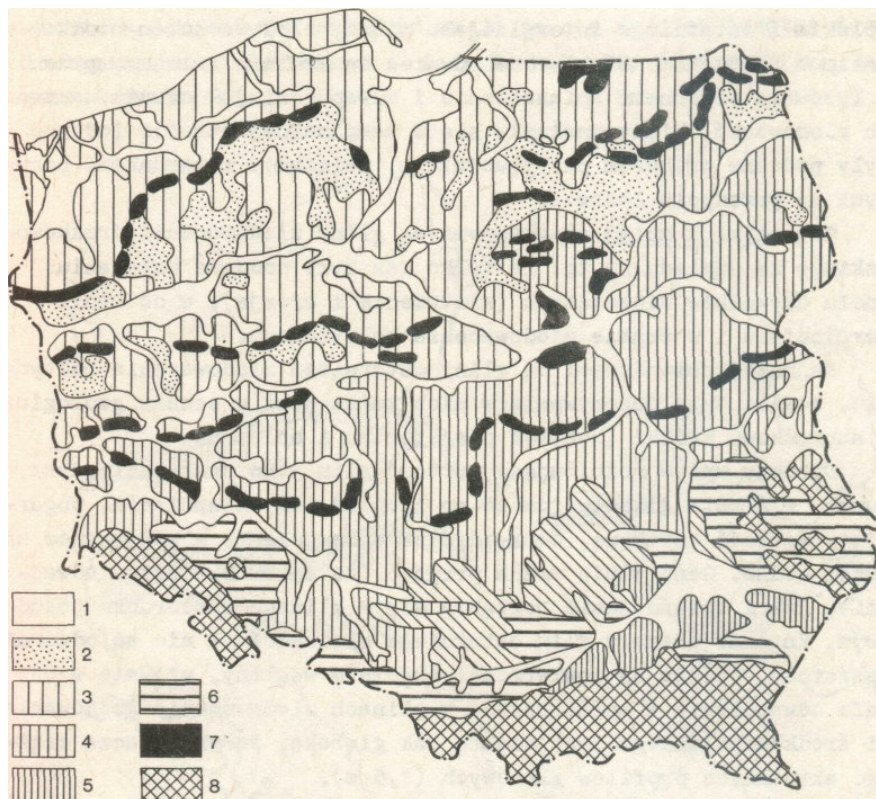


Ćwiczenie nr 1: SKŁAD GRANULOMETRYCZNY GLEB

Zalecana literatura:

- „Geneza, analiza i klasyfikacja gleb” – A. Mocek, S. Drzymala, P. Maszner, Wyd. AR Poznań, 2004
- „Gleboznawstwo” – red. S. Zawadzki, PWRiL, W-wa, 1999, strony 97-104
- „Analityka laboratoryjna gruntów i wód” – B. Korabierwski, Uniwersytet Wrocławski, Wersja 2 z 2005 roku. (Metodyka wybranych analiz), strony 4-14, dostępne on line: http://www.zgf.uni.wroc.pl/dydaktyka/przedmioty/analityka_laboratoryjna.htm
- „Analityka laboratoryjna gleb i roślin” – A. Karczewska, C. Kabała, AR Wrocław, wersja z marca 2005, dostęp on line: <http://www.ar.wroc.pl/~kabala/dydaktyka>
- Polskie normy: PN-R-040032 i PN-R-040033 z 1998 roku
- Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, 2008. Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych 2008. Wrocław-Warszawa, pp.10; http://www.ar.wroc.pl/~kabala/Uziarnienie_PTG_2008.pdf



Rys. 1. Schematyczna mapa dominujących materiałów macierzystych gleb Polski

1 - holocenijska akumulacja rzeczna i jeziorna (piaski, osady pyłowe, torfy), **2** – piaski sandrowe, **3** - gliny i piaski glacialne zlodowacenia bałtyckiego, **4** - utwory akumulacji lodowcowej zlodowacenia środkowopolskiego, **5** – utwory akumulacji lodowcowej zlodowacenia krakowskiego, **6** - utwory lessowe i lessowate, **7** - utwory zastoisowe - głównie iły, **8** - utwory starszych epok geol. Karpaty - głównie flisz, wyżyny - wapienie, opoki, margle, piaskowce, gips; Sudety, Góry Świętokrzyskie, piaskowce, zlepieńce, wapienie, kwarcyty i inne skały metamorficzne

1. Terminologia

Ze względu na warunki depozycji, wśród lądowych osadów polodowcowych stanowiących materiały macierzyste gleb na Niżu Polskim wyróżnić można genetyczne typy osadów:

1. Osady wodno lodowcowe (stratified drift; outwash and melt water sediment)

1A. osady fluwioglacjalne strefy subglacjalnej (słabo obtoczone, grube):

- żwiry (w ozach, kemach)
- piaski (śródglinowe, w ozach i kemach)

1B. osady fluwioglacjalne strefy proglacjalnej (obtroczone, wysortowane, warstwowane, o cechach utworów zastoiskowych)

- piaszczyste (np. sandry)
- pylaste (*glacilacustrine deposits*)
- ilaste (np. iły warwowe; *glacilacustrine deposits*)

2. Osady lodowcowe (tzw. „zwałowe”) - Gliny (Unstratified till)2A. Facja: Glina bazalna (**lodgment till**)

- subfacja: glina z nadkładania
- subfacja: glina z wytapiania
- subfacja: glina deformacyjna (w tym glacitektonity)

2B. Facja: Glina supraglacjalna (**melt out till**)

- subfacja: glina z wytapiania (w tym ablacyjna i sublimacyjna)
- subfacja: glina spływowa (w tym glina proglacjalna)

Ilościowa charakterystyka uziarnienia gleb wymaga wprowadzenia pewnych pojęć:

Skład granulometryczny – jest to stan rozdrobnienia mineralnej części fazy stałej. Jest on wyrażany za pomocą procentowego udziału poszczególnych cząstek mineralnych (frakcji granulometrycznych). Faza stała gleby jest poliheterodispersyjna, gdyż obejmuje cząstki gleby o różnych wielkościach ziaren (polidispersyjna) a zarazem cząsteczki te różnią się składem mineralno-chemicznym (heterodispersyjna).

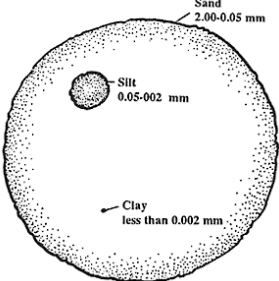
Frakcja granulometryczna – jest to umownie przyjęty zbiór ziaren glebowych mieszczących się w danym przedziale wielkości średnic, wyrażonych w milimetrach. Wyniku różnic w wielkości ziaren jak i innych właściwości chemicznych, frakcje granulometryczne wykazują odmienne właściwości.

