydzielenia) wynosi od 0,6 ha do 2,3 ha (Schoenenberger i in., 2012). Szczegółowe badania gleby w Kanadzie zostały wykonane dla niektórych obszarów, ważnych z punktu widzenia rolniczego, i skompilowane w skalach od 1:50000 do 1:100000, wyjątkowo 1:20000 (Canadian Soil Information Service).

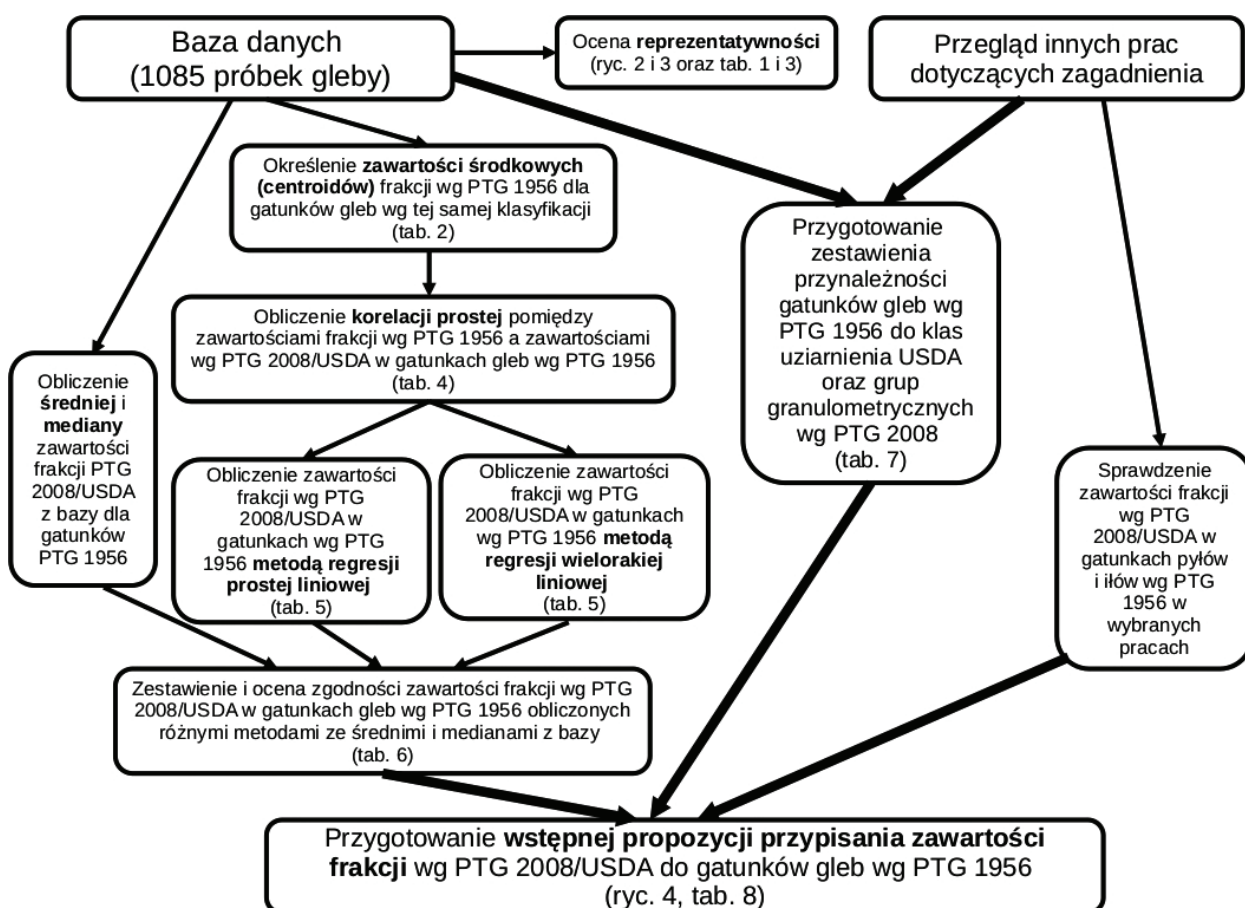
Z powyższych rozważań wynika, że w Polsce potrzebne jest wykonanie nowych map glebowych uwzględniających obecnie stosowaną klasyfikację uziarnienia. Jednak wykonanie takich map wydaje się mało prawdopodobne ze względu na wysokie koszty prac terenowych i laboratoryjnych, a sytuacja ta dotyczy nie tylko Polski, ale także wielu innych krajów (Kabała i in., 2022). Dlatego też rozwiązaniem znacznie tańszym i możliwym do szybkiego zrealizowania jest przygotowanie nowych map uziarnienia gleb Polski na podstawie istniejących map glebo-rolniczych. Niezbędnym elementem takich prac jest ocena uziarnienia dużej i odpowiadającej zróżnicowaniu gleb Polski liczby próbek gleby, zarówno według klasyfikacji PTG 1956, jak i PTG 2008/USDA.

Celem niniejszej pracy jest oszacowanie zawartości frakcji piasku, pyłu i łu zgodnych z klasyfikacją PTG 2008/USDA dla gatunków gleb – grup granulometrycznych PTG 1956 – wyróżnianych na mapach glebo-rolniczych na podstawie badań własnych oraz skonfrontowanie ich z wynikami innych autorów. Ostatnim etapem tego opracowania jest przedstawienie pierwszej, wstępnej propozycji przypisywania frakcji PTG 2008/USDA do gatunków gleb nizinnych i wyżynnych sklasyfikowanych według PTG 1956.

2. Materiały i metodyka badań

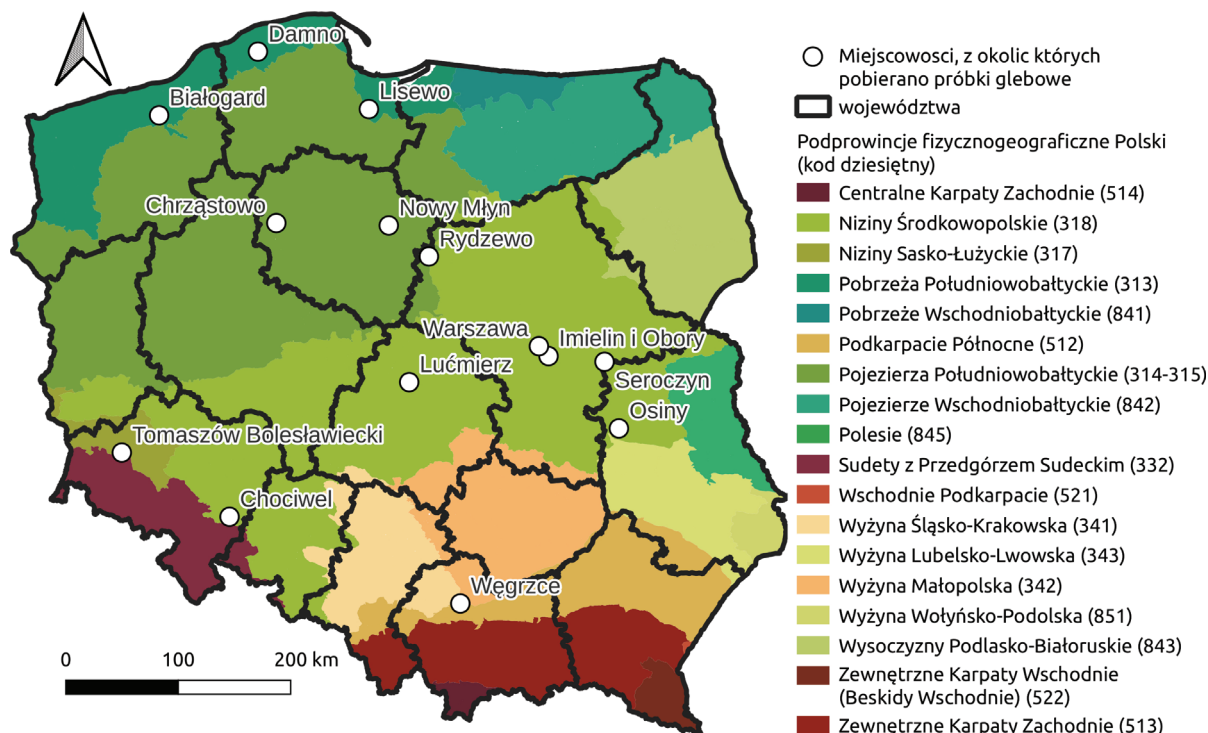
Schemat postępowania mającego na celu przypisanie zawartości frakcji PTG 2008/USDA do gatunków gleb wg PTG 1956 przedstawiono na ryc. 1. Po pierwsze, scharakteryzowano zastosowaną w artykule bazę danych i oceniono jej reprezentatywność (ryc. 2 oraz tabela 1 i 3) pod kątem przynależności do poszczególnych prowincji i podprowincji fizycznogeograficznych Polski. Następnie wykonano obliczenia średnich oraz median zawartości poszczególnych frakcji według PTG 2008/USDA w gatunkach gleb przedstawianych na mapach glebo-rolniczych dla posiadanej bazy danych 1085 próbek glebowych. Określenie średniej zawartości, jako bazujące bezpośrednio na wynikach analiz laboratoryjnych wydaje się najlepszym sposobem określenia zawartości frakcji granulometrycznych według PTG 2008/USDA we wspomnianych gatunkach gleb. Jednak niektóre z tych gatunków reprezentowane są przez jedną, kilka lub kilkanaście próbek w posiadanej bazie danych, dlatego też dodatkowo wykonano analizę korelacji oraz regresji prostej i wielorakiej.

Uzyskane wyniki zostały następnie zestawione i porównane ze sobą. Na podstawie tych wyników określono grupę granulometryczną PTG 2008 i klasę uziarnienia USDA, do której należy



Ryc. 1. Schemat postępowania przyjętego przy tworzeniu propozycji przypisania zawartości frakcji granulometrycznych PTG 2008/USDA do grup granulometrycznych PTG 1956

Fig. 1. Diagram of the procedure adopted in the creation of the proposal for assigning the content of PTG 2008/USDA granulometric fractions to PTG 1956 granulometric groups



Ryc. 2. Mapa miejscowości, z okolic których pobrano próbki glebowe na tle prowincji fizycznogeograficznych Polski (mapka przygotowana za pomocą programu QGIS 3.22)

Fig. 2. Map of the localities from the vicinity of which soil samples were taken with the physical-geographic provinces of Poland in the background (map prepared using QGIS 3.22 software)

zaliczyć poszczególne gatunki wg PTG 1956 i porównano je z wynikami znanych prac, które dotyczyły korelacji gatunków gleb wg PTG 1956 z grupami granulometrycznymi PTG 2008 i klasami uziarnienia USDA. Na koniec przygotowano wstępną propozycję przypisania udziału procentowego frakcji wg PTG 2008/USDA do gatunków gleb wg PTG 1956.

2.1. Baza danych

W niniejszym artykule wykorzystano ten sam zestaw danych, na podstawie którego powstał artykuł dotyczący zgodności grup granulometrycznych wyszczególnionych w BN-78/9180-11 oraz PTG 2008 i USDA (Stępień i in., 2018), niemniej jednak usunięto z niego 2 próbki pochodzące spoza Polski. W efekcie baza danych liczy 1085 próbek gleby, z których większość (1052) została pobrana i przeanalizowana w ramach projektu badawczego POIG.01.03.01-14-041/12 (BIOPRODUKTY). Pozostałe próbki pochodzą z różnych innych przedsięwzięć pracowników lub współpracowników Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Próbkę glebową pochodzą z 14 miejscowości z 7 województw (ryc. 2), reprezentujących różne obszary Niżu Środkowoeuropejskiego (1060 próbek, ryc. 1, tabela 1), oraz z 1 miejscowości Wyżyny Małopolskiej (25 próbek).

