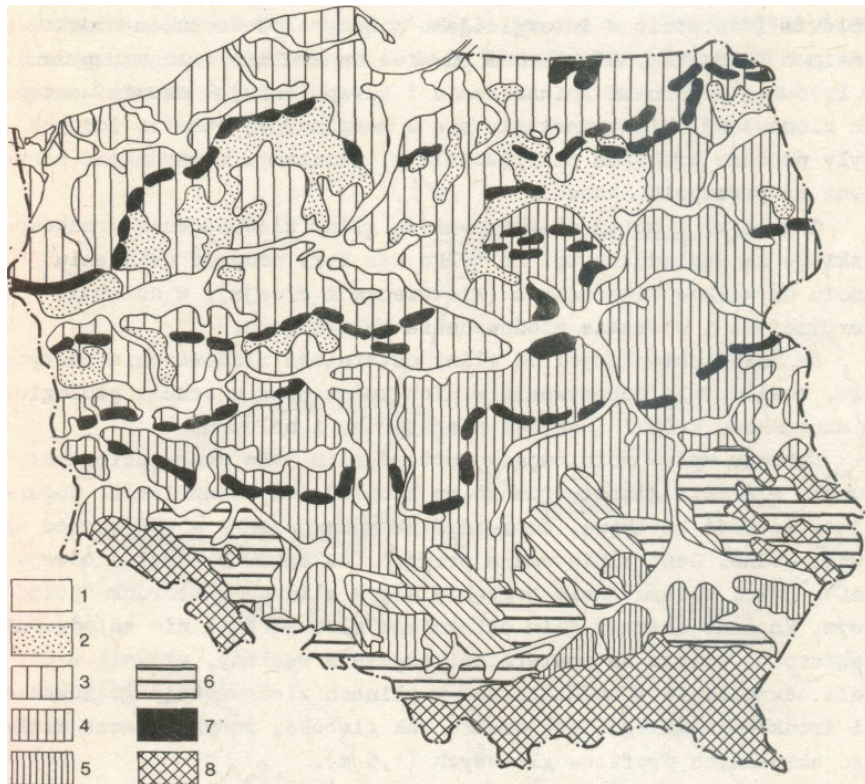


Ćwiczenie nr 1: SKŁAD GRANULOMETRYCZNY GLEB

Zalecana literatura:

- „Geneza, analiza i klasyfikacja gleb” – A. Mocek, S. Drzymała, Wyd. UP Poznań, 2010
- „Gleboznawstwo” – red. S. Zawadzki, PWRiL, W-wa, 1999, strony 97-104
- „Analityka laboratoryjna gleb i roślin”- A. Karczewska, C. Kabała, AR Wrocław, wersja z marca 2005, dostęp on line: <http://www.ar.wroc.pl/~kabała/dydaktyka>
- Polska Norma: PN-R-040032 z 1998 roku
- Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, 2008. Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych 2008. Wrocław-Warszawa, pp.10, http://www.ar.wroc.pl/~kabała/Uziarnienie_PTG_2008.pdf
- <http://www.pedosphere.com/resources/texture>



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 lessopodobne, **7** - utwory zastoiskowe - głównie ropy, **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 lodowcowych stanowiących materiały macierzyste gleb na Niżu Polskim wyróżnić można genetyczne typy osadów:

Osady glacialne (glacial sediments):

- a) **glacifluwalne** (lub fluwioglacjalne), np. sandrów, ozów i kemów; zwykle słabo obtoczone; (*glaciofluvial sediments of sandur=outwash plain, esker, kame*),
- b) **glacilimniczne** np. kemów, ropy warwowe, strefy proglacjalnej (o cechach utworów zastoiskowych, bardziej obtoczone i wysortowane, warstwowane), (*glacilimnic sediments of kame, varves*),
- c) **glacjalne** (niewysortowane, niekiedy określane jako „zwałowe”), np. glina glacialna (bazalna lub sphyłkowa) lub diamikton (*glacial sediments, till=diamicton*).

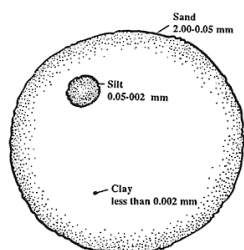
Ilościowa charakterystyka uziarnienia gleb wymaga wprowadzenia pewnych pojęć:

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

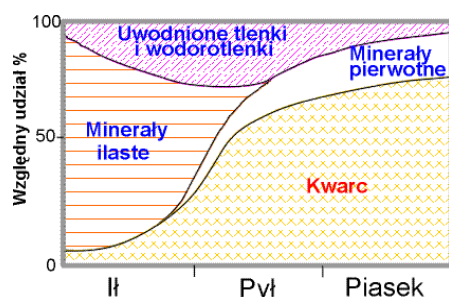
Tabela 1

FRAKCJE GRANULOMETRYCZNE wg PTG 2008

Grupa Frakcji	Frakcje	Wymiary w mm
Części szkieletowe	Blokowa	> 600
	Głazowa	200 - 600
	Kamienista	75 -200
	Żwirowa	2 - 75
	gruba	75-20
	średnia	20-5
	drobna	5-2
Części ziemiste	Piasku (sand)	2,0-0,05
	bardzo gruba	2,0-1,0
	gruba	1,0-0,5
	średnia	0,5-0,25
	drobna	0,25-0,1
	bardzo drobna	0,1-0,05
	Pyłu (silt)	0,05-0,002
	gruba	0,05-0,005
	drobna	0,005-0,002
	Iłu (clay)	<0,002
	gruba	0,002-0,0002
	drobna	<0,0002