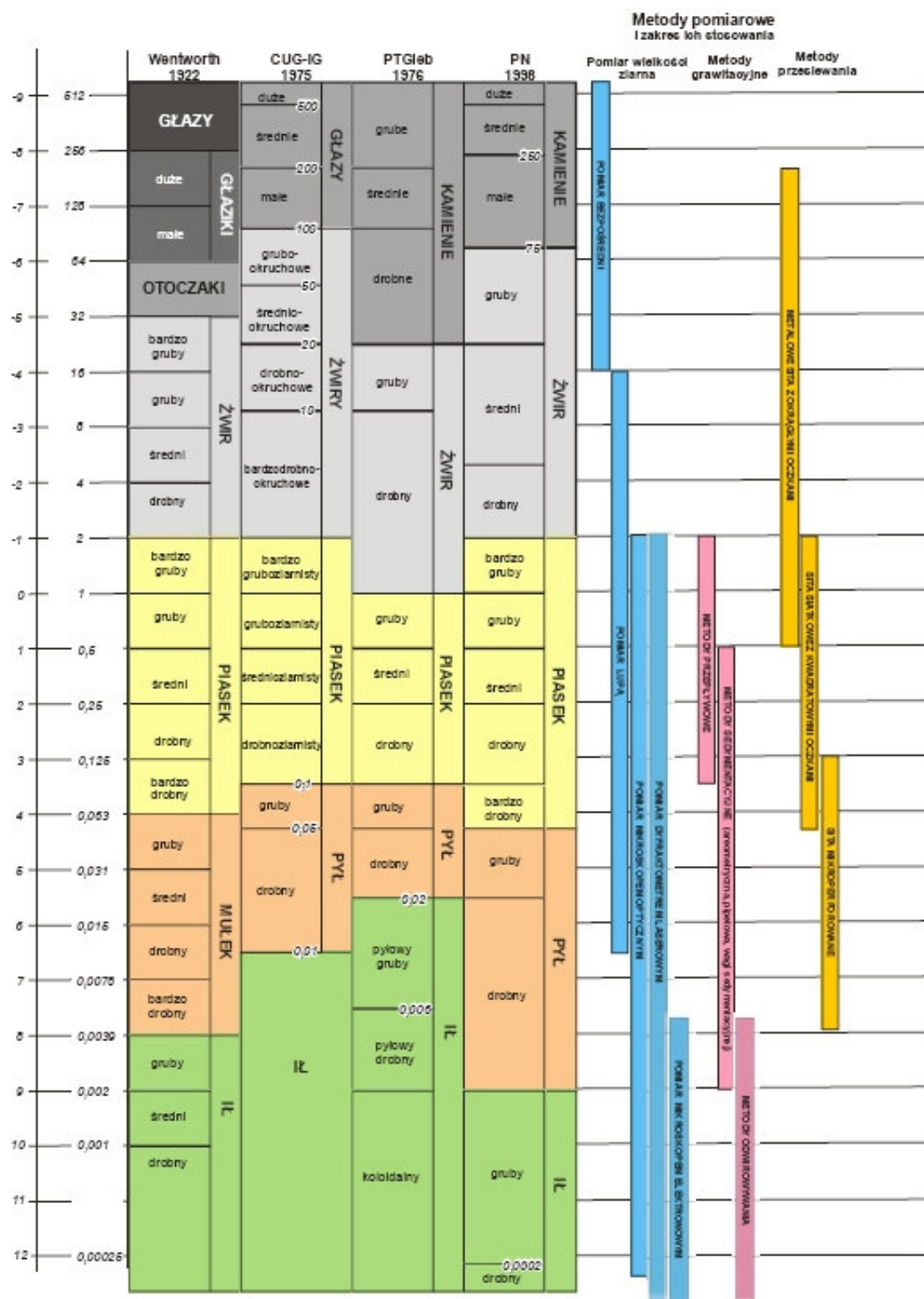
Grupa granulometryczna – jest jednostką podziałową mineralnych utworów glebowych, według względnego udziału części ziemistych o określonych frakcjach granulometrycznych. Grupę granulometryczną i podgrupę wydziela się na podstawie procentowej zawartości frakcji: piasku, pyłu i łu.

Podgrupa granulometryczna – dalszy podział grup granulometrycznych na podstawie zawartości określonych frakcji granulometrycznych, np. *piasek słabo gliniasty*

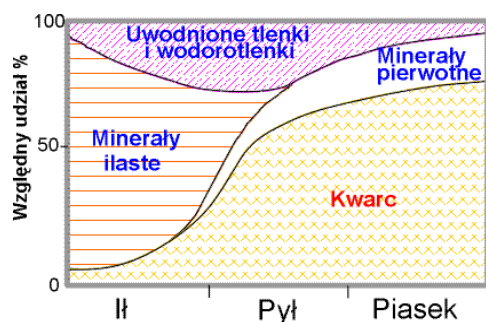
Tabela 1

FRAKCJE GRANULOMETRYCZNE wg PTG 2008

Grupa Frakcji	Frakcje	Wymiary w mm
Części szkieletowe	Blokowa	>600
	Głazowa	200-600
	Kamienista	>75-≤200
	Żwirowa	>2 - ≤75
	gruby	75-20
	średni	20-5
	drobny	5-2
Części ziemiste 	Piaskowa (sand)	2,0-0,05
	bardzo gruby	2,0-1,0
	gruby	1,0-0,5
	średni	0,5-0,25
	drobny	0,25-0,01
	bardzo drobny	0,1-0,05
	Pyłowa (silt)	0,05-0,002
	gruby	0,05-0,005
	drobny	0,005-0,002
	Łłowa (clay)	<0,002
	gruby	0,002-0,0002
	drobny	<0,0002



Rys. 2. Przykłady różnych podziałów na frakcje granulometryczne (cyt za Korabierwskim, Uniw. Wrocławski 2006)

2. Charakterystyka frakcji granulometrycznych

Frakcję piasku i pyłu tworzy głównie kwarc (oraz w mniejszym stopniu pierwotne glinokrzemiany, np. skalenie, miki).

Frakcję ilastą tworzą głównie wtórne glinokrzemiany – **minerały ilaste** powstające w wyniku wietrzenia glinokrzemianów pierwotnych).

Rys. 3 Schemat składu mineralogicznego poszczególnych frakcji granulometrycznych według **Brady i Weil** (1999)

Tabela 2

Powierzchnia właściwa poszczególnych frakcji i składników mineralnych

Frakcja	Średnica (μm)	Powierzchnia właściwa (m ² /g)
Zwir	>2000	<0,0011
Piasek b. gruby	2000-1000	0,0011-0,0023
Piasek gruby	1000-500	0,0023-0,0045
Piasek średni	500-250	0,0045-0,0091
Piasek drobny	250-100	0,0091-0,0227
Piasek b. drobny	100-50	0,0227-0,0454
Pył	50-2	0,0454-1,13
Ił	2	1,13
Cząstki mniejsze od 2 μm:		
Kaolinit ⁴		7-30
Illit ¹		50-200
Vernikult ²		300-500
Montmorylonit ⁴		600-800
Alofany ⁴		100-800
Tlenki Glinu ³		100-220
Tlenki żelaza ³		70-250
Materia organiczna ¹		800-1000

(1 – za **Scheffer i Schachtschabel** 1984, 2 – za **White** 1997, 3 – za **Kämpf i in.** 2000, 4- za **Sparks** 2003)

Tabela 3

Ogólna charakterystyka właściwości frakcji piasku, pyłu i iłu (Brady i Weil** 1999)**

Właściwość	Piasek	Pył	Ił
Średnica (mm)	2-0,05	0,05-0,002	<0,002
Sposób obserwacji	Gołe oko	Lekki mikroskop	Mikroskop elektronowy
Główne typy minerałów	Pierwotne	Pierwotne i wtórne	Wtórne
Wzajemne przyciąganie cząstek	Słabe	Średnie	Silne
Przyciąganie wody	Słabe	Średnie	Silne
Pojemność wodna	Niska	Średnia-Wysoka	Wysoka
Napowietrzenie	Dobre	Średnie	Słabe
Podatność na zagęszczenie	Niska	Średnia	Wysoka
Odporność na zmiany pH	Niska	Średnia	Wysoka
Zdolność do magazynowania	Bardzo niska	Niska	Średnia-wysoka
Podatność na erozję wietrzną	Średnia (zw. Piasek)	Wysoka	Niska
Podatność na erozję wodną	Niska (z.wyj. piasku)	Wysoka	Zależna od stopnia
Konsystencja w stanie	Luźna, krucha	Gładka	Lepka, klejąca
Konsystencja w stanie suchym	Bardzo luźna, krucha	Proszkowa, częś.	Twarde grudki, bryły
Warunki rozwoju korzeni roślin	Dobre	Dobre-Średnie	Trudne
Warunki uprawy	Łatwe	Średnie	Trudne