Wszystkie próbki zostały wysuszone w temperaturze pokojowej do stanu powietrznie suchego, przesiane przez sito o średnicy oczek 2 mm i poddane analizie granulometrycznej metodą aerometryczno-sitową Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego. Zawartość frakcji granulometrycznych określono zgodnie

z PTG 2008/USDA oraz przeliczono ją na zawartość frakcji zgodnie z PTG 1956. Bardziej szczegółowo analizę i sposób przeliczania wyników opisano w pracy Stępień i in. (2018). Na mapach glebowo-rolniczych zaznaczone są niekiedy gatunki gleb inne, niż grupy granulometryczne PTG 1956. Gatunki te są specyficzne dla deluwii, mad (bardzo lekkie, lekkie, średnie, ciężkie i bardzo ciężkie) i rędzin (lekkie, średnie i ciężkie), różnych gleb wytworzonych z lessów (lessy zwykłe i lessy ilaste), a także dla gleb górskich. W niniejszej pracy gatunki te pominięto ze względu na to, że zostały one zaznaczone na mapach glebowo-rolniczych w skali 1:5000 i 1:25000 tylko dla powierzchni około 10% użytków rolnych (Łopatka, 2017, w odniesieniu do map 1:25000) i powinny zostać opisane w osobnej pracy.

2.2. Statystyczne metody przypisywania zawartości frakcji PTG 2008/USDA w gatunkach gleb wg PTG 1956

W celu wykonania obliczeń metodami regresji dla wszystkich gatunków gleb określono zawartości środkowe – centroidy – dla zakresów zawartości poszczególnych frakcji części ziemistych PTG 1956, czyli piasku (0,1–1,0 mm), pyłu (0,02–0,1 mm) i części spławalnych (<0,02 mm), które przedstawiono w tabeli 2. Centroidy lub środki geometryczne są obliczane jako średnie współrzędnych wierzchołków danego wieloboku (<https://pl.wikipedia.org/wiki/Centroid> 22.01.2024). Każdy gatunek gleby przedstawiony na trójkącie Ferreta tworzy wielobok, a współrzędnymi jego wierzchołków są właśnie zawartości wspomnianych frakcji granulometrycznych.

Tabela 1

Pochodzenie próbek uwzględnionych w pracy

Table 1

The origin of the soil samples considered in the study

Jednostka podziału fizycznogeograficznego Polski (kod i nazwa)* Unit of physico-geographical division of Poland (code and name)*		Powierzchnia podprovincji** Area of subprovince km ² ** (% powierzchni Polski) (% of area of Poland)	Miejscowość (mezoregion – kod i nazwa) Locality (mesoregion – code and name)	Liczba pól lub doświadczeń Number of fields or experiments	Liczba próbek glebowych Number of soil samples
Prowincja Province	Podprovincja Subprovince				
31 Niż Środkowoeuropejski	313 Pobrzeża Południowobałtyckie	17607 (5,6)	Białogard (313.42 Równina Białogardzka)	2	32
			Damno (313.44 Wysoczyzna Damnicka)	2	275
			Lisewo (313.54 Żuławy Wiślane)	2	31
314-316 Pojezierza Południowobałtyckie	79415 (25,4)		Chrząstowo (314.74 Pojezierze Południowokrajęńskie)	2	29
			Nowy Młyn (315.13 Dolina Drwęcy)	1	19
			Rydzewo (315.16 Równina Urszulewska)	1	1
317 Niziny Sasko-Łużyckie	3908 (1,3)		Tomaszów Bolesławiecki (317.78 Równina Chojnowska)	2	30
318 Niziny Środkowopolskie	84072 (26,9)		Chociwel (318.53 Równina Wrocławska)	1	123
			Imielin (318.75 Dolina Środkowej Wisły)	3	250
			Lućmierz (318.19 Wysoczyzna Łaska)	2	37
			Obory (318.75 Dolina Środkowej Wisły)	3	191
			Osiny (318.98 Wysoczyzna Lubartowska)	1	1
			Seroczyn (318.93 Obniżenie Węgrowskie)	2	29
			Warszawa (318.76 Równina Warszawska)	1	12
			34 Wyżyny Polskie	342 Wyżyna Małopolska	17702 (5,67)

* Solon i in. 2018

** Rychling 2021

Przynależność poszczególnych miejscowości do prowincji, podprovincji fizycznogeograficznych Polski oraz mezoregionów określono dzięki wykorzystaniu pliku shp pobranego z CBDG: Środowisko – regiony fizyczno-geograficzne Polski (Solon i in., 2018).

The affiliation of individual localities to provinces, physical-geographic subprovinces of Poland and mesoregions was determined by using the shp file downloaded from CBDG: Environment – physical-geographic regions of Poland (Solon et al., 2018).

Gatunki gleb odpowiadające grupom granulometrycznym PTG 1956 są uwidocznione na większości wydzieleń obejmujących niemal 90% map glebowo-rolniczych Polski (Łopatka, 2017, wg map w skali 1:25000). Dla wszystkich gatunków gleb podano zawartości graniczne poszczególnych frakcji części ziemistych, tj. piasku, pyłu i części spławialnych. W niektórych przypadkach nieznacznie je zmodyfikowano w porównaniu z głównym źród-

łem (Strzemski i in. 1973) i podano je z dokładnością do dwóch miejsc po przecinku. Zrobiono tak, ponieważ analiza granulometryczna była wykonana na próbkach gleby przesianych przez sito o średnicy oczek 2 mm, z dokładnością do 1%, zgodnie ze skalą na areometrze Prószyńskiego. Jednak po przeliczeniu zawartości frakcji części ziemistych wg PTG 1956 podano z dokładnością do miejsc dziesiętnych.

Tabela 2

Graniczne i środkowe zawartości frakcji granulometrycznych dla gatunków gleb uwidocznionych na mapach glebowo-rolniczych

Table 2

Critical and centroid values of soil separates for soil species, which were shown on agricultural-soil maps

Frakcja granulometryczna Soil separate PTG1956		Piasek Sand 1,0–0,1 mm		Pył Silt 0,1–0,02 mm		Części sypkawe Fine particles <0,02 mm	
Oznaczenie gatunku (grupy granulometrycznej PTG 1956) na mapach glebowo- rolniczych* Soil species (granulometric group PTG 1956) designation on the agricultural soil maps*	Grupy granulometryczne Granulometric groups BN-78/9180-11*	Zakres (min. – maks.) Range (min. – max.)	Wartość środkowa Centroid value	Zakres (min. – maks.) Range (min. – max.)	Wartość środkowa Centroid value	Zakres (min. – maks.) Range (min. – max.)	Wartość środkowa Centroid value
pl	pl	70,01–100,00	85,00	0,00–25,00	12,50	0,00–5,00	2,50
plp	plp	55,01–75,00	65,00	25,01–40,00	32,50	0,00–5,00	2,50
ps	ps	65,01–95,00	80,00	0,00–25,00	12,50	5,01–10,00	7,50
psp	psp	50,01–70,00	60,00	25,01–40,00	32,50	5,01–10,00	7,50
pgl	pgl	60,01–90,00	75,00	0,00–25,00	12,50	10,01–15,00	12,50
pglp	pglp	45,01–65,00	55,00	25,01–40,00	32,50	10,01–15,00	12,50
pgm	pgm	55,01–85,00	70,00	0,00–25,00	12,50	15,01–20,00	17,50
pgmp	pgmp	40,01–60,00	50,00	25,01–40,00	32,50	15,01–20,00	17,50
gl	gp, gl	40,01–80,00	60,00	0,00–25,00	12,50	20,01–35,00	27,50
glp	gpp, glp	25,01–55,01	40,00	25,01–40,00	32,50	20,01–35,00	27,50
gs	gs	25,01–65,00	45,00	0,00–25,00	12,50	35,01–50,00	42,50
gsp	gsp	10,01–40,00	25,00	25,01–40,00	32,50	35,01–50,00	42,50
gc	gc, gbc	10,01–50,00	23,75	0,00–25,00	12,50	50,01–90,00**	63,75
gcp	gcp	10,01–25,00	15,00	25,01–40,00	30,00	50,01–65,00	55,00
i	i	0,00–10,00	5,00	0,00–25,00	12,50	65,01–100,00	82,50
ip	ip	0,00–10,00	5,00	25,01–50,00	35,00	50,01–75,00	60,00
plz	plp, plz, plg	00,00–60,00	21,25	40,01–100,00	61,25	00,00–35,00	17,50
pli	pli	0,00–25,00	8,75	40,01–65,00	48,75	35,01–50,00	42,50

Opracowanie własne na podstawie Strzemiński i in. 1973 oraz BN-78/9180-11 z nieznacznymi zmianami.

Own elaboration based on Strzemiński et al. 1973 and BN-78/9180-11 with minor changes

* dla objaśnienia skrótów patrz tab. S1/for explanation of the abbreviations see tab. S1.

** zmienione w stosunku do Strzemiński i in. 1973/changed in relation to Strzemiński et al. 1973

Arbitralnie określono górną zawartość frakcji piasku w łąkach za równą 10%. Publikacje powstałe przed rozpoczęciem tworzenia map glebowo-rolniczych (Przyrodniczo-genetyczna klasyfikacja gleb Polski, 1956; Genetyczna klasyfikacja gleb Polski, 1959; Bartoszewski i in., 1965 oraz Czarnowski i Trusz-

kowska, 1963) wspominały tylko o tym, że łąki nie zawierają piasku lub nieznaczną domieszkę. Natomiast, norma branżowa BN-78/9180-11, która sprecyzowała tę zawartość na 9% powstała w roku 1978, już po przygotowaniu większości map glebowo-rolniczych.

Określone wcześniej zawartości środkowe piasku (0,1–1,0 mm), pyłu (0,02–0,1 mm) i części spławalnych (<0,02 mm) dla poszczególnych gatunków gleb zostały wykorzystane do obliczenia przewidywanych zawartości piasku (0,05–2,0 mm), pyłu (0,002–0,05 mm) i łu (<0,002 mm) zgodnych z PTG 2008/USDA poprzez podstawienie ich do odpowiednich równań regresji jako zmienne niezależne (X). Ponieważ zawartości frakcji PTG 2008/USDA są ze sobą skorelowane, nie było możliwości obliczenia zawartości każdej z tych frakcji metodą regresji.

Obliczenie metodą regresji prostej wykonano po określeniu korelacji pomiędzy dowolnymi frakcjami PTG 1956 i dowolnymi frakcjami PTG 2008/USDA. Równania regresji prostej liniowej wykonano dla dwóch najsilniej skorelowanych frakcji PTG 2008/USDA. Zawartość trzeciej – ostatniej frakcji USDA określono poprzez odjęcie zawartości obliczonych dwóch frakcji od 100. Obliczenia te wykonano z wykorzystaniem arkusza kalkulacyjnego Libre Office Calc 7.3.7.2 (The Document Foundation, <https://pl.libreoffice.org/>).

Przy metodzie regresji wielorakiej zastosowano procedurę regresji krokowej postępującej, dzięki czemu w modelu wykorzystano zawartości frakcji według PTG 1956, które były najsilniej powiązane ze zmienną zależną (wynikową) czyli zawartością piasku, pyłu lub łu wg PTG 2008/USDA. Do obliczeń przedstawionych w artykule wybrano równania o najwyższym współczynniku determinacji R^2 i najniższym błędzie estymacji. Obliczenia zostały wykonane w programie Statistica 13 (TIBCO Software Inc., 2017).

