ACTA AGROPHYSICA

Marcin Turski, Barbara Witkowska-Walczak

FIZYCZNE WŁAŚCIWOŚCI GLEB PŁOWYCH WYTWORZONYCH Z UTWORÓW PYŁOWYCH RÓŻNEJ GENEZY

101

Instytut Agrofizyki
im. Bohdana Dobrzańskiego PAN
w Lublinie

Rozprawy i Monografie
2004 (1)

Komitet Redakcyjny

Redaktor Naczelny
Ryszard T. Walczak, czł. koresp. PAN

Zastępca Redaktora Naczelnego
Józef Horabik

Sekretarz Redakcji
Wanda Woźniak

Rada Redakcyjna
Tomasz Brandyk, czł. koresp. PAN - przewodniczący

Ryszard Dębicki
Bohdan Dobrzański
Danuta Drozd
Franciszek Dubert
Tadeusz Filipek
Józef Fornal
Jan Gliński, czł. rzecz. PAN
Grzegorz Józefaciuk
Eugeniusz Kamiński
Andrzej Kędziora
Tadeusz Kęsik
Krystyna Konstankiewicz
Janusz Laskowski
Jerzy Lipiec
Piotr P. Lewicki
Stanisław Nawrocki, czł. rzecz. PAN
Edward Niedźwiecki
Viliam Novák, Słowacja
Josef Pecen, Czechy
Tadeusz Przybysz
Stanisław Radwan, czł. koresp. PAU
Jan Sielewiesiuk
Witold Stępniewski
Zbigniew Ślipek
Bogusław Szot

Opiniował do druku
prof. dr hab. Grzegorz Józefaciuk

Adres redakcji

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, ul. Doświadczalna 4, P.O. Box 201
20-290 Lublin 27, tel. (0-81) 744-50-61, e-mail: editor@demeter.ipan.lublin.pl
http: //www.ipan.lublin.pl

Publikacja indeksowana przez
Polish Scientific Journals Contents - Life Sci. w sieci Internet
pod adresem http://www.psjc.icm.edu.pl

Praca wykonana w ramach projektu badawczego nr 3 P06 R133 23
finansowanego przez Komitet Badań Naukowych w latach 2002-2004

© Copyright by Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, Lublin 2004

ISSN 1234-4125

Wydanie I. Nakład 120 egz. Ark. wyd. 4,71
Skład komputerowy: Wanda Woźniak
Druk: Drukarnia *ALF-GRAF*, ul. Kościuszki 4, 20-006 Lublin

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP 5
2. PRZEGLĄD LITERATURY I CEL PRACY 5
3. MATERIAŁ GLEBOWY I METODYKA BADAŃ 7
3.1. Lokalizacja i charakterystyka badanych profili glebowych 7
3.2. Metodyka badań 10
4. WYNIKI BADAŃ 12
4.1. Podstawowe właściwości badanych gleb 12
4.1.1. Rozkład granulometryczny 12
4.1.2. Kształt cząstek 14
4.1.3. Zawartość węgla organicznego i żelaza 18
4.1.4. Odczyn 19
4.1.5. Powierzchnia właściwa 19
4.1.6. Zagęszczenie (gęstość gleby) 21
4.1.7. Porowatość ogólna 21
4.1.8. Zawartość makro-, mezo- i mikroporów 21
4.2. Właściwości hydrofizyczne badanych gleb 25
4.2.1. Charakterystyki potencjał wody glebowej – wilgotność (krzywe retencji wodnej) 25
4.2.1.1. Woda dostępna dla roślin 29
4.2.2. Przewodnictwo wodne w strefie nasyconej i nienasyconej 31
4.3. Agregacja badanych gleb i jej trwałość 35
4.3.1. Rozkład agregatowy 35
4.3.2. Wodoodporność agregatów 38
4.3.2.1. Wodoodporność wyznaczona metodą przesiewania w wodzie, produkty rozpadu 38
4.3.2.2. Wskaźnik trwałości agregatów (ASI) 45
4.3.2.3. Wodoodporność wyznaczona metodą kroplową 47
4.4.3. Sorpcyjność agregatów 48
5. PODSUMOWANIE 49
6. WNIOSKI 51
7. PIŚMIENNICTWO 52
8. STRESZCZENIE 54
9. SUMMARY 55

1. WSTĘP

Rolnictwo stanowi ten obszar działalności ludzkiej, gdzie zmiany zachodzą najszybciej i w olbrzymiej skali. Uprawiając rolę człowiek wyciska na ziemi niezatarte piętno, współcześnie zaś jego ekspansja staje się coraz bardziej agresywna [30]. Stan ten wynika z potrzeby wyżywienia stale powiększającej się populacji człowieka, co pociąga za sobą konieczność wzrostu produkcji roślinnej i zwierzęcej.

W ostatnich latach dochodzi do głosu pogląd, że rozwojowi rolnictwa musi towarzyszyć troska o stan ekosystemów, zarówno stanowiących przestrzeń produkcji rolnej, jak i wyłączonych z działalności rolniczej. Pod koniec XX wieku pojawił się termin „rolnictwo zrównoważone", oznaczający system gospodarowania o zrównoważonej produkcji roślinnej i zwierzęcej oparty na środkach pochodzenia biologicznego oraz mineralnego nieprzetworzonych technologicznie. Tak pojmowany system gospodarowania zakłada, m. in. gruntowną znajomość naturalnych właściwości wszystkich jego części składowych. Jednym z jego podstawowych elementów jest gleba – wierzchnia warstwa skorupy ziemskiej. Dokładne zbadanie jej właściwości ma fundamentalne znaczenie dla tworzenia optymalnego środowiska wzrostu i rozwoju roślin, przestrzennego rozplanowania struktury upraw i wreszcie – decyzji o wyłączeniu niektórych obszarów spod produkcji rolnej i podjęciu na nich zabiegów renaturyzacyjnych [1,6,34,35]. Jest to szczególnie ważne dla gleb wytworzonych z materiałów macierzystych o zbliżonym uziarnieniu, morfologicznie podobnych do siebie, ale mających różną genezę oraz często zróżnicowane właściwości fizyczne. Przykładem są gleby płowe wytworzone z pyłów różnej genezy, stanowiących znaczną część skał macierzystych gleb Polski.

2. PRZEGLĄD LITERATURY I CEL PRACY

Utwory pyłowe i wytworzone z nich gleby są obiektem zainteresowań od dawna. Przedmiotem najbardziej szczegółowych badań, zainicjowanych jeszcze w XIX w., była „glinka mamutowa" dziś zwana lessem [36], której większość autorów przypisuje eoliczne pochodzenie i traktuje jako lessy klasyczne. Utwory te stały się szczególnym obiektem zainteresowań w połowie XX wieku, co uwidacznia się zarówno w piśmiennictwie geograficznym jak i gleboznawczym [3,13,30,33,36,37,38,39,43]. Wg mapy gleb Polski w skali 1: 300 000 pokrywają one część Wyżyny Lubelskiej i Zachodniowołyńskiej, Roztocze Gorajskie, znaczny obszar Wyżyny Małopolskiej, Wzgórza Trzebińskie, część Niziny Śląskiej, Pogórze Sudeckie i Karpackie. Literatura dotycząca utworów pyłowych Pogórza Karpackiego jest szczególnie bogata, przy czym dotyczy głównie wschodniej części tego regionu. Często mówi się w niej o tzw. „karpackiej odmianie lessów"

[13]. Według Cegły pyły Pogórza Karpackiego powstawały w plejstocenie pod wpływem procesów morfogenetycznych, głównie spłukiwania, z mniejszym udziałem soliflukcji [4]. Procesy te powodowały denudację zwietrzeliny fliszu, która w większości była odwapniona lub zawierała nieznaczne ilości $CaCO_3$, a w procesie transportu ulegała dalszej dekalcytacji. W efekcie sedymentowany materiał pyłów lessopodobnych był pozbawiony węglanu wapnia. Również porównanie uziarnienia utworów pyłowych Pogórza Karpackiego z lessami Wyżyn Polski pozwala stwierdzić większe zróżnicowanie frakcji granulometrycznych w pyłach. Przede wszystkim zawierają one więcej frakcji piasku w porównaniu z lessami. Różnice w rozkładzie granulometrycznym pociągają za sobą odmienną gęstość (porowatość), warunkują kształt dystrybuanty porów, a zatem wpływają na panujące w nich stosunki wodnopowietrzne. Cegła uważa, że te wielkości są podstawowymi kryteriami umożliwiającymi rozróżnienie analizowanych utworów, zwłaszcza na obszarach gdzie lessy i utwory lessopodobne występują w niewielkich odległościach [4].

Interesującą grupę utworów pyłowych obszaru Karpat opisał i scharakteryzował Uziak [38]. Genezę utworów pokrywających Pogórze Karpackie wiąże z fliszowymi pyłowcami, względnie bogatymi w $CaCO_3$ w formie lepiszcza. Gleby wytworzone na nich zalicza do gleb pseudobielicowych (płowych lub też wtórnych brunatnych powstałych z erozyjnego przekształcenia gleb płowych). Szczególną uwagę zwraca na wykształcone w tych glebach poziomy iluwialne. Ich niekorzystne właściwości fizyczne są przyczyną powstawania opadowych oglejeń, co szczególnie widać w opisywanym przez niego leśnym profilu w Lubli.

Odrębną grupę, szczególnie na Wyżynie Lubelskiej, stanowią utwory pyłowe lessowate. Są to płytkie utwory z dominującą frakcją pyłu, lecz także o znacznej domieszce piasku. Ich geneza nie jest w pełni wyjaśniona, wyjaśnieniu jej nie sprzyja zróżnicowanie podłoża. Najpełniejszą charakterystykę gleb z nich wytworzonych dał Borowiec i Nakonieczny [2] oraz Uziak, Pomian i Klimowicz [40].

Badania gleb wytworzonych z lessów i utworów pyłowych, zbliżonych właściwoś-ciami do lessów, były ukierunkowane na poznanie ich genezy, właściwości chemicznych oraz w mniejszym stopniu fizycznych, a także na określenie ich przydatności rolniczej. Studia gleboznawcze podkreślały wysoką wartość lessu jako skały macierzystej o wyjątkowo korzystnych właściwościach fizycznych, szczególnie hydrofizycznych i chemicznych. Domżał i inni uważają, że ważną cechą gleb o pyłowym uziarnieniu, zarówno lessowych jak i lessopodobnych, jest ich zdolność do zatrzymywania dużych ilości wody użytecznej dla roślin [8]. Jej wielkość może ulec tylko nieznacznemu zmniejszeniu wskutek zagęszczenia, co decyduje o ich znaczących walorach dla produkcji rolniczej. Turski i Słowińska-Jurkiewicz wyrażają pogląd, że pod względem zaspokojenia potrzeb wodnych roślin, gleby wytworzone z lessu są wręcz modelowe, co jest determinowane strukturą lessu. Natomiast właściwości powietrzne tych gleb nie zawsze są optymalne [36].

Kształtowane są one głównie przez sposób użytkowania, tj. gleby leśne wytworzone z lessu charakteryzują się lepszymi właściwościami powietrznymi w stosunku do gleb ornych, gdyż mechanizacja zabiegów agrotechnicznych zwiększa ich zagęszczenie.

Stosunkowo najmniej rozpoznany jest zespół gleb wytworzonych z pyłów pochodzenia wodnego. W czasie prac terenowych związanych z przygotowaniem mapy w skali 1:300 000 włączono do nich w obrębie wyżyn i nizin wszystkie utwory, które nie odpowiadały eolicznej teorii powstania (tak jak lessy) oraz nie dało się ich zaklasyfikować do gleb wytworzonych z utworów lessowatych. Gleby wytworzone z utworów pyłowych są na wspomnianej mapie zaznaczone na terenie całej Polski. Wodne pochodzenie tych utworów północnej części kraju nie budzi zastrzeżeń i może być łatwo dowiedzione przez analizę morfogenezy tych obszarów oraz analizę możliwości sedymentacji materiałów polodowcowych. Natomiast pochodzenie utworów pyłowych występujących na południu jest różnie interpretowane, część z nich na mapie geologicznej w skali 1:300 000 jest zaliczona do lessów. Klasyfikację tę zdecydowanie zakwestionowali Dobrzański i Malicki [7]. Genezę wspólną z lessami, a nawet pochodzenie wodne, odrzucił Butrym [3] w przypadku utworów pyłowych Płaskowyżu Tarnogrodzkiego. Przynależność tych gleb do lessów kwestionował też Dwucet [10].

Wyizolowany, ale specyficzny płat utworów pyłowych, dobrze wyodrębniony w krajobrazie Kotliny Sandomierskiej występuje na Płaskowyżu Kolbuszowskim w okolicy Leżajska. Gleby z nich wytworzone opisali Dobrzański i Malicki [7] na poziomie możliwości metodycznych lat czterdziestych XX wieku. Ich badania nie dotknęły jednak właściwości fizycznych tych gleb.

Celem niniejszej pracy jest szczegółowe poznanie fizycznych, a szczególnie hydrofizycznych, właściwości różnie użytkowanych gleb wytworzonych z utworów pyłowych Płaskowyżu Kolbuszowskiego oraz skonfrontowanie ich z właściwościami gleb wytworzonych z lessów Wyżyny Lubelskiej.

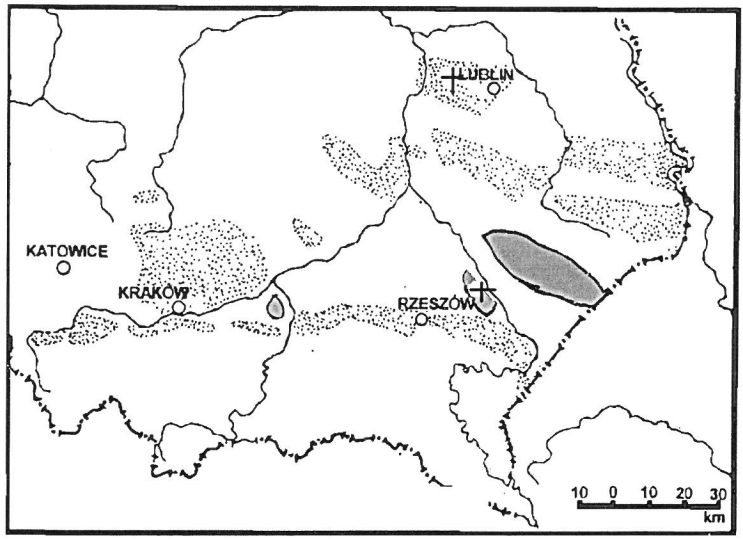
Osiągnięcie celu pracy ma zarówno aspekt poznawczy, umożliwi bowiem rozstrzygnięcie przynależności klasyfikacyjnej badanych gleb, jak i praktyczny – umożliwiający podejmowanie decyzji o przeznaczeniu badanych obszarów gospodarce rolnej lub leśnej.

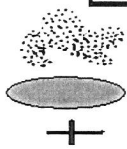
3. MATERIAŁ GLEBOWY I METODYKA BADAŃ

3.1. Lokalizacja i charakterystyka badanych profili glebowych

Badaniami objęto profile gleb płowych (*Haplic Luvisols*) z czterech stanowisk (rys. 1), z których dwa pierwsze znajdują się na Płaskowyżu Kolbuszowskim (Kotlina Sandomierska) w południowo-zachodnich okolicach Leżajska, na terenie wsi Grodzisko Górne. Próbki glebowe zostały pobrane jesienią 2001 roku, zarówno

z pola, jak i z sąsiadującego lasu mieszanego porastającego wierzchowinę – kulminację terenu.





Less – Loess

Utwory pyłowe pochodzenia wodnego – Silt formations of water origin

Punkty pobrania próbek – Sampling points

Rys. 1. Lessy, utwory pyłowe pochodzenia wodnego i punkty pobrania próbek
Fig. 1. Loesses, silt formations of water origin and sampling points

Profil 1 (las) ma następującą budowę: poziomem wierzchnim jest poziom akumulacyjny **Ah** mający miąższość 7 cm, przechodzący z niewielkimi zaciekami w poziom przemywania **Eet**. Poziom **Eet** o miąższości 16 cm, niewyraźnie przechodzi w podpoziom **Eg** wykazujący cechy glejowe spowodowane okresowym stagnowaniem wód opadowych nad trudno przepuszczalnym poziomem **Bt.** Poziom iluwialnego nagromadzenia frakcji ilastej **Bt** znajduje się na głębokości 33-65 cm, ma barwę rdzawo-brunatną i dodatkowo charakteryzuje się występowaniem licznych konkrecji żelazistych. Na głębokości poniżej 65 cm znajduje się utwór piaszczysto-pyłowy – materiał macierzysty oznaczony jako poziom **BtC.**

Profil 2 (pole uprawne) jest wykształcony w następujący sposób: poziomem wierzchnim jest poziom orny **Ap** o miąższości 16 cm, poniżej zaś znajduje się poziom przemywania **Eet** niezróżnicowany na podpoziomy, wyraźnie przechodzący na głębokości około 60 cm w poziom iluwialnego nagromadzenia frakcji ilastej **Bt.**

Profil 1 – Profile 1

Profil 3 – Profile 3

Profil 2 – Profile 2

Profil 4 – Profile 4

Rys. 2. Profile gleb płowych (*Haplic Luvisols*): leśnych (1,3) i uprawnych (2,4) wytworzonych z utworu piaszczysto-pyłowego (1,2) i lessu (3,4)

Fig. 2. Profiles of light brown soils (*Haplic Luvisols*): forest (1,3) and arable (2,4) derived from sandy silt formation (1,2) and loess (3,4)

Kolejne dwa profile zlokalizowane są w Czesławicach na zbudowanym z typowego lessu Płaskowyżu Nałęczowskim (Wyżyna Lubelska) [36,37]. Próbki zostały pobrane z wierzchowiny lessowej, w miejscu gdzie wykształcił się nie zmyty na skutek erozji profil typowej gleby płowej ze wszystkimi charakterystycznymi dla niej poziomami genetycznymi.

Profil 3 (las) jest morfologicznie podobny do profilu 1. Różni się jedynie mniej miąższym (4 cm) poziomem akumulacyjnym **Ah**, mniej wyraźnie wykształconym poziomem przemywania **AhE** (4-24 cm), mającym cechy przejściowe pomiędzy **Ah** i **Eet**. Doskonale widoczny poziom iluwialnego nagromadzenia frakcji ilastej **Bt** zróżnicowany jest na dwa podpoziomy **Bt1** (24-50 cm) i **Bt2** (50-80 cm), z których leżący niżej wykazuje cechy warstwowania. Na głębokości poniżej 80 cm znajduje się już skała macierzysta – less.

Profil 4 (pole uprawne) charakteryzuje się występowaniem czterech typowych dla gleby płowej wytworzonej z lessu poziomów genetycznych: ornego **Ap** (0-15 cm), przemywania **Eet** (15-25 cm), iluwialnego nagromadzenia frakcji ilastej **Bt** (25-35 cm) i skały macierzystej **C** (poniżej 35 cm).

3.2. Metodyka badań

Próby glebowe do analiz pobrano z każdego poziomu genetycznego. Próby glebowe o nienaruszonej strukturze wzięto w wielokrotnych powtórzeniach do cylindrów o średnicy 5 cm i objętości 100 cm^3. Pobrano też odpowiednie ilości gleby o strukturze naruszonej, która po przewiezieniu do laboratorium, została przesuszona w temperaturze około 20°C [9,24,41]. Dla tak przygotowanego wstępnie materiału glebowego wykonano oznaczenia:

- rozkładu granulometrycznego metodą areometryczną Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego;
- kształtu ziaren o średnicy 1-0,1 mm, 0,1-0,05 mm i 0,05-0,02 mm, przy użyciu mikroskopu konfokalnego;
- zawartości węgla organicznego metodą Turina zmodyfikowaną, zgodną z normą ISO 14 235;
- zawartości żelaza metodą absorpcyjnej spektrofotometrii atomowej (AAS);
- odczynu w KCl i H_2O metodą elektrometryczną, zgodną z normą ISO 10 390;
- powierzchni właściwej metodą analizy izotermy adsorpcji pary wodnej (BET), zgodnie z normą PN-Z-19010-1:1999.