3. GRUPY GRANULOMETRYCZNE wg PTG 2008

W zależności od procentowej zawartości części szkieletowych wyróżniane są:

- a) bezszkieletowe i bardzo słabo szkieletowe - zawierające < 5% części szkieletowych;
- b) słabo szkieletowe – zawierające 5 - 15% części szkieletowych;
- c) średnio szkieletowe – zawierające 15 -35% części szkieletowych;
- d) silnie szkieletowe – zawierające 35 - 60% części szkieletowych;
- e) bardzo silnie szkieletowe – zawierające 60 - 90% części szkieletowych;
- f) szkieletowe właściwe – zawierające powyżej 90% części szkieletowych.

Podział utworów zwykłych według propozycji PTG (2008)

Tabela 4

Podział gleb i utworów mineralnych na grupy i podgrupy granulometryczne według wagowej procentowej zawartości frakcji piaskowej, pyłowej i ilowej w częściach ziemistych.

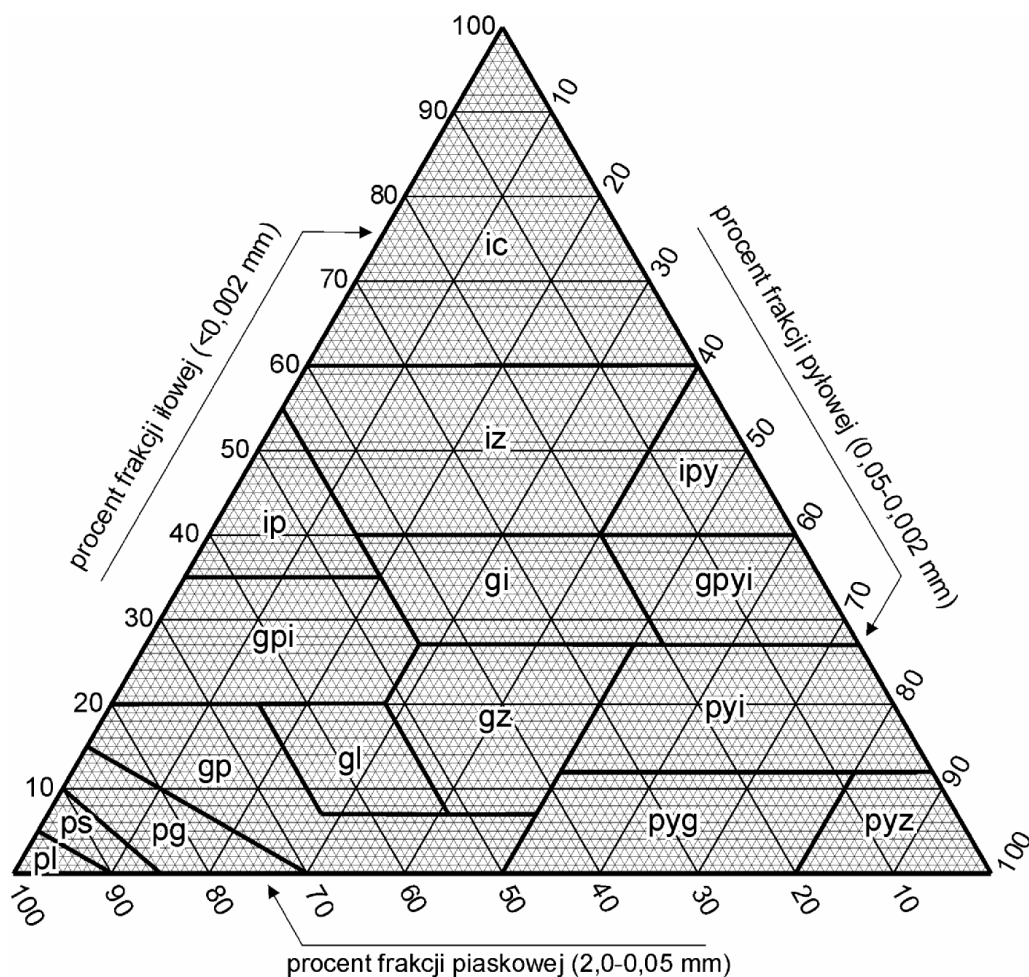
Grupa granulometryczna	Podgrupa granulometryczna	Symbol	Procentowa zawartość (c) frakcji		
			piasku 2,0 - 0,05 mm średnicy	pyłu 0,05 - 0,002 mm średnicy	ilu poniżej 0,002 mm średnicy
Piaski	piasek luźny	pl	$c \geq 90$	$(\%py + 2 \times \%i) \leq 10$	
	piasek słabogliniasty	ps	$85 \leq c < 95$	$(\%py + 2 \times \%i) > 10$ $(\%py + 1,5 \times \%i) \leq 15$	
	piasek gliniasty	pg	$70 \leq c < 90$	$(\%py + 1,5 \times \%i) > 15$ $(\%py + 2 \times \%i) \leq 30$	
Gliny	glina piaszczysta	gp	$65 \leq c < 85$	$(\%py + 2 \times \%i) > 30$	
				$c \leq 35$	$c \leq 20$
				lub	
			$43 \leq c < 65$	$28 \leq c \leq 50$	$c \leq 7$
	glina lekka	gl	$52 \leq c < 65$	$15 < c \leq 41$	$7 < c \leq 20$
	glina piaszczysto-ilasta	gpi	$45 \leq c < 80$	$c \leq 28$	$20 < c \leq 35$
	glina zwykła	gz	$23 \leq c < 52$	$28 < c \leq 50$	$7 < c \leq 27$
	glina ilasta	gi	$20 \leq c < 45$	$15 < c \leq 53$	$27 < c \leq 40$
Pyły	pył gliniasty	pyg	$8 \leq c < 50$	$50 < c \leq 80$	$c \leq 12$
	pył zwykły	pyz	$c < 20$	$c > 80$	$c \leq 12$
	pył ilasty	pyi	$c < 38$	$50 < c < 88$	$12 < c \leq 27$
Iły	ił piaszczysty	ip	$45 \leq c < 65$	$c \leq 20$	$35 < c \leq 55$
	ił pylasty	ipy	$c < 20$	$40 < c < 60$	$40 < c < 60$
	ił zwykły	iz	$c < 45$	$c \leq 40$	$40 < c \leq 60$
	ił ciężki	ic	$c < 40$	$c < 40$	$c > 60$

Tabela 5

Tabela podziału piasków i glin piaszczystych według ziarnistości frakcji piaszkowej