2.3. Ocena wiarygodności uzyskanych wyników i propozycja wstępnego przypisania udziałów procentowych frakcji wg PTG 2008/USDA w gatunkach gleb wg PTG 1956

W celu ułatwienia oceny wiarygodności uzyskanych wyników i ich dyskusji przygotowano tabelę 7, korelującą grupy granulometryczne PTG 1956 – gatunki gleb z map glebowo-rolniczych z klasami uziarnienia USDA określonymi na podstawie wyników niniejszej pracy oraz innych autorów. Przedstawiono także wstępną propozycję przypisywania frakcji granulometrycznych USDA do grup granulometrycznych PTG 1956.

3. Wyniki i dyskusja

3.1. Charakterystyka i ocena reprezentatywności bazy danych

Z punktu widzenia podziału fizycznogeograficznego Polski (Solon i in., 2018; Richling, 2021) posiadana baza danych reprezentuje prowincję Niżu Środkowoeuropejskiego i jej 4 podprovincje: Pobrzeża Południowobałtyckie, Pojezierza Południowobałtyckie, Niziny Sasko-Łużyckie oraz Niziny Środkowopolskie (tabela 1 i 3 – 14 miejscowości i 1060 próbek), które zajmują około 59% powierzchni Polski (Richling, 2021). W bazie danych znajduje się także 25 próbek z miejscowości Węgrzce z prowincji Wyżyn Polskich, a dokładniej z Wyżyny Małopolskiej, która obejmuje niecałe 6% powierzchni kraju (Richling, 2021).

Z powyższego wynika potrzeba stworzenia bazy danych która zawierałaby wyniki z pozostałych 5 części prowincji

fizycznogeograficznych (Solon, 2018; Richling, 2021), które leżą na terenie Polski:

- Masywu Czeskiego z Sudetami i Przedgórzem;
- Karpat Zachodnich z Podkarpaciem;
- Karpat Wschodnich;
- Nizin Wschodniobałtycko-Białoruskich, które obejmują głównie Warmię i Mazury oraz Polesie;
- Wyżyn Ukraińskich, do których zaliczana jest polska część Wyżyny Wołyńskiej.

Brakujące prowincje fizycznogeograficzne obejmują około 36% powierzchni Polski (Richling, 2021). Pożądane jest także uzupełnienie bazy próbek gleby o bardziej reprezentatywne wyniki z Wyżyn Polskich i wzbogacenie części reprezentującej Niż Środkowoeuropejski. Prowincja ta jest dobrze reprezentowana w posiadanej bazie danych i obejmuje wszystkie 4 podprovincje, niemniej jednak warto poprawić jej reprezentację przez pobranie większej liczby próbek oraz uwzględnienie innych miejscowości obejmujących dodatkowe mezoregiony, szczególnie z województwa lubuskiego, warmińsko-mazurskiego i wielkopolskiego.

Liczbę próbek glebowych przypisanych do poszczególnych grup granulometrycznych PTG 1956 przedstawiono w tabeli 3. Najlepiej reprezentowane w niniejszym zestawie danych są: glina lekka (281 próbek z 4 podprovincji fizycznogeograficznych Polski) i glina średnia (142 próbki z 3 podprovincji). Najslabiej reprezentowane w bazie danych są piasek luźny pylasty (1 próbka z Pomorza), piasek słabogliniasty pylasty (2 próbki z Mazowsza i Pomorza) oraz piasek gliniasty lekki pylasty (6 próbek z 3 podprovincji). łu jest reprezentowany przez 10 próbek z 3 podprovincji, a piasek gliniasty mocny pylasty – przez 19 próbek z 3 podprovincji. łu pylasty został oznaczony w 20 próbkach, pochodzących z 2 podprovincji (Małopolska i Mazowsze). Pozostałe grupy granulometryczne PTG 1956 można uznać za dość dobrze reprezentowane (21–91 próbek z 2 do 5 podprovincji). W zestawie danych znajdowały się próbki zaklasyfikowane do 14 grup granulometrycznych według PTG 2008 i 11 klas uziarnienia według USDA – wszystkich z wyjątkiem pyłu (silt, Si), przy czym łu pylasty (SiC) był reprezentowany przez 3 próbki, a łu ciężki przez jedną, zaś łu zwykły przez 4 próbki (por. Stępień i in., 2018).

Ocena reprezentatywności bazy na trójkątach Ferreta dla gatunków gleb PTG 1956 (ryc. 3a) wskazuje na niemal całkowity brak próbek utworów pyłowych o małej zawartości części spławalnych (< 17%) oraz łów i glin ciężkich o zawierających > 80% części spławalnych. Obserwacja rozkładu zawartości poszczególnych frakcji wg PTG 2008/USDA (ryc. 3b) wskazuje przede wszystkim na brak próbek o zawartości łu > 63% i niewielką liczbę próbek zawierających > 35% tej frakcji.

3.2. Określenie zawartości frakcji wg PTG 2008/USDA w gatunkach gleb wg PTG 1956 metodami statystycznymi

Wszystkie frakcje granulometryczne części ziemistych, zarówno według PTG 1956 jak również PTG 2008/USDA były ze sobą istotnie skorelowane (tabela 4), co wynika z dużej liczby próbek w bazie danych. Bardzo silny związek wykazała zawartość piasku według PTG 2008/USDA ze wszystkimi frakcjami PTG

Tabela 3

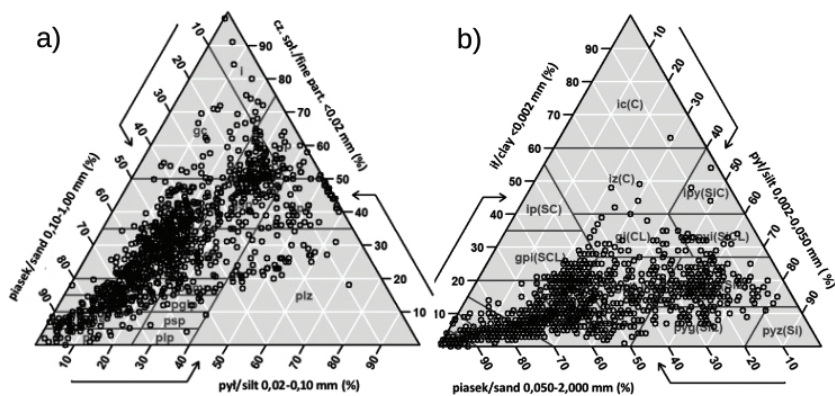
Przynależność próbek glebowych z lokalizacji do gatunków gleb – grup granulometrycznych PTG 1956 – i ich reprezentatywność

Table 3

Affiliation of soil samples from different locations to soil species – granulometric groups PTG 1956 – and their representativeness

Jednostka podziału fizycznogeograficznego Polski (kod i nazwa) Unit of physico-geographical division of Poland (code and name)		Miejscowość Site	Liczba próbek glebowych w poszczególnych gatunkach – grupach granulometrycznych PTG 1956 Number of soil samples in particular soil species – granulometric groups PTG 1956																			
Provincia Province	Podprovincia Subprovince		pl*	plp	ps	psp	pgl	pglp	pgrm	pgrmp	gl	glp	gs	gsp	gc	gcp	i	ip	plz	plł		
31 Niż Środkowo-europejski	313 Pobrzeża Południowo-bałtyckie	Białogard							7		25											
		Damno	3	1	6	1	9	1	13	2	147	14	67	2	6					2	1	
		Lisewo										1	2	12	1	14	1					
	314-316 Pojezierza Południowo-bałtyckie	Chrzastowo									14		14		1							
		Nowy Młyn	1				2	1	1		3		3		6					1	1	
		Rydzewo																1				
	317 Niziny Sasko-Łużyckie	Tomaszów Bolesławiecki			3		3		3	3	2	16										
		318 Niziny Środkowopolskie	Chociwel	2		2		5		1		18	1	22	29	1	40					2
	Imielin		6		13	1	9	4	14	6	21	22	7	44	10	30	6	18	11	28		
	Lućmierz				4		1		1	7										23	1	
	Obory		10		20		51		34	1	46	3	17	4	4	1						
	Osiny																	1				
	Seroczyn				2		2		6		5		10		4							
Warszawa											1			1					10			
34 Wyżyny Polskie	342 Wyżyna Małopolska	Węgrzce																2		23		
Liczba podprovincji / number of subprovinces			3	1	3	1	4	3	4	3	4	3	3	3	3	2	3	2	3	4		
Liczba miejscowości / number of localities			5	1	6	2	8	3	8	5	9	7	8	5	9	3	5	2	5	6		
Liczba próbek / number of soil samples			22	1	50	2	82	6	80	19	281	58	142	91	34	84	10	20	47	56		

* dla objaśnienia skrótów patrz tab. S1/for explanation of the abbreviations see tab. S1.



Ryc. 3. Przedstawienie posiadanej bazy danych na tle klasyfikacji uziarnienia PTG 1956 (a) oraz PTG 2008/USDA (b), diagramy wykonane za pomocą The Soil Texture Wizard (Moeys, 2024)

Fig. 3. Presentation of the owned database against a background of the PTG 1956 (a) and PTG 2008/USDA (b) soil texture classifications, diagrams made with The Soil Texture Wizard (Moeys, 2024)

Tabela 4

Współczynniki korelacji prostej pomiędzy zawartościami frakcji granulometrycznych według PTG 1956 i PTG 2008/USDA

Table 4

Coefficients of correlation between the contents of soil separates according to PTG 1956 and PTG 2008/USDA

Fracje granulometryczne według Soil separates according to		PTG 1956			PTG 2008/USDA		
		Piasek/Sand (1,0–0,1 mm)	Pył/Silt (0,1–0,02 mm)	Części spławialne/ /Fine particles (<0,02 mm)	Piasek/Sand (2,0–0,05 mm)	Pył/Silt (0,05–0,002 mm)	Ił/Clay (<0,002 mm)
PTG 1956	Piasek/Sand (1,0–0,1 mm)	1					
	Pył/Silt (0,1–0,02 mm)	–0,776*	1				
	Części spławialne/Fine parts (<0,02 mm)	–0,868*	0,362*	1			
PTG 2008/USDA	Piasek/Sand (2,0–0,05 mm)	0,977*	–0,676*	–0,913*	1		
	Pył/Silt (0,05–0,002 mm)	–0,933*	0,803*	0,748*	–0,939*	1	
	Ił/Clay (<0,002 mm)	–0,628*	0,098*	0,851*	–0,677*	0,381*	1

* Istotnie statystycznie przy $\alpha=0.05$ /Statistically significant at $\alpha=0.05$

1956 (w kolejności od najsilniejszej: piasek, części spławialne i pył, tabela 4). Najsilniejszą korelację ($r=0,977$) uzyskano dla frakcji piasku według PTG 2008/USDA z zawartością piasku według PTG 1956, co jest zbieżne z wynikami Kabały i Marca (2007). Zawartość pyłu PTG 2008/USDA była również silnie, ujemnie skorelowana z zawartością piasku ($r=-0,933$), natomiast silnie i dodatnio z zawartością pyłu ($r=0,803$) i części spławialnych według PTG 1956 (tabela 4).

Metody regresji mogą być przydatne do przypisywania zawartości frakcji PTG 2008/USDA do gatunków gleb – grup granulometrycznych według PTG 1956 uwidocznionych na mapach

glebowo-rolniczych. W niniejszej pracy zastosowano równania uniwersalne, czyli wyznaczone na podstawie wszystkich próbek glebowych zawartych w bazie danych (tabela 5). W metodzie regresji prostej zawartość piasku PTG 2008/USDA obliczono na podstawie zawartości piasku według PTG 1956, a zawartość iłu (PTG 2008/USDA) na podstawie zawartości części spławialnych. Zawartość frakcji pyłu według PTG 2008/USDA została obliczona przez odjęcie obliczonych wcześniej zawartości frakcji piasku i iłu PTG 2008/USDA od 100.