2. Charakterystyka frakcji granulometrycznych



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

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

Rys. 2 Schemat składu mineralnego frakcji granulometrycznych według **Brady i Weil** (1999)

Tabela 2

Powierzchnia właściwa poszczególnych frakcji i składników mineralnych

Frakcja	Średnica (µm)	Powierzchnia właściwa (m ² /g)
Żwir	>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: minerały ilaste		
Kaolinit (1:1) ⁴		7-30
Illit (2:1) ¹		50-200
Vernikulit (2:1) ²		300-500
Montmorylonit (2:1) ⁴		600-800
Cząstki mniejsze od 2 µm: inne koloidy mineralne i organiczne		
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 wilg.	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:

- bezszykieletowe i bardzo słabo szkieletowe - zawierające < 5% części szkieletowych;
- słabo szkieletowe – zawierające 5 - 15% części szkieletowych;
- średnio szkieletowe – zawierające 15 -35% części szkieletowych;
- silnie szkieletowe – zawierające 35 - 60% części szkieletowych;
- bardzo silnie szkieletowe – zawierające 60 - 90% części szkieletowych;
- szkieletowe właściwe – zawierające powyżej 90% części szkieletowych.

Podział utworów zwykłych według PTG (2008)

Tabela 4

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

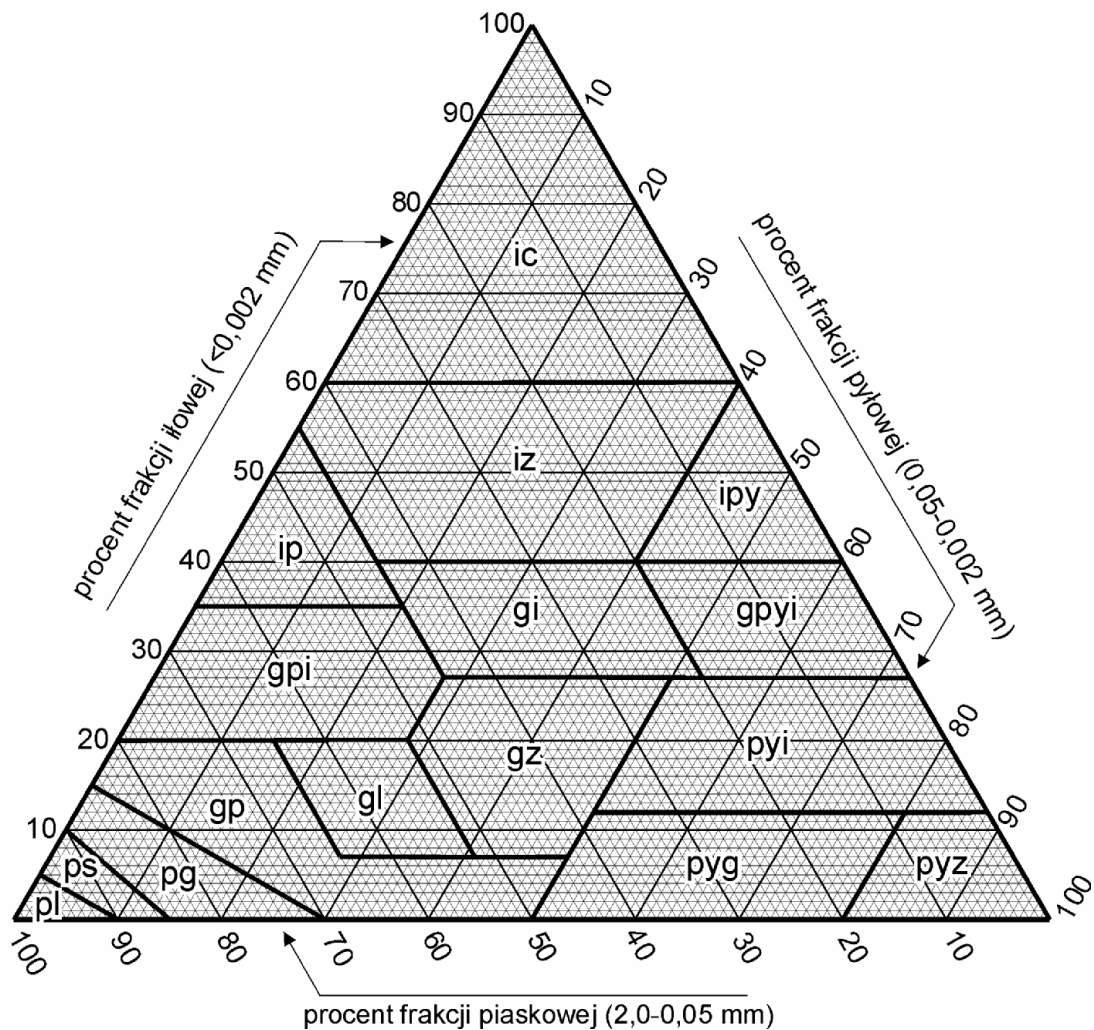
Grupa granulometryczna	Podgrupa granulometryczna	Symbol	Procentowa zawartość (c) frakcji			
			piasku 2,0 - 0,05 mm średnicy	pyłu 0,05 - 0,002 mm średnicy	iłu poniżej 0,002 mm średnicy	
Piaski	piasek luźny	pl	$c \geq 90$	$(\%py + 2 \times \%i) \leq 10$		
	piasek słabogliniasty	ps	$85 \leq c < 95$	$(\%py + 2 \times \%i) > 10$ $(\%py + 1,5 \times \%i) \leq 15$		
	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	$20 \leq c < 45$	$15 < c < 53$	$27 < c \leq 40$	
	glina pylasto-ilasta	gpyi	$c < 20$	$40 < c \leq 73$	$27 < c \leq 40$	
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