W celu określenia właściwości struktury badanych gleb wykonano oznaczenia:

- rozkładu agregatowego metodą sitową wg Sawinowa przy użyciu sit o średnicy oczek: 10 mm, 5 mm, 3 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm bez poprawki piaskowej [41];
- wodoodporności agregatów analityczną metodą przesiewania na mokro bez poprawki piaskowej [41];
- wodotrwałości agregatów o średnicy około 10 mm metodą kroplową opisaną przez Rząsę i Owczarzaka [29].
- sorpcyjności powietrznie suchych agregatów glebowych o średnicy około 10 mm metodą opisaną przez Leeds – Harrisona i in. [17];

Dla próbek o nienaruszonej strukturze wyznaczono:

- charakterystyki potencjał wody glebowej – wilgotność (krzywe retencji wodnej) w procesie osuszania dla potencjałów: 98,1 $J \cdot m^{-3}$ (0,98 hPa; pF0), 981 $J \cdot m^{-3}$ (9,81 hPa, pF1), 3100 $J \cdot m^{-3}$ (31 hPa, pF 1,5), 15600 $J \cdot m^{-3}$ (156 hPa, pF 2,2), 98100 $J \cdot m^{-3}$ (981 hPa, pF 3), 490000 $J \cdot m^{-3}$ (4900 hPa, pF 3,7) i 1471500 $J \cdot m^{-3}$ (14715 hPa, pF 4,2) metodą zgodną z normą ISO 12 274 przy użyciu zestawu pomiarowego LAB 012 firmy Soil Moisture Equipment Corporation, Santa Barbara, California,USA [14];
- współczynnik przewodnictwa wodnego gleb w stanie nasyconym metodą de Wita przy użyciu aparatu do pomiaru przepuszczalności wodnej firmy Eijkelkamp, Agrisearch Equipment, Holandia [15];
- współczynnik przewodnictwa wodnego gleb w stanie nienasyconym, metodą profili chwilowych (IPM), opartą na pomiarze wilgotności i potencjału wody glebowej w wybranych warstwach próbki glebowej przy pomocy zestawu pomiarowego TDR w procesie osuszania [20,21,22];
- gęstość gleby (zagęszczenie) metodą grawimetryczną (po wysuszeniu w 105°C).

Na podstawie uzyskanych wyników badań wyliczono:

- porowatość ogólną;
- zawartość makroporów (Ø > 18,5μm), mezoporów (18,5 μm > Ø > 0,2 μm) i mikroporów (Ø < 0,2 μm) w oparciu o charakterystyki potencjał wody glebowej – wilgotność; jako graniczne wartości przyjęto potencjał odpowiadający pF 2,2 (polowa pojemność wodna) i pF 4,2 (punkt trwałego więdnięcia roślin) [45];
- ilość wody łatwo dostępnej dla roślin (gromadzonej w porach glebowych w zakresie potencjałów odpowiadających pF 2,2-pF 3) i trudno dostępnej dla roślin (gromadzonej w porach glebowych w zakresie potencjałów odpowiadających pF 3-pF 4,2 [45];
- wskaźnik trwałości agregatów glebowych (ASI) [25,26].

4. WYNIKI BADAŃ

4.1. Podstawowe właściwości badanych gleb

4.1.1. Rozkład granulometryczny

Rozkład granulometryczny badanych gleb wykazuje istotne różnice w zależności zarówno od rodzaju skały macierzystej jak i od sposobu użytkowania (tab. 1). Według klasyfikacji Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego zawartość cząstek piaszczystych (1-0,1 mm) w glebach wytworzonych z utworu piaszczysto-pyłowego zawiera się pomiędzy 35 a 61% w profilu 1 i pomiędzy 28 a 35% w profilu 2. W glebach wytworzonych z lessu zawartość piasku jest znacznie niższa i wynosi od 1 do 17% w profilu 3 i od 1 do 8% w profilu 4. Występują też różnice w zawartości frakcji 1-0,1 mm pomiędzy glebami leśnymi i uprawnymi. W glebach leśnych jest ona większa, przy czym różnice nie są tak wyraźne jak przy porównywaniu gleb ze względu na rodzaj skały macierzystej. Wyjątkowo dużą zawartość piasku (61%) odnotowano w poziomie Bt gleby leśnej (profil 1).

Zawartość cząstek pyłu grubego (0,1-0,05 mm) jest mniejsza w profilach gleb wytworzonych z utworu piaszczysto-pyłowego w porównaniu z lessowym i waha się od 13 do 23% w profilu 1 i od 16 do 28% w profilu 2, podczas gdy odpowiadające zawartości w glebach wytworzonych z lessu wynoszą od 15 do 83% w profilu 3 i od 8 do 38% w profilu 4. Podobnie układa się zawartość frakcji pyłu drobnego (0,05-0,02 mm). W glebach wytworzonych z utworu piaszczysto-pyłowego wynosi ona od 10 do 28% w profilu 1 i od 24 do 31% w profilu 2. W profilach gleb wytworzonych z lessu wartości tę wynoszą od 4 do 35% w profilu 3 i od 25 do 44% w profilu 4. Zawartość frakcji pyłowej jest też niższa w glebach leśnych w porównaniu z uprawnymi. Wyjątkiem jest poziom C gleby leśnej wytworzonej z lessu (profil 3), gdzie zawartość pyłu ogółem wynosi aż 87%, z czego 83% stanowi pył gruby.

Zawartość cząstek spławialnych (<0,02 mm) jest mniejsza w glebach wytworzonych z utworu piaszczysto-pyłowego. Waha się ona w nich od 10 do 21% w profilu 1 i od 18 do 20% w profilu 2. W glebach wytworzonych z lessów zawartość ta wynosi odpowiednio 12-45% w profilu 3 i 37- 40% w profilu 4. Biorąc pod uwagę omówiony rozkład granulometryczny (wg klasyfikacji Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego) utwory pochodzące z Płaskowyżu Kolbuszowskiego należą do pyłów piaszczystych. Zawartość poszczególnych frakcji odpowiadająca tej właśnie grupie granulometrycznej charakteryzuje cały profil 2 (gleba uprawna) oraz poziomy Ah i Eg profilu 1 (gleba leśna). Poziom Eet gleby leśnej wytworzonej z utworu piaszczysto-pyłowego ma rozkład granulometryczny piasku gliniastego lekkiego pylastego, poziom Bt – piasku gliniastego mocnego, poziom BtC – piasku gliniastego mocnego pylastego. Badane gleby płaskowyżu Nałęczowskiego to w zdecydowa-

nej większości pyły ilaste – cały profil 4 (gleba uprawna) oraz poziomy AhE, Bt1, Bt2 profilu 3 (gleba leśna). Jedynie poziom Ah w profilu gleby leśnej ma rozkład charakterystyczny dla pyłu gliniastego, natomiast poziom C – pyłu zwykłego.

Tabela 1. Rozkład granulometryczny
Table 1. Grain size distribution

Numer profilu Number of profile	Poziom Level	Głębokość Depth (cm)	Rozkład granulometryczny wg PTGleb. Grain size distribution according PSSS % cząstek o średnicy % grains of diameter (mm)				Rozkład granulometryczny wg PN-R-04003 Grain size distribution according PN-R-04003 % cząstek o średnicy % grains of diameter (mm)			
			1-0,1	0,1-0,05	0,05-0,02	<0,02	2-0,05	0,05-0,02	0,02-0,002	<0,002
1	Ah	0-7	47	23	20	10	70	20	7	3
	Eet	7-23	48	17	23	12	65	23	7	5
	Eg	23-33	35	16	28	21	51	28	9	12
	Bt	33-65	61	13	10	16	74	10	3	13
	BtC	>65	42	15	24	19	57	24	9	10
2	Ap	0-16	33	17	30	20	50	30	15	5
	Eet	16-60	35	16	31	18	51	31	14	4
	Bt	>60	28	28	24	20	56	24	15	5
3	Ah	0-4	17	25	32	26	42	32	17	9
	AhE	4-24	5	15	35	45	20	35	29	16
	Bt1	25-50	1	19	35	45	20	35	23	22
	Bt2	50-80	1	31	31	37	32	31	24	13
	C	>80	1	83	4	12	84	4	2	10
4	Ap	0-15	3	18	39	40	21	39	30	10
	Eet	15-25	8	8	44	40	16	44	34	6
	Bt	25-35	1	38	25	36	39	25	20	16
	C	>35	2	22	39	37	24	39	25	12

Analizując rozkład granulometryczny wg Polskiej Normy PN-R-04003 (tab. 1) widać wzrost zawartości frakcji piasku (2-0,05 mm) w glebach wytworzonych z tworu piaszczysto-pyłowego w porównaniu z wytworzonymi z lessu, a także w glebach leśnych w stosunku do uprawnych. W profilach 1 i 2 frakcja ta stanowi

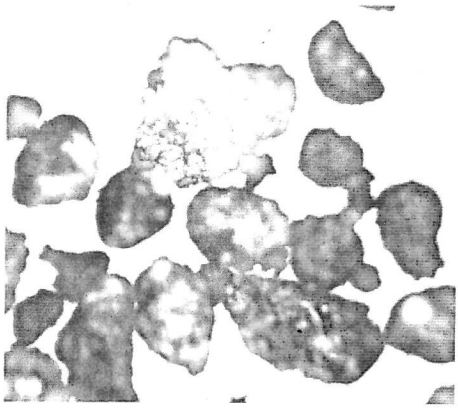
50% i więcej wszystkich cząstek glebowych, natomiast w profilu 3 i 4 zawartość jej z reguły nie przekracza 42%. Jedynie w poziomie C gleby leśnej wynosi ona 84%. Odwrotne tendencje wykazuje frakcja pyłu, zwłaszcza pyłu drobnego (0,02-0,002 mm). W profilach 1 i 2 wynosi ona odpowiednio: 3-9% (gleba leśna) i 14-15% (gleba uprawna). Natomiast w profilach 3 i 4 zawartość pyłu drobnego waha się od 2 do 29% (gleba leśna) i od 20 do 34% (gleba uprawna). Odmiennie przedstawia się zawartość frakcji iłu koloidalnego (<0,002 mm), a mianowicie gleby wytworzone z utworu piaszczysto-pyłowego zawierają mniej iłu niż wytworzone z lessu (podobnie jak było w przypadku pyłu drobnego), ale w glebach leśnych jest go więcej niż w uprawnych. W profilu 1 zawartość frakcji iłu koloidalnego wynosi od 3 do 13%, natomiast w profilu 2 – od 4 do 5%. W przypadku gleb wytworzonych z lessu w profilu 3 odnotowano od 9 do 22% cząstek o średnicy poniżej 0,002 mm, natomiast w profilu 4 – od 6 do 16%.

4.1.2. Kształt cząstek

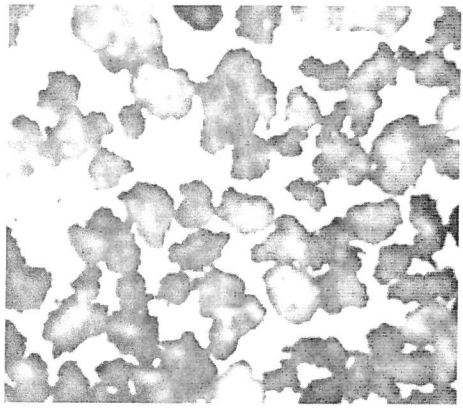
Na podstawie znajomości kształtu cząstek możliwe jest wyciągnięcie wniosków dotyczących pochodzenia gleb składających się z tych cząstek. W zależności od stopnia ich obtoczenia można mniemać o drodze, jaką przebyły, zanim znalazły się w określonym miejscu. W przypadku utworów pyłowych pochodzenia wodnego przyjmuje się, że powstały one w wyniku długotrwałego przemywania i sortowania materiału lodowcowego przez topniejące wody lodowca, a tworzą je frakcje drobnego piasku, cząstek pyłowych i iłu. Natomiast lessy wg większości hipotez są utworami powstałymi w wyniku wywiewania drobnych cząstek pyłu z moren na dalszym przedpolu lodowca skandynawskiego, tworzącymi równoziarniste drobnoporowate pokłady pyłowe o jasnożółtej barwie [45].

Analizując kształty cząstek piasku i pyłu pochodzących ze skał macierzystych badanych gleb (rys. 3-5) można zauważyć, że cząstki glebowe pobrane z profili 1 i 2 charakteryzują się zdecydowanie bardziej regularnym kształtem oraz są mniej ostokrawędziste w porównaniu z analogicznymi cząstkami pobranymi z profili 3 i 4. Ostre krawędzie cząstek w profilach 3 i 4 są szczególnie dobrze widoczne w przypadku piasku, co świadczy o ich nikłym obtoczeniu.

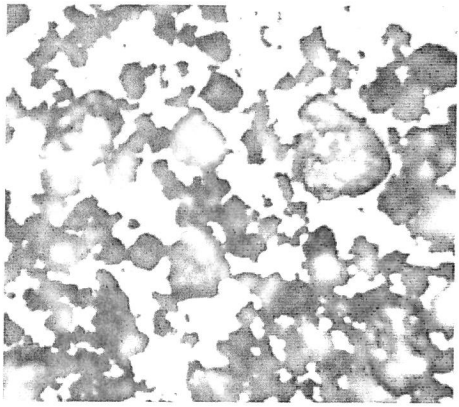
Kształt cząstek gleb leśnych i uprawnych wykazuje bardziej widoczne zróżnicowanie w przypadku gleb wytworzonych z utworu piaszczysto-pyłowego w porównaniu z lessowym. Krawędzie cząstek gleb uprawnych są bardziej regularne i mniej ostre w porównaniu do cząstek gleb leśnych. Zróżnicowanie to w przypadku gleb wytworzonych z lessu jest zdecydowanie mniej widoczne.



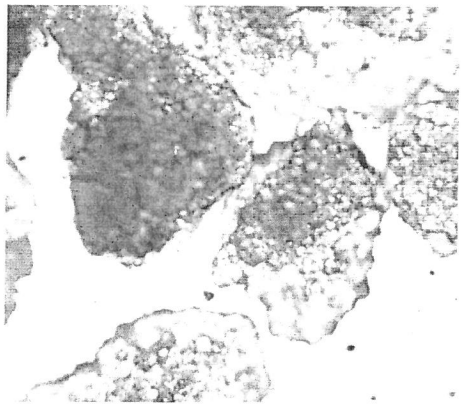
Profil 1 – Profile 1



Profil 3 – Profile 3



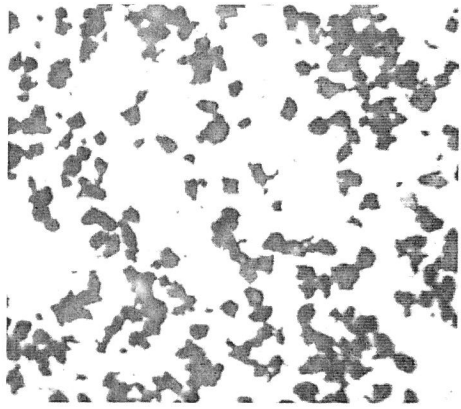
Profil 2 – Profile 2



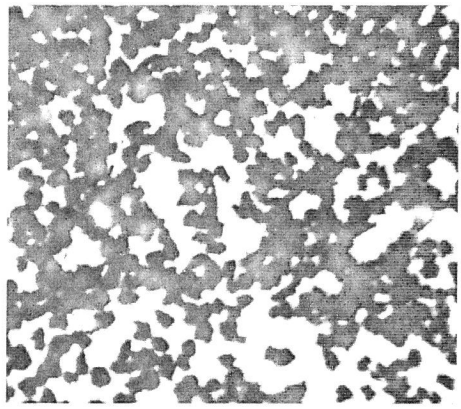
Profil 4 – Profile 4

Rys. 3. Kształt cząstek piaszczystych (1-0,1 mm) skały macierzystej piaszczysto-pyłowej (1,2) i lessowej (3,4); powiększenie 30-krotne

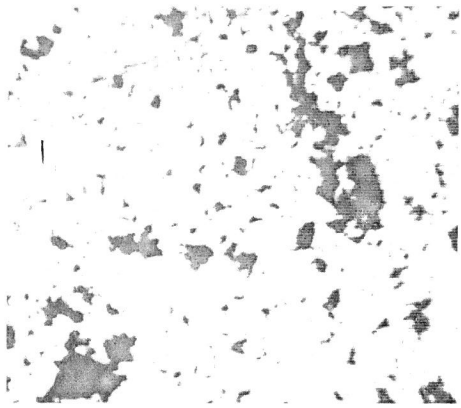
Fig. 3. Shape of sand grains (1-0.1 mm) from parent material for sandy silt formation (1,2) and loess (3,4); magnification 30x



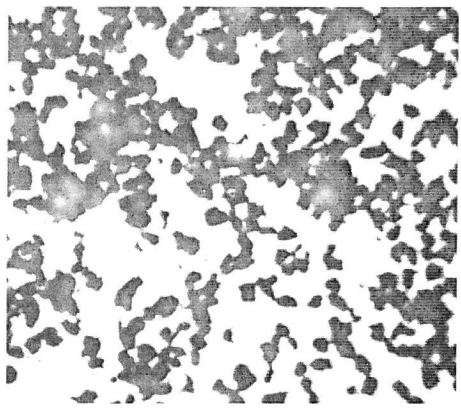
Profil 1 – Profile 1



Profil 3 – Profile 3



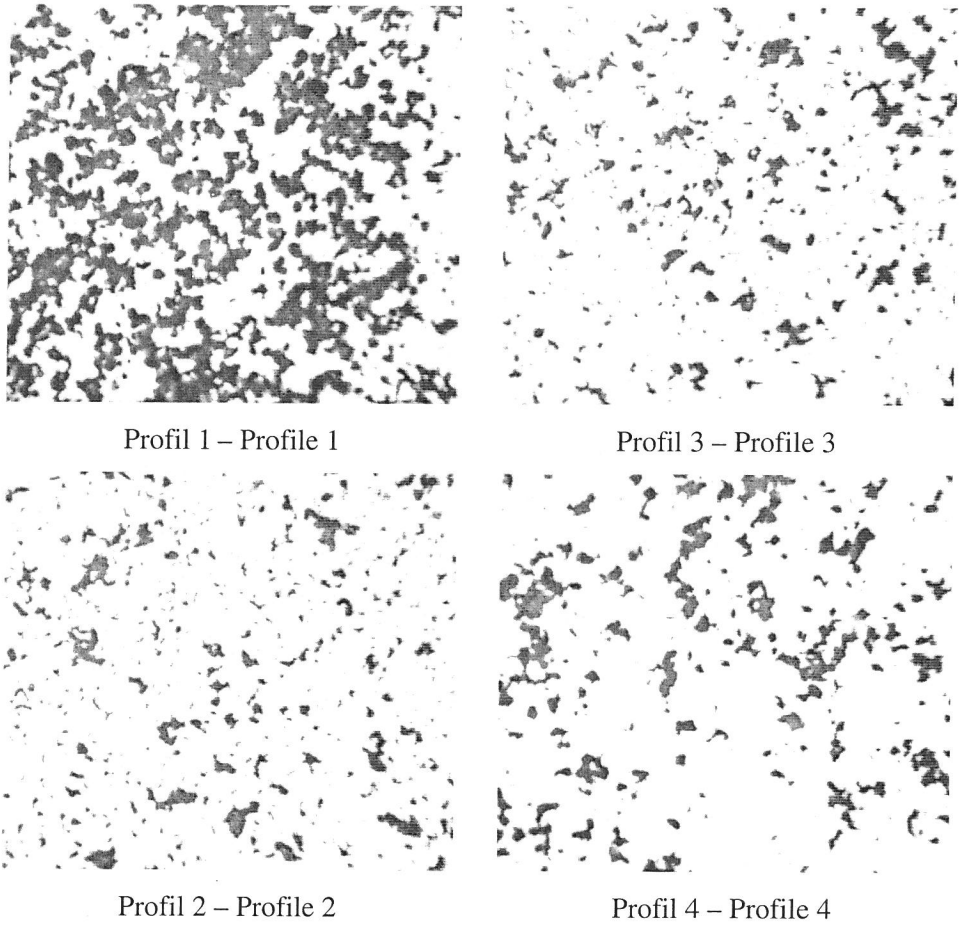
Profil 2 – Profile 2



Profil 4 – Profile 4

Rys. 4. Kształt cząstek pyłu grubego (0,1-0,05 mm) skały macierzystej piaszczysto-pyłowej (profil 1,2) i lessowej (profil 3,4); powiększenie 30-krotne

Fig. 4. Shape of coarse silt grains (0.1-0.05 mm) from parent material for sandy silt formation (1,2) and loess (3,4); magnification 30x



Rys. 5. Kształt cząstek pyłu drobnego (0,05-0,02 mm) skały macierzystej piaszczysto-pyłowej (profil 1,2) i lessowej (profil 3,4); powiększenie 30-krotne

Fig. 5. Shape of fine silt grains (0.05-0.02 mm) from parent material for sandy silt formation (1,2) and loess (3,4); magnification 30x

4.1.3. Zawartość węgla organicznego i żelaza

We wszystkich badanych profilach glebowych zawartość węgla organicznego zmniejszała się wraz z głębokością (tab. 2). Poziomy akumulacyjne gleb wytworzonych z utworu piaszczysto-pyłowego charakteryzowały się niższą zawartością węgla organicznego niż analogiczne poziomy gleb wytworzonych z lessu. W profilach 1 i 2 wynosiła ona odpowiednio 2,84% (w poziomie Ah) i 1,27% (w poziomie Ap), a w profilach 3 i 4 – 3,61 i 1,42%. W poziomach akumulacyjnych gleb leśnych zawartość węgla organicznego była ponad dwukrotnie wyższa niż w poziomach Ap gleb uprawnych wytworzonych z analogicznych utworów.