W przypadku regresji wielorakiej zarówno zawartość piasku jak i pyłu PTG 2008/USDA obliczono przy użyciu różnych

Tabela 5

Równania regresji prostej oraz wielorakiej zastosowane do obliczenia zawartości podstawowych frakcji granulometrycznych według PTG 2008/USDA w gatunkach gleb według PTG 1956

Table 5

Equations of simple and multiple regression used to calculate basic soil separates according to PTG 2008/USDA in soil species according to PTG 1956

Metoda Method	Obliczana frakcja granulometryczna Soil separate calculated	Równania regresji Regression equations	R ²
Regresja prosta Simple regression	Piasek/Sand (2,0–0,05 mm) – Y ₁	$Y_1 = 0,95X_1 + 10,3$	0,95
	Pył/Silt (0,05–0,002 mm) – Y ₂	$Y_2 = 100 - (Y_1 + Y_3)$	-
	Ił/Clay (<0,002 mm) – Y ₃	$Y_3 = 0,46X_3 - 0,85$	0,72
Regresja wieloraka Multiple regression	Piasek/Sand (2,0–0,05 mm) – Y ₁	$Y_1 = -5,551 + 1,110X_1 + 0,380X_2$	0,97
	Pył/Silt (0,05–0,002 mm) – Y ₂	$Y_2 = 53,623 - 0,605X_1 + 0,290X_2$	0,89
	Ił/Clay (<0,002 mm) – Y ₃	$Y_3 = -15,047 + 0,670X_3 + 0,165X_1$	0,77

X₁ – Piasek/Sand (1,0-0,1 mm), X₂ – Pył/Silt (0,1-0,02 mm), X₃ – Części spławialne/Fine particles (<0,02 mm)

równań wykorzystujących zawartości piasku i pyłu według PTG 1956 (tabela 5), a zawartość łu – na podstawie zawartości części spławialnych i pyłu według PTG 1956.

Zawartości frakcji granulometrycznych PTG 2008/USDA dla poszczególnych gatunków gleb określone różnymi metodami przedstawia tabela 6. Wartości uzyskane metodą regresji prostej i wielorakiej – liniowej – są opatrzone dodatkowymi oznaczeniami. Litery *a* i *m* oznaczają odpowiednio, że dana wartość pochodząca z regresji jest najbliższa wartości średniej lub mediany. Oznaczenie (*c*) oznacza, że obliczenia metodą regresji wielorakiej dały ujemną zawartość łu. Dotyczyło to 2 gatunków gleb według PTG 1956 (pl i psp, tabela 6). Ujemne zawartości łu zostały skorygowane do 0, ale jednocześnie konieczne było skorygowanie w dół zawartości pyłu, które i tak były wyraźnie wyższe niż wartości odpowiednich średnich i median. Wykrzyknik oznacza, że dana wartość obliczona metodą regresji, chociaż jest najbliższa liczbowo wartości referencyjnej (średniej lub mediany), to różni się od niej znacząco – tj. o 1/10 średniej lub mediany albo więcej. W konsekwencji za najbardziej wiarygodne z matematycznego punktu widzenia można uznać te zawartości frakcji obliczone metodą regresji, które mają dopisane litery *am*, i ich wartości są bardzo bliskie wartościom średnich i median, o ile dany gatunek gleby był wystarczająco licznie reprezentowany w bazie danych. Jednak ocena ta jeszcze nie przesądza o tym, czy dana wartość jest bardziej wiarygodna od średniej lub mediany z bazy danych, gdyż pod uwagę trzeba dodatkowo wziąć liczbę próbek dla danego gatunku gleb, a także inne czynniki, takie jak np. ich pochodzenie geologiczne. Do oceny wiarygodności uzyskanych wyników konieczne jest też skonfrontowanie ich z wynikami innych autorów.

Przy obliczaniu szacowanej zawartości frakcji granulometrycznych według PTG 2008/USDA w grupach granulometrycznych PTG 1956 – wyróżnionych na mapach glebowo-rolniczych (tabela 6), metoda regresji wielorakiej wykazała przewagę nad metodą regresji prostej, gdyż dała ona wyniki bardziej zgodne z wartościami średnimi i medianami w wypadku 13 grup granulometrycznych dla piasku i pyłu oraz 9 grup granulometrycznych w przypadku łu. Jednak dla pgl regresja prosta okazała się skuteczniejsza od wielorakiej dla wszystkich frakcji, w przypadku pgm – dla 2 frakcji (piasku i pyłu) – a dla łu wykazała większą trafność niż regresja wieloraka w odniesieniu do średniej, chociaż nie mediany. Tym samym skuteczność regresji prostej i wielorakiej w szacowaniu zawartości frakcji zależała zarówno od poszczególnych frakcji, jak i od gatunku gleby.

Jeśli chodzi o grupy granulometryczne PTG 1956, to pełną zgodność zawartości frakcji PTG 2008/USDA obliczonych metodą regresji prostej lub wielorakiej z zawartościami średnimi i ich medianami z bazy danych uzyskały tylko *gs*, *gsp* i *pli* (tabela 6). Dla *pgl*, *głp* i *gc* wspomniana zgodność dotyczyła 2 frakcji, a dla trzeciej frakcji zgodność ta dotyczyła średniej albo mediany. Dobrą zgodność bazy danych z zawartościami obliczonymi metodą regresji dotyczącą 2 frakcji uzyskano dla *gl* i *gcp*. Dla *pgm*, *pgmp*, i oraz *ip* uzyskano pełną zgodność tylko dla jednej frakcji i częściową (średnia lub mediana) dla drugiej. Najgorszą zgodność pomiędzy wynikami regresji, a bazą danych uzyskano dla *plp* (żadna frakcja), a także dla *pl*, *ps*, *psp* – czyli głównie utworów bardzo lekkich i *plz*.

Jeśli chodzi o poszczególne frakcje granulometryczne PTG 2008/USDA w gatunkach gleb, to metody regresji prostej lub wielorakiej trafnie, czyli z błędem względnym poniżej 1/10 zawartości średniej lub mediany w bazie, szacowały zawartość piasku – w przypadku 14 grup PTG 1956 (*pl*, *ps*, *psp*, *pgl*, *głp*, *pgmp*, *gl*, *głp*, *gs*, *gsp*, *gcp*, *ip*, *plz* i *pli*). Co więcej, połowiczną trafność oszacowania (zgodność ze średnią) zawartości piasku metodą regresji wielorakiej osiągnięto również dla gliny ciężkiej (*gc*). Zawartość pyłu została obliczona trafnie dla 7 grup granulometrycznych według PTG 1956 (*pgl*, *gs*, *gsp*, *gc*, *gcp*, *i* oraz *pli*), a połowicznie, zgodnie ze średnią lub medianą w 3 grupach PTG 1956 (*pgmp*, *głp*, *ip*). Najmniejszą zgodność z bazą danych wykazała obliczona metodami regresji zawartość łu, gdyż była ona w pełni zgodna tylko dla 6 grup PTG 1956, (*gl*, *głp*, *gs*, *gsc*, *gc*, *pli*), oraz połowicznie zgodna dla 4 grup (*pgl*, *pgm*, *pgmp*, *i*). Innymi słowy, trafność szacowania zawartości frakcji obiema metodami regresji dotyczyła 78% gatunków wg PTG 1956 dla piasku, 37% dla pyłu i 33% dla łu.

3.3. Ocena wiarygodności wyników obliczeń i propozycja wstępnego przypisania udziałów procentowych frakcji wg PTG 2008/USDA w gatunkach gleb wg PTG 1956

Wcześniejsze prace (Drzymała i Mocek, 2004; Kabała i Marzec, 2007; Kobierski, 2010; Orzechowski i Smólczyński, 2010; Róžański, 2010; Jadczyzyn i in., 2016; Stępień i in., 2018), nie podają średnich ani median zawartości frakcji granulometrycznych PTG 2008/USDA dla gatunków gleb wyszczególnianych na mapach glebowo-rolniczych. Dlatego jedynym i pośrednim sposobem porównania wyników tej pracy i wcześniejszych jest sprawdzenie przypisania głównej klasy uziarnienia PTG 2008/USDA uzyskanego w niniejszej pracy z najbardziej powszechnymi klasami USDA, które we wcześniejszych pracach zostały przypisane do gatunków gleb PTG 1956. Zestawienie takie przedstawiono w tabeli 7, w której odpowiednie litery (*A*, *S* lub *M*) wstawiono do komórki oznaczającej tą klasę USDA, do której przypisano by poszczególne grupy granulometryczne według PTG 1956 na podstawie zawartości frakcji USDA określonych w niniejszej pracy (*A* – średnia z bazy danych, *S* – obliczenie metodą regresji prostej i *M* – obliczenie metodą regresji wielokrotnej). Liczby podane w poszczególnych komórkach oznaczają prawdopodobieństwo wystąpienia danej klasy USDA w gatunku PTG 1956 określone na podstawie łącznej liczebności próbek w każdym gatunku wg PTG 1956 zsumowanej ze wszystkich prac wziętych pod uwagę (Drzymała i Mocek, 2004; Kabała i Marzec, 2007; Kabała i Marzec, 2010; Kobierski, 2010; Orzechowski i Smólczyński, 2010; Róžański, 2010 i Stępień i in., 2018).

Pełną zgodność, czyli przypisanie wszystkimi zastosowanymi metodami (*A*, *S* i *M*) danego gatunku gleby do klasy uziarnienia USDA według wszystkich uwzględnionych prac uzyskano dla połowy gatunków gleb według PTG 1956, czyli *pl*, *pgl*, *pgm*, *pgmp*, *gl*, *gc*, *gcp*, *ip* i *pli*. Były to wszystko gatunki gleb o liczbie próbek nie mniejszej niż 19 w posiadanej bazie. Mniejsza zgodność, przy której 2 spośród 3 metod wskazały najbardziej prawdopodobną klasę uziarnienia według USDA, wystąpiła dla: *ps*, *głp* i *plz*, czyli gatunków reprezentowanych przez 47–58 próbek w bazie. Jedna z zastosowanych metod wskazała na najbardziej

Tabela 6
Zawartości frakcji granulometrycznych PTG 2008/USDA w grupach granulometrycznych przedstawionych na mapach glebowo-rolniczych (PTG 1956) według własnej bazy danych próbek glebowych oraz obliczone metoda regresji prostej i wielorakiej

Table 6
The contents of soil separates PTG 2008/USDA in granulometric groups showed on agricultural soil maps (PTG 1956) according to own database of soil samples and calculated using simple and multiple regression

Frakcja granulometryczna / Soil separate PTG 2008/USDA (%)	Piasek / Sand 2,0-0,05 mm		Pył / Silt 0,05-0,002 mm		Il / Clay <0,002 mm	
	Baza danych / Database Stepień et al. 2018	Średnia Mean	Baza danych / Database Stepień et al. 2018	Średnia Mean	Baza danych / Database Stepień et al. 2018	Średnia Mean
Metoda szacowania Method of assessment	Regresja prosta Simple regression	Regresja wielokrotna Multiple regression	Regresja prosta Simple regression	Regresja wielokrotna Multiple regression	Regresja prosta Simple regression	Regresja wielokrotna Multiple regression
Gatunek na mapach glebowo-rolniczych* Soil species on the agricultural soil maps* (liczba próbek w bazie) (number of soil samples in database)						
pl (22)	95,5	96	2,8	2,5	1,7	2
plp (1)	89	89	7	7	4	4
ps (50)	89,7	90	6,3	6,5	4,0	4
psp (2)	79,5	79,5	15,5	15,5	30,10	5
pgl (82)	80,7	81	14,4	14	13,55am	4
pglp (6)	71	70,5	22,8	22	32,55	7
pgm (80)	75,3	75	18,0	19	16,00alm!	6,5
pgmp (19)	64,4	62	29,5	30	35,00	5,4
gl (281)	62,0	61	25,7	25	20,90	11
glp (58)	54,6	55	35,7	35	39,90	10
gs (142)	50,0	51	28,9	27	28,25am	21
gsp (91)	32,5	32	50,0	50	47,25	17
gc (34)	29	28	39,8	40,5	38,66am	31,5
gcp (84)	21,1	20,5	57,6	58	51,00	20
i (10)	8,7	8	52,1	56,5	47,85	33,5
ip (20)	14,1	15	66,7	67,5	58,20	20,5
plz (47)	43,7	45	47,7	47	62,31	8
pł (56)	20,3	22	65,4	66,5	62,69am	15