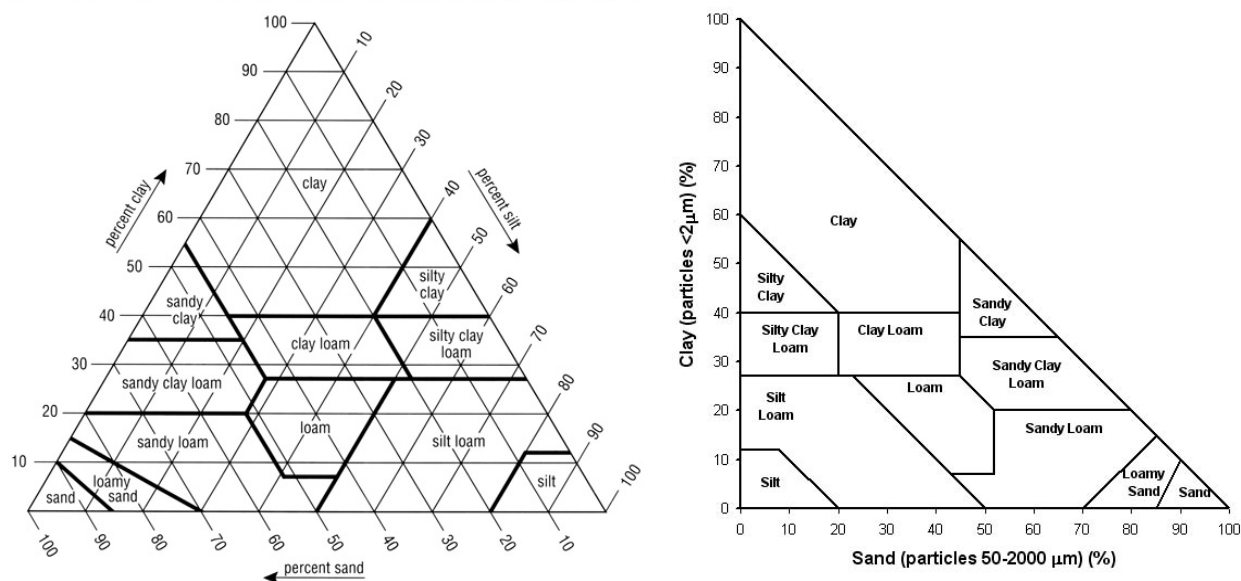
Kategoria ziarnistości	Symbol	Udział (c) podfrakcji w całej frakcji piaszkowej (%)		
		piasek bardzo gruby i gruby 2,0 - 0,5 mm	piasek średni 0,5 - 0,25 mm	piasek drobny i bardzo drobny 0,25 - 0,05 mm
gruboziarniste	gr	$c \geq 25$	$c \leq 50$	$c \leq 50$
średnioziarniste	śr	$c < 50$	$c > 50$	$c < 50$
		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 | gp | głina piaszczysta | ip | ił piaszczysty |
| ps | piasek słabogliniasty | gl | głina lekka | ipy | ił pylasty |
| pg | piasek gliniasty | gpi | głina piaszczysto-ilasta | iz | ił zwykły |
| pyz | pył zwykły | gz | głina zwykła | ic | ił ciężki |
| pyg | pył gliniasty | gi | głina ilasta | | |
| pyi | pył ilasty | gpyi | głina pylasto-ilasta | | |

Rys. 3. Diagram podziału utworów mineralnych na grupy i podgrupy granulometryczne (PTG 2008)



Rys. 4. Diagram uziarnienia według U.S. Department Agriculture 1975 (tzw. USDA 1975)

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 0,05mm 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 (<math> < 2 \text{ mm}</math>) 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 (1851 r.), 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):

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

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

ρ_l - gęstość wody [g/cm^3]

η - kinematyczny współczynnik lepkości wody zależny od temperatury [$\text{g}/(\text{cm} \cdot \text{s})$]

g - przyspieszenie ziemskie [$981 \text{ cm}/\text{s}^2$]

d - średnica cząsteczki [cm]

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

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 cząsteczek.