Tabela 2. Podstawowe właściwości badanych gleb
Table 2. Basic properties of investigated soil

Numer profilu Number of profile	Poziom Level	Głębokość Depth (cm)	$C_{org.}$ (%)	pH w – in		Fe
				KCl	H_2O	($g \cdot kg^{-1}$)
1	Ah	0-7	2,84	3,7	4,3	4,2
	Eet	7-23	0,38	4,0	4,5	4,8
	Eg	23-33	0,28	4,2	4,7	9,7
	Bt	33-65	0,06	4,2	4,7	10,7
	BtC	> 65	0,18	3,9	4,1	10,7
2	Ap	0-16	1,27	5,0	5,5	4,0
	Eet	16-60	0,70	5,3	5,7	4,0
	Bt	> 60	0,20	5,5	5,9	4,3
3	Ah	0-4	3,61	3,7	4,5	14,3
	AhE	4-24	0,67	4,0	4,6	18,0
	Bt1	24-50	0,37	4,0	4,6	14,0
	Bt2	50-80	0,13	4,0	4,8	11,7
	C	> 80	0,15	4,1	4,6	12,0
4	Ap	0-15	1,42	5,0	5,8	8,7
	Eet	15-25	0,54	5,5	6,1	15,7
	Bt	25-35	0,21	5,8	6,1	11,3
	C	> 35	0,11	5,4	5,8	11,7

Stosunek zawartości węgla organicznego w powierzchniowym poziomie gleby do zawartości węgla organicznego w poziomie sąsiednim jest jednym ze wskaźników jakości gleby i prawidłowego funkcjonowania ekosystemu glebowego. Przyjmuje się, że im stosunek ten jest wyższy, tym wyższa jest jakość gleby [12]. W przypadku badanych gleb tak obliczony wskaźnik stratyfikacji *(„stratification ratio")* był ponad dwukrotnie wyższy w glebach leśnych (5,4-7,4) niż w uprawnych (1,8-2,6).

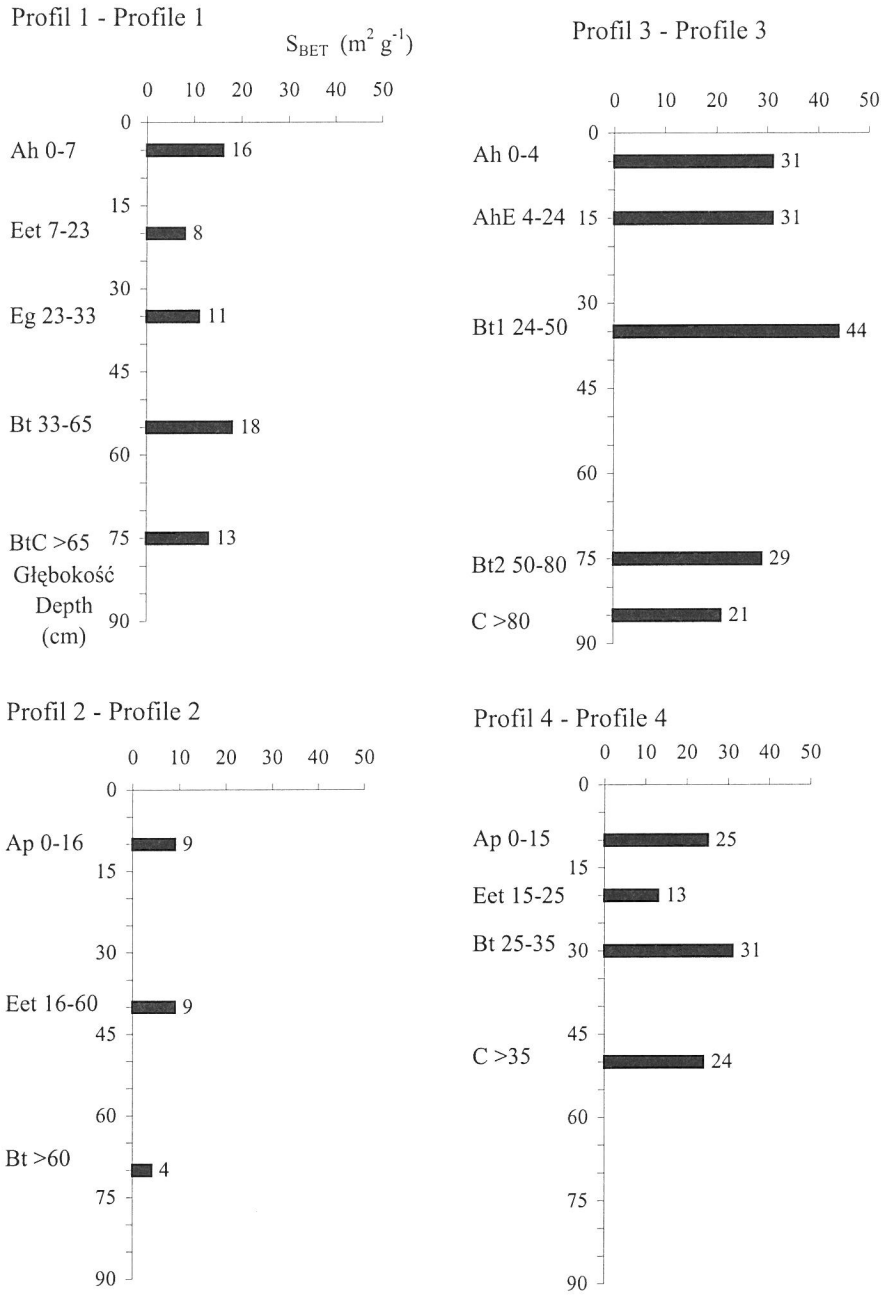
4.1.4. Odczyn

pH w H_20 gleby leśnej wytworzonej z utworu piaszczysto-pyłowego waha się w wąskim zakresie od 4,1 do 4,7 (gleba silnie kwaśna do kwaśnej), podczas gdy w glebie uprawnej z analogicznego utworu jest wyższa i wynosi od 5,5 do 5,9 (gleba kwaśna do słabo kwaśnej). Odpowiednie wartości w glebie wytworzonej z lessu wynoszą od 4,5 do 4,8 (gleba silnie kwaśna do kwaśnej) i od 5,8 do 6,1 (gleba słabo kwaśna). Wynika stąd, że gleby leśne, niezależnie od rodzaju skały macierzystej, charakteryzują się silniejszym zakwaszeniem w stosunku do gleb uprawnych.

pH w KCl badanych gleb wynosi od 3,7 do 4,2 w glebie leśnej i od 5,0 do 5,5 w uprawnej, wytworzonej z utworu piaszczysto-pyłowego, w wytworzonych z lessu – odpowiednio od 3,7 do 4,1 i od 5,0 do 5,8. Bardzo wyraźnie zaznaczają się różnice odczynu pomiędzy glebami leśnymi a uprawnymi. Odczyn gleb leśnych mieści się w granicach silnie kwaśnego, tak w utworze piaszczysto – pyłowym jak i lessowym, gleba uprawna piaszczysto-pyłowa jest kwaśna w całym swym profilu, zaś uprawna wytworzona z lessu – kwaśna do słabo kwaśnej.

4.1.5. Powierzchnia właściwa

Wielkość powierzchni właściwej badanych gleb płowych wytworzonych z utworu piaszczysto-pyłowego (profile 1 i 2) waha się od 4 do 18 $m^2 \cdot g^{-1}$ i jest znacząco mniejsza niż w profilach 3 i 4 wytworzonych z lessu – 13-44 $m^2 \cdot g^{-1}$ (rys. 6). Czynnikiem powodującym zmienność wielkości powierzchni właściwej S_{BET} jest zapewne, zróżnicowana w wyniku procesu płowienia, zawartość frakcji iłu koloidalnego i zawartość węgla organicznego [44], w zasadniczy sposób determinujące rozwinięcie powierzchni właściwej gleb, głównie mierzonej metodą adsorpcji pary wodnej. I tak wielkość powierzchni właściwej w poziomach akumulacyjnych profili 1 i 3 wynosi 16 i 31 $m^2 \cdot g^{-1}$, zaś w analogicznych poziomach profili 2 i 4 – odpowiednio 9 i 25 $m^2 \cdot g^{-1}$. W poziomach E wielkość powierzchni właściwej zmniejsza się (8-11 $m^2 \cdot g^{-1}$ w profilu 1 i 13 $m^2 \cdot g^{-1}$ w profilu 4) lub jest zbliżona do wielkości w poziomach akumulacyjnych (9 $m^2 \cdot g^{-1}$ w profilu 2 i 31 $m^2 \cdot g^{-1}$ w profilu 3). Maksymalna wielkość powierzchni właściwej występuje w poziomach iluwialnego nagromadzenia frakcji ilastej w profilach 1, 3 i 4 (odpowiednio 18, 44 i 31 $m^2 \cdot g^{-1}$), podczas gdy w profilu 2 w tym poziomie wielkość powierzchni właściwej gwałtownie spada w stosunku do poziomów położonych wyżej (4 $m^2 \cdot g^{-1}$ w stosunku do 9 $m^2 \cdot g^{-1}$ w poziomie Ap i Eet).



Rys. 6. Powierzchnia właściwa (S_{BET}) badanych gleb
Fig. 6. Specific surface area (S_{BET}) of investigated soil

4.1.6. Zagęszczenie (gęstość gleby)

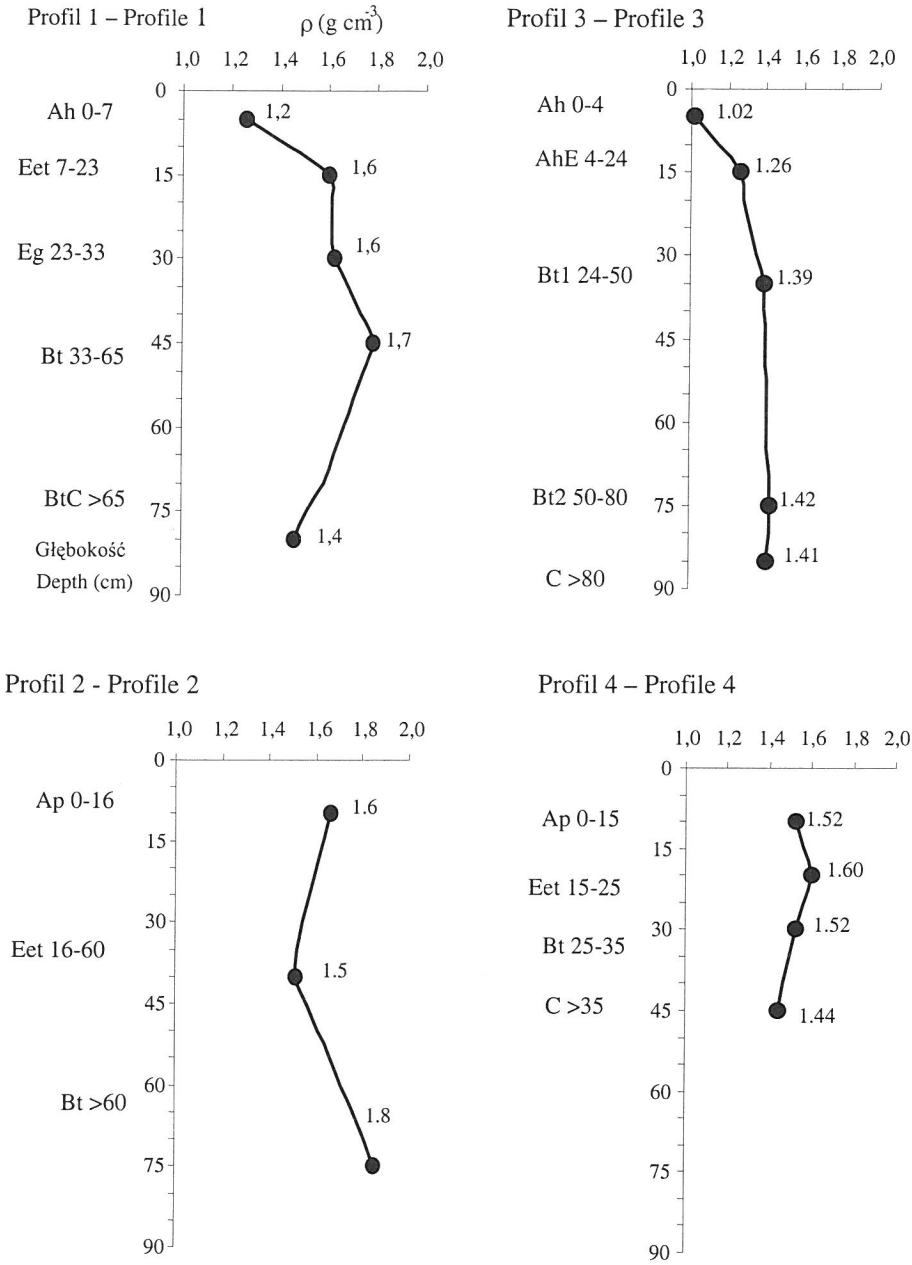
Zagęszczenie badanych gleb, niezależnie od sposobu ich użytkowania, było większe w glebach piaszczysto-pyłowych w porównaniu z lessowymi (rys. 7). Jego wartość w piaszczysto-pyłowej glebie leśnej (profil 1) wahała się od 1,26 do 1,78 $g \cdot cm^{-3}$, a w glebie uprawnej (profil 2) – od 1,51 do 1,85 $g \cdot cm^{-3}$. Odpowiedający zakres w glebach lessowych to: 1,02-1,42 $g \cdot cm^{-3}$ i 1,44-1,60 $g \cdot cm^{-3}$. Różnice w zagęszczeniu powodowane sposobem użytkowania gleb są najwyraźniejsze w górnych częściach profili. W profilach 1 i 3 (gleby leśne) zagęszczenie w poziomie Ah wynosi 1,26 $g \cdot cm^{-3}$ i 1,02 $g \cdot cm^{-3}$, natomiast w profilach 2 i 4 (gleby uprawne) w poziomie Ap – odpowiednio 1,66 i 1,52 $g \cdot cm^{-3}$. Sytuacja zmienia się w poziomach położonych niżej. W poziomach Eet oraz Eg profilu 1 (gleba leśna piaszczysto-pyłowa) zagęszczenie wynosi 1,60-1,62 $g \cdot cm^{-3}$, podczas gdy w poziomie Et profilu 2 (gleba uprawna piaszczysto-pyłowa) osiąga tylko 1,51 $g \cdot cm^{-3}$. Na głębokości poniżej 65 cm (poziomy Bt – BtC) zagęszczenie gleby leśnej jest niższe, natomiast zagęszczenie gleby uprawnej wyższe . W przypadku gleb wytworzonych z lessu w profilu 3 (gleba leśna) zagęszczenie zwiększa się z głębokością do 1,42 $g \cdot cm^{-3}$ w poziomie Bt2, natomiast w profilu 4 (gleba uprawna) osiąga maksymalną wartość w poziomie Eet – 1,60 $g \cdot cm^{-3}$, poniżej zaś spada do 1,44 $g \cdot cm^{-3}$, a więc do wartości nieznacznie wyższej w porównaniu z profilem 3 na analogicznej głębokości.

4.1.7. Porowatość ogólna

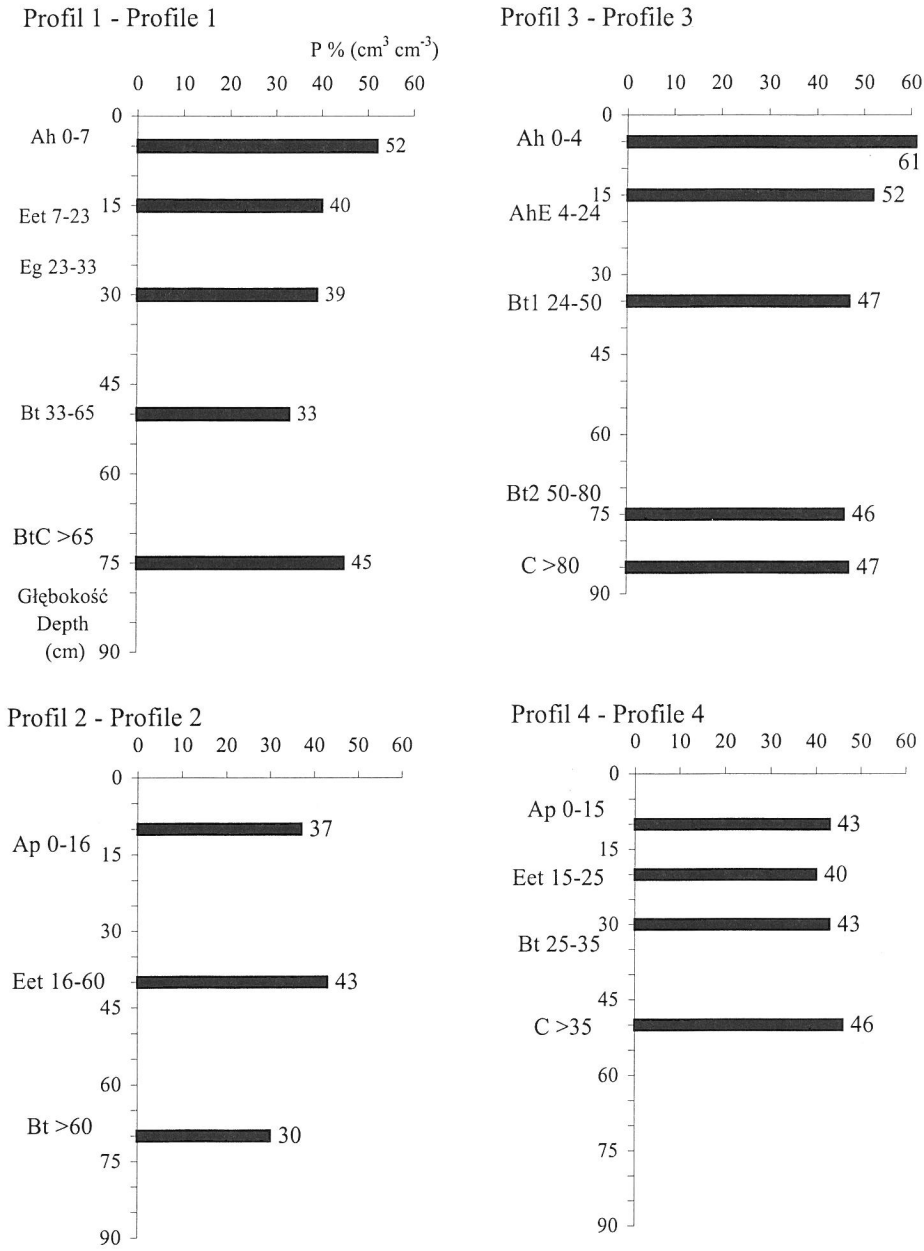
Porowatość ogólna badanych gleb (rys. 8) układa się odwrotnie niż ich zagęszczenie. W glebach wytworzonych z utworu piaszczysto-pyłowego wynosi ona 33-52% w profilu 1 i 30-43% w profilu 2. W przypadku gleb wytworzonych z lessu porowatość waha się od 46 do 61% w profilu 3 i od 40 do 46% w profilu 4. Tak jak w przypadku zagęszczenia różnice w porowatości powodowane sposobem użytkowania gleb są najwyraźniejsze w górnych częściach profili. W profilu 1 i 3 (gleby leśne) porowatość ogólna w poziomie Ah wynosi 52 i 61%, natomiast w profilach 2 i 4 (gleby uprawne) w poziomach Ap wartości te są znacznie niższe i wynoszą odpowiednio – 37 i 43%.

