

W
AKADEMIA TECHNICZNO-ROLNICZA
IM. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH
W BYDGOSZCZY

R o z p r a w y
nr 38

HALINA DĄBKOWSKA-NASKRĘT

Skład i właściwości fizykochemiczne
wybranych gleb aluwialnych Doliny Dolnej Wisły
z uwzględnieniem ich cech diagnostycznych

Naskręt, Halina
właściwości fizyk

BYDGOSZCZ – 1990

AKADEMIA TECHNICZNO-ROLNICZA
IM. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH
W BYDGOSZCZY

Rozprawy
nr 38

HALINA DĄBKOWSKA-NASKRĘT

**Skład i właściwości fizykochemiczne
wybranych gleb aluwialnych Doliny Dolnej Wisły
z uwzględnieniem ich cech diagnostycznych**

Biblioteka Główna ATR w Bydgoszczy



00000005343

BYDGOSZCZ – 1990

PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO
prof. dr hab. Ojcumiła Stefaniak

OPINIODAWCY
prof. dr hab. Jan Gliński
prof. dr hab. Jerzy Marcinek

REDAKTOR NAUKOWY
doc. dr hab. Wojciech Piotrowski

OPRACOWANIE REDAKCYJNE I TECHNICZNE
mgr Aleksandra Ławniczak, Zbigniew Gackowski



Wydano za zgodą Rektora
Akademii Techniczno-Rolniczej
w Bydgoszczy

75439

ISSN 0209-0597

**WYDAWNICTWO UCZELNIANE AKADEMII TECHNICZNO-ROLNICZEJ
W BYDGOSZCZY**

Wyd. I. Nakład 150. Ark. wyd. 6,5 ark. druk. 7,5. Papier drukowy kl. V, 71 g, B-1
Oddano do druku 20.02.90 r. Druk ukończono w marcu 1990 r.

MEN

Uczelniany Zakład Małej Poligrafii ATR, Bydgoszcz, ul. Olszewskiego 20
Zamówienie nr 71/90.

Spis treści

	str.
WSTĘP	5
I. PRZEGLĄD LITERATURY	6
1. Kryteria diagnostyczne gleb aluwialnych	6
2. Badania gleb wytworzonych z osadów aluwialnych obszaru Pol- ski	7
3. Zawartość i właściwości połączeń żelaza w glebach	8
3.1. Wolne tlenki żelaza	8
3.2. Żelazo związane z materią organiczną	9
II. BADANIA WŁASNE	11
1. Cel i zakres badań	11
2. Wybór prób glebowych	12
3. Metody badań	13
4. Ogólna charakterystyka gleb	16
4.1. Budowa morfologiczna i niektóre właściwości gleb ...	16
4.2. Skład granulometryczny gleb	16
4.3. Uziarnienie frakcji iżu koloidalnego	31
5. Skład chemiczny gleb	36
6. Skład chemiczny frakcji iżu koloidalnego	46
7. Skład mineralogiczny frakcji iżu koloidalnego	46
7.1. Badania rentgenostrukturalne	46
7.2. Analiza derywatograficzna	59
7.3. Mikroskopia elektronowa	59
8. Charakter połączeń żelaza	63
8.1. Tlenki żelaza ekstrahowane metodą Tamma oraz Mehra- -Jacksona	63
8.2. Żelazo związane z materią organiczną gleby	71
8.3. Zawartość żelaza całkowitego	72
9. Całkowita powierzchnia właściwa gleb	72
9.1. Udział tlenków żelaza w całkowitej powierzchni właś- ciwej gleb	75
10. Charakterystyka ładunku powierzchniowego gleb	77
10.1. Miareczkowanie potencjometryczne gleb	77
10.2. Wpływ tlenków żelaza na przebieg miareczkowania po- tencjometrycznego	82
11. Kationowa pojemność wymienna związana ze stałymi i zmienny- mi ładunkami gleby	82
11.1. Udział próchnicy w kationowej pojemności wymiennej .	83
III. Dyskusja	87
IV. Podsumowanie	99
V. Wnioski	103
Literatura	105
Streszczenia	116

Wykaz symboli stosowanych w pracy

- Fe_s - żelazo ekstrahowane roztworem kwaśnego szczawianu amonu według Tamma,
- Fe_d - żelazo ekstrahowane cytrynianem sodu po redukcji dwutlenkiem według Mehra-Jacksona,
- Fe_o - żelazo związane z substancją organiczną gleby,
- Fe_c - żelazo całkowite,
- Fe_k - żelazo krystaliczne ($Fe_d - Fe_s$),
- PWK_c - całkowita pojemność wymienna kationów,
- PWK_s - pojemność wymienna kationów, związana ze stałymi ładunkami gleby,
- PWK_z - pojemność wymienna kationów, związana ze zmiennymi ładunkami gleby,
- podfrakcja gruba - I - frakcja iłu koloidalnego o $\phi < 2-0,5 \mu m$,
- podfrakcja średnia - II - frakcja iłu koloidalnego o $\phi 0,5-0,2 \mu m$,
- podfrakcja drobna - III - frakcja iłu koloidalnego o $\phi < 0,2 \mu m$