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 moździerz. 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 2mm 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. Wysuszyć 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. Wysuszyć naczynka (z uchylonymi wieczkami) w suszarce w temperaturze 105°C przez około 5 godzin, poczyniwszy 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

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

Użycie HCl może powodować rozkład części minerałów ilastych, dlatego proces ten należy wykonać przy użyciu roztworu 1N octanu sodowego o pH=5 (**Dane i Topp, 2002**, Met. of Soil Analysis, Part 4, str. 262).

1. Do wysokiej zlewki o pojemności 600 ml Odważyć naważkę N_{ps} powiększoną o procentową zawartość węglanów, w tym przypadku:

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

2. Dodać 300 ml 1N $NaC_2H_3O_2$ (octanu sodu) o pH =5 i zamieszać.
3. Zawartość zlewki podgrzewać na płycie grzejnej w temperaturze 70-80 °C przez 15 min (do zaniku uwalniania pęcherzyków CO_2), od czasu do czasu mieszając, po czym zdjąć z płyty i pozostawić do ostygnięcia.
4. Klarowną płyn nad osadu należy usunąć przy użyciu pipety automatycznej.
5. Sprawdzić czy próbka w zlewce wykazuje burzenie w reakcji z kroplą 10 % HCL, w przypadku burzenia powtórzyć czynności z pkt. 2-5 aż do usunięcia wszystkich węglanów, przy braku reakcji kontynuować.
6. Do zlewek dodawać po około 50 ml wody dejonizowanej i lekko zamieszać. Jeśli płyn nad osadem jest klarowny zdjąć nadmiar przy użyciu pipety automatycznej. Jeśli płyn nie jest klarowny należy odwirować zawiesinę.
7. W celu odwirowania przenieść zawiesinę do plastikowego naczynia wirówkowego o pojemności 120 ml (w razie potrzeby wyrównywać poziom napełnienia naczyń dodając wody) i wirować przez 10 minut z prędkością około 1200 obr./min. Jeśli ciecz jest klarowna zlać, jeśli mętna dodać 1-5 kropli nasyconego NaCl i ponownie odwirować.
8. Przystąpić do procedury usuwania materii organicznej lub dyspersji mechanicznej.

Odczynniki:

- 1N $NaC_2H_3O_2$ (octan sodu) – rozpuścić 680,4 g $NaC_2H_3O_2$ w 4 litrach wody dejonizowanej, aż do w celu uzyskania pH=5 dodawać stężonego $H_2C_2H_3O_2$ (kwasu octowego, ok. 150 ml), po osiągnięciu pH=5 uzupełnić wodą do objętości 5 litrów i ponownie zmierzyć i ewentualnie wyrównać pH.

Usuwanie substancji organicznej

1. Odważyć próbkę suchej gleby powiększoną o procentową zawartość substancji (lub próbkę po usunięciu węglanów) tj.:

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

2. Naważkę przenieść do wysokiej zlewki szklanej (600 ml).
3. Dodać 50 cm³ wody destylowanej i wymieszać.
4. Mieszając zawiesinę dodać 100 cm³ 30% H_2O_2 (w dwóch lub trzech porcjach) i pozostawić do następnego dnia.
5. Podgrzać zawiesinę na płycie grzejnej do temperatury 90°C, gotować przez 1 godzinę, po czym dodać kolejne 20 cm³ 30% H_2O_2 . Jeżeli burzenie nadal występuje po godzinie dodać porcjami kolejne 20-30 cm³ H_2O_2 , czynność powtarzać aż do zaniku burzenia.
6. Odparować zawiesinę do konsystencji pasty na płycie grzejnej lub w suszarce laboratoryjnej ustawionej na 45°C, nie dopuścić do całkowitego wyschnięcia, tj. zaskorupienia.

Odczynniki:

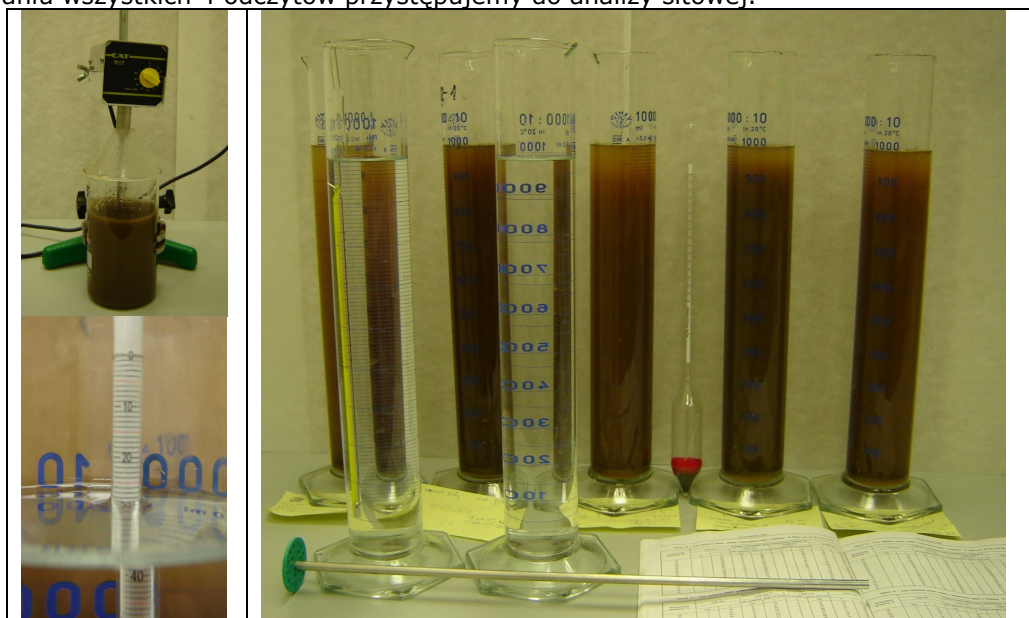
- 0,2 M HCl: 16,4 cm³ stężonego HCl rozpuścić w ok. 0,5 l wody destylowanej w kolbie miarowej o poj. 1000 cm³ i dopełnić do kreski,
- H_2O_2 : 30% (stężona woda utleniona)