4.1.8. Zawartość makro-, mezo- i mikroporów

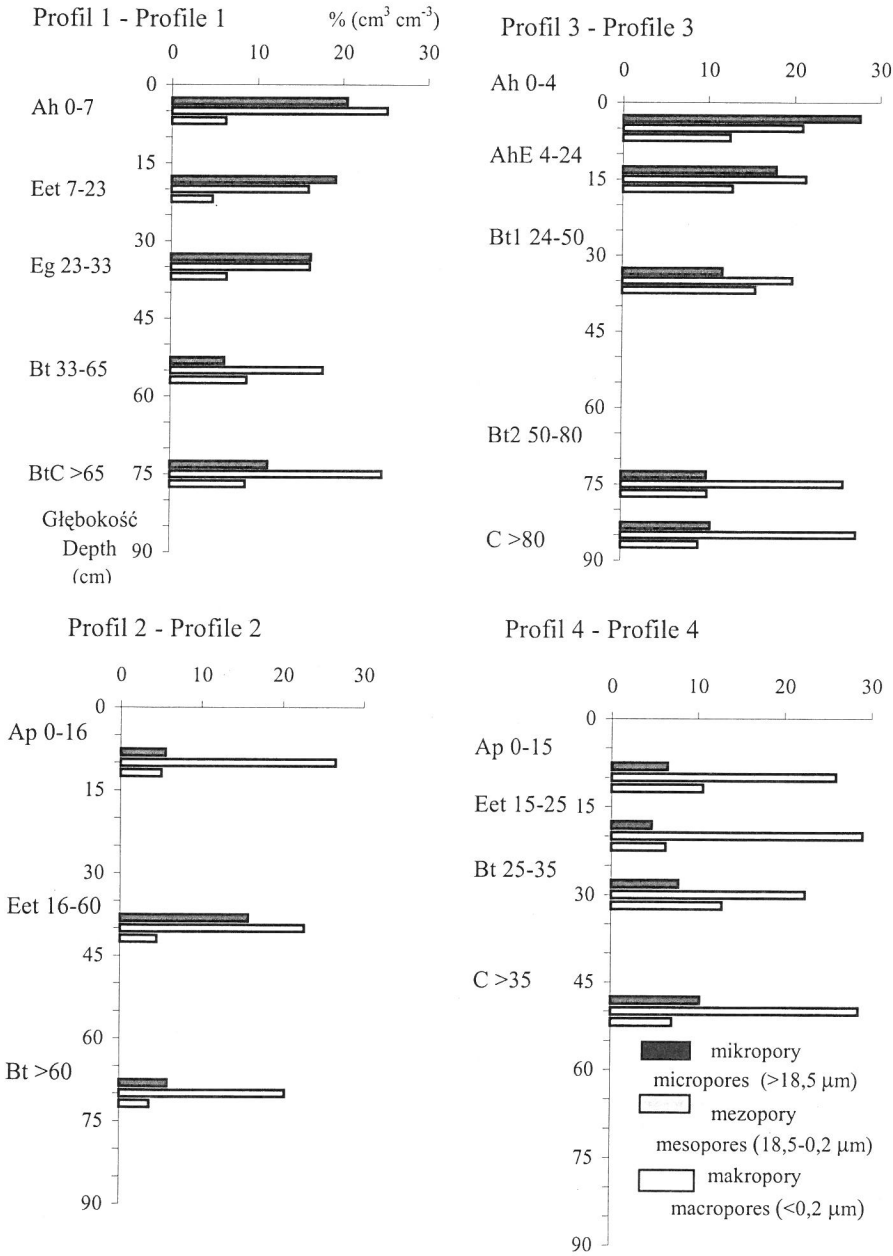
Rozkład makro-, mezo- i mikroporów w badanych glebach przedstawiono na rysunku 9. Zawartość makroporów w glebie leśnej piaszczysto-pyłowej (profil 1) zmniejszała się wraz z głębokością, od 20,5% w poziomie Ah do 6,3% w poziomie Bt, by w poziomie BtC wzrosnąć do 11,4%. Inaczej przedstawiała się w glebie uprawnej (profil 2), gdzie osiągała maksimum w poziomie przemywania (15,8%), podczas gdy w poziomach Ap i Bt wynosiła 5,5 i 5,9%. W glebie leśnej wytworzonej z lessu (profil 3) rozkład makroporów był bardzo podobny do rozkładu



Rys. 7. Zagęszczenie (ρ) badanych gleb
Fig.7. Bulk density (ρ) of investigated soil



Rys. 8. Porowatość ogólna (P) badanych gleb
Fig. 8. Total porosity (P) of investigated soil



Rys. 9. Zawartość porów różnych wielkości w badanych glebach
Fig. 9. Amount of different size pores in investigated soil

w profilu 1 z tą różnicą, że ich zawartość była większa (od 27,6% w poziomie Ah do 10% w poziomie Bt2 i z nieznacznym wzrostem w poziomie C – do 10,5%). W glebie uprawnej wytworzonej z lessu (profil 4) maksymalną ilość makroporów (10,3%) odnotowano w poziomie C. W położonej wyżej części profilu, tj. poziomach Ap, Et i Bt, zawartość makroporów wahała się od 4,7 do 7,8%.

Gleby leśne charakteryzowały się wyższą zawartością makroporów w porównaniu z uprawnymi. O ile w przypadku gleb leśnych duży udział makroporów cechuje profil wytworzony z lessu, o tyle w górnych częściach profili gleb uprawnych (poza skałą macierzystą) mamy do czynienia ze zjawiskiem odwrotnym, powiązanym z małą stabilnością struktury agregatowej tych gleb.

Zawartość mezoporów zmieniała się następująco: w profilu 1 wynosiła od 25,2% w poziomie Ah do około 16% w poziomach Eet, Eg i Bt i 24,8% w poziomie BtC. W profilu 2 udział mezoporów zmniejszał się nieznacznie wraz z głębokością od 26,5% w poziomie Ap do 20,4% w Bt. W profilu 3, podobnie jak w profilu 1, początkowo spadał wraz z głębokością od 20,9% w poziomie Ah do 19,8% w poziomie Bt1, by wzrosnąć do 27,4% w poziomie C. W profilu 4 nie wykazywał związku z głębokością i wynosił od 22,4 (Bt) do 29% (Eet).

Analiza uzyskanych wyników wskazuje, że w glebach leśnych poniżej poziomu przemywania mezopory mają zdecydowanie największy udział spośród wszystkich klas wielkości porów. W przypadku gleb uprawnych właściwość ta jest jeszcze bardziej wyraźna i dotyczy całego profilu glebowego. Jest to szczególnie istotne, gdyż w porach tych wiązana jest woda dostępna dla roślin.

Zawartość mikroporów w glebach wytworzonych z lessu (6,3-15,5%) była wyższa niż w piaszczysto-pyłowych (3,7-8,9%) oraz wyższa w leśnych (4,8-15,5%) niż w uprawnych (3,7-12,8%). W glebach wytworzonych z lessu w poziomie Bt profilu 3 oraz w poziomach Ap – Bt profilu 4 udział mikroporów przewyższał udział makroporów. Podobne zjawisko w przypadku utworu piaszczysto-pyłowego zaobserwowano tylko w poziomie iluwialnym gleby leśnej, natomiast nie wystąpiło w glebie uprawnej.

4.2. Właściwości hydrofizyczne badanych gleb

4.2.1. Charakterystyki potencjał wody glebowej – wilgotność (krzywe retencji wodnej)

Statyczne charakterystyki wodne gleby (krzywe retencji wodnej) dotyczą zależności pomiędzy wilgotnością a energią wiązania wody w glebie. W chemii fizycznej przyjęto uważać energię wiązania wody jako potencjał chemiczny, czyli parcjalną właściwą swobodną energię przy nieobecności zewnętrznych pól sił.

W profilu glebowym jednak na równowagę i ruch wody wpływa także siła grawitacji, dlatego też całkowity potencjał wody glebowej można przedstawić jako:

$$\Psi_c = \Psi_w + \Psi_z$$

gdzie: Ψ_c – potencjał całkowity, Ψ_w – potencjał wody glebowej, Ψ_z – potencjał grawitacyjny.

Potencjał wody glebowej w warunkach izotermicznych jest definiowany jako ilość pracy towarzysząca przeniesieniu jednostkowej masy wody z czystej swobodnej wody, znajdującej się na umownym poziomie zerowym w polu grawitacyjnym, do roztworu glebowego znajdującego się w dużej objętości gleby o określonej wilgotności i składa się z:

$$\Psi_w = \Psi_p + \Psi_o + \Psi_m$$

gdzie: Ψ_w – potencjał wody glebowej, Ψ_p – potencjał ciśnieniowy, Ψ_o – potencjał osmotyczny, Ψ_m – potencjał macierzysty.

Potencjał wody glebowej określany jest w $J \cdot kg^{-1}$ lub w $J \cdot m^{-3}$. Jeżeli rozpatrzymy wyrażanie potencjału wody glebowej jako:

$$J \cdot m^{-3} = N \cdot m \cdot m^{-3} = N \cdot m^{-2}$$

to stwierdzimy, że potencjał wody można wyrażać w jednostkach ciśnienia.

Przy praktycznych pomiarach potencjału wody glebowej, wyznaczając potencjał fazy ciekłej, mierzymy tzw. ciśnienie ekwiwalentne lub tzw. siłę ssącą, tj. ciśnienie, którym należy działać na roztwór glebowy w celu zahamowania przenikania przez ośrodki półprzepuszczalne czystej wody do roztworu glebowego, w którym woda ma niższy potencjał. Można również działać podciśnieniem na czystą wodę. To ekwiwalentne ciśnienie jest miarą różnicy potencjałów pomiędzy czystą wodą a wodą znajdującą się w glebie. Ciśnienie to wyrażane jest w barach (USA), hPa lub wysokością słupa wody w cm. Ponieważ ciśnienia obejmują bardzo szeroki zakres wartości przyjętym jest wyrażanie ekwiwalentnego ciśnienia jako dziesiętnego logarytmu ciśnienia ekwiwalentnego wyrażonego w cm i oznaczenie go symbolem pF i takim symbolem posłużono się w pracy w opisach rysunków [16,42].

Wilgotność gleby, czyli ilość zawartej w niej wody, wyrażono w $m^3 \cdot m^{-3}$, gdyż znajomość ilości wody wiązanej różnymi siłami zawartej w jednostce objętości gleby jest szczególnie przydatna z rolniczego punktu widzenia, bowiem możliwości zaopatrywania roślin w wodę uwarunkowane są ilością i energią wiązania wody w objętości gleby przerośniętej systemem korzeniowym. Ponadto znajomość tej zależności umożliwia bilansowanie wody w różnych warstwach gleby.

Charakterystyki potencjał wody glebowej – wilgotność w procesie osuszania dla badanych gleb przedstawiono na rysunku 10. Analizując ich przebieg można stwierdzić, że krzywe retencji wodnej gleb wytworzonych z utworu piaszczysto-pyłowego

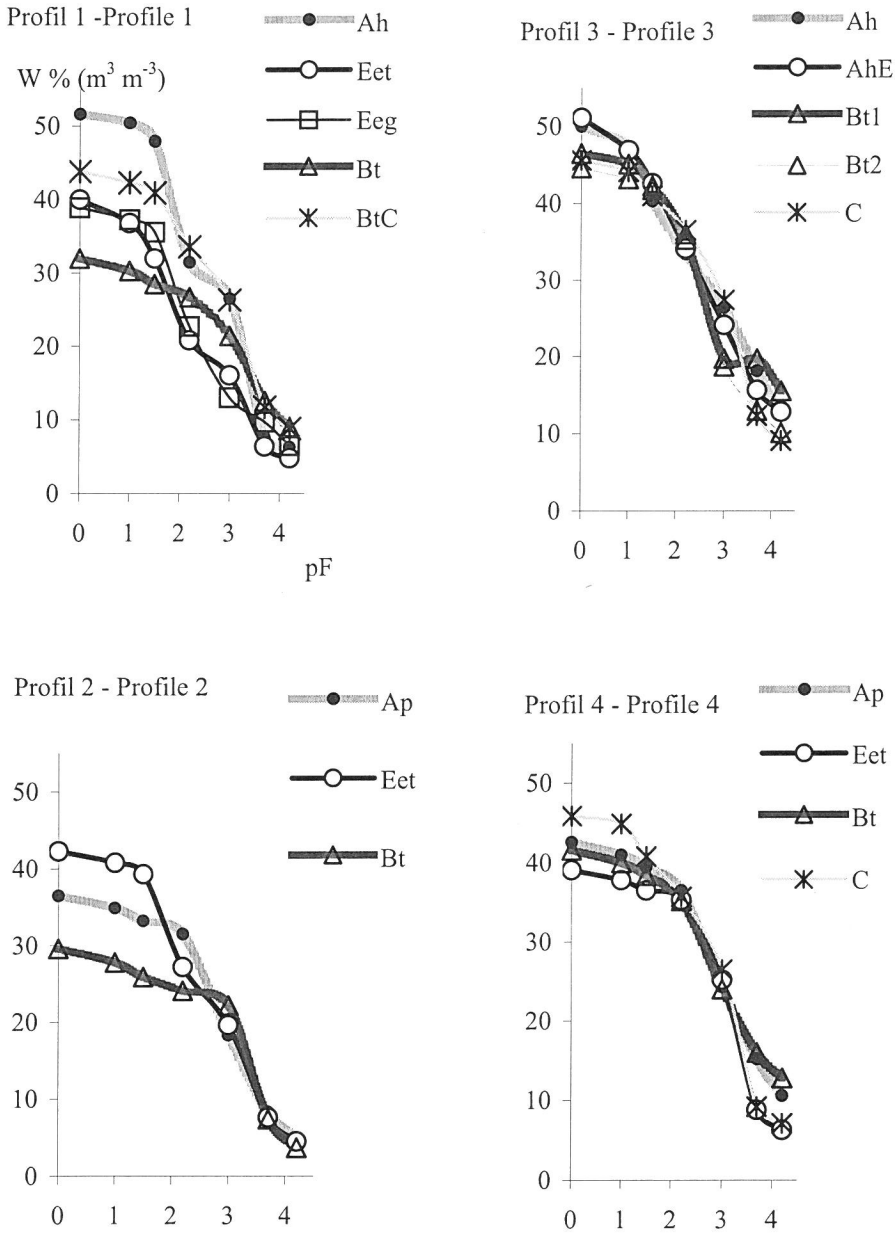
(profile 1 i 2) wykazują znaczące zróżnicowanie w porównaniu z glebami wytworzonymi z lessu (profile 3 i 4). Szczególnie duże różnice w zawartości wody (dochodzące do 20%) dla poziomów genetycznych profili 1 i 2 odnotowano w zakresie niskich wartości pF (<pF2,2). W profilach 3 i 4 krzywe retencji wodnej dla poszczególnych poziomów genetycznych niemal nakładają się na siebie, z wyjątkiem przedziału pF 0-1,5 w którym różnice w wilgotności nie przekraczają kilku procent.

W poziomach akumulacyjnych wilgotność odpowiadająca pełnej pojemności wodnej (pF 0) wynosi w przypadku gleb leśnych 51,6% (profil 1) i 50% (profil 3). W glebach uprawnych jest ona niższa i wynosi odpowiednio 36,5% (profil 2) i 42,6% (profil 4). Zróżnicowanie ze względu na rodzaj skały macierzystej jest w przypadku pełnej pojemności wodnej słabiej widoczne niż zróżnicowanie ze względu na sposób użytkowania.

Różnica między zawartością wody przy pełnym nasyceniu a polową pojemnością wodną (pF 2,2) w poziomach akumulacyjnych również jest wyraźniejsza w glebach leśnych w porównaniu z uprawnymi. W glebach leśnych wilgotność przy pF 2,2 wynosi 31,5% w profilu 1 (różnica między pełną a polową pojemnością wodną wynosi w tym wypadku 20,1%) i 33,4% w profilu 3 (różnica między pełną a polową pojemnością wodną – 16,6%). W glebach uprawnych wilgotność ta wynosi 31,5% w profilu 2 (różnica między pełną a polową pojemnością wodną – 5%) oraz 36,5% w profilu 4 (różnica między pełną a polową pojemnością wodną – 6,1%). Zatem wilgotność odpowiadająca polowej pojemności wodnej w poziomach akumulacyjnych wszystkich badanych gleb jest zbliżona (nieco wyższa w glebach wytworzonych z lessu). Dalsza część krzywych retencji wodnej dla poziomów akumulacyjnych ma podobne nachylenie we wszystkich badanych glebach. Punkt trwałego więdnięcia roślin dla tych poziomów odpowiada wilgotności 6,3% w profilu 1 i 5% w profilu 2. W glebach wytworzonych z lessu wartości te są wyższe i wynoszą 12,5% w profilu 3 oraz 10,6% w profilu 4.

W poziomach przemywania wilgotność odpowiadająca pełnej pojemności wodnej (pF 0) wynosi w przypadku gleb leśnych 40% (profil 1) i 51,1% (profil 3), w glebach uprawnych – 42,3% (profil 2) i 39,1% (profil 4). Natomiast wilgotność odpowiadająca polowej pojemności wodnej w odniesieniu do poziomów przemywania badanych gleb wynosi w glebach leśnych 20,8% (profil 1) i 34,1% (profil 3), natomiast w uprawnych 27,2% (profil 2) i 37,3% (profil 4). Zatem jest ona wyższa w glebach uprawnych w porównaniu z leśnymi wytworzonymi z takiej samej skały macierzystej oraz wyższa w glebach wytworzonych z lessu w porównaniu z wytworzonymi z utworu piaszczysto-pyłowymi tak samo użytkowanymi.

Punkt trwałego więdnięcia roślin (pF 4,2) dla poziomów przemywania badanych gleb odpowiada wilgotności 4,8% w profilu 1 i 4,5% w profilu 2. W glebach wytworzonych z lessu wartości te są wyższe i wynoszą 12,8% w profilu 3 oraz 6,3% w profilu 4.



Rys. 10. Krzywe retencji wodnej badanych gleb
Fig. 10. Water retention curves of investigated soils

Krzywe retencji wodnej dla poziomów iluwialnych wykazują zróżnicowanie w zależności od skały macierzystej. Wilgotność odpowiadająca pełnej pojemności wodnej jest znacznie wyższa w glebach wytworzonych z lessu (46,5% w profilu 3 i 41,6% w profilu 4) w porównaniu z glebami wytworzonymi z utworu piaszczysto – pyłowego (32% w profilu 1 i 29,6% w profilu 2). W glebach wytworzonych z utworu piaszczysto – pyłowego krzywe retencji wodnej dla poziomów Bt w zakresie pF 0 – pF 2,2 są spłaszczone, natomiast w glebach wytworzonych z lessu – strome. Wilgotność przy pF 2,2 wynosi 26,7% w profilu 1 (różnica między pełną a polową pojemnością wodną wynosi 5,3%) i 24,1% w profilu 2 (różnica między pełną a polową pojemnością wodną – 5,5%). W glebach wytworzonych z lessu wilgotność ta wynosi 35,3% w profilu 3 (różnica między pełną a polową pojemnością wodną – 11,2%) oraz 35,2% w profilu 4 (różnica między pełną a polową pojemnością wodną – 6,4%). Zatem wilgotność odpowiadająca polowej pojemności wodnej w poziomach iluwialnych jest wyższa w glebach wytworzonych z lessu.