W S T Ę P

Gleby utworzone ze współczesnych, holocenijskich osadów aluwialnych dolin rzecznych charakteryzują się specyficznymi właściwościami, związanymi z ich genezą i warunkami siedliskowymi. Wyróżniają się one spośród innych gleb między innymi młodym wiekiem, warstwowaną budową, występowaniem substancji organicznej w całym profilu oraz stosunkowo dużą wilgotnością i zasobnością w składniki pokarmowe.

Pierwotny osad aluwialny podlega wietrzeniu fizycznemu i chemicznemu, jak również zostaje przekształcony w wyniku zachodzących procesów glebotwórczych [164], co powoduje homogenizację materiału i jednocześnie jego pedogenetyczne zróżnicowanie [81]. Złożoność zachodzących procesów utrudnia przeprowadzenie jednoznacznej klasyfikacji mad, ponieważ zmiany morfologiczne, związane z transformacją materiału glebowego, ujawniają się dopiero z upływem czasu. Dostrzeżenie kierunku przemian w glebach utworzonych z osadów fluwiogenicznych wymaga szczegółowych studiów gleboznawczych.

Prowadzone dotychczas badania nad glebami aluwialnymi obszaru Polski były fragmentaryczne i dotyczyły głównie ich składu granulometrycznego, odczynu, przydatności rolniczej, zasobności w składniki pokarmowe. Niewiele jest opracowań, których przedmiotem byłyby właściwości chemiczne i fizykochemiczne, jak również skład tych gleb w aspekcie zachodzących procesów glebotwórczych.

W niniejszej pracy podjęto studia nad właściwościami fizykochemicznymi gleb aluwialnych Doliny Dolnej Wisły, gdzie występują znaczne obszary tych gleb, zwłaszcza na Żuławach. Za podstawę przyjęto badanie właściwości, które mają związek z transformacją materiału glebowego, tj. zawartości i charakteru wolnych tlenków żelaza, połączeń organicznych żelaza, uziarnienia w obrębie profilu, a także wielkości powierzchni właściwej oraz udziału w niej tlenków żelaza. Przeprowadzono również charakterystykę ładunku powierzchniowego oraz właściwości sorpcyjnych, determinowanych składem gleby.

W oparciu o uzyskane wyniki dokonano próby wyodrębnienia cech diagnostycznych, które umożliwiłyby klasyfikację mad z uwzględnieniem ich właściwości fizykochemicznych.

I. PRZEGLĄD LITERATURY

1. KRYTERIA DIAGNOSTYCZNE GLEB ALUWIALNYCH

Gleby utworzone z utworów fluwiogenicznych w dolinach rzek wskutek osadzania się materiału naniesionego przez wody płynące, to żyzne gleby aluwialne, w literaturze polskiej określane jako mady. Przetransportowane części ziemiste zawierają między innymi już uprzednio uformowane wtórne minerały glinokrzemianowe i próchnicę. Wtórnie osadzany materiał glebowy zostaje następnie przekształcony w wyniku zachodzących procesów glebotwórczych (między innymi brunatnienia). Obrazem morfologicznym tych przemian jest zanik warstwowania w profilu i wykształcenie poziomu próchnicznego, a wraz z nasilającymi się procesami pedogenezy - poziomu brunatnienia (cambio).

Gleby aluwialne, jako gleby niestrefowe, występują w każdych warunkach klimatycznych, co znajduje odbicie w systemach klasyfikacji. W systematyce niemieckiej [90] wyróżnia się typ mad (niem. vega), w którym wyodrębnia się mady brunatne (braunvega), mady czarnoziemne (schwarzvega) oraz mady wapniowcowe (kalkvega). Zasadniczym kryterium diagnostycznym jest geneza materiału oraz właściwości mad nieznacznie zmienione w stosunku do pierwotnego aluwium.

Gleboznawcy z ZSRR [81] wyodrębnili w oparciu o właściwości fizykochemiczne następujące jednostki gleb aluwialnych: gleby aluwialne nasycone, węglanowe i nienasycone.