* - dla objaśnienia skrótów patrz tab. S1/for explanation of the abbreviations see tab. S1.
a - zawartość danej frakcji obliczona daną metodą regresji i najbliższa średniej z bazy danych/the content of particular soil separate calculated with a particular regression method and closest to the average value from database.
a! - dana wartość obliczona metodą regresji jest najbliższa wartości średniej, ale błąd względny przekracza 0,1 tej wartości/the particular value calculated using regression method is the closest to the average, but the relative error exceeds 0,1 of this value.
am - zawartość danej frakcji obliczona metodą regresji jest najbliższa wartości średniej i mediany z bazy/the particular value calculated using particular regression method is the closest to both average and median value from the database, but the relative error exceeds 0,1 of average and median values.
am! - zawartość danej frakcji obliczona metodą regresji jest najbliższa wartości średniej i mediany z bazy, ale błąd względny przekracza 0,1 wartości zarówno średniej, jak i mediany/the particular value calculated using particular regression method is the closest to both average and median value from the database, but the relative error exceeds 0,1 of median value.
alm! - zawartość danej frakcji obliczona metodą regresji jest najbliższa wartości średniej i mediany z bazy, ale błąd względny przekracza 0,1 wartości zarówno średniej, jak i mediany/the particular value calculated using particular regression method is the closest to both average and median value from the database, but the relative error exceeds 0,1 of average and median values.
(c) - zawartość skorygowana, aby uniknąć ujemnej zawartości ilu, która została obliczona metodą regresji wielorakiej/content corrected to avoid negative value of clay content which was calculated with a multiple regression.
m - zawartość danej frakcji obliczona metodą regresji i najbliższa medianie z bazy danych/the content of particular soil separate calculated with a regression method and closest to the median value from database.
m! - oznacza, że dana wartość obliczona metodą regresji jest najbliższa wartości średniej, ale błąd względny przekracza 0,1 wartości/means that particular value calculated using regression method is the closest to the median, but the relative error exceeds 0,1 of this value.

Tabela 7

Główna klasa uziarnienia gleb według USDA i grupa granulometryczna według PTG 2008 oraz określona różnymi metodami (A – średnia z bazy, S – regresja prosta, M – regresja wielokrotna) w niniejszej pracy i prawdopodobieństwo jej występowania (%) w poszczególnych grupach PTG 1956 według znanych badań

Table 7

The main soil texture class according to USDA and granulometric group according to PTG 2008 determined with different methods (A – average from the database, S – simple regression, M – multiple regression) in this paper, and probability of occurrence (%) of the soil texture classes according to USDA in particular soil species of PTG 1956 according to known studies

PTG* 1956	n**	Klasy uziarnienia USDA (grupy granulometryczne PTG 2008)*** Soil texture classes USDA (granulometric groups according to PTG 2008)****													Źródła***** Sources*****		
		h	a-h	S (pl, ps)	LS (pg)	SL (gp, gl)	L (gz)	SCL (gpi)	CL (gi)	SiCL (gpyi)	SiL (pyg, pyi)	Si (pyz)	SC (ip)	C (iz + ic)		SiC (ipy)	
pl	22	1537	ASM 98,1	1,9													a b f g h
plp	1	37	A 54,1	SM 43,2	2,7												a b h
ps	50	606	AM 66,5	S 33,5													a b f h
psp	2	84	11,9	A 83,3	SM 4,8												b h
pgl	82	284	7,4	ASM 87,3	5,3												a b e f h
pglp	6	76		52,6	ASM 47,4												a b d f h
pgm	80	200		42,5	ASM 57,5												a b f h
pgmp	19	89		6,7	ASM 93,3												a b d f h
gl	281	466		0,2	ASM 91,2	2,4	6,2										a b d f h
glp	58	239			AM 77,4	S 15,5	0,8										a b d e f h
gs	142	225			S 24,4	AM 21,3	47,6	6,2									a b d f h
gsp	91	172			SM 32,6	5,2											a b d f h
gc	34	93			6,5	1,1		ASM 48,4	6,5	9,7							a b h
gcp	84	107			4,7	0,9		17,0	6,6	ASM 71,7							b e f h
i	10	130			0,8	AS 30,0											a b d f
ip	20	195			3,6	6,7		16,4		ASM 64,6	1,5						a b c e f h
plz	47	415	1,0	8,7	34,7	A 10,8				SM 44,8							a b c e f h
phi	56	434			7,1	2,5				ASM 88,5	1,9						a b c e f h

czcionka pogrubiona – klasa uziarnienia według USDA o największym prawdopodobieństwie wystąpienia w danej grupie według PTG 1956

bolded – soil texture class according to USDA with the highest probability of occurrence in particular granulometric group according to PTG 1956.

* dla objaśnienia skrótów patrz tab. S1/for explanation of the abbreviations see tab. S1.

** liczba próbek gleby z badań własnych (h) i innych znanych badań (a-g)/number of soil samples from own studies (h) and other, known, studies (a-g)

*** dla objaśnienia skrótów patrz tab. S1 i S2/for explanation of the abbreviations see tab. S1 and S2

**** opracowane na podstawie: Drzymała i Mocek 2004 (a, Kabala i Marzec 2007 (b) (przeliczone z liczby próbek i prawdopodobieństwa, stąd liczba próbek przybliżona), Kabala i Marzec 2010 (c), Kobiński 2010 (d), Orzechowski i Smółczyński 2010 (e), Różański 2010 (f), Jadczyński i in. 2016 (g), Stępień i in. 2018a (h)/elaborated on the base of: Drzymała i Mocek 2004 (a), Kabala i Marzec 2007 (b) (recalculated from the number of soil samples and probability, thus the number of samples is approximated), Kabala i Marzec 2010 (c), Kobiński 2010 (d), Orzechowski i Smółczyński 2010 (e), Różański 2010 (f), Jadczyński i in. 2016 (g), Stępień i in. 2018a (h).

prawdopodobną klasę uziarnienia według USDA w odniesieniu do plp, psp i gsp. O ile słaby wynik nie jest zaskoczeniem dla grup reprezentowanych przez jedną (plp) lub dwie (psp) próbki w bazie, to analogiczna sytuacja dotyczy także gsp, reprezentowanej przez 91 próbek w zestawie danych, czyli więcej niż uwzględniono w innych pracach (tabela 7). W tym wypadku średnia z bazy dla gsp wskazująca na SiL była zgodna z najliczniejszą klasą wskazaną przez Kabałę i Marca (2007), a obie metody regresji wskazały na sąsiednią klasę L, która również była znacząco reprezentowana w zestawie danych obydwu autorów, chociaż mniej niż CL. Najślabszą zgodność, przy której najbardziej prawdopodobna klasa uziarnienia według USDA nie została wskazana przez żadną metodę zastosowaną w niniejszej pracy uzyskano dla pozostałych 3 grup PTG 1956: pglp, gs oraz ił. Piasek gliniasty lekki pylasty (pglp) był reprezentowany tylko przez 6 próbek z 3 regionów, i wszystkie zastosowane metody wskazały na to, że jego głównym odpowiednikiem uziarnienia według USDA jest SL, czyli klasa sąsiadująca z LS, która została wskazana przez innych autorów (Drzymała i Mocek, 2004; Kabała i Marzec, 2007; Kobierski, 2010; Różański, 2010). Jednak prawdopodobieństwo wystąpienia obu klas uziarnienia według USDA w połączonej bazie różni się niewiele i wynosi około 53% dla LS i 47% dla SL. Gлина średnia (gs) była licznie reprezentowana w posiadanym zestawie danych – przez 142 próbki z 4 regionów i 8 miejscowości (tabela 3) – ale mimo to wyniki obliczenia średniej z bazy oraz metodą regresji wielorakiej spowodowały przypisanie tego gatunku gleby do L (gz), a wyniki obliczenia metodą regresji prostej – do SL (gl). Inni autorzy (Drzymała i Mocek, 2004; Kabała i Marzec, 2007; Kobierski, 2010; Różański, 2010) wskazali na SCL jako główny odpowiednik uziarnienia według USDA dla tego gatunku. Co więcej, również we własnym zestawie gs, SCL była najliczniej reprezentowana (54) próbki, ale reprezentacja tego gatunku w sąsiednich klasach była również znaczna (L – 43 próbki, SL – 39 próbek). Dlatego też wyniki własnych obliczeń są, wbrew pozorom, bliskie wynikom innych autorów. Ił (10 próbek w bazie danych) został przypisany do SiCL przez średnią zawartość frakcji w zestawie danych oraz obliczenia metodą regresji prostej i do SiC przy użyciu metody regresji wielorakiej. Jednak najbardziej prawdopodobną klasą uziarnienia według USDA jest C, wskazany bezpośrednio przez Kabałę i Marca (2007, 26 z 45 próbek) i Drzymałę i Mocka (2004, wszystkie 4 próbki). Orzechowski i Smółczyński (2010), bazujący na najliczniejszym zestawie danych (70 próbek iłu według PTG 1956), dotyczącym mad z północno-wschodniej Polski, zaklasyfikowali najwięcej próbek do klas SiCL (27) i SiC (22), podczas gdy po 10 próbek z bazy tych autorów należało do SiL i C. Późniejsza praca Orzechowskiego i in. (2020) dotycząca 5 profili (21 próbek glebowych) wertisoli z Niziny Sępopolskiej wskazuje na C jako najczęściej spotykaną klasę USDA – 9 próbek z 13, podczas gdy pozostałe 4 należały do SiC.

Opisane wyniki wskazują na ogólną zgodność niniejszych badań z wcześniejszymi pracami, co uzasadnia wstępne zaproponowanie przypisania udziału frakcji granulometrycznych w częściach ziemistych według PTG 2008/USDA do gatunków gleb według PTG 1956 (tabela 8, ryc. 4). Przypisanie to zostało dokonane głównie na podstawie wyników z posiadanej bazy danych, ale z takimi modyfikacjami, aby zaproponowana kla-

sa uziarnienia USDA była jak najbardziej zgodna z wynikami innych badań. Dlatego w wypadku niektórych gatunków gleb zaproponowane zawartości frakcji mogą się znacząco różnić od podanych w tabeli 6.

Zaproponowane w Tabeli 8 zawartości frakcji granulometrycznych PTG 2008/USDA umiejscawiają pl w klasie S według USDA, zgodnie z wynikami Drzymały i Mocka (2004), Różańskiego (2010) i Jadczyżyna i in. (2016), a także Kabały i Marca (2007), którzy większość próbek pl z posiadanej bazy (1447 na 1477) zaliczyli do S. Do piasku (S) według USDA zostały również przypisane plp i ps (PTG 1956), co także odpowiada wynikom Drzymały i Mocka (2004), Kabały i Marca (2007) oraz Różańskiego (2010) w odniesieniu do ps. Do klasy uziarnienia LS według USDA (pg według PTG 2008) zostały zaliczone, na podstawie proponowanych zawartości frakcji według PTG 2008/USDA – psp, pgl i pglp. Ta ostatnia grupa została świadomie umieszczona dokładnie na linii rozgraniczenia LS i SL, ponieważ w najliczniejszej reprezentacji pgl liczącej 62 próbki (Kabała i Marzec, 2007), były one równo rozdzielone między obie klasy USDA.