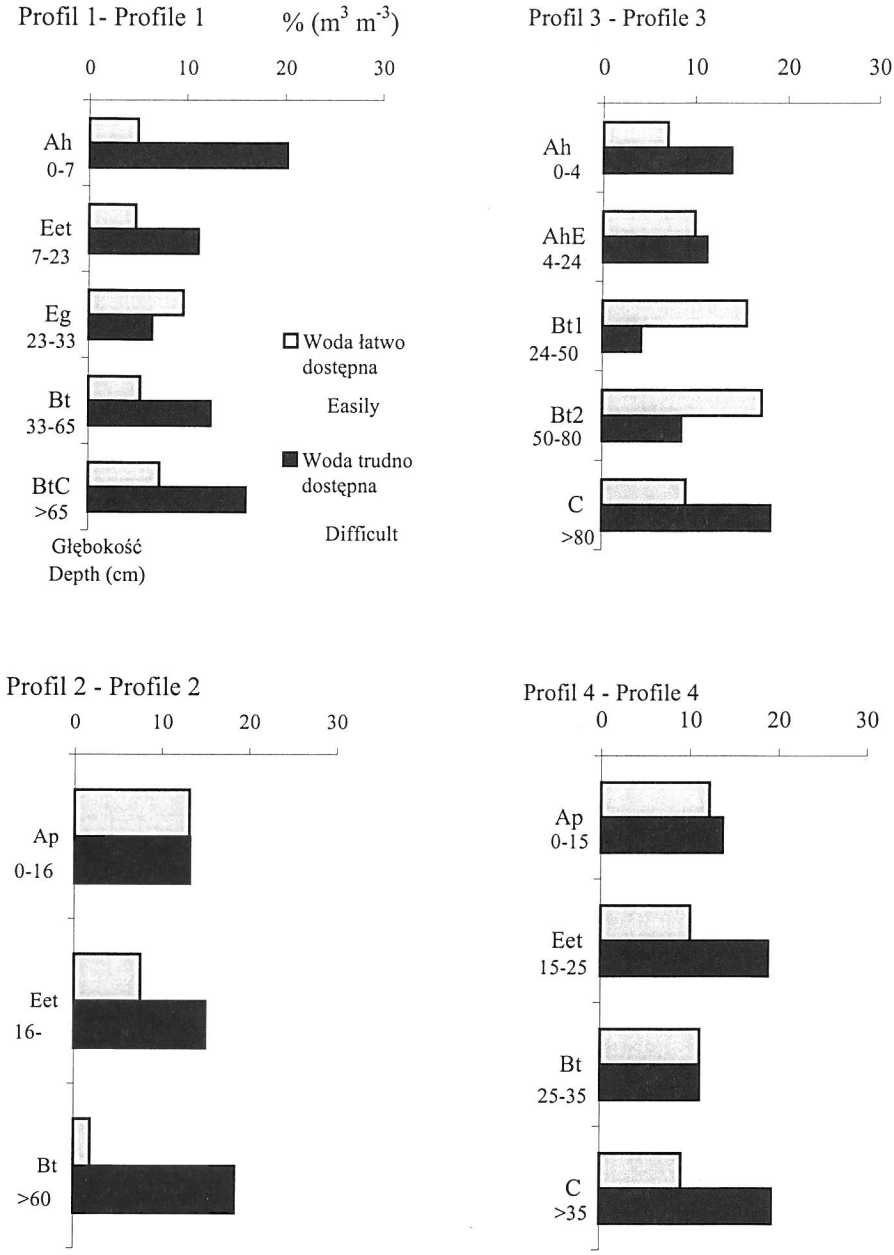
Punkt trwałego więdnięcia roślin dla poziomów Bt odpowiada wilgotności 8,9% w profilu 1 i 3,7% w profilu 2. W glebach wytworzonych z lessu wartości te są wyższe i wynoszą 15,5% w profilu 3 oraz 12,8% w profilu 4. Powyższe dane wskazują również na to, że wilgotność odpowiadająca punktowi trwałego więdnięcia roślin jest wyższa w glebach leśnych w porównaniu z uprawnymi.

4.2.1.1. Woda dostępna dla roślin

Woda dostępna dla roślin jest to woda retencjonowana w porach glebowych o średnicach 18,5-0,2 μm, przy czym woda łatwo dostępna dla roślin zajmuje pory o średnicy 18,5-2 μm, natomiast woda trudno dostępna – pory o średnicy 2-0,2 μm. Zawartość obu kategorii wody dostępnej dla roślin przedstawiono na rysunku 11.

Zawartość wody łatwo dostępnej dla roślin w glebach wytworzonych z utworu piaszczysto – pyłowego waha się od 4,8 do 9,7% w profilu 1 (gleba leśna) i od 1,9 do 13,2% w profilu 2 (gleba uprawna). W glebie leśnej udział wody łatwo dostępnej dla roślin był najwyższy w poziomie Eg (9,7%) i BtC (7,3%), zaś najniższy w poziomie Eet (4,8%). W glebie uprawnej woda łatwo dostępna stanowiła 13,2 % w poziomie Ap, poniżej tego poziomu jej zawartość gwałtownie spadała do 1,9% w poziomie Bt.

W glebach wytworzonych z lessu zawartość wody łatwo dostępnej dla roślin była wyższa w porównaniu z poprzednio omówionymi profilami. W profilu 3 (gleba leśna) zawartość ta wahała się w granicach od 7 do 17,3%, zaś w profilu 4 (gleba uprawna) – od 9,2 do 12,2%. W glebie leśnej najbardziej zasobny w wodę łatwo dostępna dla roślin był poziom Bt2 (17,3%), zaś najmniej zasobny poziom Oh (7%). Natomiast w glebie uprawnej, podobnie jak w przypadku analogicznego pod względem użytkowania profilu 2, zawartość wody łatwo dostępnej zmniejszała się w głąb profilu od 12,2% w poziomie Ap do 9,2% w poziomie C.



Rys. 11. Zawartość wody łatwo i trudno dostępnej dla roślin w badanych glebach
Fig. 11. Amount of easily and difficult available for plants water in investigated soils

Woda trudno dostępna dla roślin w większości poziomów genetycznych badanych gleb występowała w ilości znacznie większej niż woda łatwo dostępna. Wyjątkiem był tu poziom Eg gleby leśnej wytworzonej z utworu piaszczysto-pyłowego, w którym woda trudno dostępna stanowiła 6,5% przy 9,7% wody łatwo dostępnej oraz poziomy Bt1 i Bt2 gleby leśnej wytworzonej z lessu, w których woda łatwo dostępna stanowiła odpowiednio 4,2 i 8,6% przy 15,6 i 17,3% wody łatwo dostępnej. W glebach uprawnych wytworzonych z obu skał macierzystych zawartość wody trudno dostępnej dla roślin była zawsze większa niż zawartość wody łatwo dostępnej.

Zawartość wody trudno dostępnej dla roślin w glebach wytworzonych z utworu piaszczysto – pyłowego zawiera się w granicach od 6,5 do 20,2% w profilu 1 (gleba leśna) i od 13,3 do 18,5% w profilu 2 (gleba uprawna). W glebie leśnej udział tego rodzaju wody był najwyższy w poziomie Ah (20,2%), po czym spadał wraz z głębokością do 6,5% w poziomie Eg, by poniżej tego poziomu znów wzrosnąć aż do 17,5% w poziomie BtC. W glebie uprawnej zawartość wody trudno dostępnej dla roślin rośnie wraz z głębokością od 13,3% w poziomie Ap do 18,5% w poziomie Bt.

W przypadku gleby leśnej wytworzonej z lessu (profil 3) zawartość wody trudno dostępnej dla roślin w porównaniu z glebą wytworzoną z utworu piaszczysto – pyłowego jest nieco mniejsza, a jej rozkład w zależności od głębokości jest bardzo zbliżony do układu w profilu 1. Zawartość wody trudno dostępnej wynosiła 13,9% w poziomie Ah, po czym zmniejszała się do 4,2% w poziomie Bt1, a maksimum – 18,6% osiągnęła w poziomie C.

W glebie uprawnej wytworzonej z lessu (profil 4) zawartość wody trudno dostępnej dla roślin nie wykazuje związku z głębokością i jest wyższa niż w glebie uprawnej wytworzonej z utwory piaszczysto – pyłowego (profil 2). Jej ekstremalne wartości wynoszą 11,2% w poziomie Bt i 19,4% w poziomie C.

4.2.2. Przewodnictwo wodne w strefie nasyconej i nienasyconej

Jedną z ważniejszych funkcji gleby w cyrkulacji wody w biosferze jest jej zdolność do wchłaniania wody z opadów i nawodnień oraz przekazywanie sąsiadującym warstwom. Właściwość ta, wraz z nachyleniem terenu, decyduje o ilości wody magazynowanej w profilu glebowym, umożliwia zasilanie nią wód podziemnych, zapobiega spływom powierzchniowym oraz zabezpiecza glebę przed erozją.

Ruch wody w glebie można opisać równaniem:

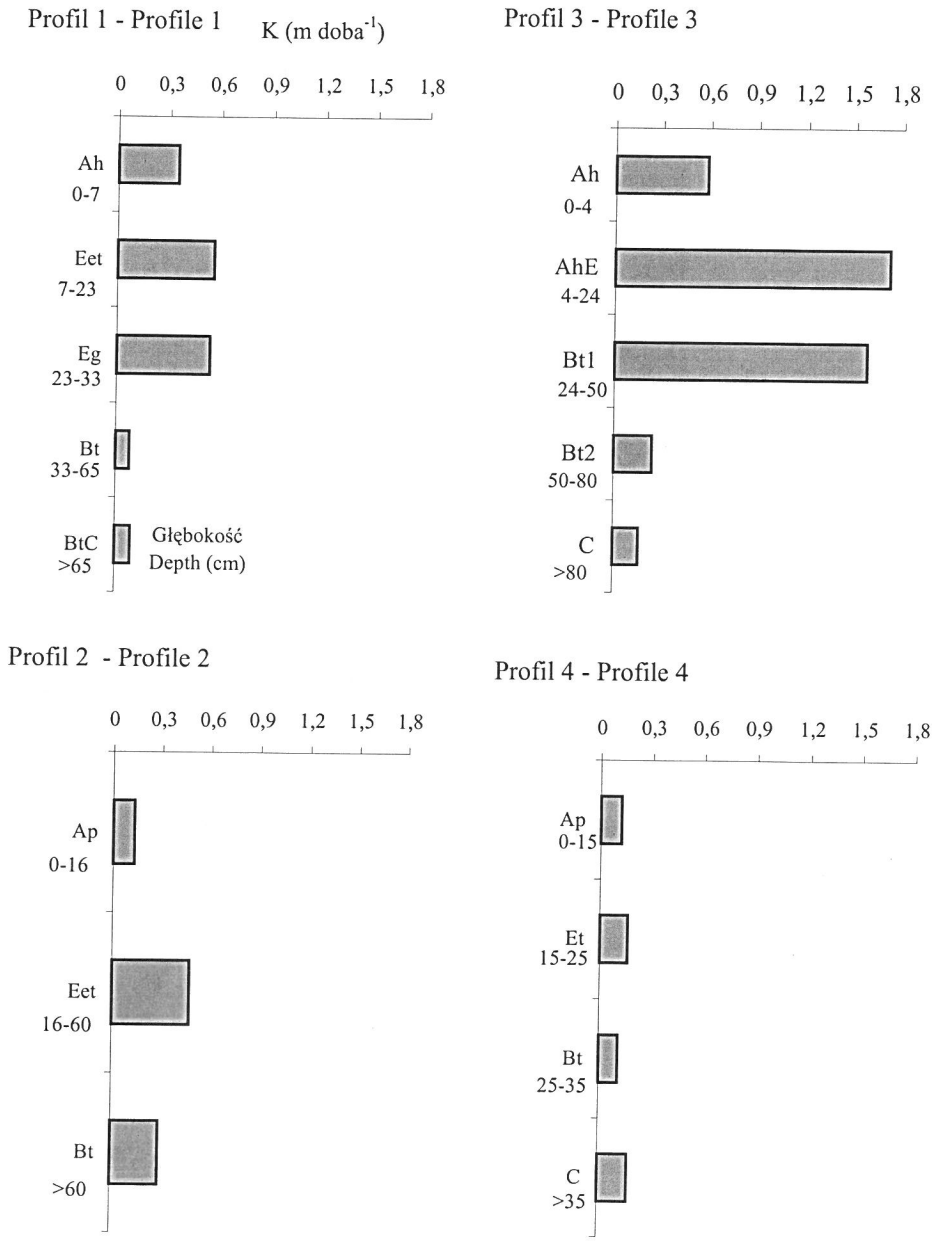
$$J_w = -K_w \frac{\Psi_h}{\Delta s}$$

gdzie: J_w – gęstość strumienia wody ($cm \cdot s^{-1}$), K_w– przewodnictwo wodne ($cm \cdot s^{-1}$), Ψ_h – różnica potencjałów wody glebowej (cm) pomiędzy dwoma punktami, Δs – odległość pomiędzy dwoma punktami (cm).

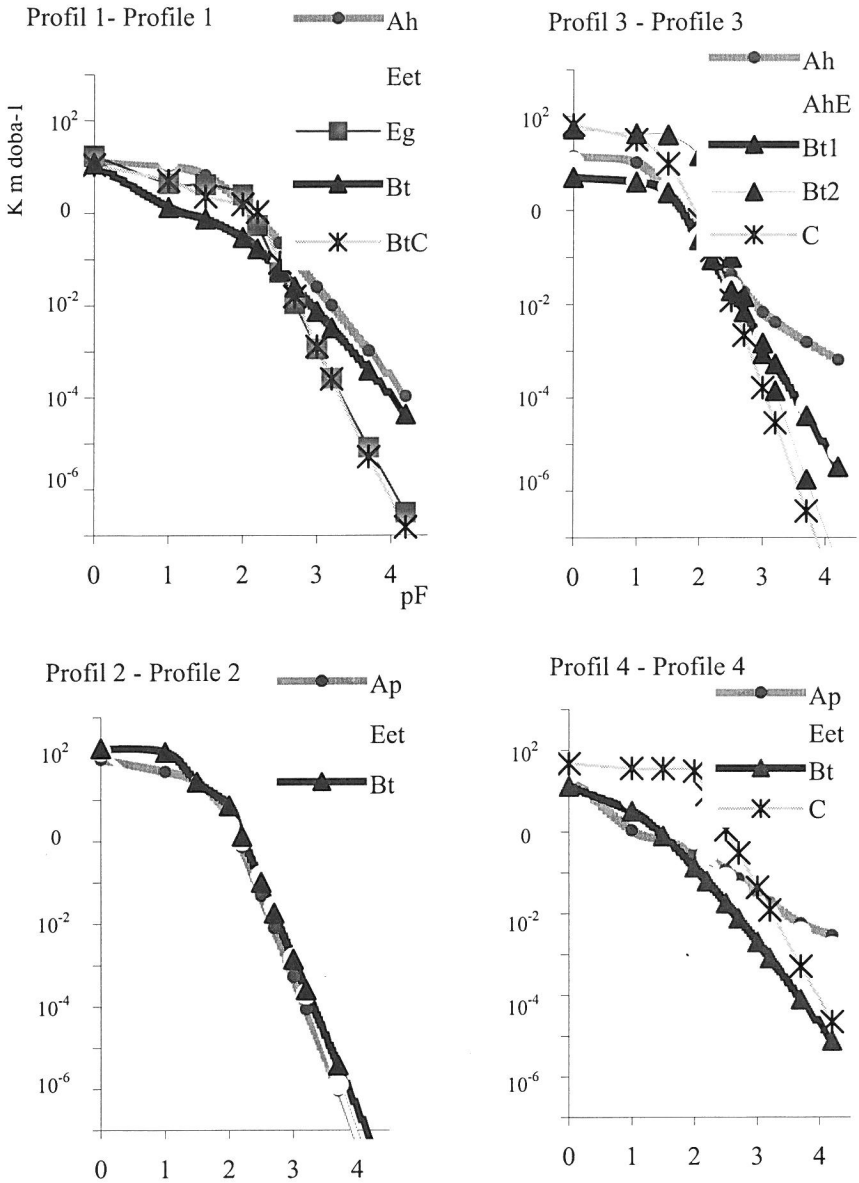
Ruch wody znajdującej się w glebie może zachodzić w warunkach pełnego i niepełnego nasycenia. Warunki pełnego nasycenia wodą gleby zwykle trwają krótko i mają miejsce bezpośrednio po opadach lub nawodnieniach. W pozostałych przypadkach mamy do czynienia z warunkami niepełnego nasycenia wodą. Czynnikiem decydującym o ruchu wody w glebie, poza jej budową, jest gradient potencjału wody, a różnica pomiędzy ruchem wody w strefie nasyconej i nienasyconej polega na tym, że wpływ składowej grawitacyjnej potencjału wody glebowej na przepływ wody w strefie nienasyconej jest znikomy. Z tego też powodu metody wyznaczania współczynnika przewodnictwa wodnego w strefie nasyconej i nienasyconej gleb są różne [16,21,42].

Wartości współczynnika przewodnictwa wodnego w strefie nasyconej dla badanych gleb przedstawiono na rysunku 12. Analizując uzyskane dane można zauważyć, że wyższym przewodnictwem wodnym charakteryzowały się poziomy genetyczne gleby leśnej wytworzonej z lessu (profil 3) w porównaniu z analogicznymi poziomami gleby leśnej wytworzonej z utworu piaszczysto-pyłowego (profil 1). W obu tych profilach najwyższy współczynnik K zaobserwowano w poziomie Et (0,56 m·doba^{-1} w profilu 1 i 1,72 m·doba^{-1} w profilu 3). Analogiczne wartości K w poziomach Ah wynosiły 0,35 i 0,58 m·doba^{-1}. W poziomach skały macierzystej były najniższe – 0,09 i 0,16 m·doba^{-1}. W przypadku gleb uprawnych (profile 2 i 4) wyższym przewodnictwem wodnym w stanie nasyconym charakteryzował się profil wytworzony z utworu piaszczysto-pyłowego, zwłaszcza w poziomie Bt (0,48 m·doba^{-1} w profilu 2 i 0,11 m·doba^{-1} w profilu 4). Generalnie współczynnik przewodnictwa wodnego K w glebach uprawnych był znacznie niższy niż w glebach leśnych.

W badanych glebach płowych, tak wytworzonych z utworu piaszczysto- pyłowego, jak i z lessu, krzywe przewodnictwa wodnego w strefie nienasyconej w funkcji potencjału (pF) mają zbliżony charakter przebiegu (rys. 13). Charakteryzuje się on nieznacznym spadkiem wartości współczynnika przewodnictwa wodnego do pF 2 oraz gwałtownym zmniejszaniem się jego wartości w zakresie pF 2-pF 4,2. Maksymalne wartości współczynnika przewodnictwa wodnego przy pF 1 wynosiły: 14,38 m·doba^{-1} w profilu 1; 144, 59 m·doba^{-1} w profilu 2; 42,57 m·doba^{-1} w profilu 3 i 35,72 m·doba^{-1} w profilu 4. Przy pF 2 analogiczne wartości wynosiły: 2,50 m·doba^{-1}; 7,29 m·doba^{-1}; 14,16 m·doba^{-1} i 30,36 m·doba^{-1}. Natomiast minimalne wartości współczynnika przewodnictwa wodnego przy pF 4,2 wynosiły: $9 \cdot 10^{-8}$ m·doba^{-1} w profilu 1; $1 \cdot 10^{-8}$ m·doba^{-1} w profilu 2; $5 \cdot 10^{-8}$ m·doba^{-1} w profilu 3 i $8 \cdot 10^{-6}$ m·doba^{-1} w profilu 4. W przypadku gleb wytworzonych z lessu krzywe dla poszczególnych poziomów genetycznych mają bardziej zróżnicowany przebieg w porównaniu z glebami wytworzonymi z utworu piaszczysto-pyłowego. Poziomy Ah gleb leśnych charakteryzują się wyższą wartością K w porównaniu z glebami leśnymi w granicach pF 0-pF 1,5. Wraz ze wzrostem wartości pF współczynniki K zmniejszają się, ale przy analogicznych wartościach pF spadek jest bardziej wyraźny w obu



Rys. 12. Współczynnik przewodnictwa wodnego (K) w strefie nasyconej badanych gleb
Fig. 12. Saturated conductivity coefficient (K) in investigated soils



Rys. 13. Współczynnik przewodnictwa wodnego (K) w strefie nienasyconej badanych gleb
Fig. 13. Unsaturated conductivity coefficient (K) in investigated soils

glebach (leśnej i uprawnej) wytworzonych z utworu piaszczysto-pyłowego niż z lessu. Zdecydowanie najniższe wartości współczynnika K w zakresie pF 2,2-pF 4,2 w poziomie Ap obserwowano w profilu 2. W zakresie pF 2,2-pF 4,2 przewodnictwo w poziomach przemywania spada gwałtowniej w glebach wytworzonych z utworu piaszczysto-pyłowego (profil 1 i 2) w porównaniu z wytworzonymi z lessu (profil 3 i 4). Poziomy iluwialne gleb wytworzonych z utworu piaszczysto-pyłowego w granicach pF 0-pF 1,5 charakteryzują się znacznie wyższym przewodnictwem w porównaniu z analogicznymi poziomami gleb wytworzonych z lessu. Spadek współczynnika przewodnictwa wodnego w zakresie wyższych wartości pF jest w tych poziomach zróżnicowany w zależności od sposobu użytkowania gleb, tj. mniej gwałtowny w glebach leśnych w porównaniu z uprawnymi. W przypadku tych drugich niższe wartości K przy analogicznym potencjale występowały w glebie wytworzonej z utworu piaszczysto-pyłowego.