Pełniejsze wyrażenie właściwości fizykochemicznych jako kryterium diagnostycznego gleb aluwialnych znaleźć można w klasyfikacji gleb amerykańskich [141]. Gleby aluwialne (Fluventy), utworzone ze współczesnych osadów naniesionych przez rzeki, zaliczono do Entisoli - gleb mineralnych, których typową cechą jest brak wykształconych poziomów diagnostycznych. Fluventy podzielono na grupy w oparciu o reżim temperaturowy i wodny (kriofluventy, kserofluventy, ustifluventy, torrifluventy, tropofluventy i udifluventy). Cechą charakterystyczną jest ich warstwowanie oraz znaczna zawartość węgla organicznego w całym profilu, związanego głównie z frakcją ilastą. Wśród udifluwentów wyodrębniono: typowe fluventy (ang. typic fluvents), próchniczne (mollic fluvents) oraz glejowe (aquic fluvents) i inne.

W nomenklaturze FAO [136] gleby utworzone z osadów naniesionych przez rzeki (od łac. fluvius - rzeka), podzielono w oparciu o ich zasobność w składniki pokarmowe na: fluvisole nasycone (ang. Eutric Fluvisols) i fluvisole węglanowe (Calcaric Fluvisols). O zaliczeniu mad do określonej

jednostki według FAO decydują wymierne cechy ilościowe: pH i stopień nasycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami.

W legendzie do mapy gleb świata [52], do gleb typu fluvisoli zaliczono słabo wykształcone gleby wytworzone ze współczesnych osadów aluwialnych. Cechą charakterystyczną tych gleb jest brak poziomów diagnostycznych lub występowanie tylko poziomu próchnicznego A - „ochric”. Do fluvisoli zaliczone zostały gleby wykazujące drobne warstwowanie w profilu oraz nierównomierne rozmieszczenie substancji organicznej. Podzielono je na podstawie kryteriów zasobności i odczynu na: zasobne fluvisole (ang. *Eutric Fluvisols*), węglanowe fluvisole (*Calcic Fluvisols*), glejowe fluvisole (*Gleyic Fluvisols*) oraz *Dystric Fluvisols* - gleby nienasycone.

W klasyfikacji gleb Polski, w klasie gleb napływowych wydzielono typ mąd rzecznych, w którym wyodrębniono podtyp mąd właściwych, mąd próchnicznych oraz mąd brunatnych [151]. Za kryteria diagnostyczne przyjęto: słabo wykształcony poziom próchniczny i warstwowanie materiału skały macierzystej (mąda właściwa); występowanie poziomu barwy brunatnej oznaczonego (B) oraz brak wyraźnej stratyfikacji w profilu (mąda brunatna); dobrze ukształtowany poziom próchniczny barwy ciemnoszarej lub czarnej i występowanie wyraźnego oglejenia oddolnego (mąda próchniczna). Witek i inni [166] wyróżnili dodatkowo, na obszarze Żuław, mądy rzeczne szarobrunatne, które wytworzyły się z mąd właściwych pod wpływem procesu darniowego. Autorzy zwracają jednocześnie uwagę na niedoskonałość kryteriów diagnostycznych mąd (są to głównie kryteria morfologiczne - warstwowanie, barwa). Dotyczy to szczególnie wyodrębnienia mąd brunatnych, które budową i właściwościami zdecydowanie różnią się od gleb brunatnych pochodzenia niealuwialnego.

Drugie wydanie „Systematyki gleb Polski” wykorzystuje klasyfikację amerykańską (*Soil Taxonomy*) oraz FAO i uwzględnia kryteria genetyczne, fizykochemiczne oraz morfologiczne gleb [152]. W typie mąd rzecznych (dział - gleby napływowe, rząd - gleby aluwialne) wyróżnia trzy podtypy: mądy właściwe, próchniczne oraz brunatne - na podstawie stopnia wykształcenia profilu glebowego oraz zawartości materii organicznej. Podtyp mąd brunatnych scharakteryzowany jest w oparciu o występowanie poziomu cambic (B_{br}).

2. BADANIA GLEB WYTWORZONYCH Z OSADÓW ALUWIALNYCH OBSZARU POLSKI

Gleby ukształtowane z utworów aluwialnych były przedmiotem zainteresowań gleboznawczych głównie w kontekście ich potencjalnej żyzności i rolniczej przydatności. Badania obejmowały mądy występujące w dolinie Odry [16, 87], Wisły [85, 112], jak również gleby aluwialne z innych regionów [44, 98, 153, 168].

Szczegółowe studia nad wiślanymi dotyczyły między innymi uziarnienia, odczynu, zawartości węgla organicznego [109, 121, 169], azotu, składu frakcyjnego próchnicy [170], zasobności w makro- i mikroprzewodności [96, 97, 119, 120]. Prowadzono również badania nad zawartością kationów wymienionych i rozpuszczalnych w wodzie [140] jak też efektywnością nawożenia [39].