Zawartości frakcji USDA proponowane dla: pgm, pgmp, gl i glp umiejscawiają te gatunki w klasie uziarnienia SL według USDA, zgodnie z wynikami wszystkich uwzględnionych prac. W odniesieniu do gs zaproponowano takie zawartości piasku, pyłu i iłu PTG 2008/USDA, aby grupa ta mieściła się w klasie SCL, zgodnie z wynikami Drzymały i Mocka (2004), Kabały i Marca (2007), Kobierskiego (2010) oraz Różańskiego (2010) i własnymi. Jednocześnie proponowane zawartości tych frakcji umiejscawiają gs bardzo blisko klas uziarnienia SL i L, co również jest zgodne ze wspomnianymi badaniami i bliskie wartości obliczonych (tabela 6). Dla gsp zaproponowano zawartości frakcji zaliczające ten gatunek do klasy uziarnienia L na samej granicy z SiL według USDA, co wynika z własnych wyników i jest bliskie wynikom Kabały i Marca (2007). Proponowane wartości dla gc umieszczają ten gatunek w klasie CL, co jest zgodne z wynikami Kabały i Marca (2007). Dla gcp zaproponowano wartości umiejscawiające ten gatunek gleby w klasie uziarnienia SiL na podstawie badań własnych, bazujących na 84 próbkach pochodzących z 3 regionów. Jest to tylko częściowo zgodne z wynikami innych autorów, w tym Kabały i Marca (2004), którzy z 20 próbek gcp przypisali 11 do CL i 8 do SiL. Ustalenie zawartości frakcji USDA dla grupy iłu według PTG 1956, na podstawie tylko własnej bazy było niemożliwe, ze względu na niewielką liczebność próbek (10) oraz niezgodność z wynikami innych autorów, która została omówiona wcześniej. Dlatego do zaproponowania zawartości frakcji PTG 2008/USDA w grupie iłu (PTG 1956) wykorzystano średnią z badań własnych oraz prac Orzechowskiego i Smółczyńskiego (2010, 5 próbek) oraz Orzechowskiego i in. (2020, 13 próbek), co nadal umiejscawia ten gatunek w klasie uziarnienia SiC, niemniej jednak w bliskim sąsiedztwie C, wskazywanego w pracach Kabały i Marca (2010), Drzymały i Mocka (2004) oraz Orzechowskiego i in. (2020). Warto jednak rozważyć osobne przypisywanie frakcji granulometrycznych PTG 2008/USDA dla iłów (PTG 1956) zależnie od ich pochodzenia, aluwialnego (mady) i zastoiskowego, na co wskazują wstępnie wyniki Orzechowskiego i Smółczyńskiego (2010) oraz Orzechowskiego i in. (2020). Znacznie prostsze okazało się przypisanie frakcji granulometrycznych według PTG 2008/USDA do iłu pylastego (PTG

Tabela 8

Wstępna propozycja przypisania zawartości frakcji granulometrycznych w częściach ziemistych gleb według PTG 2008/USDA do gatunków gleb – grup granulometrycznych według PTG 1956

Table 8

Preliminary proposal of attribution of the content of soil separates in fine earth according to USDA to soil species – granulometric groups according to PTG 1956

Gatunek gleby PTG 1956* (liczba próbek w bazie) Soil species PTG 1956* (number of soil samples in database)	Proponowane zawartości frakcji (%) Proposed contents of soil separates (%)			Grupa granulometryczna wg PTG 2008/klasa uziarnienia USDA** Soil granulometric group according to PTG 2008/ soil texture class USDA**	Główne kryterium ustalenia zawartości frakcji granulometrycznych i inne uwagi Main criterion of attribution of soil separates and other notes
	Piasek Sand 2,0–0,05 mm	Pył Silt 0,05–0,002 mm	łł Clay <0,002 mm		
pl (22)	95	3	2	pl/S	Na podstawie średniej z bazy
plp (1)	(89)**	(8)	(3)	ps/S	Arbitralnie zmodyfikowana wartość z bazy
ps (50)	90	6	4	ps/S	Na podstawie średniej z bazy
psp (2)	(80)	(15)	(5)	pg/LS	Na podstawie średniej z bazy
pgl (82)	82	13	5	pg/LS	Kombinacja średniej z bazy oraz wyników obliczeń metodami regresji
pglp (6)	(74)	(22)	(4)	pg.LS) na granicy gp/SL	Arbitralnie zmienione zawartości średniej z bazy
pgm (80)	75	18	7	gp/SL	Na podstawie średniej z bazy
pgmp (19)	64	30	6	gp/SL	Na podstawie średniej z bazy
gl (281)	62	26	12	gl/SL	Na podstawie średniej z bazy
glp (58)	54	36	10	SL (gl)	Na podstawie średniej z bazy
gs (142)	52	27	21	SCL (gpi)	Średnia z bazy i wyniki obliczeń arbitralnie zmodyfikowane
gsp (91)	32	50	18	gz/L na granicy z pyi/SiL	Na podstawie średniej z bazy
gc (34)	29	40	31	gi/CL	Na podstawie średniej z bazy
gcp (84)	21	58	21	pyi/SiL	Na podstawie średniej z bazy
i (10)	(10)	(43)	(47)	ipy/SiC	Uśrednione wyniki z bazy własnej z wynikami Orzechowskiego i Smółczyńskiego 2010 oraz Orzechowskiego i in. 2020 (18 próbek)
ip (20)	18	60	22	pyi/SiL	Uśrednione wyniki z bazy własnej z wynikami Orzechowskiego i Smółczyńskiego 2010 (27 próbek)
plz (47)	(44)	(48)	(8)	gz/L	Na podstawie średniej z bazy.
pli (56)	(20)	(65)	(15)	pyi/SiL	Należy rozważyć rozdzielenie na utwory pochodzenia wodnego i eolicznego (lessy)

* – dla objaśnienia skrótów patrz tab. S1 i S2/for explanation of the abbreviations see tab. S1 and S2

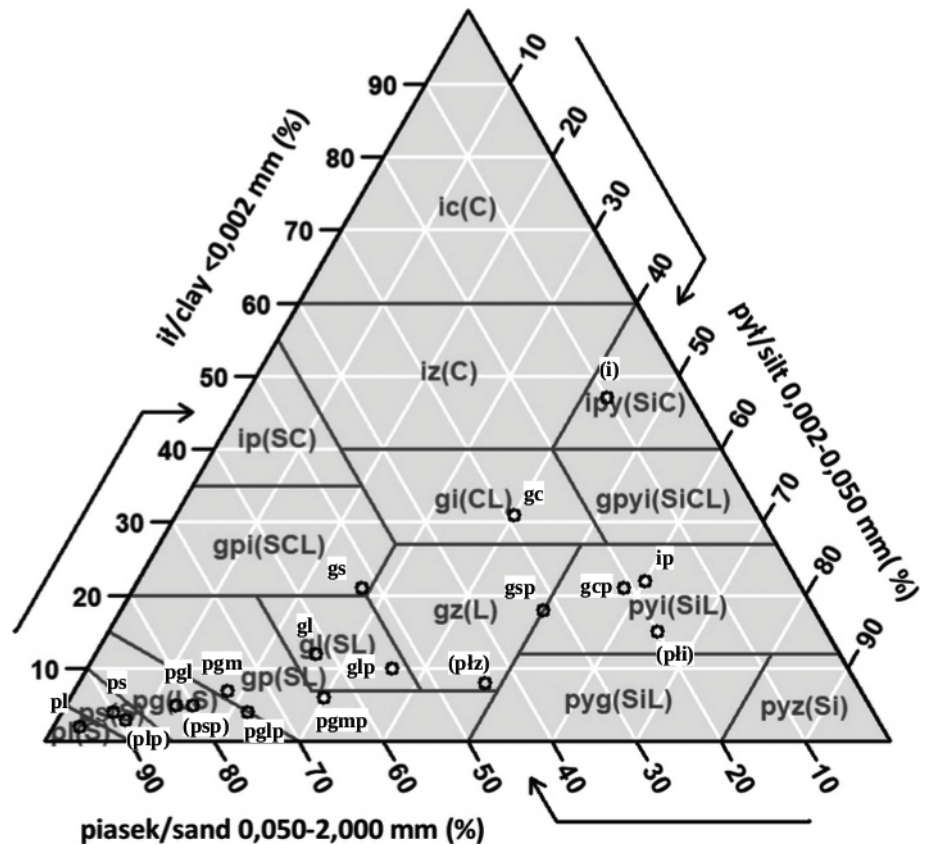
** – wartości w nawiasie oznaczają szczególną potrzebę porównania z szerszą bazą danych lub innymi pracami ze względu na małą ilość danych/the values in parenthesis indicate a particular need for comparison with wider database or other studies due to small quantity of data

1956), gdyż zarówno wyniki własne (20 próbek), jak i bardziej reprezentatywne wyniki innych badań (Kabała i Marzec, 2007 72 próbki oraz Orzechowski i Smółczyński, 2010, 88 próbek) pozwoliły na przypisanie tego gatunku gleby do klasy SiL według klasyfikacji uziarnienia USDA. Również w tym wypadku proponowane zawartości frakcji według USDA są średnią z wyników własnych oraz Orzechowskiego i Smółczyńskiego (2010), którzy podali szczegółowo zawartości tych frakcji dla 27 próbek łu pylastego (PTG 1956).

Zawartości frakcji wg PTG 2008/USDA zaproponowane dla utworów pyłowych zwykłych (plz, PTG 1956) na podstawie własnej bazy próbek, umiejscawiają ten gatunek w klasie uziarnienia L według USDA, czyli znajdującej się na trójkącie Ferrera dla USDA pomiędzy najbardziej prawdopodobnymi (tabela 7) oraz zalecanymi przez Polskie Towarzystwo Gleboznawcze (2009) klasami SL – najliczniej reprezentowanej u Orzechowskiego i Smółczyńskiego (2010) oraz w badaniach własnych i SiL – najliczniej spotykana według Drzymały i Mocka (2004)

Ryc. 4. Graficzne przedstawienie wstępnej propozycji przypisania zawartości frakcji granulometrycznych w częściach ziemistych według PTG 2008/USDA do gatunków gleb – grup granulometrycznych według PTG 1956. Diagram wykonany za pomocą The Soil Texture Wizard (Moeys, 2024)

Fig. 4. Graphic presentation of the preliminary proposal for assigning the content of soil granulometric fractions according to PTG 2008/USDA to soil types – granulometric groups according to PTG 1956. Diagram made with the help of The Soil Texture Wizard (Moeys, 2024)



oraz Kabały i Marca (2007). Rozbieżność ta może wynikać stąd, że wyniki Orzechowskiego i Smółczyńskiego (2010) dotyczą utworów aluwialnych z północno-wschodniej Polski, a badania własne piasków sandrowych (Lućmierz), utworów aluwialnych spod Warszawy (11 próbek) i utworów polodowcowych z Warszawy (10 próbek) oraz Pomorza (2 próbki), czyli sortowanych głównie przez wodę (Stępień i in., 2018). Tymczasem dane Kabały i Marca (2007) dotyczą Dolnego i Górnego Śląska, gdzie częste jest występowanie lessów (Jary i in., 2002; Kabała i Marzec, 2010), pomimo, że nie zawsze są one zaznaczane na mapach jako lessy lub lessy ilaste. Wydaje się, że przy przypisywaniu zawartości frakcji granulometrycznych według PTG 2008/USDA do utworów pyłowych zwykłych (płz) zaznaczonych na mapie glebowo-rolniczej, należałoby zastosować dodatkowe kryterium geologiczne, aby utwory te na terenach pokrytych materiałami pochodzenia wodnego mogły być zaliczane do klasy uziarnienia SL, a te z terenów lessowych – do SiL. Polskie Towarzystwo Gleboznawcze (2009) zaleca rozdzielenie płg (BN-78/9180-11) na podstawie zawartości pyłu grubego (0,1–0,05 mm) na SL (> 20%) i SiL (< 20%), ale takich informacji nie ma na mapach glebowo-rolniczych, a Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50000 jest dostępna publicznie (Rudnicki, 2016). Dla utworu pylastego ilastego zaproponowano zawartości frakcji dla klasy SiL według USDA, co jest zbliżone z wynikami Drzymały i Mocka (2004), Kabały i Marca (2007 i 2010), oraz Różańskiego (2010) i własnymi. Jednak Orzechowski i Smółczyński (2010) więcej próbek pyłów ilastych zaliczyli do klasy L według USDA. Obie klasy sąsiadują ze sobą na trójkącie Ferreta. Warto jednak zwrócić uwagę na pochodzenie geologiczne próbek gleby.