Kategoria ziarnistości	Symbol	Udział (c) podfrakcji w całej frakcji piaszkowej (%)		
		piasek bardzo gruby i gruby 2,0 - 0,5 mm	piasek średni 0,5 - 0,25 mm	piasek drobny i bardzo drobny 0,25 - 0,05 mm
gruboziarniste	gr	$c \geq 25$	$c \leq 50$	$c \leq 50$
średnioziarniste	śr	$c < 50$	$c > 50$	$c < 50$
		lub		
		$c < 25$	$25 < c \leq 50$	$25 < c \leq 50$
drobnoziarniste	dr	$c < 25$	$c < 50$	$c > 50$
bardzo drobnoziarniste	bdr	$c < 25$	$c < 50$	$c > 50^{1)}$
różnoziarniste	rz	$25 \leq c < 50$	$c < 25$	$50 < c \leq 75$

1) W tym podfrakcja piasku bardzo drobnego stanowi ponad 50% całej frakcji piaszkowej.



pl piasek luźny
ps piasek słabogliniasty
pg piasek gliniasty

pyz pył zwykły
pyg pył gliniasty
pyi pył ilasty

gp glina piaszczysta
gl glina lekka
gpi glina piaszczysto-ilasta
gz glina zwykła
gi glina ilasta
gpyi glina pylasto-ilasta

ip ił piaszczysty
ipy ił pylasty
iz ił zwykły
ic ił ciężki

Rys. 4. Diagram podziału utworów mineralnych na grupy i podgrupy granulometryczne

4. METODY OZNACZENIA SKŁADU GRANULOMETRYCZNEGO

W oznaczeniach składu granulometrycznego gleb stosowane są metody:

- sitowa – dla cząstek o średnicy ponad 0,063 mm,
- sedymentacyjne (metoda pipetowa lub areometryczna) – dla cząstek o średnicach od 0,05 mm do 0,002 mm,
- odwirowania – dla cząstek o średnicy poniżej 0,002 mm.

W Polsce metodykę oznaczania składu granulometrycznego gleb reguluje norma PN-04032 z 1998 roku. Zgodnie z normą w częściach ziemistych (<2 mm) metodą areometryczną oznaczana jest procentowa zawartość frakcji pyłu i iłu, a procentowa zawartość poszczególnych podfrakcji piasku oznaczana jest metodą sitową.

4.1. Metody sedymentacyjne

Metody opracowane na podstawie prawa Stokesa, mówiącego, że podczas sedymentacji cząstek o jednakowej gęstości, cząstka większa opada szybciej, oraz że prędkość opadania cząstek wzrasta wraz ze wzrostem ich gęstości, a maleje wraz ze wzrostem lepkości wody (spadkiem temperatury):

$$V = \frac{2}{9} \times g \times \frac{d^2}{4} \times \frac{\rho_s - \rho_l}{\eta} \quad [cm \times s^{-1}]$$

ρ_s – gęstość opadającej cząsteczki gleby [g/cm^3]

ρ_l – gęstość wody [g/cm^3]

η – kinematyczny współczynnik lepkości wody zależny od temperatury [$g/(cm \cdot s)$]

g – przyspieszenie ziemskie [981 cm/s^2]

d – średnica cząsteczki [cm]

$$t = \frac{18h \times \eta}{g \times d^2 \times (\rho_s - \rho_l)} [s]$$

t – czas opadania [s], h – droga opadania cząsteczki [cm]

Założenia do metod sedymentacyjnych – warunki prawidłowego pomiaru:

- Sedymentacja cząstek jest swobodna – ziarna nie zderzają się ze sobą i ściankami naczynia. Efekt ten uzyskiwany jest dzięki małej koncentracji zawiesiny glebowej (około 1%), stosowaniu środków dyspergujących oraz odpowiedniej średnicy cylindra (nie mniejszej niż 6 cm).
- W trakcie sedymentacji temperatura zawiesiny jest stała. Zmiany temperatury powodują zmiany lepkości i gęstości zawiesiny, a w konsekwencji prędkości opadania cząstek.

4.2. Metodyka oznaczenia składu granulometrycznego gleb wg PN 04032 (1998) metodą sitową i areometryczną Bouyoucosa w modyfikacji Casagrande i Prószyńskiego**4.2.1. Przygotowanie próbek do analizy i oznaczenie zawartości części szkieletowych**

Próbka gleby doprowadzana jest do stanu powietrznie suchego, następnie rozcierana w moździerzu. Początkowo agregaty (skupienia ziaren) rozbijane są tłuczkiem szklanym, a następnie – by wtórnie nie rozdrabniać materiału – rozcierane są korkiem gumowym. Materiał przesiewany jest następnie przez sito o oczkach 2 mm w celu oddzielenia części szkieletowych (waga $M_{\phi > 2mm}$) od części ziemistych (waga $M_{\phi < 2mm}$). Rozcieranie prowadzimy do stanu gdy materiał z sita 2 mm rozcierany na dłoni nasadą kciuka (drugiej ręki!) nie rozpada się na drobniejsze cząstki. Procentową zawartość części szkieletowych wyznaczamy ze wzoru:

$$\phi_{>2mm} [\%] = \frac{M_{\phi > 2mm}}{M_{\phi > 2mm} + M_{\phi < 2mm}} \times 100$$

4.2.2 Oznaczenie wilgotności gleby powietrznie suchej- wody higroskopowej

1. Wsuszyć ponumerowane szklane naczynka wagowe (z nakrywkami) w suszarce w 105°C przez około 2 godziny, następnie wstawić je do eksykatora zawierającego CaCl₂ w celu ostudzenia do temperatury pokojowej (około pół godziny).
2. Określić tary poszczególnych naczynek z dokładnością przynajmniej do tysięcznej grama (0,001 g) – wagi T (tary).
3. Wsypywać do kolejnych naczynek naważki ok. 5 ±10 g powietrznie suchej gleby i zważyć naczynka wraz z glebą – wagi M_w.
4. Wsuszyć naczynka (z ucyłonymi wieczkami) w suszarce w temperaturze 105°C przez około 5 godzin, poczym przenieść je eksykatora w celu ostudzenia.
5. Zważyć naczynka z suchą glebą – M₁₀₅.
6. W celu sprawdzenia czy próbki zostały całkowicie wysuszone ponownie wstawić naczynka do suszarki i suszyć przez około 2 godziny w temperaturze 105°C, następnie ponownie wstawić je do eksykatora i zważyć jak powyżej. Dla naczynek których waga nie uległa zmianie można obliczyć wyniki końcowe, dla naczynek których waga uległa zmniejszeniu suszenie i studzenie należy powtarzać aż do osiągnięcia stałej masy – M₁₀₅.
7. Obliczenie zawartości wody higroskopowej w glebie W_h [%]:

$$W_h = \frac{M_w - M_{105}}{M_{105} - T} \times 100$$

8. Wyznaczanie wielkości naważki gleby powietrznie suchej (N_{ps}) – dotyczy głównie gleb ilastych:

$$M_s = N_{ps} = N_s + \frac{w_h \times N_s}{100} = 40 + \frac{w_h \times 40}{100}$$

lub wyznaczenie suchej masy gleby w określonej naważce powietrznie suchej gleby:

$$M_{as} = N_{ps} - \frac{w_h \times N_{ps}}{100} = 40 - \frac{w_h \times 40}{100}$$

4.2.3. Usuwanie węglanów i substancji organicznej – według Karczewskiej i Kabały (2005, zmienione)

Przy dużej zawartości materii organicznej i/lub węglanów wyniki oznaczenia składu granulometrycznego metodą areometryczną, dlatego też w pewnych przypadkach należy przeprowadzić procedurę usuwania tych związków.