4.2.4. Metoda areometryczna

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.

Wykonanie oznaczenia:

1. Odważamy 40 g suchej gleby do zlewki o pojemności 1000 cm³ (N_{ps} lub M_{as})
2. Dodajemy 300 cm³ wody destylowanej po czym 20 cm³ calgonu (roztwór wodny metasześcioletku sodu Na₆P₆O₁₈ (35,7g/l) i węglanu sodu Na₂CO₃ (7,94 g/l); (peptyzator dodawany w celu rozseparowania cząstek glebowych, często wiązanych przez dwuwartościowe jony Ca i Mg).
3. Zawiesina ta jest mieszana mieszadłem elektrycznym przez 5 min. w piaskach, 10 min. w pyłach i glinach, i ponad 15 min. w łąkach 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 przygotowana 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 osiadowaniu 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. Mieszamy zawiesinę gleby mieszadłem ręcznym przez 1 minutę i chwili wyjęcia mieszadła uruchamiamy stoper. Ewentualne spienienie likwidujemy dodając kilka kropli alkoholu amylowego, w takim przypadku dodajemy go również do „0”.
8. Wykonujemy odczyt (IV) zgodnie z czasem określonym w tabeli wprowadzając areometr do zawiesiny na około 30 sekund przed czasem odczytu. Areometr należy wkładać ostrożnie zapewniając jak najmniejsze balansowanie.
9. Wyznaczamy procentową zawartość frakcji ilowej = 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.



Rys. 4. Sprzęt stosowany w metodzie areometrycznej

13. Interpretacja odczytów areometrycznych

- a. W chwili wykonywania kolejnych odczytów w zawieszynie nad bańką areometru jest kolejno o jedną frakcję mniej (czasy odczytów w temperaturze pokojowej):

I odczyt (około 1` 40")	- w zawieszynie	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)

% f.pyłu (0,05 -0,002 mm) = I odczyt – IV odczyt
% f.iłu (< 0,002 mm) = IV odczyt – „0”
% f.piasku (2 – 0,05 mm) = 100 – (I - „0”) = 100- (%pyłu + % iłu)

Przykład:

Wartości kolejnych odczytów areometrycznych wynoszą odpowiednio: I - 83; II - 72; III - 56; IV - 48; „0” - 32. Oblicz procentową zawartość frakcji piasku, pyłu i iłu oraz określ grupę granulometryczną.

Obliczenie:

Udział frakcji pyłu = I - IV = 83 - 48 = 35%
Udział frakcji iłu = IV - „0” = 48 - 32 = 16%
Udział frakcji piasku = 100 - (Pył + Ił) = 100 - (35+16) = 49 %
lub inaczej udział frakcji piasku = 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.



Rys. 5. Wyrząsarka do przesiewania podfrakcji > 0,063 mm

Po wysuszeniu ważymy naczynia wraz z zawartością (M_{φi}), 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 iłowa (= odczyt IV – „0”). Nieoznaczona podfrakcja piasku 0,1-0,05 mm wyznaczana jest jako dopełnienie do 100% zgodnie z zapisem:

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

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.