Orzechowski i Smółczyński (2010) badali gleby aluwialne, a badania własne odnoszą się do lessów lub utworów lessowatych (odpowiednio 23 próbki z miejscowości Węgrzce w Małopolsce i, przypuszczalnie, 2 z miejscowości Chociwel na Dolnym Śląsku) oraz mad pod Warszawą (28 próbek z miejscowości Imielin). Dokładne rozdzielenie 263 próbek z pracy Kabały i Marca (2007) na pochodzenia wodnego i eolicznego nie jest możliwe, ale ponieważ pochodzą one z Dolnego i Górnego Śląska to można przypuszczać, że wiele z nich jest pochodzenia eolicznego. W posiadanym zestawie danych próbki pyłu ilastego – lessu z miejscowości Węgrzce charakteryzują się znacznie mniejszą zawartością piasku (4–18% według USDA i 0–1,2% według PTG 1956) niż mady z miejscowości Imielin (16–42% według USDA i 7–24% według PTG 1956). A zatem, osobne przypisanie frakcji USDA zależnie od pochodzenia geologicznego utworu pyłowego ilastego (pli) według PTG 1956 może być uzasadnione. Zapewne właśnie dlatego na etapie tworzenia map glebowo-rolniczych przewidziano osobne gatunki dla lessów i innych utworów pyłowych (odpowiednio ls i li oraz płz i pli) pomimo, że pod względem zawartości części spławialnych były one definiowane tak samo (Bartoszewski i in., 1965). Nie wszystkie mapy glebowo-rolnicze uwzględniają ten podział, dlatego też i mady w miejscowości Imielin mają zaznaczone gatunki gleb według PTG 1956 (np. pgmp, płz, ip), a nie specyficzne dla mad (mady lekkie, średnie, ciężkie i bardzo ciężkie). Wobec powyższego ważnym wydaje się bardziej szczegółowe zajęcie się tym zagadnieniem, czyli porównanie zawartości frakcji wg USDA w różnych utworach pyłowych pochodzenia aluwialnego (głównie mady) i eolicznego (głównie lessy i utwory lessowate).

Podane w tabeli 8 i na ryc. 4 zawartości frakcji granulometrycznych według PTG 2008/USDA przypisanych do grup granulometrycznych PTG 1956 są wstępną propozycją, która wymaga weryfikacji na dużo szerszej bazie danych i uściślenia. Dotyczy to wszystkich gatunków gleb, ale jest szczególnie ważne dla płp, psp, pglp, i, plz i plh. Co więcej, pominięto w tej pracy specyficzne gatunki deluwialne, lessów i mał, które również są spotykane na mapach glebowo-rolniczych. Ze względu na brak danych w niniejszej pracy nie można było również uwzględnić gleb górskich, rędzin i żwirów. W odniesieniu do tych grup gleb – a także innych gleb o wysokiej zawartości części szkieletowych – konieczne są dodatkowe prace.

Najlepszym sposobem przypisywania zawartości frakcji granulometrycznych według PTG 2008/USDA do gatunków gleb zaznaczonych na mapach glebowo-rolniczych wydaje się stworzenie jednolitej, dużej bazy danych obejmującej, różne typy i rodzaje gleb, a także skały macierzyste zlokalizowane w całej Polsce. Ponieważ stworzenie takiej bazy w krótkim czasie jest mało prawdopodobne, potrzebne jest również opracowanie metod wiarygodnego obliczania zawartości frakcji według PTG 2008/USDA dla gatunków gleb przedstawionych na mapach glebowo-rolniczych. Metody regresji liniowej – zwłaszcza wielorakiej – zastosowane w niniejszej pracy wykazały się dobrą przydatnością do przypisania zawartości frakcji PTG 2008/USDA w odniesieniu do większości gatunków według PTG 1956. Jednak w kilku przypadkach metody te dały wyniki nieakceptowalne, np. obliczając ujemne zawartości łu dla gatunków płp i psp wg PTG 1956, reprezentowanych w bazie przez jedną lub dwie próbki. Nawet po odpowiednim skorygowaniu ujemnych wartości, płp został umiejscowiony w klasie uziarnienia LS według USDA, innej niż wskazana przez większość autorów (S), a psp w tej samej klasie, ale w wyraźnie innym miejscu w obrębie tej klasy, niż wynika to ze średniej zawartości frakcji USDA z dwóch próbek. Dlatego wydaje się, że warto przetestować również inne metody obliczeń zawartości frakcji według PTG 2008/USDA – np. wynikające z analizy krzywej uziarnienia (Owczarzak i in. 2014) i osobne obliczenia zawartości tych frakcji dla gleb o różnym pochodzeniu.

5. Wnioski

1. W niniejszym artykule zaproponowano pierwszą, wstępną propozycję przypisania zawartości frakcji ziemistych PTG 2008/USDA do gatunków gleb według PTG 1956 przedstawionych na mapach glebowo-rolniczych. Propozycja ta może być szczególnie przydatna dla terenów nizinnych, obejmujących około 55% powierzchni Polski.
2. Przypisanie to wynika z dostępnej wiedzy na ten temat, ale wymaga dalszej weryfikacji i uściślenia w oparciu o obszerniejszą bazę danych, szczególnie dla regionów i grup gleb słabiej reprezentowanych w dotychczasowych badaniach.
3. Należy rozważyć osobne przypisywanie zawartości frakcji PTG 2008/USDA do utworów pyłowych zwykłych i utworów pyłowych ilastych akumulacji wodnej lub wodno-łodowcowej oraz akumulacji eolicznej, a także dla łułów różnego pochodzenia.

4. Metody regresji liniowej – szczególnie wielorakiej – są przydatne do określania zawartości frakcji granulometrycznych według PTG 2008/USDA w gatunkach gleb według PTG 1956. Trafność szacowania zawartości frakcji obiema metodami regresji prostej lub wielorakiej dotyczyła 78% grupa granulometrycznych PTG 1956 dla piasku, 37% dla pyłu oraz 33% dla łu.
5. Konieczne jest sprawdzenie przydatności innych metod matematycznych – przykładowo krzywej uziarnienia do obliczania zawartości frakcji według PTG 2008/USDA dla gatunków gleb według PTG 1956.

Podziękowania

Napisanie tego artykułu zostało zainspirowane przez dr. Przemysława Kamińskiego (starszy specjalista IT i Baz Danych, Meteo sp. z o.o.) i dr. inż. Jana Szatyłowicza (Katedra Kształtowania Środowiska SGGW w Warszawie).

W artykule wykorzystano wyniki analiz prób glebowych, które w większości zostały wykonane w ramach projektu badawczego POIG.01.03.01-14-041/12 – „BIOPRODUKTY, innowacyjne technologie wytwarzania prozdrowotnych produktów piekarskich i makaronu o obniżonej kaloryczności” współfinansowanego z Europejskiego Funduszu Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna, realizowanego w latach 2013–2015 i kierowanego przez prof. dr. hab. Jana Rozbickiego. W pobieraniu i/lub analizowaniu próbek glebowych brali udział, poza autorami niniejszego artykułu: dr inż. Elżbieta Bodecka, dr inż. Joanna Groszyk, dr inż. Grzegorz Sobczyński, dr hab. Marcin Studnicki, prof. SGGW, dr inż. Magdalena Wijata, a także magistranci zatrudnieni w Projekcie. Autorzy dziękują wszystkim wymienionym osobom.

Próbki glebowe, których wyniki analiz wykorzystano w niniejszym artykule pochodziły z pól lub poletek uprawianych przez AGRO-POLEN sp. z o.o., Farm Frites Poland Dwa sp. z o.o., Kolekcję Roślin Uprawnych Katedry Agronomii, Instytutu Rolnictwa SGGW w Warszawie, Rolniczy Zakład Doświadczalny IUNG w Osinach, Rolniczy Zakład Doświadczalny SGGW Wilanów-Obory, Stacje Doświadczalne lub Zakłady Oceny Odmian (Centralnego Ośrodka Badania Odmian Roślin Uprawnych) w Białogardzie, Chrzęstowie, Lisewie, Lućmierzu, Seroczynie, Tomaszowie Bolesławieckim i Węgrzicach, oraz z gospodarstwa pana Sławomira Ziółkowskiego. Autorzy dziękują wszystkim właścicielom i pracownikom wspomnianych gospodarstw, którzy pomagali przy pracach.

Literatura

- Achasova, A., 2016. A story of one soil map. Modern soil mapping in Ukraine. <http://www.50northspatial.org/story-one-soil-map-modern-soil-mapping-ukraine/> dostęp: 27.06.2024.
- Adamchuk, V.I., Hummel, J.W., Morgan, M.T., Upadhyaya, S.K., 2004. On-the-go soil sensors for precision agriculture. *Computers and electronics in agriculture* 44(1), 71–91. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.03.002>
- Bartoszewski, Z., Czarnowski, F., Dombek, E., Siuta, J., Strzemiński M. (red.), Truskowska, R., Witek, T., 1965. Instrukcja w sprawie wykonywania