Nieliczni autorzy podejmowali studia nad składem mineralogicznym gleb aluwialnych Doliny Wisły [21], morfologią ziaren glebowych [22] oraz zróżnicowaniem litologicznym [108]. Z uwagi na dużą zmienność nad wiślanymi prace te mają charakter fragmentaryczny.

Opracowań poświęconych genezie, ewolucji oraz kierunkom zachodzących procesów glebotwórczych w glebach aluwialnych jest niewiele. Wśród nich podstawowe znaczenie mają badania Witka i współpracowników [165, 166, 167].

Istotny wkład w stan wiedzy o glebach aluwialnych Doliny Wisły mają również studia Siuty [137, 138, 139], dotyczące między innymi zachodzących procesów (w tym glejowego) w madach żuławskich. Przemianami substancji organicznej w madach wiślanymi zajmował się Zimont [170], a dyslokacją związków żelaza w profilu Motowicka-Terelak [107].

Niewiele jest prac, które dotyczyłyby aspektu typologii gleb aluwialnych; wśród nich istotne znaczenie mają studia Witka [165, 167] oraz Strzeńskiego [148]. Według Witka procesy brunatnienia mad żuławskich związane są z ruchem wstępującym wód gruntowych, zasobnych w jony Fe^{+2} , które ulegają utlenieniu i wytrąceniu w postaci tlenków żelaza. Nadają one poziomowi podpróchnicznemu lub próchnicznemu charakterystyczną barwę brunatną.

3. ZAWARTOŚĆ I WŁAŚCIWOŚCI POŁĄCZEŃ ŻELAZA W GLEBACH

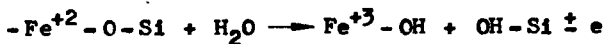
3.1. Wolne tlenki żelaza

W badaniach nad charakterem przemian i zachodzących procesów glebotwórczych oraz genezy gleb szczególne znaczenie mają studia nad połączeniami żelaza, w tym wolnych tlenków żelaza.

Tlenki żelaza to ważny składnik gleby, który wprawdzie nie jest związany bezpośrednio z pierwotnym źródłem Fe, ale wskazuje na określone środowisko pedogenetyczne [132, 171]. Konieczność uwzględnienia tych połączeń w badaniach pedogenetycznych podkreślali Gorbunow [63], Schwertmann [131] oraz Mc Keague i inni [102].

Rozmieszczenie związków żelaza w profilu glebowym stanowi jedno z kryteriów typologicznych [80, 82, 147]. Tlenki żelaza to istotny parametr wykorzystywany w klasyfikacji i systematyce gleb [15, 25, 91, 141].

Występujące w glebie tlenki żelaza są produktami wietrzenia minerałów pierwotnych, zawierających żelazo głównie w formie $Fe/II/$, które jest uwalniane w wyniku reakcji hydrolizy połączonej z utlenianiem [129]:



elektron pobierany jest
przez tlen atmosferyczny

Z uwagi na szczególnie niską rozpuszczalność tlenków Fe^{+3} przy normalnym pH gleby (5,0-9,0) uwalniane żelazo jest wytrącane w postaci tlenku lub wodorotlenku [47, 58]. Połączenia te mogą stanowić parametr diagnostyczny przebiegających w glebie makro- i mikroprocesów, które warunkują typy genetyczne gleb [171].

Tlenki żelaza wpływają w sposób znaczący na właściwości chemiczne i fizykochemiczne gleb. Decyduje o tym struktura i reaktywność powierzchni tych połączeń. Posiadają one dużą powierzchnię właściwą [40, 135] oraz grupy funkcyjne OH, które mogą wchodzić w reakcję z metalami [20, 102] oraz anionami [2, 72, 115].

Na powierzchni uwodnionych tlenków żelaza w wyniku adsorpcji lub desorpcji jonów H^+ lub OH^- tworzy się ładunek; wielkość i znak tego ładunku zależy od rodzaju i aktywności jonów w roztworze oraz pH środowiska i wzrasta wraz ze wzrostem stężenia elektrolitu [4, 19, 130].

Charakter występujących tlenków żelaza wpływa na wielkość i rozkład ładunku w glebach. Rolę jaką odgrywają wolne tlenki żelaza w modyfikacji właściwości powierzchni gleb badali Sumner [149] oraz Davis i Leekie [40]. Ładunek powierzchniowy charakteryzowano metodą miareczkowania potencjometrycznego, wprowadzoną do analizy gleb przez Van Raija i Peecha [158], a następnie stosowaną przez innych autorów [60, 89, 113]. Silnie zwietrzałe gleby zasobne w tlenki żelaza i glinu [57, 110, 157], jak również gleby strefy umiarkowanej [14, 27, 89], charakteryzowano w oparciu o rozkład ładunków, zdeterminowany między innymi występującymi w glebie wolnymi tlenkami żelaza. Studia dotyczyły także kierunku i intensywności przemian materiału glebowego oraz jego wieku.