Usuwanie węglanów

1. Odważyć naważkę N_{ps} powiększoną o procentową zawartość węglanów, w tym przypadku:

$$M_s = N_{ps} = N_s + \frac{w_h \times N_s}{100} + \frac{\%CaCO_3 \times N_s}{100} = 40 + \frac{w_h \times 40}{100} + \frac{\%CaCO_3 \times 40}{100}$$

2. Naważkę umieścić w zlewce i małymi porcjami dodawać 0,2 M HCl aż do zaniku burzenia.

Usuwanie substancji organicznej

1. Odważyć próbkę suchej gleby o masie 40 g powiększonej o procentową zawartość substancji, w tym przypadku:

$$M_s = N_{ps} = N_s + \frac{w_h \times N_s}{100} + \frac{\%OM \times N_s}{100} = 40 + \frac{w_h \times 40}{100} + \frac{\%OM \times 40}{100}$$

2. Naważkę przenieść do wysokiej zlewki szklanej.
3. Dodać 100 cm³ wody destylowanej i wymieszać.
4. Dodać 100 cm³ 30% H₂O₂ (w dwóch – trzech porcjach) ciągle mieszając zawiesinę. Pozostawić zawiesinę do następnego dnia.
5. Podgrzewać zawiesinę na płycie grzejnej w temperaturze 90°C, gotować przez 1 godzinę, a następnie dodać kolejne 20 cm³ 30% H₂O₂. Jeżeli nadal występuje burzenie po godzinie dodać porcjami kolejne 20-30 cm³ H₂O₂, czynność tę powtarzać aż do zaniku burzenia.
6. Odparować zawiesinę na płycie grzejnej do konsystencji pasty, nie doprowadzać do całkowitego wyschnięcia – zeskorupienia.

Usuwanie węglanów i OM można wykonać w większej naważce, po czym próbkę należy wysuszyć do stałej masy w temperaturze 105°C i z suchej masy odważyć 40 gramów gleby do analizy, w ten sposób zużywana jest jednak większa ilość odczynników.

Odczynniki:

- 0,2 M HCl: 16,4 cm³ stężonego HCl rozpuścić w ok. 0,5 l wody destylowanej w kolbie miarowej o poj. 1000 cm³ i dopełnić do kreski,
- H₂O₂: 30% (stężona)

Podczas suwania węglanów przy Użyciu HCl może dojść do niszczenia minerałów ilastych, stąd bezpieczniej jest zastosować 1N octan sodowy (NaOAc; Dane i Topp, 2002, Met. of Soil Analysis, Part 4, str. 262).

4.2.4. Metoda areometryczna



www.soil.ncsu.edu/services/spsal/



<http://www.atechcenter.com/Images/hydrometer%20pics>

Rys. 5. Sprzęt stosowany w metodzie areometrycznej



<http://www.labtech.com/catalog>



Oznaczenie składu granulometrycznego polega na pomiarze zmian gęstości zawiesiny w trakcie procesu sedymentacji. Pomiar gęstości zawiesiny wykonywany jest areometrem Prószyńskiego, wyskalowanym w taki sposób, że różnice między kolejnymi odczytami wyznacza procentową zawartość frakcji, która osiadła w czasie między odczytami.

1. Odważamy 40 g suchej gleby do zlewki o pojemności 1000 cm³ (N_{ps} lub M_{as})
2. Dodajemy 400 cm³ wody destylowanej a następnie 20 cm³ calgonu (roztwór wodny metazeńsiofosforanu sodu Na₆P₆O₁₈ (35,7g/l) i węglanu sodu Na₂CO₃ (7,94 g/l); peptyzator dodawany w celu rozseparowania cząstek glebowych związanych często przez dwuwartościowe jony Ca i Mg).

3. Zawiesina ta jest mieszana mieszadłem elektryczny przez okres -5 min w piaskach, 10 – w pyłach i glinach, i ponad 15 w iłach i cięższych glinach.
4. Po wymieszaniu zawiesinę ilościowo (w całości) przelewamy do cylindra pomiarowego, spłukując ziarna ze ścianek zlewki przy użyciu tryskawki. Cylinder uzupełniamy wodą destylowaną do objętości 1000 cm³ i pozostawiamy do następnego dnia w celu ustabilizowania temperatury zawiesiny.
5. Przygotowujemy roztwór „Zerowy” – 20 cm³ calgonu uzupełnione wodą destylowaną do 1000 cm³; na każdą rozpoczętą dziesiątkę cylindrów przygotowywana jest kolejna „0” (np. dla serii 24 cylindrów należy wykonać odpowiednio 1+ 3, tj. 4 roztwory „0”).
6. Po ustabilizowaniu temperatury wykonujemy odczyty w roztworach „0” i wyznaczamy wartość średnią.
7. Na podstawie barwy i klarowności zawiesin dzielimy cylindry na grupy granulometryczne. Wykonujemy odczyt IV odpowiadający osiadaniu cząstek o średnicy ponad 0,002mm w celu poprawnego podzielenia cylindrów. Dla poszczególnych grup cylindrów określamy czas odczytu na podstawie pomiaru temperatury i orientacyjnej zawartości frakcji ilastej. Mieszmamy zawiesinę gleby mieszadłem ręcznym przez 1 minutę i chwili wyjęcia mieszadła uruchamiamy stoper. Ewentualne spienienie likwidujemy dodając kilka kropli alkoholu amyłowego, w takim przypadku dodajemy go również do „0”.
8. Wykonujemy odczyt (IV) zgodnie z czasem określonym w tabeli wprowadzając aerometr do zawiesiny na około 30 sekund przed czasem odczytu. Aerometr należy wkładać ostrożnie zapewniając jak najmniejsze balansowanie.
9. Wyznaczamy procentową zawartość frakcji ilastej = Odczyt IV – średni odczyt „0” areometru. Grupujemy cylindry w grupy zgodnie z nagłówkami tabel w PN 04032
10. Dla wyznaczonych grup i zmierzonej temperatury zawiesin ustalamy czasy kolejnych odczytów z tabel zamieszczonych w PN 04032
11. Wykonujemy odczyty jak w pkt. 8
12. Po wykonaniu wszystkich 4 odczytów przystępujemy do analizy sitowej.
13. Interpretacja odczytów areometrycznych
 - a. W chwili wykonywania kolejnych odczytów w zawiesinie nad bańką areometru jest kolejno o jedną frakcję mniej:

I odczyt (około 1` 40")	-	w zawiesinie	brak cz. > 0, 05 mm
II odczyt (około 10`)	-		brak cz. > 0,02 mm
III odczyt (około 3 h)	-		brak cz. > 0,005 mm
IV odczyt (około 19 h)	-		brak cz. > 0,002 mm
 - b. Obliczanie wyników

I odczyt – II odczyt	= % pyłu grubego (0,05-0,02mm)
II odczyt –III odczyt	= % pyłu drobnego 1 (0,02 -0,005 mm)
III odczyt –IV odczyt	= % pyłu drobnego 2 (0,005 -0,002 mm)

I odczyt – IV odczyt ⇒ % pyłu (0,05 -0,002 mm)

IV odczyt – „0” odczyt ⇒ % łu (< 0,002 mm)

100 – (I - „0”) = 100- (Pyłu + łu) ⇒ % piasku (2 – 0,05 mm)

Przykład:

Wartości kolejnych odczytów areometrycznych wynoszą odpowiednio:

I - 83; II - 72; III - 56; IV - 48; „0” - 32.

Oblicz procentową zawartość frakcji piaskowej, pyłowej i łuowej oraz określ grupę granulometryczną.