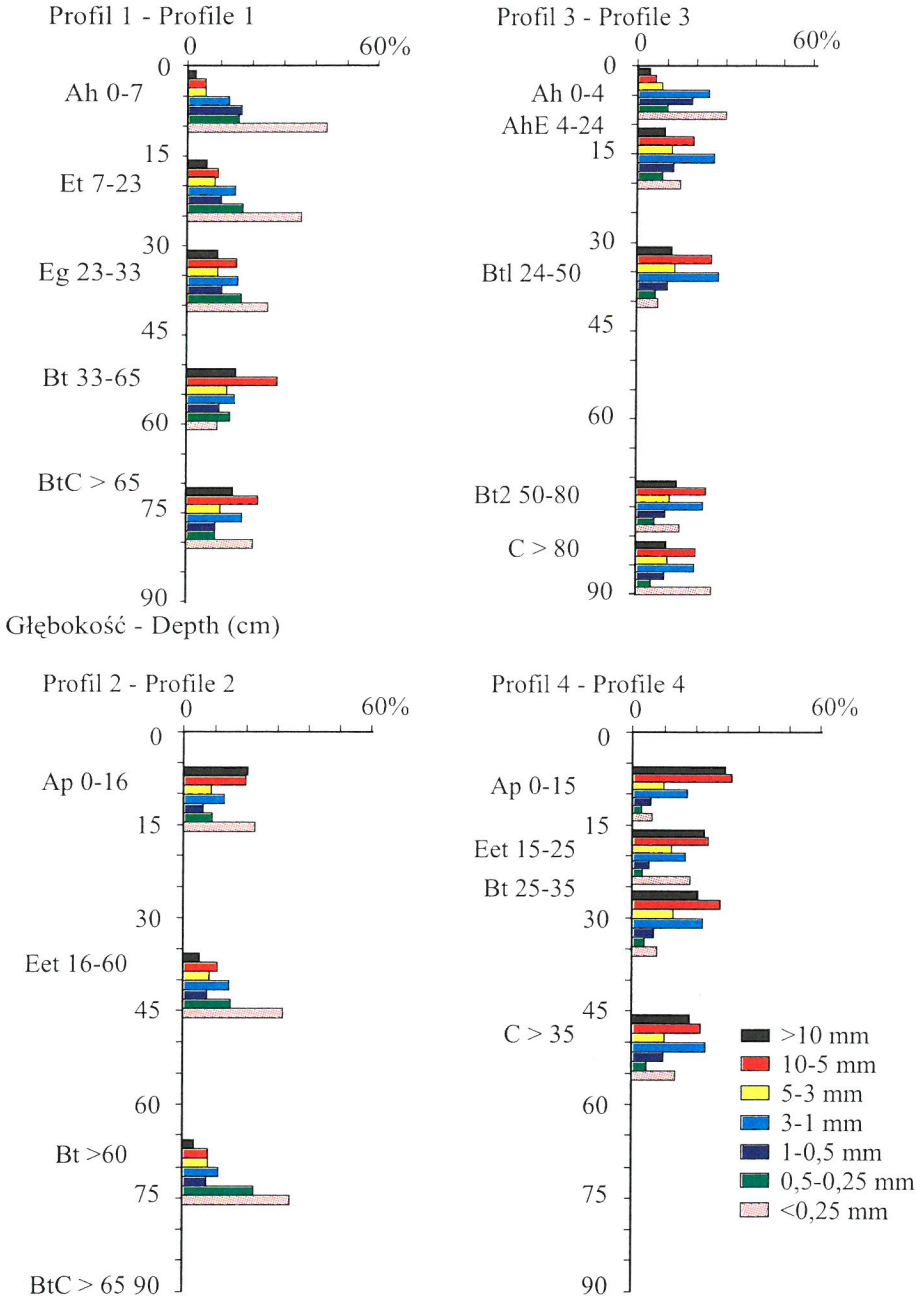
Porównanie przebiegu zmienności współczynnika przewodnictwa wodnego w zależności od wartości potencjału wody glebowej (pF) (rys. 13) oraz przebiegu krzywych retencji wodnej (rys. 10) pozwala na stwierdzenie, że w przypadku badanych gleb istnieje ścisła zależność pomiędzy ich statycznymi i dynamicznymi charakterystykami wodnymi.

4.3. Agregacja badanych gleb i jej trwałość

Agregacja gleby i jej odporność na czynniki destrukcyjne jest jednym z najważniejszych czynników decydujących o żyzności i urodzajności gleby oraz o bilansie wodnym pól i regionów [42]. Budowa agregatowa ma podstawowe znaczenie dla stosunków wodno-powietrznych wszystkich gleb mineralnych. Wielkość agregatów glebowych determinuje ich właściwości fizyczne, między innymi ich trwałość [5,11,18,19,23,27,28,31].

4.3.1. Rozkład agregatowy

Rozkład agregatowy badanych gleb wykazuje różnice w zależności od skały macierzystej, jak i od sposobu ich użytkowania. Zwiększona zawartość agregatów o średnicy powyżej 10 mm jest charakterystyczna dla gleb uprawnych (rys. 14). Wynosi ona odpowiednio 3-20% w profilu 2 i 18-29% w profilu 4. W glebach leśnych zawartość ta wynosi odpowiednio 2-14% w profilu 1 oraz 4-14% w profilu 3. Z powyższych danych wynika, że agregatów większych od 10 mm jest więcej w glebach wytworzonych z lessu (profil 3 i 4) w porównaniu z wytworzonymi z utworu piaszczysto-pyłowego (profil 1 i 2). Różnice te są jednak mniej wyraźne niż w przypadku, gdy kryterium podziału jest sposób użytkowania. Charakterystyczne jest, że w przypadku gleb leśnych udział największych agregatów rośnie wraz z głębokością. Poziom Ah profilu 1 zawiera 2% agregatów powyżej 10 mm, podczas gdy poziom Bt – 15%. Poziom Ah profilu 3 zawiera 4% tej frakcji, podczas gdy



Rys. 14. Rozkład agregatowy badanych gleb
Fig. 14. Aggregate size distribution of investigated soil

poziom Bt2 – 14%. Spadek zawartości agregatów większych od 10 mm następuje natomiast w skale macierzystej: 14% w profilu 1 i 10% w profilu 3. W glebach uprawnych mamy do czynienia ze zjawiskiem odwrotnym, tj. spadkiem procentowego udziału agregatów większych od 10 mm w głąb profilu. W profilu 2 poziom Ap zawiera 20% tej frakcji, podczas gdy poziom Bt – 3%. W profilu 4 zawartość agregatów większych od 10 mm spada od 29% w poziomie Ap do 18% w poziomie C.

Bardzo podobnie kształtuje się rozkład agregatów frakcji 10-5 mm. Obserwuje się tu te same zjawiska i zależności, co w przypadku frakcji o średnicy większej od 10 mm, tj. zwiększoną jej zawartość w glebach wytworzonych z lessu w porównaniu do wytworzonych z utworu piaszczysto pyłowego, a także zwiększoną jej zawartość w glebach uprawnych w porównaniu z leśnymi (wzrost jej udziału wraz z głębokością w glebach leśnych od 5 do 28% w profilu 1 i od 6 do 25% w profilu 3 oraz spadek w uprawnych (od 20 do 8% w profilu 2 i od 31 do 22% w profilu 4).

Podobnie również kształtuje się rozkład agregatów frakcji 5-3 mm, choć różnice w zawartości tej frakcji pomiędzy glebami leśnymi i uprawnymi nie są wyraźne. W glebach wytworzonych z utworu piaszczysto-pyłowego jej zawartość waha się od 5 do 12% w profilu 1 (gleba leśna) i od 8 do 9% w profilu 2 (gleba uprawna). W glebach wytworzonych z utworu piaszczysto-pyłowego zawartość agregatów frakcji 5-3 mm wynosi od 8 do 12% w profilu 3 (gleba leśna) i od 9 do 12% w profilu 4 (gleba uprawna).

Gleby wytworzone z lessu (zarówno leśne jak i uprawne) zawierają zwiększoną ilość agregatów frakcji 3-1 mm w porównaniu z glebami wytworzonymi z utworów piaszczysto-pyłowych. W profilu 1 agregaty te stanowią od 12% w poziomie Ah do 17% w poziomie BtC. W profilu 2 ich zawartość jest nieznacznie mniejsza i wynosi od 12% w poziomie Bt do 15% w poziomie Eet. W profilu 3 zawartość agregatów frakcji 3-1 mm waha się od 19% w poziomie C do 28% w poziomie Bt1, zaś w profilu 4 wartości te wynoszą odpowiednio – 17% w poziomie Eet i 23% w poziomie C. Z powyższych danych widać, że badane gleby leśne są w większym stopniu zbudowane z agregatów o wymiarach 3-1 mm niż uprawne, niezależnie od tworzącej je skały macierzystej.

Zawartość agregatów frakcji 1-0,5 mm w obu badanych glebach leśnych jest zbliżona. W profilu 1 wynosi ona 17% w poziomie Ah i spada wraz z głębokością do 8% w poziomie BtC. W profilu 3 zaś waha się od 18% w poziomie Ah do 9% w poziomie Bt2. Różnice dla analogicznych poziomów obu gleb leśnych nie przekraczają 2%. W glebach uprawnych zawartość agregatów frakcji 1-0,5 mm jest niższa niż glebach leśnych, przy czym gleby wytworzone z lessu są zasobniejsze w agregaty tej frakcji jedynie w dolnej części profilu. W profilu 2 zawartość ta

wynosi od 6% w poziomie Ap do 8% w poziomie Eet, podczas gdy w profilu 4 – od 5% w poziomie Eet do 9% w poziomie C.

Zawartość agregatów frakcji 0,5-0,25 mm zależy od rodzaju skały macierzystej, przy czym obserwuje się tendencje odwrotne niż w przypadku dużych agregatów (10-1 mm). Zwiększona ilość tej frakcji agregatów jest charakterystyczna dla gleb wytworzonych z utworu piaszczysto-pyłowego w porównaniu do wytworzonych z lessu. W profilu 1 ich zawartość waha się od 8 do 18%, zaś w profilu 2 – od 9 do 23%. Natomiast w profilach wytworzonych z lessu zawartość ta wynosi od 5 do 10% w profilu 3 i od 2 do 5% w profilu 4.

Podobnie układa się zawartość agregatów o średnicy poniżej 0,25 mm. W glebach wytworzonych z utworu piaszczysto-pyłowego (profil 1 i 2) ta frakcja zdecydowanie dominuje. W profilu 1 w poziomie Ah zawartość agregatów mniejszych od 0,25 mm wynosi 43% po czym spada do 9% w poziomie Bt, zaś poniżej – w poziomie BtC – wzrasta do 20%. Rozkład tej frakcji w glebie leśnej wytworzonej z utworu piaszczysto-pyłowego jest więc odwrotny do rozkładu agregatów o największej badanej średnicy. W profilu 2 zawartość agregatów poniżej 0,25 mm rośnie wraz z głębokością od 23% w poziomie Ap do 39% w poziomie Bt. W glebach wytworzonych z lessu zawartość tej frakcji jest prawie dwukrotnie niższa i nie wykazuje związku z głębokością. W profilu 3 wynosi ona od 7 do 30%, zaś w profilu 4 – od 6 do 18%.

4.3.2. Wodoodporność agregatów

Zanik struktury agregatowej wiąże się z odpornością agregatów glebowych, przede wszystkim na destrukcyjne działanie wody, a wodoodporność agregatów jest jedną z najbardziej istotnych ich cech, przyjmowaną za miarę jakości agregacji gleby [27,32,42].

4.3.2.1. Wodoodporność wyznaczona metodą przesiewania w wodzie, produkty rozpadu

Ilość wodoodpornych agregatów różnej wielkości (oznaczona metodą przesiewania na mokro) (rys. 15) wykazuje, że wodoodporność agregatów wchodzących w skład gleb wytworzonych z utworu piaszczysto-pyłowego jest wyższa w porównaniu z wodoodpornością agregatów gleb wytworzonych z lessu. W profilu 1 wodoodporność agregacji spada wraz z głębokością. W poziomie Ah agregaty odporne na działanie wody stanowiły 85-93 % zależnie od frakcji, wyraźnie niższy procent wodoodpornych agregatów wystąpił jedynie w przypadku frakcji 0,5-1 mm (36%). W poziomie przemywania w tym samym profilu procent wodoodpornych agregatów był mniejszy, za każdym razem najmniejszy dla frakcji 0,5-1 mm. W przypadku poziomu E wodoodporne agregaty stanowiły 40-70%, natomiast w poziomie Eg – 42-57%. W niżej położonych poziomach genetycznych profilu 1

największą wodoodpornością odznaczają się agregaty najmniejszej frakcji 0,5-0,25 mm (67% w przypadku poziomu Bt i 49% w przypadku poziomu BtC). Ilość wodoodpornych agregatów spada w tych poziomach wraz ze zwiększaniem się średnicy agregatów.

Spadek ilości wodoodpornych agregatów wraz ze zwiększaniem się ich średnicy jest charakterystyczny dla całego profilu 2. Widoczne jest też obniżanie się wodoodporności agregatów wraz z głębokością. W poziomie Ap ilość wodoodpornych agregatów wynosi od 0% do 68%, w poziomie E – od 0% do 39%, w poziomie Bt – od 0% do 24%.

Wodoodporność agregatów również zmniejsza się wraz z głębokością w profilu 3. W poziomie Ah wynosi ona 48-82%, przy czym najmniej wodoodporna jest frakcja 0,5-1 mm, analogicznie jak w profilu 1. W niżej położonych poziomach genetycznych wodoodporność agregatów o najmniejszej średnicy jest większa niż agregatów większych. Dla poziomu AhE wartości te wahają się od 6 do 62 %, dla poziomu Bt1 – od 2 do 29%, dla poziomu Bt2 – od 2 do 25% i dla poziomu C – od 0 do 13%.

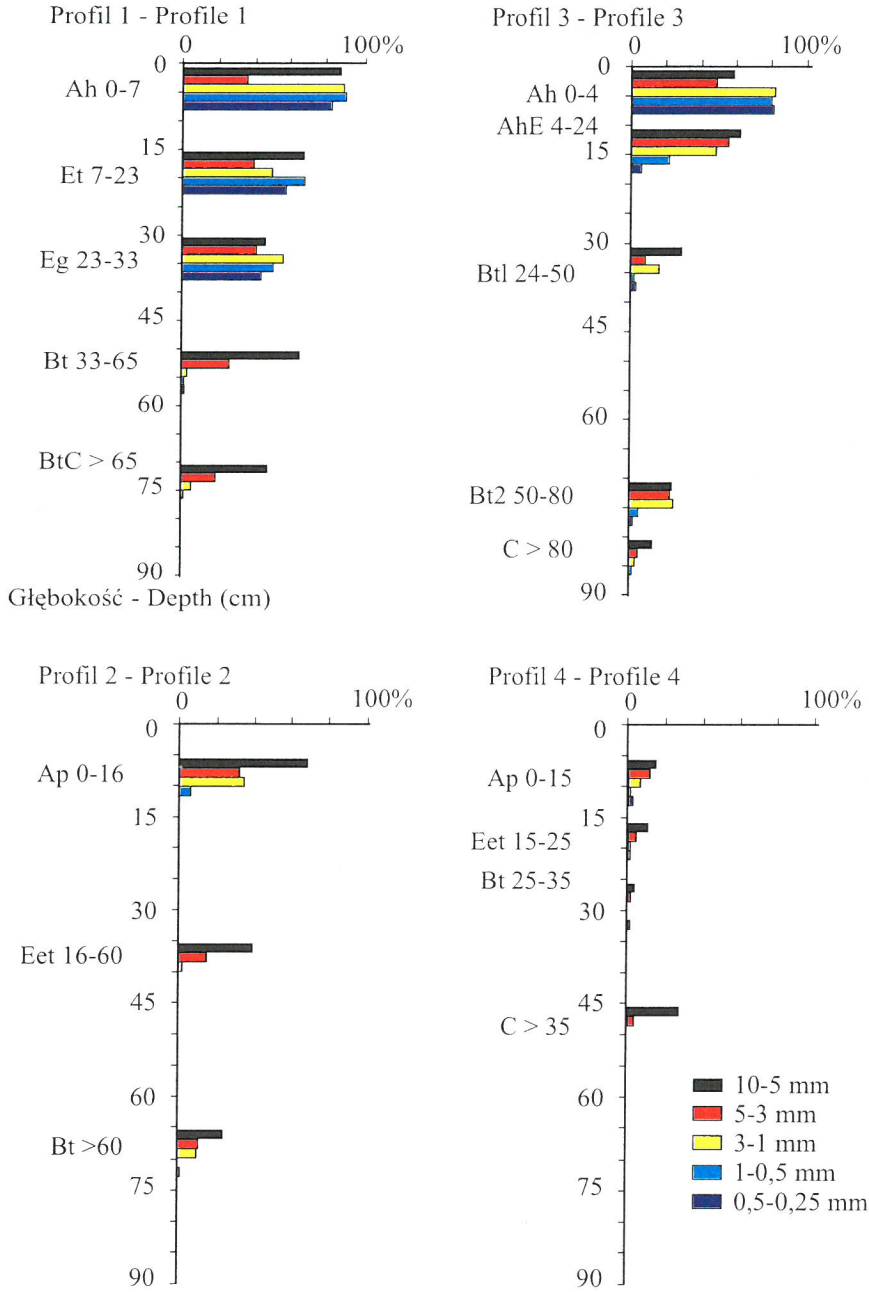
W profilu 4, podobnie jak w profilu 2, ilość wodoodpornych agregatów zwiększa się wraz ze wzrostem ich wielkości i zmniejsza się wraz z głębokością. W poziomie Ap ilość wodoodpornych agregatów wynosi 1-14%, w poziomie Et – 0-10%, w poziomie Bt – 0-3% i jedynie w poziomie C – 0-27%.

Z przedstawionych powyżej danych wynika, że:

- agregaty gleb uprawnych są mniej wodoodporne w porównaniu z leśnymi,
- ze wzrostem głębokości zmniejsza się ich wodoodporność.

Analiza ilości agregatów – produktów rozpadu agregatów wyjściowych pod wpływem działania wody dowodzi wyższej wodoodporności agregatów wchodzących w skład gleb wytworzonych z utworu piaszczysto-pyłowego w porównaniu z agregatami pochodzącymi z gleb wytworzonych z lessu (tab. 3-6). W poziomie powierzchniowym gleb leśnych, w przypadku gleby wytworzonej z utworu piaszczysto-pyłowego (profil 1) agregaty frakcji 10-5 mm w 15% rozpadły się na mniejsze frakcje, w tym produkty mniejsze niż 0,25 mm stanowiły 13%. W przypadku gleby wytworzonej z lessu (profil 3) agregaty frakcji 10-5 mm w 21% rozpadły się na mniejsze frakcje, w tym w 5% produktami były agregaty mniejsze niż 0,25 mm. W głębiej położonych poziomach genetycznych różnice te są jeszcze większe. Wraz z głębokością rośnie procentowy udział najdrobniejszych produktów rozpadu, przy czym udział ten jest większy w profilu 1 niż w profilu 3 we wszystkich poziomach genetycznych poza skałą macierzystą.

Gleby uprawne także różnią się rozkładem produktów rozpadu, tak w porównaniu z glebami leśnymi, jak i między sobą w zależności od rodzaju skały macierzystej. Agregaty wchodzące w ich skład rozpadają się pod wpływem wody



Rys. 15. Ilość wodoodpornych agregatów (%) w badanych glebach
Fig. 15. Quantity of water-stable aggregates (%) in investigated soils

w dużo większym stopniu niż agregaty gleb leśnych. W poziomie wierzchnim profilu 2 rozmyciu uległo 100% agregatów frakcji 5-10 mm, przy czym 41% do frakcji poniżej 0,25 mm. Dla profilu 4 rozmycie to wyniosło 98%, przy czym frakcja poniżej 0,25 mm stanowiła 65% produktów rozpadu. Udział najdrobniejszej frakcji w produktach rozpadu, także w przypadku gleb leśnych, zwiększał się wraz z głębokością aż do 80% w skale macierzystej piaszczysto-pyłowej i do 96% w skale macierzystej lessowej.