3.2. Żelazo związane z materią organiczną

Żelazo tworzy połączenia z substancją organiczną gleby, które odgrywają istotną rolę w procesach pedogenezy [56, 143]. Przemiany zachodzące w glebach aluwialnych wielu autorów łączy z tworzeniem połączeń kompleksowych Fe z próchnicą [24, 36, 166]. Również procesy brunatnienia w glebach o różnym pochodzeniu geologicznym związane są z występowaniem związków organicznych Fe [51]. Liczne badania tych połączeń w glebach różnych typów wykazały, że ich właściwości związane są z zachodzącymi jednostkowymi procesami glebowymi [9, 54, 100], a więc mogą stanowić w miarę precyzyjne kryterium charakterystyki i klasyfikacji gleb.

W oparciu o ilości Fe związanego z materią organiczną oraz o inne parametry definiuje się poziom spodic w USA [141], poziom gleb bielcowych w Kanadzie [25] oraz Anglii [6].

Najczęściej stosowanym ekstrahentem połączeń organicznych Fe jest roztwór pirofosforanu sodu [99] lub potasu [1, 9], roztwór pirofosforanu-dwutioninu [99] oraz wodorotlenku sodu i czteroboranu sodu [54]. Bruckert i Metche [24] do badań gleb bielcowych, brunatnych i vertisoli wprowadzili sekwencyjną ekstrakcję połączeń Fe z materią organiczną. Zastosowanie kolejno roztworów czteroboranu sodu, pirofosforanu sodu oraz wodorotlenku sodu umożliwia wyodrębnienie trzech typów połączeń:

- 1) nietrwałych kompleksów, z dominacją wiązań elektrostatycznych,
- 2) trwałych połączeń o charakterze kompleksów koordynacyjnych,
- 3) najbardziej trwałych związków Fe z próchnicą.

Tworzeniu się połączeń typu chelatów w glebie towarzyszy adsorpcja związków organicznych na powierzchni tlenków żelaza [135]. Procesy adsorpcji zmieniają właściwości powierzchni tlenków [114, 155], co może powodować wzrost lub obniżenie wielkości ładunku elektrycznego albo nawet zmianę jego znaku [155].

Dane literaturowe sugerują, że wzajemne oddziaływanie między żelazem a substancją organiczną gleby może mieć szczególne znaczenie w glebach aluwialnych, zasobnych w próchnicę w całym profilu.

I I . B A D A N I A W Ł A S N E

1. CEL I ZAKRES BADAŃ

Celem niniejszej pracy było scharakteryzowanie właściwości fizykochemicznych gleb wytworzonych z osadów aluwialnych Doliny Dolnej Wisły, z uwzględnieniem ich składu, zarówno chemicznego, jak i mineralogicznego. Studia obejmowały badania właściwości powierzchniowych, głównie rozkładu ładunków elektrycznych oraz wpływu poszczególnych składników gleby (w tym wolnych tlenków żelaza, próchnicy, połączeń organicznych żelaza) na te właściwości.

Z uwagi na brak jednoznacznych kryteriów typologicznych mad, podjęto próbę wyodrębnienia cech diagnostycznych pomocnych w klasyfikacji.

Jedną z ważniejszych cech gleby jest uziarnienie w obrębie profilu, a szczególnie rozmieszczenie frakcji iłu koloidalnego w charakterystycznych poziomach i warstwach. W niniejszej pracy oznaczono skład granulometryczny mad z uwzględnieniem rozdziału frakcji ilastej na podfrakcję grubą (ϕ 2-0,5 μm), średnią (ϕ 0,5-0,2 μm) i drobną (ϕ < 0,2 μm).

Określono zawartość połączeń niekrzemianowych żelaza, w tym ilość wolnych tlenków żelaza ekstrahowanych metodą Mehra-Jacksona, ilość tlenków żelaza ekstrahowanych szczawianem amonu (metodą Tamma) oraz zawartość żelaza związanego z substancją organiczną gleby.

Przeprowadzono analizę chemiczną głównych składników gleby oraz frakcji ilastej, jak również oszacowano skład mineralogiczny tej frakcji.

Wykonano badania mikrostrukturalne wybranych próbek frakcji ilastej metodą skaningowej mikroskopii elektronowej.

Wyznaczono także wielkości całkowitej powierzchni właściwej gleb oraz udział w niej tlenków żelaza i oszacowano wielkość powierzchni tlenków żelaza w wybranych próbkach.

Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej, w tym obliczono współczynniki korelacji liniowej i wyznaczono równania regresji wielozmiennej.