Obliczenie:

Udział frakcji pyłowej = I - IV = 83 - 48 = 35%

Udział frakcji łuowej = IV - „0” = 48 - 32 = 16%

Udział frakcji piaskowej = 100 - (Pyłu + łu) = 100 - (35+16) = 49 %

lub inaczej

udział frakcji piaskowej = 100-(I-„0”) = 100-(83-32) = 49 %

uziarnienie (PTG 2008): Gлина zwyкла (Gz)

4.2.5 Analiza sitowa

Po wykonaniu pomiarów areometrem próbkę gleby przenosimy na zestaw 4 sit – w kolejności od góry są to średnice 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm i 0,1 mm. Glebę przemywamy pod strumieniem wody. Ziarna piasku pozostałe na każdym z sit splukujemy tryskawką i przelewamy do naczynek (parowniczek). Nadmiar wody zlewamy, a następnie suszymy naczynka w temp. 105°C.



<http://www.benelux-scientific.com>



www.tcreng.com/products/laboratory-software

Rys. 6. Wytrząsarka do przesiewania podfrakcji > 0,063 mm

Po wysuszeniu ważymy naczynia wraz z zawartością ($M_{\phi i}$), następnie oznaczamy tarę naczyń (wagę samych naczyń – T), po czym wyznaczamy procentowy udział poszczególnych podfrakcji piasku ze wzoru [$M_s = 40$ g lub M_{as}]:

$$\text{Udział i-tej podfrakcji (\%)} = [(M_{\text{podfrakcji}} - T) / M_s] \times 100\%$$

W powyższy sposób oznaczone zostaną frakcje piasku o rozmiarach 2-0,1 mm (tj. b.grubego; grubego; średniego i drobnego), frakcja pyłowa (= odczyt I –IV) oraz frakcja ilowa (= odczyt IV – „0”). Nieoznaczona podfrakcja piasku 0,1-0,05 mm wyznaczana jest jako dopełnienie do 100% zgodnie z zapisem:

$$\% \text{ piasku bardzo drobnego (0,1 - 0,05mm)} = 100 - (\Sigma \% 2-0,1\text{mm}) - (I - IV) - (IV - „0”)$$

5. Sposoby przedstawiania wyników oznaczeń składu granulometrycznego gleb

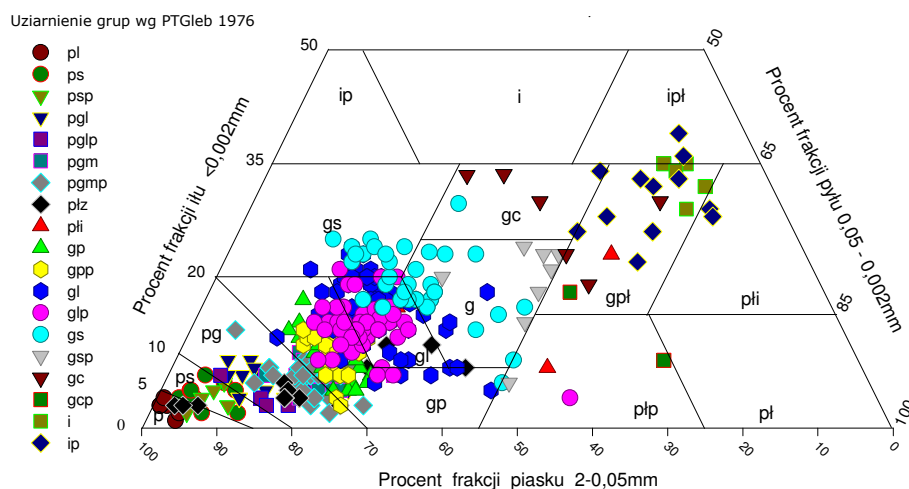
Wyniki oznaczeń składu granulometrycznego gleb przedstawić można w formie zestawień tabelarycznych (tab. 6) lub graficznie na diagramie uziarnienia lub formie krzywej uziarnienia.

Tabela 6

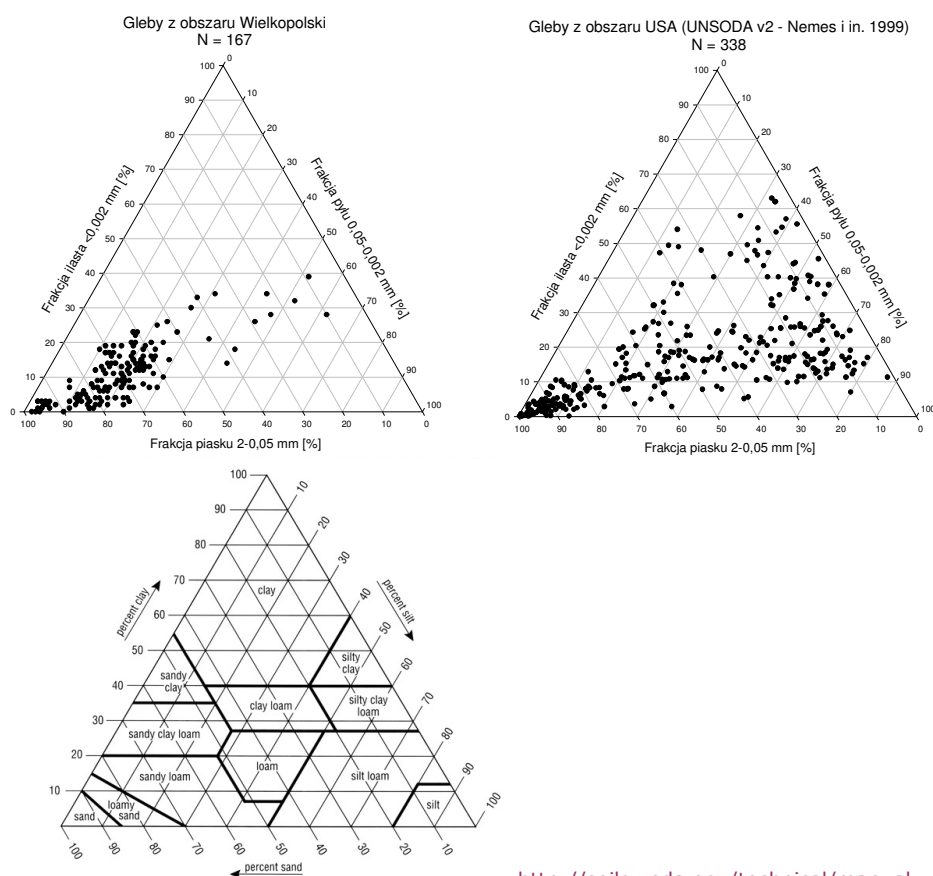
Profil	Poziom genety- czny	Głębokość	%Corg	pH H ₂ O	CaCO ₃	>2 szk											fr. piasku	fr pyłu	fr. ilu	BN 1978	PN 1998	PTG 2008	USDA 1975
							2-1	1-0,5	0,5 - 0,25	0,25 - 0,1	0,1 - 0,05	0,05 - 0,02	0,02 - 0,005	0,005 - 0,002	0,002 - 0,0005	<0,002							
							pbq	pg	pśr	pdr	pbdr	py	py	py	il								
		[cm]	[%]	[-]	[%]	% m.c.	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		
Przybroda k/Poznań - Gleba płowa zaciekowa z poziomem agric																							
305	Ap	0-27	1.32	5.10	0	1.6	1.5	4.7	12.8	29.1	27.9	7	11	3	3	76	21	3	pgmp	pgdr	pgdr	ls	
305	A2	27-39	0.81	5.36	0	7.7	1.0	5.3	14.1	29.2	25.4	8	9	4	4	75	21	4	pgmp	pgdr	pgdr	ls	
305	EA agr	39-50	0.68	5.99	0	2.1	1.2	4.3	13.0	30.4	26.1	8	9	4	4	75	21	4	pgmp	pgdr	pgdr	ls	
305	Eet	50-57	0.38	6.28	0	2.1	2.1	6.3	13.1	30.3	21.2	7	8	4	8	73	19	8	pgmp	gpdr	gpdr	sl	
305	B/E	57-66	0.20	6.47	0	1.9	1.7	4.2	12.3	28.6	19.2	7	9	2	16	66	18	16	glp	gpdr	gpdr	sl	
305	B1tg	66-85	0.11	6.75	0	1.1	1.1	3.9	10.2	25.3	20.5	6	9	2	22	61	17	22	glp	gs	gpi	scl	
305	B2tg	85-91	0	7.34	1.5	1.6	1.5	4.3	10.1	25.4	20.7	5	11	3	19	62	19	19	glp	gl	gl	sl	
305	BCgca	91-115	0	7.51	10.2	2.4	1.3	0.1	10.9	26.0	24.7	6	12	5	14	63	23	14	glp	gl	gl	sl	
305	C1cag	115-140	0	7.85	11.0	2.4	0.9	4.0	11.7	27.0	21.4	7	12	3	13	65	22	13	glp	gl	gpdr	sl	
305	C2cag	140-160	0	7.85	10.9	2.9	2.3	4.5	11.1	27.1	20.0	7	11	4	13	65	22	13	glp	gl	gpdr	sl	
Mady Żuławskie - Orzechowski 1996																							
Jazowa	Ap	15-20	1.02	7.40	0	0	0	0	1.0	15	21	30	20	6	7	37	56	7	plg	plp	pyg	sil	
Jazowa	Bbr	38-43	0.60	7.50	0	0	0	0	0	11	21	33	19	7	9	32	59	9	plg	plp	pyg	sil	
Jazowa	C1	60-65	0.69	7.30	0	0	0	1.0	2.0	12	18	26	21	9	11	33	56	11	pli	plp	pyg	sil	
Bronow.	Ap	10-15	1.07	6.00	0	0	0	0	2.0	15	18	23	17	10	15	35	50	15	pli	plp	gz	l	
Bronow.	A2	30-35	0.86	6.70	0.0	0	0	0	2.0	11	16	27	17	8	19	29	52	19	pli	gpl	pyi	sil	
Bronow.	C1agg	45-50	0.9	7.70	0.0	0	0	0	2.0	18	22	19	12	9	18	42	40	18	pli	a	az	l	