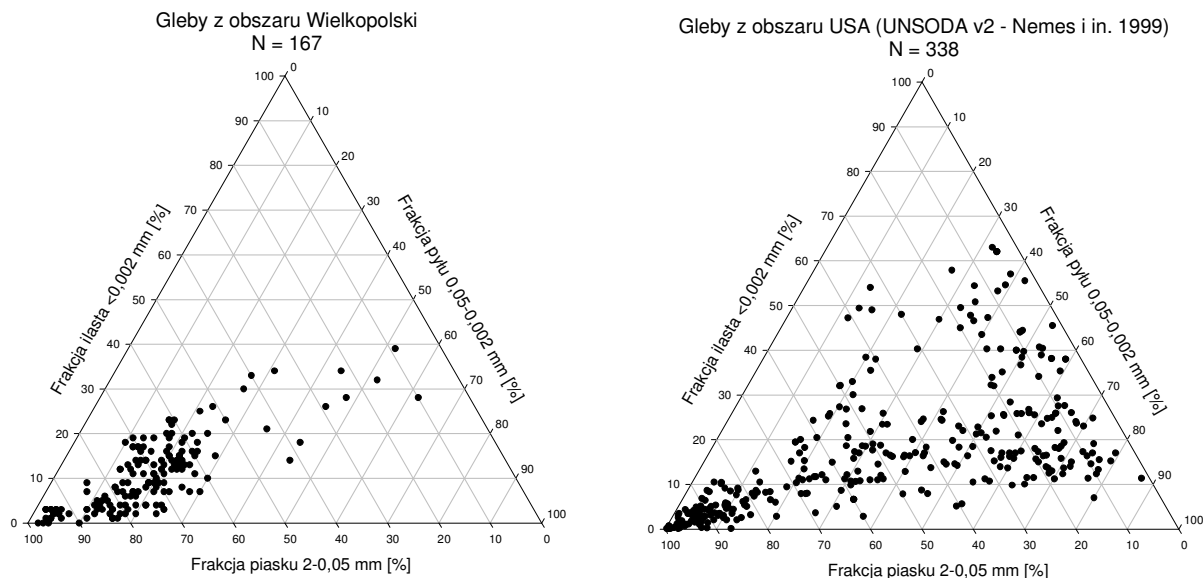
Tabelaryczne zestawienie wyników oznaczeń składu granulometrycznego gleb

Tabela 6

Profil	Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	%Corg [%]	pH H ₂ O [-]	CaCO ₃ [%]	>2 szk [% m.c.]	Skład granulometryczny [%]											fr. piasku [%]	fr. pyłu [%]	fr. ilu [%]	BN 1978	PN 1998	PTG 2008	USDA 1975
							2-1 pbg [%]	1-0,5 pg [%]	0,25-0,1 psr [%]	0,25-0,1 pdr [%]	0,1-0,05 pbdr [%]	0,05-0,02 py [%]	0,02-0,005 py [%]	0,005-0,002 il [%]	<0,002 il [%]									
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	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	plf	plp	pyg	sil		
	Bronowc Ap	10-15	1.07	6.00	0	0	0	0	2.0	15	18	23	17	10	15	35	50	15	plf	plp	gz	l		
	Bronowc A2	30-35	0.86	6.70	0.0	0	0	0	2.0	11	16	27	17	8	19	29	52	19	plf	gpl	pyi	sil		
	Bronowc C1gg	45-50	0.9	7.70	0.0	0	0	0	2.0	18	22	19	12	9	18	42	40	18	plf	g	gz	l		

Krzywa uziarnienia. Stosowana głównie w geotechnice i hydrogeologii, z wykresu krzywej uziarnienia (dystrybuanty rozkładu rozmiarów cząstek) wyznaczane są między innymi tzw. średnice miarodajne stosowane do dalszych obliczeń i charakterystyki niespoistych ośrodków porowatych (np. d₂₀ – średnica poniżej której znajduje się 20 % masy gleby, itp).

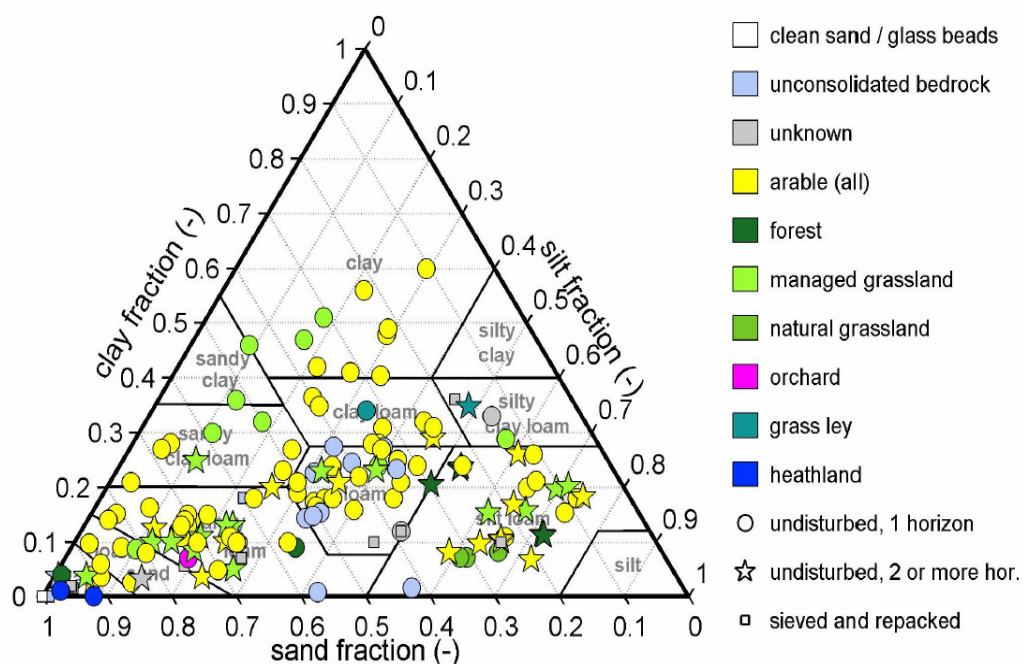
Diagram Uziarnienia. Na diagramie uziarnienia przedstawić można dużą liczbę próbek w celu ogólnego scharakteryzowania ich uziarnienia, umożliwia dokonywanie porównań na danych uogólnionych do trzech frakcji (rys. 7).