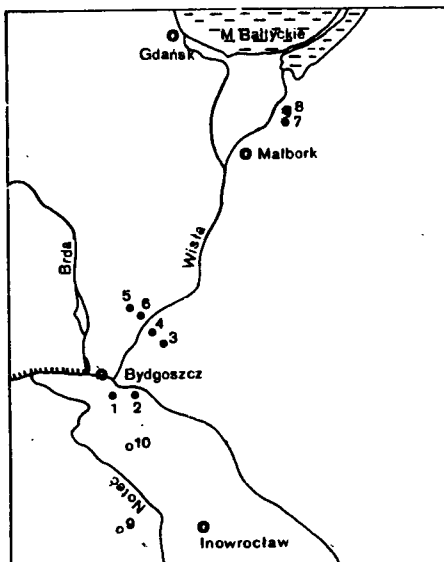
Ewentualne zróżnicowanie w składzie oraz właściwościach mad Doliny Dolnej Wisły, wskutek zachodzących procesów pedogenezy, śledzono charakteryzując ładunek powierzchniowy metodą miareczkowania potencjometrycznego oraz wyznaczając kationową pojemność wymienną, związaną ze stałymi oraz zależnymi od pH ładunkami tych gleb.

W oparciu o uzyskane wyniki przeprowadzono próbę wyodrębnienia cech, które różniąc badane mady Doliny Dolnej Wisły mogłyby stanowić ich ce-

chy diagnostyczne, komplementarne do cech morfologicznych i pomocne w klasyfikacji.

2. WYBÓR PRÓB GLEBOWYCH

Do badań wybrano gleby uprawne, utworzone z osadów aluwialnych Doliny Dolnej Wisły. Lokalizację wyselekcjonowanych profilów glebowych przedstawiono na rysunku 1.



Rys.1. Lokalizacja wybranych profilów gleb

Fig.1. Location of selected soil profiles

- | | | |
|------------------|-----------------|--------------------------|
| 1 - Łęgnowo 1, | 5 - Grabowo 1, | 9 - Batkowo, |
| 2 - Łęgnowo 2, | 6 - Grabowo 2, | 10 - Tarkowo, |
| 3 - Starogród 1, | 7 - Stare Pole, | 11 - Grabów (k/Puław), |
| 4 - Starogród 2, | 8 - Fiszewo, | 12 - Ślădkovičovo (CSRS) |

(dwa ostatnie poza zasięgiem mapki)

(the last two beyond the range of the map)

Profile Łęgnowo 1 i Łęgnowo 2 znajdują się na lewym brzegu Wisły, koło Bydgoszczy, na obszarze położonym przed bifurkacją [5]. Odkrywka Łęgnowo 1 położona jest na terenie płaskim, wyraźnie nachylonym ku krańcowi pradoliny, odciętym od koryta rzeki wałem przeciwpowodziowym. Odległość punktu badawczego od koryta Wisły wynosi około $1/3$ szerokości pradoliny. Profil Łęgnowo 2 położony jest w odległości $\pm 1/4$ szerokości pradoliny od koryta Wisły, na obszarze równym, odciętym od rzeki wałem przeciwpowodziowym.

Punkty badawcze Starogród 1 i Starogród 2 położone są w Basenie Unisławskim, po prawej stronie Wisły. Profil Starogród 1 znajduje się na terenie płaskim, w odległości około 600 m od koryta rzeki. Odkrywkę Starogród 2 wykonano w odległości około 200 m od odkrywki Starogród 1, w kierunku koryta rzeki, na obszarze równym.

Profile Grabowo 1 i Grabowo 2 położone są na lewym brzegu rzeki, na terenie płaskim, wyniesionym 20-25 m n.p.m., gdzie procesy akumulacji aluwialnej zostały przerwane stosunkowo niedawno, na skutek obwałowania rzeki. Profil Grabowo 1 znajduje się na obszarze, który około 40 lat temu został odcięty wałem od dalszego oddziaływania zalewów Wisły, w odległości około 300 m od koryta rzeki. Odkrywka Grabowo 2 znajduje się między korytem rzeki a wałem ochronnym, w odległości około 100 m od Wisły.

Profile Stare Pole i Fiszewo położone są na terenie Żuław Przejściowych, gdzie główną rolę w nagromadzeniu się osadów aluwialnych odegrała Wisła i Nogat.

Dla celów porównawczych analizowano gleby różniące się w sposób zdecydowany pochodzeniem skały macierzystej, wiekiem i genezą od młodych mad Doliny Dolnej Wisły. Badaniami objęto glebę brunatną właściwą z Batkowa (Wysoczyzna Kujawska) wytworzoną z gliny zwałowej zlodowacenia bałtyckiego; glebę płową z miejscowości Grabów k/Puław, wytworzoną z osadów zlodowacenia środkowopolskiego; glebę płową z Tarkowa (Wysoczyzna Kujawska) wytworzoną z materiałów zlodowacenia bałtyckiego oraz madę brunatną z nad Dunaju, ze Sládkovičova (Czechosłowacja).