Tabela. 3. Ilość agregatów (%) – produktów rozpadu agregatów wyjściowych w profilu 1
Table 3. Quantity of aggregates (%) – destruction products of primary aggregates in profile1

Wielkość wyjściowa agregatów – Size of primary aggregates (mm)					Produkty rozpadu Destruction products
10-5	5-3	3-1	1-0,5	0,5-0,25	
Ah					
1	–	–	–	–	5-3
0	1	–	–	–	3-1
0	0	1	–	–	1-0,5
1	1	1	47	–	0,5-0,25
13	5	6	17	10	< 0,25
Eet					
5	–	–	–	–	5-3
4	7	–	–	–	3-1
6	9	11	–	–	1-0,5
9	4	10	26	–	0,5-0,25
17	10	38	34	11	< 0,25
Eg					
4	–	–	–	–	5-3
5	8	–	–	–	3-1
4	7	10	–	–	1-0,5
11	8	6	25	–	0,5-0,25
31	25	27	33	53	< 0,25
Bt					
0	–	–	–	–	5-3
1	1	–	–	–	3-1
6	8	5	–	–	1-0,5
29	28	25	31	–	0,5-0,25
63	62	68	42	23	< 0,25
BtC					
0	–	–	–	–	5-3
1	1	–	–	–	3-1
2	3	7	–	–	1-0,5
10	10	11	24	–	0,5-0,25
87	85	77	57	51	< 0,25

Tabela 4. Ilość agregatów (%) – produktów rozpadu agregatów wyjściowych w profilu 2
Table 4. Quantity of aggregates (%) – destruction products of primary aggregates in profile 2

Wielkość wyjściowa agregatów – Size of primary aggregates (mm)					Produkty rozpadu Destruction products
10-5	5-3	3-1	1-0,5	0,5-0,25	
Ap					
3	–	–	–	–	5-3
10	13	–	–	–	3-1
21	20	17	–	–	1-0,5
25	16	18	35	–	0,5-0,25
41	46	31	34	32	< 0,25
Eet					
0	–	–	–	–	5-3
1	1	–	–	–	3-1
4	11	8	–	–	1-0,5
25	33	20	26	–	0,5-0,25
70	55	71	60	61	< 0,25
Bt					
0	–	–	–	–	5-3
3	4	–	–	–	3-1
5	5	8	–	–	1-0,5
11	11	10	27	–	0,5-0,25
80	80	72	62	76	< 0,25

Tabela 5. Ilość agregatów (%) – produktów rozpadu agregatów wyjściowych w profilu 3
Table 5. Quantity of aggregates (%) – destruction products of primary aggregates in profile 3

Wielkość wyjściowa agregatów – Size of primary aggregates (mm)					Produkty rozpadu Destruction products
10-5	5-3	3-1	1-0,5	0,5-0,25	
Ah					
4	–	–	–	–	5-3
4	5	–	–	–	3-1
3	4	3	–	–	1-0,5
3	3	4	19	–	0,5-0,25
5	8	11	33	42	< 0,25
AhE					
7	–	–	–	–	5-3
32	35	–	–	–	3-1
23	13	8	–	–	1-0,5
11	8	10	13	–	0,5-0,25
21	22	34	32	38	< 0,25
Bt1					
5	–	–	–	–	5-3
12	3	–	–	–	3-1
21	7	11	–	–	1-0,5
13	9	10	8	–	0,5-0,25
46	79	63	84	71	< 0,25
Bt2					
0	–	–	–	–	5-3
4	10	–	–	–	3-1
10	8	4	–	–	1-0,5
14	10	15	19	–	0,5-0,25
70	67	56	58	76	< 0,25
C					
1	–	–	–	–	5-3
6	6	–	–	–	3-1
9	8	6	–	–	1-0,5
7	6	6	8	–	0,5-0,25
77	79	85	87	87	< 0,25

Tabela 6. Ilość agregatów (%) – produktów rozpadu agregatów wyjściowych w profilu 4
Table 6. Quantity of aggregates (%) – destruction products of primary aggregates in profile 4

Wielkość wyjściowa agregatów – Size of primary aggregates (mm)					Produkty rozpadu Destruction products
10-5	5-3	3-1	1-0,5	0,5-0,25	
Ap					
1	–	–	–	–	5-3
2	2	–	–	–	3-1
15	6	0	–	–	1-0,5
15	12	23	15	–	0,5-0,25
65	79	64	76	86	< 0,25
Eet					
0	–	–	–	–	5-3
2	3	–	–	–	3-1
4	6	2	–	–	1-0,5
8	6	8	6	–	0,5-0,25
86	84	89	90	90	< 0,25
Bt					
0	–	–	–	–	5-3
0	1	–	–	–	3-1
1	1	1	–	–	1-0,5
4	5	3	3	–	0,5-0,25
94	93	96	96	97	< 0,25
C					
0	–	–	–	–	5-3
0	0	–	–	–	3-1
1	3	3	–	–	1-0,5
3	7	5	6	–	0,5-0,25
96	90	92	91	73	< 0,25

4.3.2.2. Wskaźnik trwałości agregatów (ASI)

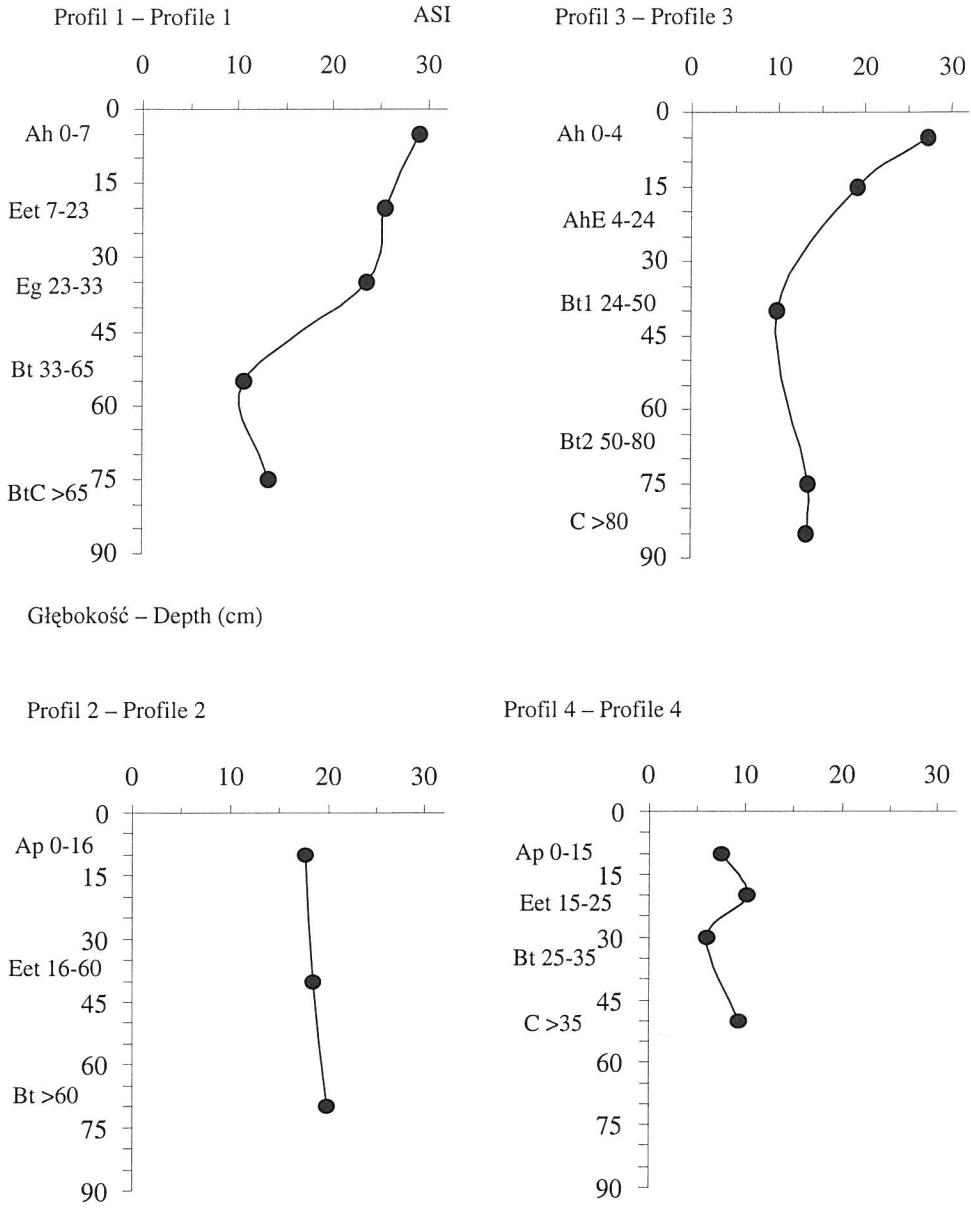
Wskaźnik trwałości agregatów (ASI) jest wielkością odzwierciedlającą zmiany agregacji pod wpływem różnorodnych czynników destrukcyjnych. Nie zależy on od granic wymiarowych poszczególnych frakcji agregatów, zależy jedynie od ich liczby. Jest on obiektywną miarą trwałości agregatów, w odróżnieniu od wskaźników, które wykorzystują subiektywnie dobrane wagi dla poszczególnych frakcji agregatów, wynikające z ich znaczenia domniemanego bądź prawdziwego [25,26,32].

Wodoodporność agregatów wszystkich poziomów genetycznych badanych gleb wyrażoną za pomocą wskaźnika ASI przedstawiona została na rysunku 16. Wynika z niego, że wodoodporność agregatów badanych gleb wykazuje przede wszystkim zróżnicowanie w zależności od sposobu użytkowania gleby, a do pewnego stopnia także od materiału macierzystego.

Wartości ASI układają się podobnie w profilach obu gleb leśnych (profile 1 i 3). Są one najwyższe w poziomach Ah i wynoszą 29,09 w glebie wytworzonej z utworu piaszczysto-pyłowego i 27,23 w glebie wytworzonej z lessu. Niewiele niższe wartości odnotowano w poziomie Eet - 25,54 i Eg – 23,55 profilu 1 oraz poziomie AhE profilu 3 – 19,02. Wartości wskaźnika ASI bardzo wyraźnie maleją w poziomie Bt profilu 1 (10,67) oraz poziomie Bt1 profilu 3 (9,83) osiągając w nich minimum. Wraz ze zwiększaniem się głębokości do 65 cm w profilu 1 oraz do 50-80 cm w profilu 3 wskaźnik ASI przyjmuje ponownie wyższe wartości. W poziomie BtC profilu 1 wynosi on 13,2, natomiast w poziomach Bt2 i C profilu 3 – 13,51 i 13,32 odpowiednio.

Wartości wskaźnika ASI w glebach uprawnych (profile 2 i 4) generalnie są znacznie niższe w porównaniu z glebami leśnymi, z wyjątkiem głębiej położonych poziomów gleby płowej wytworzonej z utworu piaszczysto-pyłowego. W profilu 2 zróżnicowanie wartości ASI w poszczególnych warstwach jest niewielkie i wynosi: Ap – 17,68; Eet – 18,39 i Bt – 19,96. W profilu 4 wskaźnik ASI osiągnął maksymalną wartość w poziomie Eet – 10,08, minimalną zaś w poziomie Bt – 6,01.

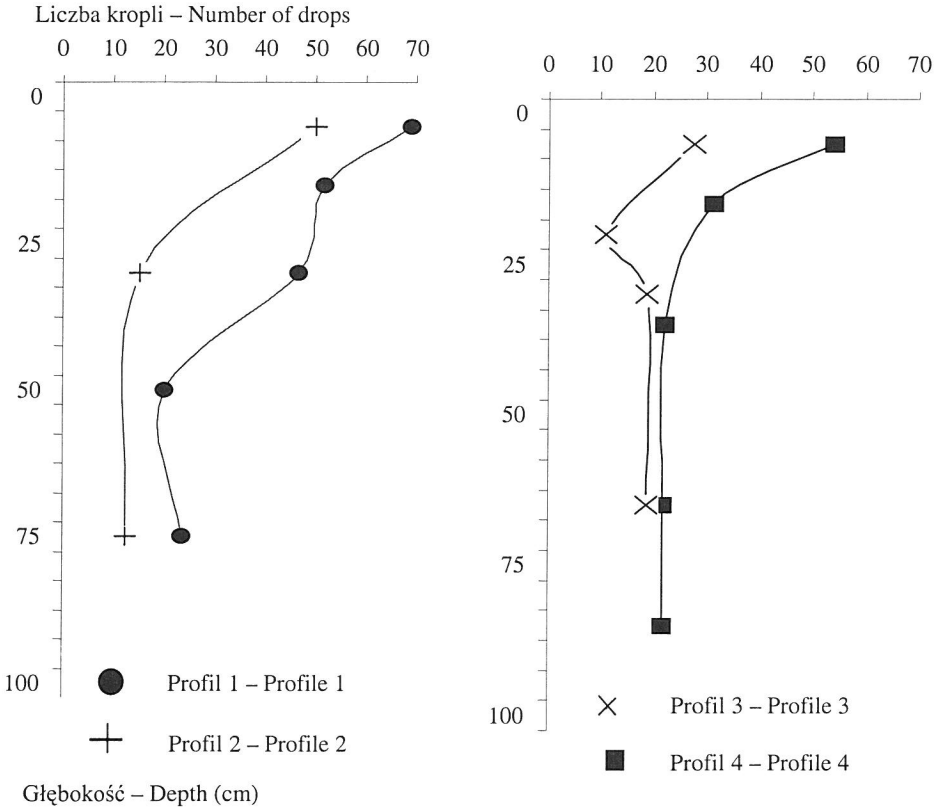
Reasumując można stwierdzić, że gleby leśne wykazują znacznie bardziej odporną na działanie wody agregację w porównaniu z glebami uprawnymi, co adekwatnie wyrażają wartości wskaźnika ASI. Różnice te są szczególnie widocznie do głębokości 30 cm. Wodoodporność agregacji badanych gleb w dużo większym stopniu jest uwarunkowana ich sposobem użytkowania niż rozkładem granulometrycznym oraz genezą.



Rys. 16. Wskaźnik ASI w badanych glebach
Fig. 16. ASI index in investigated soil

4.3.2.3. Wodoodporność wyznaczona metodą kroplową

Wodoodporność agregatów badanych gleb zmierzona metodą kroplową w każdym z profili zmniejsza się wraz ze wzrostem głębokości (rys. 17). Wyjątkiem jest profil Eet gleby uprawnej wytworzonej z lessu (profil 4), gdzie wodoodporność jest niższa niż w pozostałych poziomach. Agregaty wytworzone z utworów piaszczysto-pyłowych są bardziej wodoodporne niż wytworzone z lessu. Liczba kropli powodujących rozmycie agregatów piaszczysto-pyłowych waha się od 20 do 69 w profilu 1 i od 12 do 50 w profilu 2. Analogiczne wartości dla agregatów wytworzonych z lessu wynoszą od 22 do 54 w profilu 3 i od 11 do 28 w profilu 4. Różnica ta jest najbardziej widoczna w wierzchnich częściach profili (w poziomach Ah gleb leśnych i Ap gleb uprawnych).

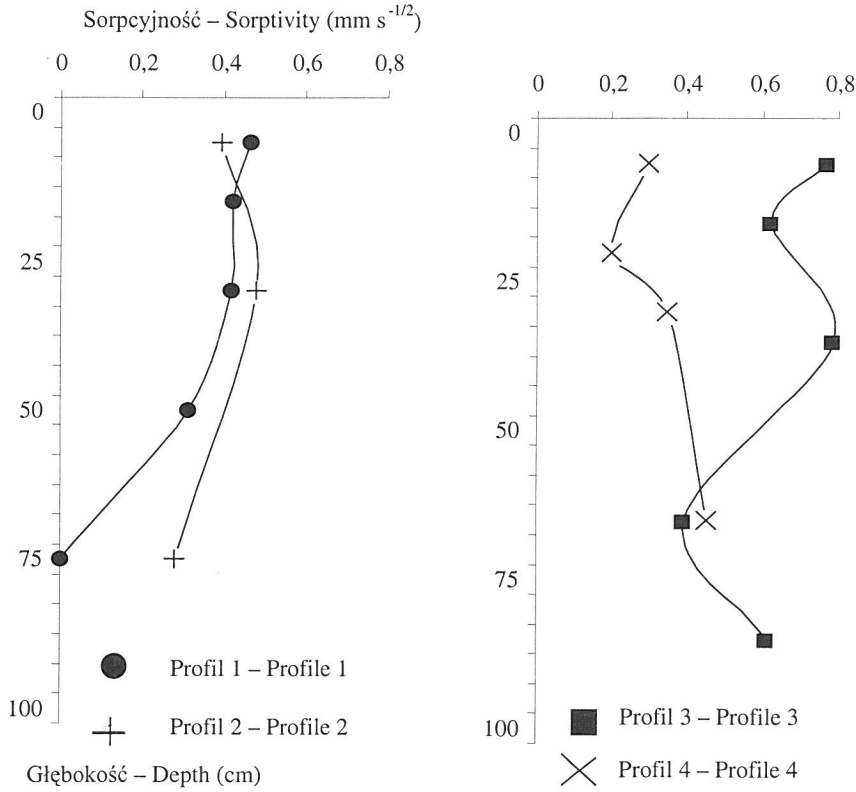


Rys. 17. Liczba kropli powodujących całkowite rozmycie agregatów glebowych
Fig. 17. Number of drops causing for total destruction of soil aggregates

Z powyższego wynika, że agregaty gleb leśnych charakteryzują się znacznie wyższą wodoodpornością niż wchodzące w skład gleb uprawnych. Różnica jest wyraźniejsza niż przypadku porównania agregatów ze względu na genezę gleb. Konkluzja wynikająca z porównania jest zbliżona do wniosków wynikających z analizy wskaźnika ASI.

4.4.3. Sorpcyjność agregatów

Porównując przebieg sorpcyjności agregatów glebowych w badanych profilach (rys. 18) można stwierdzić, że w profilu 1 zmniejsza się ona wraz ze wzrostem głębokości: od 0,46 mm $s^{-1/2}$ w poziomie Ah do 0 mm $s^{-1/2}$ w poziomie BtC.



Rys. 18. Sorpcyjność agregatów badanych gleb
Fig. 18. Sorptivity of soil aggregates

Zdecydowanie wyższe, ale niewykazujące związku z głębokością są wartości sorpcyjności agregatów w profilu 3, wahające się od 0,39 $mm \cdot s^{-1/2}$ w poziomie Bt2 do 0,77 $mm \cdot s^{-1/2}$ w poziomie Ah. Natomiast sorpcyjność agregatów gleb uprawnych, niezależnie od rodzaju skały macierzystej, charakteryzuje się wartościami pośrednimi, wahającymi się w nieznacznie niższym zakresie w profilu 4 (0,20-0,45 $mm \cdot s^{-1/2}$) w porównaniu z profilem 2 (0,28-0,48 $mm \cdot s^{-1/2}$). Na uwagę zasługuje tu fakt, że w przypadku poziomu Eet w profilu 2 obserwować można maksimum sorpcyjności, natomiast w przypadku poziomu Eet w profilu 4 – jej minimum. Zatem rozkład sorpcyjności w badanych profilach charakteryzuje się dużą nieregularnością.

5. PODSUMOWANIE

Gleby płowe południowo-wschodniej Polski wykształciły się pod wpływem tego samego dominującego procesu glebotwórczego – płowienia (lessivage) i morfologicznie są do siebie bardzo zbliżone. Gleby płowe Płaskowyżu Kolbuszowskiego (profile 1 i 2) oraz Płaskowyżu Nałęczowskiego (profile 3 i 4), pomimo podobieństw, kształtował odmienny czynnik litologiczny, co wpłynęło na zróżnicowanie ich właściwości. Lessy Wyżyny Lubelskiej są utworami pochodzenia eolicznego. Utwory pyłowe okolic Leżajska to skały macierzyste polodowcowe, których rozkład granulometryczny jest efektem wietrzenia w strefie peryglacjalnej. Od lessów różnią się m.in. zwiększoną zawartości piasku, zmniejszoną zawartością iłu oraz stopniem obtoczenia cząstek. Profile Płaskowyżu Kolbuszowskiego to pod względem uziarnienia w większości pyły piaszczyste, w niektórych przypadkach piaski gliniaste. Profile Płaskowyżu Nałęczowskiego to przede wszystkim pyły ilaste, o wiele rzadziej pyły gliniaste lub zwykłe.