- map glebowo-rolniczych w skali 1:5000 i 1:25000 oraz map glebowo-przyrodniczych w skali 1:25000 (tymczasowa). 154 ss.
- Bednarek, R., Dziadowiec, H., Pokojka, H., Prusinkiewicz, Z., 2011. Badania ekologiczno-gleboznawcze. PWN, Warszawa.
- BN 1978. BN-78/9180-11. Gleby i utwory mineralne. Podział na frakcje i grupy granulometryczne. Norma branżowa.
- Buenemann, M., Coetzee, M.E., Kutuahupira, J., Maynard, J.J., Herrick, J.E., 2023. Errors in soil maps: The need for better on-site estimates and soil map predictions. *Plos One* 18(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0270176>
- Canadian Soil Information Service: <https://sis.agr.gc.ca/cansis/index.html> (dostęp: 05.07.2024)
- CBDG – Centralna Baza Danych Geologicznych, PIG-PIB: <https://dm.pgi.gov.pl>
- Czarnowski, F., Truszkowska, R., 1963. Komentarz do tabeli klas gruntów w zakresie bonitacji gruntów ornich terenów równinowych, wyżynnych i nizinnych wraz z regionalnymi instrukcjami gleb ornich terenów górzystych i komentarzami dotyczącymi bonitacji gleb użytków zielonych i gleb pod lasami dla użytku klasyfikatorów i pracowników kartografii gleb. REPRINT wykonany w Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach w 2004 w uzgodnieniu z MRiRW. 468 ss.
- Dobers, E.S., Ahl, C., Stuczynski, T., 2010. Comparison of Polish and German maps of agricultural soil quality using GIS. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 173, 185–197, <https://doi.org/10.1002/jpln.200800317>
- Dobos, E., Białkó, T., Micheli, E., Kobza, J., 2020. Legacy soil data harmonization and database development. Digital Soil Mapping: Bridging Research, Environmental Application, and Operation, 309–323. https://doi.org/10.1007/978-90-481-8863-5_25
- Drzymała, S., Mocek, A., 2004. Uziarnienie różnych gleb Polski w świetle klasyfikacji PTG, PN-R-04033 i USDA. *Roczniki Gleboznawcze – Soil Science Annual* 55(1), 107–115.
- Genetyczna klasyfikacja gleb Polski, 1959. *Roczniki Gleboznawcze – Soil Science Annual* 7(2), 1–103.
- Hartemink, A.E., Sonneveld, M.P., 2013. Soil maps of the Netherlands. *Geoderma* 204, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.03.022>
- ISRIC. Why are soils important? <https://www.isric.org/discover/about-soils/why-are-soils-important> (dostęp: 25.01.2024)
- Jadczyński, J., Niedźwiecki, J., Debaene, G., 2016. Analysis of agronomic categories in different soil classification systems. *Polish Journal of Soil Science* 49(1), 61–72. <http://dx.doi.org/10.17951/pjss.2016.49.1.61>
- Jary, Z., Kida, J., Śnihur, M., 2002. Lessy i osady lessoopochodne w południowo-zachodniej Polsce. *Czasopismo Geograficzne* 73(1–2), 63–100.
- Kabała C., Marzec M., 2007. Niektóre konsekwencje zmiany klasyfikacji uziarnienia gleb. *Roczniki Gleboznawcze – Soil Science Annual* 58(1/2), 33–44.
- Kabała, C., Marzec, M., 2010. Profilowe i przestrzenne zróżnicowanie uziarnienia gleb płowych wytworzonych z lessów w południowo-zachodniej Polsce. *Roczniki Gleboznawcze – Soil Science Annual* 61(3), 52–64.
- Kabała, C., Komisarek, R., Świtoniak, M., Kozłowski, M., 2022. Zgodność legendy jednostek mapy gleb Polski (1:300000), mapy glebowo-rolniczej (i mapy glebowo-siedliskowej z typami Systematyki gleb Polski (2019) w oparciu o analizę profili glebowych. *Soil Science Annual* 73(4). <https://doi.org/10.37501/soilsa/156069>
- Kobierski, M., 2010. Uziarnienie gleb różnych typów wytworzonych z gliny lodowcowej w aspekcie klasyfikacji PTG 2008. *Roczniki Gleboznawcze – Soil Science Annual* 61(3), 65–74.
- Lehmann, J., Bossio, D.A., Kogel-Knabner, I., Rillig, M.C., 2020. The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth Environment* 1, 544–553. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8>
- Łopatka, A., 2017. Europejski monitoring użytkowania gruntów i baza danych projektu LUCAS. *Studia i Raporty IUNG-PIB* 51(5), 73–89.
- Maynard, J.J., Yeboah, E., Owusu, S., Buenemann, M., Neff, J.C., Herrick, J.E., 2023. Accuracy of regional-to-global soil maps for on-farm decision-making: are soil maps “good enough”? *Soil* 9(1), 277–300. <https://doi.org/10.5194/egusphere-2022-246>
- Moey, J., 2024. The soil texture wizard: R functions for plotting, classifying, transforming and exploring soil texture data. CRAN. R-Project, 1–104. https://cran.r-project.org/web/packages/soiltexture/vignettes/soiltexture_vignette.pdf
- Musierowicz, A., 1956. Gleboznawstwo ogólne. PWRiL, 1–500 ss.
- Němeček, J., Kozák, J., 2005. Status of soil surveys, inventory and soil monitoring in the Czech Republic. *Soil Resources of Europe, second edition. European Soil Bureau Research Report* (9), 103–109.
- Orzechowski M., Smółczyński S., 2010. Uziarnienie gleb aluwialnych w krajobrazie deltowym i dolin rzecznych w świetle klasyfikacji PTG i USDA. *Roczniki Gleboznawcze – Soil Science Annual* 61(4), 178–185.
- Orzechowski, M., Smółczyński, S., Kalisz, B., 2020. Physical, water and redox properties of vertisols of the Sępopol Plain in north-eastern Poland. *Soil Science Annual* 71(3), 185–193. <https://doi.org/10.37501/soilsa/124450>
- Owczarzak, W., Dębicki, R., Mocek, A., 2014. Właściwości fizyczne gleb. W: Mocek, A. 2014. *Gleboznawstwo*. PWN Warszawa, 131–188.
- Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, 2009. Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych – PTG 2008. *Roczniki Gleboznawcze – Soil Science Annual* 60(2), 5–16. <https://doi.org/10.37501/soilsa/124450>
- Przyrodniczo-genetyczna klasyfikacja gleb Polski, 1956. *Roczniki Nauk Rolniczych*, 74, seria D, 1–96.
- Richer-De-Forges, A.C., Arrouays, D., Poggio, L., Songchao, C.H.E.N., Lacoste, M., Minasny, B., Minasny, B., Libohova, Z., Roudier, P., Mulder, V.L., Nedelec, H., Martelet, G., Lemerrier, B., Lagacherie, P., Bourennane, H., 2023. Hand-feel soil texture observations to evaluate the accuracy of digital soil maps for local prediction of soil particle size distribution: A case study in Central France. *Pedosphere* 33(5), 731–743. <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2022.07.009>
- Richling, A., 2021. Charakterystyka prowincji i podprowincji. W: Richling A., Solon J., Macias A., Balon J., Borzyszkowski J., Kistowski M. (red.). *Regionalna geografia fizyczna Polski*. Bogucki Wyd. Naukowe, Poznań, 39–65.
- Różański, S., 2010. Skład granulometryczny różnych typów gleb w aspekcie ich genezy oraz zmian w klasyfikacji uziarnienia. *Roczniki Gleboznawcze – Soil Science Annual* 61/3, 100–110.
- Rudnicki, A., 2016. Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy otwiera geologiczny sezam. Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, 2016. <https://www.pgi.gov.pl/aktualnosci/display/8684-panstwowy-instytut-geologiczny-panstwowy-instytut-badawczy-otwiera-swoj-kartograficzny-sezam.html> dostęp: 17.06.2017
- Schoenenberger, P.J., Wysocki, D.A., Benham, E.C. and Soil Survey Staff., 2012. Field book for describing and sampling soils. Version 3.0. National Resources Conservation Service, National Soil Survey Center. Lincoln, NE.
- Smreczak, B., Ukalska-Jaruga, M., Łysiak, M., Strzelecka, J., Niedźwiecki, J., Sobich, D., 2017. Funkcje, jakość i usługi ekosystemowe gleb. *Studia i Raporty IUNG-PIB* 54(8), 9–24.
- SoilGrids2.0: <https://soilgrids.org/> (dostęp: 26.01.2024)
- Stępień, M., Bodecka, E., Gozdowski, D., Wijata, J., Groszyk, J., Studnicki, M., Sobczyński, G., Rozbicki, J., Samborski, S., 2018. Zgodność pomiędzy grupami granulometrycznymi określonymi wg normy BN-78/9180-11 a grupami granulometrycznymi według PTG 2008 i klasami uziarnienia USDA. *Soil Science Annual* 69(4), 223–233. <https://doi.org/10.2478/ssa-2018-0023>
- Strzemski, M., Siuta, J., Witek, T., 1973. Przydatność rolnicza gleb Polski. PWRiL, Warszawa. 288ss.
- Systematyka gleb Polski, 1974. *Roczniki Gleboznawcze – Soil Science Annual* 25(1), 1–148.

- Systematyka gleb Polski, 1989. Roczniki Gleboznawcze – Soil Science Annual 40(3/4), 1–150.
- Systematyka gleb Polski, 2011. Roczniki Gleboznawcze – Soil Science Annual 62(3), 1–193.
- Systematyka gleb Polski, 2019. Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, Komisja Genezy Klasyfikacji i Kartografii Gleb. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, Wrocław–Warszawa, 292 s.
- Świtoniak, M., Charzyński, P. (red.), 2014. Soil sequences atlas. Wydawnictwo naukowe UMK, 214 ss.
- Świtoniak, M., Charzyński, P. (red.), 2018a. Soil sequences atlas II. Wydawnictwo naukowe UMK, 250 ss.
- Świtoniak, M., Charzyński, P. (red.), 2018b. Soil sequences atlas III. Wydawnictwo naukowe UMK, 221 ss.
- Świtoniak, M., Charzyński, P. (red.), 2018c. Soil sequences atlas IV. Wydawnictwo naukowe UMK, 264 ss.
- Świtoniak, M., Charzyński, P. (red.), 2022. Soil sequences atlas V. Wydawnictwo naukowe UMK, 252 ss.
- Vitharana, U.W.A., Saey, T., Cockx, L., Simpson, D., Vermeersch, H., Van Meirvenne, M., 2008. Upgrading a 1/20,000 soil map with an apparent electrical conductivity survey. *Geoderma* 148(1), 107–112. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.09.013>
- Witek, T., 1965. Treść i metody sporządzania wielkoskalowych map glebowo-rolniczych. *Roczniki Gleboznawcze – Soil Science Annual* 15 (dod.), 99–117.
- Witek, T., 1973. Mapy glebowo-rolnicze oraz kierunki ich wykorzystania. Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa. Puławy. PWRiL, Warszawa, 75 ss.

Possibilities of attribution of the content of soil separates according to PTG 2008/USDA to selected granulometric groups of PTG 1956 and distinguished on agricultural soil maps

Keywords

Sand
Silt
Clay
Soil separate
Granulometric group
Agricultural soil map

Abstract

The division of soils into granulometric groups according to the PTG 1956, used on soil-agricultural maps, is incompatible with the USDA classification, the most widespread worldwide, and the new PTG 2008 division based on it. The aim of this study was to propose attribution of the content of soil separates according to the USDA classification to chosen soil species – granulometric groups – according to PTG 1956 division, shown on soil-agricultural maps of Poland. Soil-agricultural maps updated in this way can be used to model the impact of climate change on the environment and agriculture, erosion, and hydrological phenomena within the area of Poland. A dataset of 1085 soil samples from 15 localities and seven provinces of Poland was used to achieve this goal. These samples were classified into 18 granulometric groups according to PTG 1956, and 11 soil texture classes according to the USDA classification – all except silt. For the available dataset of soil samples, the mean and median contents of sand, silt, and clay were calculated for each soil species, according to both the PTG 1956 and PTG 2008/USDA classifications. Universal, simple, and multiple linear regression equations were also developed for estimating soil separates contents according to the PTG 2008/USDA classification, based on known contents of these separates in granulometric groups according to the PTG 1956 classification. The main soil texture class according to PTG 2008/USDA, which can be attributed to each soil species according to the PTG 1956, was determined, which made it possible to relate the results of our research to those of other authors, who also concerned the comparison of soil texture according to the two classifications mentioned above. Based on our research and that of other authors, a preliminary proposal is presented for attributing the content of sand, silt, and clay separates according to PTG 2008/USDA classification to PTG 1956 granulometric groups. It is recommended to verify and improve the presented proposal using, for example, the grain size curve. The universality of the use of the developed methodology could be improved by extending the database of soil samples, particularly with the less represented granulometric groups according to the PTG 1956 classification, such as silty loose sand (plp), silty weakly loamy sand (psp), silty light loamy sand (pglp), clay (i), ordinary silt (plz), and clayey silt (phi). There is also a need for a separate study on specific soil species such as colluviums, alluviums, loesses, rendzinas, mountain soil, and gravels, which are shown on soil-agricultural maps covering more than 10% of Poland's agricultural land. The attribution of sand, silt, and clay separates according to PTG 2008/USDA classification depending on the geological origin of particular soil parent materials, particularly in the case of silts and clays according to PTG 1956, should be considered.