3. METODY BADAŃ

W badaniach zastosowano następujące metody:

1. Skład granulometryczny oznaczono metodą Boycousse-Cassagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego. Koloidalną frakcję ilastą wyseparowano metodą sedymentacji przyspieszonej wirowaniem [32]. Uziarnienie frakcji ilastej wyznaczono metodą pipetową.
2. Zawartość węgla organicznego oznaczono metodą Tiurina.
3. pH gleby zmierzono w H_2O i 1 M KCl na pH-metrze Radiometr (Dania).
4. Zawartość $CaCO_3$ oznaczono metodą Scheiblera.
5. Zawartość „wolnych tlenków żelaza” oznaczono w ekstrakcie cytrynianu sodu, dwuwęglanu sodu po redukcji dwutioninem, metodą Mehra-Jacksona [104].
6. Zawartość „amorficznych tlenków żelaza” oznaczono metodą Tamma w modyfikacji Schwertmanna [128]. Ilość krystalicznych tlenków żelaza obliczono z różnicy zawartości wolnych i amorficznych tlenków.

7. Żelazo związane z organiczną substancją gleby oznaczono na drodze sekwencyjnej ekstrakcji według Brückerta [24], stosując kolejno następujące ekstrahenty: 0,05 M $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (pH 9,7); 0,05 M $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$ (pH 9,8) i 0,1 M NaOH (pH 12,0). Naważki 2 g gleby ekstrahowano dwukrotnie kolejno roztworem czteroboranu, pirofosforanu i wodorotlenku sodu, w ciągu 2 godzin, stosując po 100 ml roztworu ekstrahenta. W ekstraktach oznaczano zawartość żelaza oraz węgla.
8. Skład chemiczny gleby oraz frakcji ilastej oznaczono w stopach z węglanem sodu i po rozтворzeniu próbek w HF według Jacksona [75]:
- zawartość Fe, Mg, Mn oznaczono metodą atomowej spektroskopii absorpcyjnej, na aparacie SP-2900 (Pye-Unicam),
 - zawartość K, Na, Ca - metodą atomowej spektroskopii emisyjnej na aparacie FLAPHO-4 (Carl Zeiss, Jena),
 - zawartość SiO_2 oraz straty prażenia - grawimetrycznie,
 - zawartość Al - kolorymetrycznie z aluminonem [75],
 - zawartość Ti - kolorymetrycznie z tironem [75].
- Uzyskiwane wyniki porównywano z wynikami składu chemicznego próbek analizowanych metodą atomowej spektroskopii emisyjnej w plazmie argonowej [41].
9. Skład mineralogiczny frakcji ilastej określono w oparciu o wyniki analizy rentgenograficznej i derywatograficznej. Badaniom rentgenograficznym poddano próbki frakcji ilastej wysyczonej jonami K^+ , prażonej w temperaturze 550°C , wysyczonej jonami Mg^{+2} oraz solwatowanej glicerolem lub glikolem etylenowym. Dyfraktogramy preparatów orientowanych wykonano na aparacie HZG-HB (prędkość kątowna goniometru: $2^\circ/\text{min}$. promieniowanie $\text{CuK}\alpha$, filtr Ni, napięcie prądu lampy: 40 kV, natężenie prądu: 30 mA). Interpretację dyfraktogramów przeprowadzono w oparciu o literaturę [23, 62, 64, 65, 74, 77, 78, 146, 163].
10. Analizę derywatograficzną próbek frakcji ilastej wysyczonej jonami Ca^{+2} przeprowadzono w aparacie Derivatograph-System, F. Paulik, J. Paulik, L. Erdey (prod. Węgry), stosując naważkę 800 lub 1000 mg, czułość: TG - 200 mg, DTA - 1/10, DTG - 1,5; szybkość grzania $10^\circ/\text{min}$. Jako substancji wzorcowej użyto tlenku glinowego. Aby zredukować wpływ wilgotności powietrza na niskotemperaturowy efekt endotermiczny (około 100°C) próbki przed pomiarami umieszczano na okres 3 dni w eksykatorze z nasyconym CaCl_2 . Przy interpretacji wyników korzystano z opracowań [83, 84, 92, 93, 94, 127, 145].
11. Mikrostrukturę wybranych próbek frakcji ilastej analizowano w oparciu o zdjęcia elektronomikroskopowe, wykonane mikroskopem skaningowym (SEM) typu Eol 35CF, w czasie stażu naukowego w Cornell University w Ithaca (USA). Próbkę frakcji ilastej nanoszono na mosiężne podłoże, oczyszczano powierzchnię ultradźwiękami i pokrywano filmem C przez naporowanie. Wykonywano fotografię całej próbki przy kilku powiększeniach, a następnie wybranych powierzchni. Przy interpretacji zdjęć wy-

korzystano opracowanie Grabowskiej-Olszewskiej i innych [64] oraz Beutelepacher'a i Van der Marela [10].