Rys. 6. Porównanie uziarnienia gleb z obszaru Wielkopolski i USA

6. Przykład interpretacji wyników oznaczeń składu granulometrycznego

Na podstawie składu granulometrycznego oszacować można zakres wartości różnych parametrów glebowych, między innymi: powierzchni właściwej, współczynnika filtracji i właściwości retencyjnych gleb.



Rys. 7. Porównanie uziarnienia gleb różnie użytkowanych (Koestel i in., 2012, Hydrol. Earth Syst. Sci., 16, 1647–1665)

Tabela 7

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

Utwór glebowy	Współczynnik filtracji Ks (cm · s ⁻¹)
Piasek luźny	2 · 10 ⁻² - 10 ⁻³
Piasek słabo gliniasty	10 ⁻² - 10 ⁻³
Piasek gliniasty	2 · 10 ⁻³ - 10 ⁻⁵
Gлина lekka	5 · 10 ⁻⁴ - 10 ⁻⁵
Pył zwykły i pył ilasty	3 · 10 ⁻⁴ - 2 · 10 ⁻⁵
Gлина średnia	4 · 10 ⁻⁴ - 5 · 10 ⁻⁶
Gлина ciężka i ił	7 · 10 ⁻⁵ - 3 · 10 ⁻⁷
Torf słabo lub średnio rozłożony	10 ⁻² - 10 ⁻⁴
Torf silnie rozłożony	10 ⁻⁴ - 7 · 10 ⁻⁶

Tabela 8

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

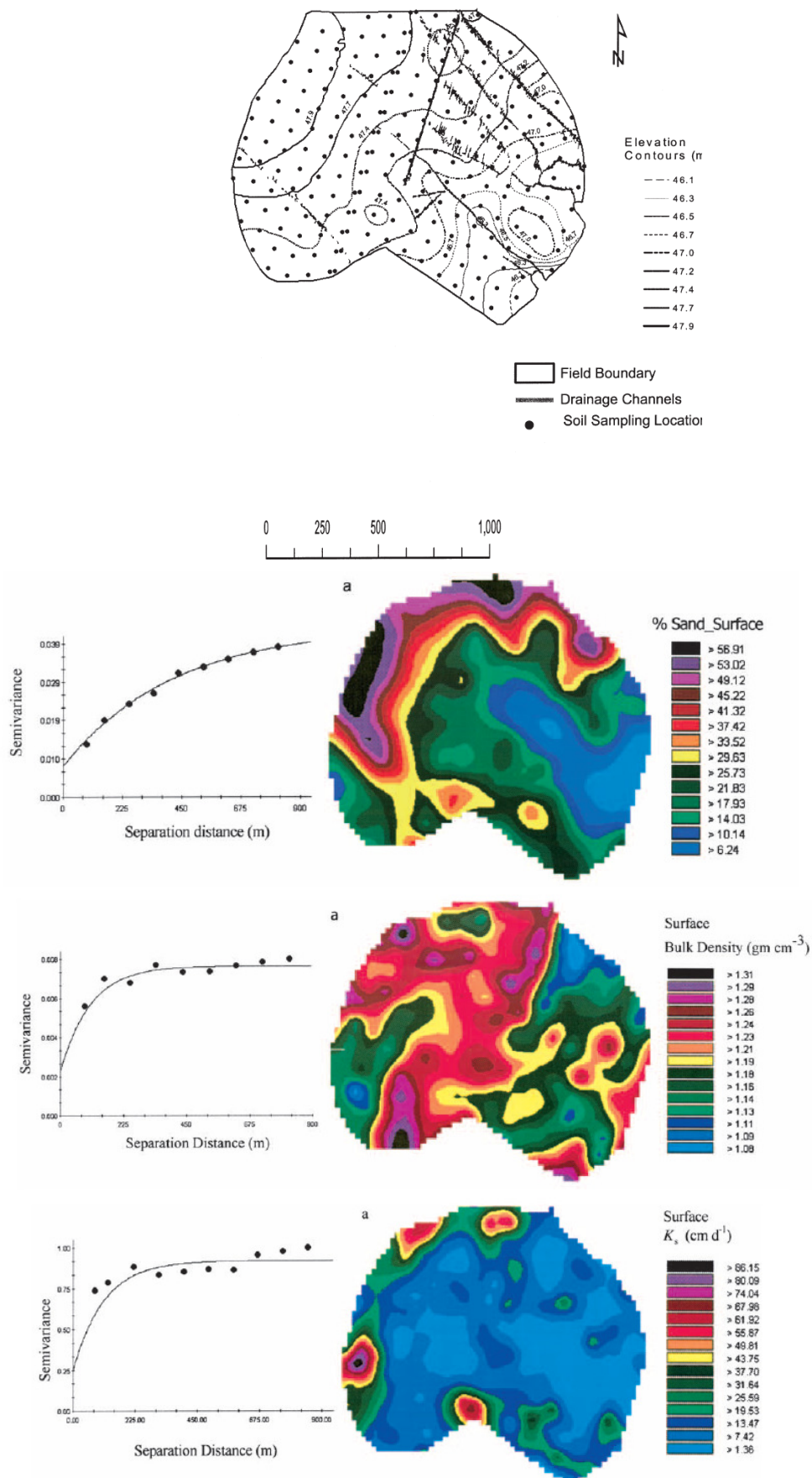
Model	Dane wejściowe	Wynik estymacji	Założenia
Rawls i Brakensiek (1985)	Piasek (50-2000 μm), % ił (< 2 μm) % gęstość objętościowa ($\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	Parametry równania van Genuchtena	$m = 1 - 1/n$
Vereecken i in. (1989)	Piasek (50-2000 μm) % ił (< 2 μm) % gęstość objętościowa ($\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$)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