Krzywa uziarnienia stosowana jest głównie z geotechnice i hydrogeologii, w gleboznawstwie nieco rzadziej, z wykresu odczytać można tzw. średnice miarodajne - stosowane do dalszych obliczeń i charakterystyki niespoistych ośrodków porowatych (np. d₂₀ – średnica poniżej której znajduje się 20 % masy gleby, itp).

Na diagramie uziarnienia przedstawić można dużą liczbę próbek w celu ogólnego scharakteryzowania ich uziarnienia, umożliwiając dokonywanie porównań na danych uogólnionych do trzech frakcji (rys. 7).



Rys. 7. Przykład prezentacji składu granulometrycznego na diagramie uziarnienia – relacja między uziarnieniem wg BN PTGleb (1976, szrafury) i PN 04033 (1998, diagram)



Rys. 8. Porównanie uziarnienia gleb z obszary wielkopolski i USA

6. Przykład interpretacji wyników oznaczeń składu granulometrycznego

Na podstawie składu granulometrycznego oszacować można zakres wartości różnych parametrów glebowych.

Tabela 7

Szacunkowe wartości współczynników filtracji różnych utworów glebowych, według **Zawadzkiego i Olszty** (1993; klasyfikacja uziarnienia wg PTGleb 1976).

Utwór glebowy	Współczynnik filtracji K_s ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)
Piasek luźny	$2 \cdot 10^{-2} - 10^{-3}$
Piasek słabo gliniasty	$10^{-2} - 10^{-3}$
Piasek gliniasty	$2 \cdot 10^{-3} - 10^{-5}$
Gлина lekka	$5 \cdot 10^{-4} - 10^{-5}$
Pył zwykły i pył ilasty	$3 \cdot 10^{-4} - 2 \cdot 10^{-5}$
Gлина średnia	$4 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-6}$
Gлина ciężka i il	$7 \cdot 10^{-5} - 3 \cdot 10^{-7}$
Torf słabo lub średnio rozłożony	$10^{-2} - 10^{-4}$
Torf silnie rozłożony	$10^{-4} - 7 \cdot 10^{-6}$

Tabela 8

Przykłady modeli do estymacji właściwości retencyjnych gleb – niezbędne dane wejściowe to skład granulometryczny, gęstość objętościowa oraz zawartości węgla organicznego.

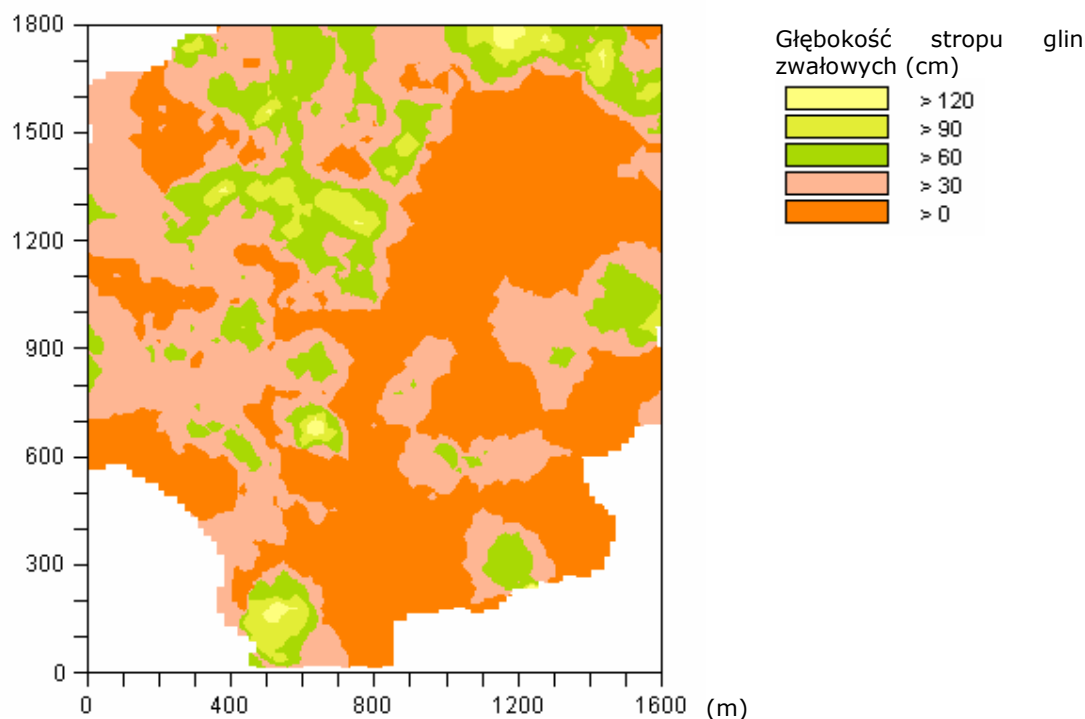
Model	Dane wejściowe	Wynik estymacji	Założenia
Rawls i Brakensiek (1985)	Piasek (50-2000 μm), % il (< 2 μm) % gęstość objętościowa ($\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	Parametry równania van Genuchtena	$m = 1 - 1/n$
Vereecken i in. (1989)	Piasek (50-2000 μm) % il (< 2 μm) % gęstość objętościowa ($\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$) węgiel organiczny (g g^{-1})	Parametry równania van Genuchtena	$m = 1$
Jarvis i in. (1997)	Piasek (50-2000 μm) % il (< 2 μm) % gęstość objętościowa ($\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$) węgiel organiczny (g g^{-1})	Parametry równania Coreya- Brookska	$\theta_r = 0$
Rosetta - Schaap i in. (1998)	Piasek (50-2000 μm) % pył (50 - 2 μm) % il (< 2 μm) % gęstość objętościowa ($\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	Parametry równania van Genuchtena	$m = 1 - 1/n$
Wösten i in. (1999) Model ciągły parametryczny	Pył (20 - 2 μm) % il (< 2 μm) % materia organiczna (%) gęstość objętościowa ($\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	Parametry równania van Genuchtena	$\theta_r = 0$; $m = 1 - 1/n$