W trakcie prac terenowych poczyniono spostrzeżenia dotyczące składu gatunkowego lasu w miejscach pobrania próbek. W przypadku lasu porastającego wierzchowinę lessową Płaskowyżu Nałęczowskiego zgrubne obserwacje pokrywają się z istniejącymi dokładnymi danymi literaturowymi, które zaliczają to zbiorowisko do zespołu Querco-carpinetum. W przypadku lasu porastającego piaszczysto-pyłową wierzchowinę zbiorowisko leśne charakteryzuje się liczniejszym występowaniem osiki i sosny, a w runie – m.in. borówki czarnej.

Wpływ czynnika litologicznego w procesach glebotwórczych na właściwości fizyczne gleb wytworzonych z lessów i nieeolicznych utworów pyłowych został wyeksponowany w licznych pracach. Wynika on ze zróżnicowanych właściwości obu wymienionych skał macierzystych, transportowanych i sedymentowanych w różny sposób. W badanych glebach różnice dotyczą przede wszystkim odmiennego uziarnienia, wyższej zawartości węgla organicznego i żelaza oraz niewielkiego

wzrostu pH w glebach wytworzonych z lessu. W glebach wytworzonych z utworu piaszczysto-pyłowego odnotowano wzrost zagęszczenia i zmniejszenie porowatości ogólnej w porównaniu z wytworzonymi z lessów. Większa zawartość frakcji ilastej w glebach wytworzonych z lessu determinuje przewagę mezoporów i mikroporów, szczególnie dobrze widoczną w glebie uprawnej. Wpływa to na korzystniejsze właściwości wodne gleb z nich wytworzonych, zwłaszcza jeżeli rozpatruje się ilość wody łatwo dostępnej dla roślin, magazynowaną właśnie w mezoporach. Ilość tej wody jest również związana z mniejszym zagęszczeniem. Niższa zawartość frakcji iłu koloidalnego, a także węgla organicznego, są powodem mniejszej powierzchni właściwej gleb wytworzonych z utworu piaszczysto-pyłowego w porównaniu z glebami wytworzonymi z lessu.

Korzystną cechą gleb płowych Płaskowyżu Nałęczowskiego w porównaniu z analogicznymi glebami Płaskowyżu Kolbuszowskiego jest występowanie w nich znacznej ilości makroagregatów, podczas gdy w glebach wytworzonych z utworu piaszczysto-pyłowego przeważają agregaty o średnicy mniejszej od 0,25 mm. Agregaty gleb wytworzonych z lessu są jednak nietrwałe i bardzo podatne na działanie wody. Ta ostatnia cecha odnosi się szczególnie do gleb uprawnych, w których wodoodporność agregatów wyznaczona każdą z użytych metod była znacznie niższa niż agregatów gleb leśnych. Niewielka trwałość agregatów gleb uprawnych powoduje pogarszanie się ich struktury, a tym samym niekorzystne zmiany właściwości powietrznych. Zatem problemem w użytkowaniu gleb płowych jest poprawa i podniesienie trwałości ich struktury po pozbawieniu naturalnej pokrywy roślinnej.

Właściwości gleb wytworzonych z lessów uzyskane w przedstawionych badaniach były zbliżone do opisanych w licznych publikacjach cytowanych autorów. Z kolei właściwości, zwłaszcza fizyczne, gleb wytworzonych z utworów piaszczysto-pyłowych Płaskowyżu Kolbuszowskiego można odnieść jedynie do skąpych danych dotyczących analogicznych utworów pokrywających sąsiadujące z Płaskowyżem Kolbuszowskim jednostki fizjograficzne. Z wyników badań własnych można wyprowadzić stwierdzenie, że badane gleby o uziarnieniu piaszczysto-pyłowym powinny być wykluczone z rodzaju gleb wytworzonych z lessu czy utworów lessowatych. Przy ewentualnych poszerzonych przestrzennie badaniach i pogłębionych w stosunku do zamieszczonych w pracy danych będzie możliwość odniesienia się również do ich bonitacji rolniczej.

6. WNIOSKI

Przeprowadzone badania i uzyskane wyniki pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. Gleby płowe Płaskowyżu Kolbuszowskiego charakteryzują się zwiększoną zawartością piasku i zmniejszona zawartością iłu (utwory piaszczysto-pyłowe) w porównaniu z glebami Płaskowyżu Nałęczowskiego (utwory pyłowe-lessy), a bardziej regularny kształt i mniejsza ostrokrawędzistość cząstek utworów piaszczysto-pyłowych w porównaniu z lessowymi sugerują ich wodno-lodowcowe pochodzenie.
2. Gleby wytworzone z utworów piaszczysto-pyłowych są mniej zasobne w węgiel organiczny i żelazo w porównaniu z wytworzonymi z lessu, są też bardziej zakwaszone i charakteryzują się mniejszą powierzchnią właściwą, a stosunek zawartości węgla organicznego poziomów akumulacyjnych do zawartości węgla organicznego w poziomach bezpośrednio sąsiadujących (*stratification ratio*) jest korzystniejszy w glebach leśnych w porównaniu z uprawnymi niezależnie od rodzaju skały macierzystej.
3. Zagęszczenie badanych gleb, niezależnie od sposobu ich użytkowania, jest większe w glebach wytworzonych z utworów piaszczysto-pyłowych w porównaniu z lessowymi, tym samym ich porowatość ogólna jest niższa niż w lessowych.
4. Gleby płowe wytworzone z utworu piaszczysto-pyłowego charakteryzowały się generalnie mniejszą ilością mezoporów i mikroporów w porównaniu z wytworzonymi się lessów, a na szczególną uwagę zasługuje znacznie wyższa ilość makroporów w glebach leśnych w porównaniu z uprawnymi.
5. Ilość wody łatwo dostępnej dla roślin, wiązana w mezoporach, jest znacząco niższa w glebach wytworzonych z utworów piaszczysto-pyłowych niż z lessu, co szczególnie dobitnie jest widoczne w glebach leśnych; ilość wody trudno dostępnej dla roślin generalnie jest znacznie wyższa od zawartości wody łatwo dostępnej we wszystkich badanych profilach glebowych.
6. Krzywe retencji wodnej w obu profilach gleb wytworzonych z utworu piaszczysto-pyłowego wykazują znaczne zróżnicowanie dla poszczególnych poziomów genetycznych, szczególnie w zakresie niskich wartości pF; krzywe retencji wodnej gleb wytworzonych z lessu dla poszczególnych poziomów genetycznych w obrębie jednego profilu są zróżnicowane w mniejszym stopniu, a w zakresie pF 1,5-4,2 niemal nakładają się na siebie.
7. Wartość współczynnika przewodnictwa wodnego w stanie pełnego nasycenia wodą jest silnie związana ze sposobem użytkowania gleb – współczynnik przewodnictwa wodnego K w glebach uprawnych był znacznie niższy niż w glebach leśnych.
8. Krzywe przewodnictwa wodnego w funkcji potencjału wody glebowej we wszystkich badanych glebach charakteryzują się nieznacznym spadkiem wartości współczynnika przewodnictwa wodnego do pF 2 oraz gwałtownym zmniejszaniem się jego wartości w zakresie pF 2-pF 4,2.

9. Gleby płowe Płaskowyżu Kolbuszowskiego w porównaniu z glebami Płaskowyżu Nałęczowskiego charakteryzuje występowanie znacznych ilości mikroagregatów ($\phi < 0{,}25$ mm), podczas gdy w glebach wytworzonych z lessu przeważają makroagregaty ($\phi > 0{,}25$ mm).

10. Agregaty gleb wytworzonych z utworu piaszczysto-pyłowego są bardziej odporne na działanie wody w porównaniu z wytworzonymi z lessu, a ich wodoodporność zmniejsza się wraz ze wzrostem głębokości i w większym stopniu zależy od sposobu użytkowania gleb (wyższa jest w glebach leśnych niż w uprawnych) niż od czynnika litologicznego.

7. PIŚMIENNICTWO

1. **Blum W. E. H.:** Agriculture in a sustainable environment – a holistic approach. Int. Agrophysics, 12, 13-24, 1998.
2. **Borowiec J., Nakonieczny S.:** Charakterystyka płytkich utworów lessopodobnych w lewobrzeżnym dorzeczu środkowego Wieprza. Annales UMCS, B, 7, 159-175, 1965.
3. **Butrym J.:** Utwory pyłowe wschodniej części Niziny Sandomierskiej. Annales UMCS, B, 23, 87-121, 1968.
4. **Cegła J.:** Porównanie utworów pyłowych kotlin karpackich z lessami Polski. Annales UMCS, B, 18, 69-116, 1963
5. **Dexter A. [In]:** J. Drescher, R. Horn and M. De Boodt (eds), Impact of Water and External Forces on Soil Structure. Catena, Supplement, 11, 35-52, 1988.
6. **Dębicki R., Gliński J. [red]:** Międzynarodowa konwencja o ochronie gleb. Projekt wg Dokumentu z Tutzing, Niemcy, Lublin, 1999.
7. **Dobrzański B., Malicki A.:** Rzekome loessy i rzekome gleby loessowe okolic Leżajska. Annales UMCS, B, 3, 415-426, 1949.
8. **Domżał H., Słowińska-Jurkiewicz A., Turski R., Hodara J.:** Ugniatanie jako czynnik kształtujący fizyczne właściwości gleby. Rocz. Nauk Roln., D, 198, 1-102, 1984.
9. **Drzymała S., Mocek A.:** Metody z zakresu fizyki i chemii gleb zalecane przez ISO (i PKN). Acta Agrophysica, 48, 253-264, 2001.
10. **Dwucet K.:** Uwagi o zróżnicowaniu rozkładu wybranych cech młodszego Iib na Wyżynach Polskich i Nizinie Śląskiej. Georama 2, 13-22, 1994.
11. **Ehlers W.:** Total porosity and pore size distribution in untilled loess soils. Z. Pfl. Ernahr. Dung. Bodenk., 134(3), 193-207, 1973.
12. **Franzluebbers A.J.:** Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. Soil & Tillage Research, 66, 95-106, 2002.
13. **Gerlach T.:** Przesłanki wyróżnienia Karpackiej odmiany lessów. Litologia i stratygrafia czwartorzędowa utworów pyłowych. Mat. Konf., UŚ Sosnowiec, 8, 1994.
14. Instruction of laboratory set-up LAB 0123 (pressure extractors), Soil Moisture Company, Santa Barbara, Ca, USA, 1995.
15. Instruction of permeameter, Eijkelkamp, Agrisearch Equipment, Wageningen, Holland, 1998.
16. **Kutilek M., Nielsen D.R.:** Soil hydrology. Catena Verlag, Cremlingen-Destedt, 1994.
17. **Leeds-Harrison P.B., Youngs E.G., Uddin B.:** A device for determining the sorptivity of soil aggregates. European J. Soil Sci., 45, 269-272, 1994.

18. **Lipiec J.:** Physical properties of soils as an index of their agricultural suitability. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 197, 167-190, 1977.
19. **Lipiec J., Turski M.:** Zmiany wybranych właściwości fizycznych gleb powodowanych sposobem ich użytkowania. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 478, 235-242, 2002.
20. **Malicki M.:** A reflectomtric (TDR) meter of moisture content in soils and other capillary-porous materials. Zesz. Probl. Post.Nauk Roln., 388, 107-114, 1990.
21. **Malicki M.:** Metodyczne zagadnienia monitoringu statusu wody w wybranych materialach biologicznych. Acta Agrophysica, 9, 1-108, 1999.
22. **Malicki M., Plagge R., Renger M., Walczak R.:** Application of time-domain reflectometry (TDR) soil miniprobe for determination of unsaturated soil water characteristics from undisturbed soil cores. Irrig. Sci., 13, 65-72, 1992.
23. **Masch F.D., Denny K.Y.:** Grain size distribution and its effect on the permeability of unconsolidated sands. Water Resources Res., 4, 665-677, 1966.
24. **Mocek A., Drzymała S., Maszner P.:** Geneza, analiza i klasyfikacja gleb. Wyd. AR w Poznaniu, 2000.
25. **Niewczas J., Witkowska-Walczak B.:** Wskaźnik trwałości agregatów glebowych. Acta Agrophysica, 72, 105-115, 2002.
26. **Niewczas J., Witkowska-Walczak B.:** Index of soil aggregates stability as linear function value of transition matrix elements. Soil and Tillage Research, 70, 121-130, 2003.
27. **Rejman J., Pawłowski M., Dębicki R., Link M.:** Stability of aggregates and erodibility of loess soils. Polish J. Soil Sci., XXVII/2, 87-91, 1994.
28. **Rząsa S., Owczarzak W.:** Modelling of soil structure and examination methods of water resistance, capillary rise and mechanical strength of soil aggregates. Annals of Poznań Agric. Univ., Sci. Diss., 135, 3-135, 1983.
29. **Rząsa S., Owczarzak W.:** Resistance of soil aggregates to dynamic and static water action in Polish soils. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 398, 131-138, 1992.
30. **Słowińska-Jurkiewicz A.:** Struktura i właściwości wodno-powietrzne gleb wytworzonych z lessów. Rocz. Nauk Roln., Monografie, D, 218, 1989.
31. **Turski M., Lipiec J., Nosalewicz A.:** Physical properties of soil aggregates from various horizons of four soils. Polish J. Soil Science, XXXIII, 1, 1-8, 2000
32. **Turski M., Witkowska-Walczak B.:** Aggregation water resistance of Luvisols derived from sandy-silt and silt. Polish J. Soil Science, XXXV/2, 21-29, 2002.
33. **Turski R., Lenhardt F., Martyn W.:** Charakterystyka stosunków wodno-powietrznych w glebach lessowych Wyżyny Lubelskiej i centralnych regionów RFN. Problemy Agrofizyki, 10, 113-119, 1973.
34. **Turski R., Turski M.:** Gleba jako jedna z podstaw renaturyzacji obszarów lessowych. [w] Renaturyzacja obiektów przyrodniczych – aspekty ekologiczne i gospodarcze. Materiały konferencyjne pod red. Z. Michalczyka. ISBN 83-227-1611-7, 227-233, 2000
35. **Turski R., Turski M.:** Kształtowanie i ochrona terenów lessowych na przykładzie Lubelszczyzny. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 476, 1-8, 2001
36. **Turski R., Słowińska-Jurkiewicz A.:** Gleby wytworzone z lessów. Lubelskie Towarzystwo Naukowe, Lublin, 1994
37. **Turski R., Uziak S., Zawadzki S.:** Środowisko przyrodnicze Lubelszczyzny – gleby. Lubelskie Towarzystwo Naukowe, 1993.
38. **Uziak S.:** Zagadnienie typologii gleb pyłowych Pogórza Karpackiego. Annales UMCS, B, 17, 1-61, 1962.
39. **Uziak S., Morawski J., Pomian J., Melke J.; Klimowicz Z.:** Utwory i gleby pyłowe Równiny Bełżyckiej. Roczn. Gleb., XXIII, 1, 3-18, 1971.

40. **Uziak S., Pomian J., Klimowicz Z.:** Utwory lessowate Wyniosłości Giełczewskiej. Annales UMCS, B, XXIX, 125-140, 1976.
41. **Walczak R., Witkowska B.:** Metody badania i sposoby opisywania agregacji gleby. Problemy Agrofizyki, 19, 5-52, 1976.
42. **Witkowska-Walczak B.:** Wpływ struktury agregatowej gleb mineralnych na ich hydrofizyczne charakterystyki. Acta Agrophysica, 30, 5-99, 2000.
43. **Witkowska-Walczak B., Turski M., Lipiec J.:** Some chemical and physical properties of soils derived from sandy-silt and loess formations under different management, Acta Agrophysica, 78, 287-297, 2002.
44. **Zaleski T.:** Pedogenetyczne uwarunkowania właściwości hydrofizycznych gleb płowych wytworzonych z lessów i pyłów lessopodobnych. Praca doktorska wykonana w Katedrze Gleboznawstwa i Ochrony Gleb Wydz. Rolniczego AR w Krakowie, 2000.
45. **Zawadzki S. [red.]:** Gleboznawstwo. PWRiL, 1999.

8. STRESZCZENIE

Utwory piaszczysto-pyłowe i pyłowe (lessowe) południowo-wschodniej Polski są przedstawiane na mapach geologicznych jako lessy. Połączenie to jest kwestionowane, ponieważ różnice w uziarnieniu tych gleb mają wpływ na szereg właściwości warunkujących ich jakość. W niniejszej pracy porównano wybrane właściwości chemiczne i fizyczne w poziomach genetycznych gleb płowych (uprawnych i leśnych) wytworzonych z utworów piaszczysto-pyłowych i pyłowych (lessu). Gleby wytworzone z utworów piaszczysto-pyłowych w porównaniu do gleb wytworzonych z utworów pyłowych charakteryzują się w porównywalnych poziomach genetycznych większą zawartością piasku, gęstością, kwasowością i mniejsza zawartością węgla organicznego i żelaza, porów zatrzymujących wodę dostępną dla roślin oraz powierzchnią właściwą. Gleby leśne w porównaniu do uprawnych są zasobniejsze w węgiel organiczny i żelazo. Charakteryzują się wyższą kwasowością i mniejszą gęstością. Zakres tego zróżnicowania zmienia się w zależności od poziomu genetycznego. Stwierdzono, że porowatość ogólna gleb wytworzonych z utworów piaszczysto-pyłowych była niższa w porównaniu z tymi wytworzonymi z lessu. Ilość makroporów w glebach leśnych wytworzonych z obu badanych skał macierzystych była znacząco wyższa niż w glebach uprawnych, a gleby wytworzone z utworów piaszczysto-pyłowych charakteryzowały się generalnie niższą ilością mezoporów i mikroporów w porównaniu z wytworzonymi z lessu. Ilość wody łatwo dostępnej dla roślin była znacząco niższa w glebach wytworzonych z utworów piaszczysto-pyłowych niż z lessu, co jest szczególnie dobrze widoczne w glebach leśnych. Ilość wody trudno dostępnej dla roślin generalnie była znacznie wyższa od zawartości wody łatwo dostępnej we wszystkich badanych profilach glebowych i praktycznie nie zależała od rodzaju skały macierzystej.

Słowa kluczowe: właściwości hydrofizyczne, użytkowanie, gleby płowe

9. SUMMARY

Sandy silt and silty loam (loess) formations of south east Poland are presented on geological maps as loess. Such presentation is questioned since the textural differences can result in soil properties affecting soil quality. This study aimed to determine texture and some chemical and physical properties in main horizons of Luvisols derived from the both formations under forest and arable cropping. The results indicated that soils derived from sandy silt compared to loess formations at comparable horizons are characterised by greater sand content, bulk density and acidity and lower soil organic carbon, Fe concentration, specific surface area and porosity for pores retaining plant available water. The soils under forest compared to those under arable cropping showed greater soil organic carbon content, acidity, Fe concentration and lower bulk density. The differences were affected by soil horizon. It has been stated that the total porosity of the soils derived from sandy-silt formations was smaller than in the soils of loess origin and the differences were the most evident in the upper parts of the profiles of the forest soils. The amount of macropores in the forest soils, created from both parent materials was considerably higher than in the arable soils, while the soils derived from sandy-silt formations were characterized by generally lower amount of mesopores and micropores than in the soils created from loess. The amount of water easily available for plants was considerably lower in the soils created from sandy-silt formations than in the soils of loess origin – it was especially well seen for the forest soils. The amount of water difficult available for plants was generally considerably higher than the amount of water easily available, in all the investigated soil profiles and it practically did not depend on the kind of parent material.

Keywords: hydrophysical properties, management, Luvisols

Adresy autorów:

Marcin Turski
Barbara Witkowska-Walczak
Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN
ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27
tel. (0-81) 7445061, fax (081) 7445067
e-mail: mturski@demeter.ipan.lublin.pl
bwitwal@demetr.ipan.lublin.pl