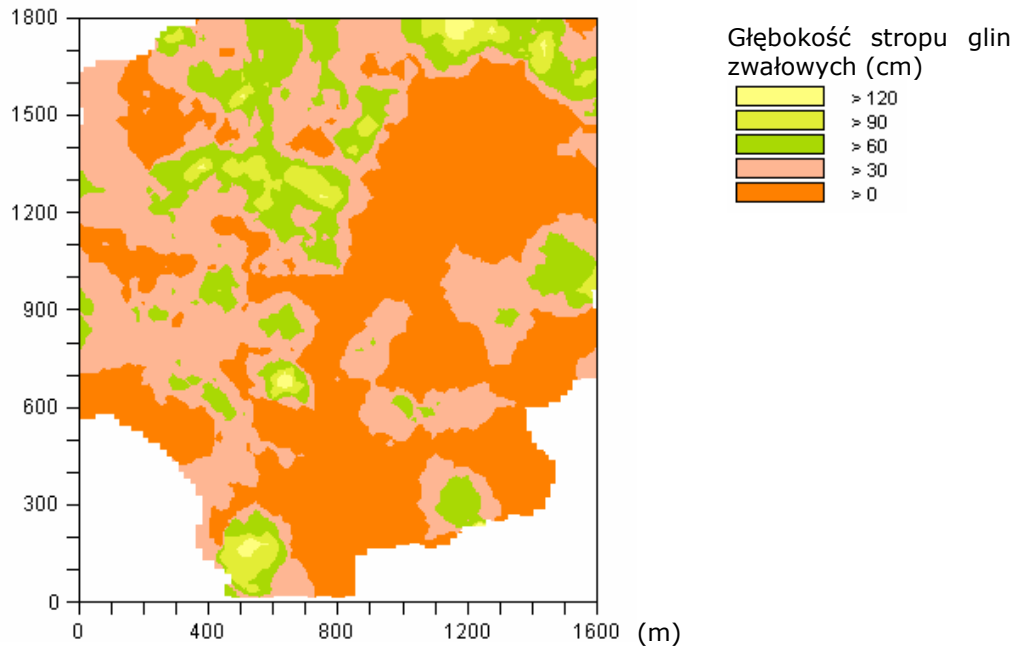
Przykłady modeli (*pedotransfer function*) do oszacowania współczynnika filtracji

Model	Postać zależności dla K_s w $\mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
Brekensiek i in. (1984)	K_s ($\mu\text{m}/\text{s}$) = $2,78 \times \exp(19,52348 \times \phi - 8,96847 - 0,028212 \times c + 0,00018107 \times s^2 - 0,0094125 \times c^2 - 8,395215 \times \phi^2 + 0,077718 \times s \times \phi - 0,00298 \times s^2 \times \phi^2 - 0,019492 \times c^2 \times \phi^2 + 0,0000173 \times s^2 \times c + 0,02733 \times c^2 \times \phi + 0,001434 \times s^2 \times \phi - 0,0000035 \times c^2 \times s)$
Cosby i in. (1984)	K_s ($\mu\text{m}/\text{s}$) = $7,056 \times 10^{(-0,6 + 0,012 \times s - 0,0064 \times c)}$
Saxton i in. (1986)	K_s ($\mu\text{m}/\text{s}$) = $2,78 \times \exp[12,012 - 0,0755 \times s + (-3,895 + 0,03671 \times s - 0,1103 \times c + 0,00087546 \times c^2) / \Theta_s]$ $\Theta_s = 0,332 - 0,0000725 \times s + 0,1276 \times \log c$
Jabro (1992)	K_s ($\mu\text{m}/\text{s}$) = $2,78 \times 10^{[9,6 - (0,81 \times \log si - 1,09 \times \log c - 4,64 \times pc)]}$
Dane i Puckett (1994)	K_s ($\mu\text{m}/\text{s}$) = $84,4 \times \exp(-0,144 \times c)$
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 – ił (%); ρ_c - gęstość obj. gleby suchej ($\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$); ϕ - porowatość ($\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$); Θ_s - wilgotność obj. gleby nasyconej wodą ($\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$);



Rys. 7. Przykład zróżnicowania zawartości frakcji piasku, gęstości objętościowej i współczynnika filtracji w skali pola (Igbal i in. 2005; SSSAJ vol. 65).



Rys. 8. Przykład przestrzennego zróżnicowania miąższości utworów piaszczystych w obrębie falistej moreny dennej, Przybroda k/ Poznania (odległości w metrach).