Tabela 9

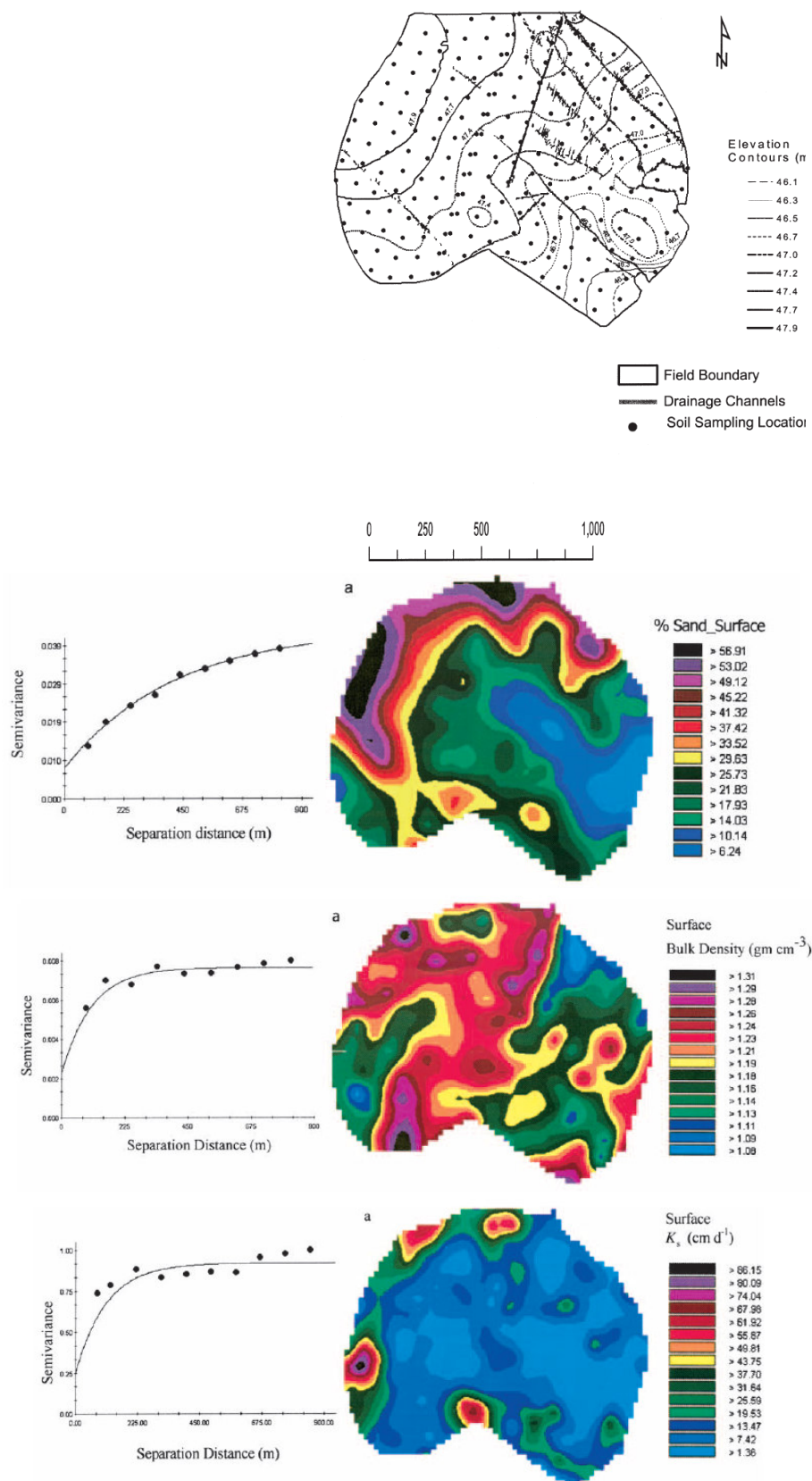
Przykłady modeli (*pedotransfer function*) do oszacowania współczynnika filtracji

Model	Postać zależności dla K_s w $\mu\text{m s}^{-1}$
Brekensiek i in. (1984)	$K_s (\mu\text{m/s}) = 2,78 \times \exp(19,52348 \times \phi - 8,96847 - 0,028212 \times c + 0,00018107 \times s^2 - 0,0094125 \times c^2 - 8,395215 \times \phi^2 + 0,077718 \times s \times \phi - 0,00298 \times s^2 \times \phi^2 - 0,019492 \times c^2 \times \phi^2 + 0,0000173 \times s^2 \times c + 0,02733 \times c^2 \times \phi + 0,001434 \times s^2 \times \phi - 0,0000035 \times c^2 \times s)$
Cosby i in. (1984)	$K_s (\mu\text{m/s}) = 7,056 \times 10^{(-0,6 + 0,012 \times s - 0,0064 \times c)}$
Saxton i in. (1986)	$K_s (\mu\text{m/s}) = 2,78 \times \exp[12,012 - 0,0755 \times s + (-3,895 + 0,03671 \times s - 0,1103 \times c + 0,00087546 \times c^2) / \Theta_s]$ $\Theta_s = 0,332 - 0,0000725 \times s + 0,1276 \times \log c$
Jabro (1992)	$K_s (\mu\text{m/s}) = 2,78 \times 10^{[9,6 - (0,81 \times \log si - 1,09 \times \log c - 4,64 \times \rho_c)]}$
Dane i Puckett (1994)	$K_s (\mu\text{m/s}) = 84,4 \times \exp(-0,144 \times c)$
Schaap i in. (2001)	ANN Rosetta 1.2/2 – dane wejściowe: s, si, c, ρ_c
Minasny McBratney (2002)	ANN Neuro-Theta - dane wejściowe: cs, fs, si, c, ρ_c

s – piasek (%; cs – gruby, fs – drobny); si – pył (%); c – il (%); ρ_c – gęstość obj. gleby suchej (Mg m^{-3}); ϕ – porowatość ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); Θ_s – wilgotność obj. gleby nasyconej wodą ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$);



Rys. 9. Przykład przestrzennego zróżnicowania miąższości utworów piaszczystych w obrębie falistej moreny dennej, Przybroda k/ Poznania (odległości w metrach).



Rys. 10. Przykład zróżnicowania w skali pola zawartości frakcji piasku, gęstości objętościowej i współczynnika filtracji (Iqbal i in. 2005; SSSAJ vol. 65).