12. Wielkości całkowitej powierzchni właściwej gleb wyznaczano z izoterm adsorpcji pary wodnej, metodą BET, na podstawie 5 punktów pomiarowych. Oznaczenia przeprowadzono w Zakładzie Agrofizyki PAN w Lublinie.

13. Charakterystykę ładunku powierzchniowego gleb przeprowadzono w oparciu o miareczkowanie potencjometryczne zawiesin glebowych metodą Bloka i De Bruyna [13, 69, 89, 157]. Dla utrzymania stałej siły jonowej zawiesiny glebowej użyto jako elektrolitu obojętnego 1 M, 0,1 M i 0,01 M NaCl. Do 2,5 g gleby dodawano roztwór NaCl, uzupełniano do objętości 25 ml wodą destylowaną i po 2 minutach równoważenia zawiesiny prowadzono miareczkowanie roztworem 0,05 M NaOH lub 0,05 M HCl, przy ciągłym mieszaniu. Szybkość dodawania titranta wynosiła 0,01 mmol/2 min.

Miareczkowanie prowadzono na pH-metrze z biuretą automatyczną, sprzężoną z drukarką typu PHM-84 firmy Radiometr (Dania), z ciągłym zapisem ilości dodanego titranta oraz pH zawiesiny.

Ilość jonów H^+ lub OH^- zaadsorbowanych przez glebę obliczono odejmując ilość kwasu lub zasady potrzebnej do doprowadzenia próbek porównawczych (roztwór 1 M, 0,1 M lub 0,01 M NaCl) do określonego pH, od ilości kwasu lub zasady potrzebnej do doprowadzenia zawiesiny glebowej do tego samego pH.

14. Kationową pojemność wymienną prób oznaczono metodą Mehlicha [103]. Całkowitą kationową pojemność wymienną (PWK_c) wyznaczono przy pH 8,2, przy użyciu jonu Ba^{+2} jako kationu wysycającego. Nawązki gleby przemywano na lejkach Schotta 0,3 M roztworem $BaCl_2$ (5 x 10 ml), 0,05 M $BaCl_2$ - trójetanoloamina (5 x 10 ml), a potem wodą destylowaną. Zaadsorbowane przez glebę jony Ba^{+2} wypierano jonami Ca^{+2} , przemywając porcjami 0,3 M $CaCl_2$, a potem wodą destylowaną. Całkowitą kationową pojemność wymienną próbki wyznaczono w oparciu o ilość jonów Ba^{+2} , oznaczonych metodą kolorymetryczną, mierząc ekstynkcję $BaCrO_4$, po rozpuszczeniu w 1 M HCl przy długości fali $\lambda = 423$ nm.

Kationową pojemność wymienną, związaną ze stałymi ładunkami gleby (PWK_s) oznaczono w oddzielnej próbce; po jej przemyciu roztworem 1 M HCl (5 x 10 ml). Tak przygotowaną glebę przemywano roztworem 0,3 M $BaCl_2$ i wodą destylowaną. Zaadsorbowane w centrach ładunków stałych jony Ba^{+2} wypierano roztworem 0,3 M $CaCl_2$ i oznaczano ich ilość kolorymetrycznie.

Kationową pojemność wymienną związaną ze zmiennymi ładunkami gleby (PWK_z) obliczono z różnicy $PWK_c - PWK_s$.

Wszystkie oznaczenia wykonano w dwóch lub czterech powtórzeniach (w pracy podano wartości średnie).

15. Przeprowadzono analizę statystyczną wyników dla stwierdzenia zależności między poszczególnymi zmiennymi (właściwościami) gleb. Obliczono współczynniki korelacji liniowej dla wszystkich nad i oddzielnie dla nad właściwych oraz brunatnych.

Dla określenia istnienia ewentualnych zależności pomiędzy kilkoma zmiennymi zastosowano analizę regresji. Istotność współczynników regresji sprawdzono testem F-Snedecora [48].

Wyznaczono równania regresji wielozmiennej; jako parametry kandydujące do modelu uwzględniano tylko te zmienne, które miały istotny współczynnik korelacji ze zmienną zależną. Parametry funkcji regresji szacowano metodą regresji krokowej [61].

Stopień wyjaśnienia zmienności zmiennej zależnej w modelu regresji określono wskaźnikiem determinacji R^2 .

4. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA GLEB

4.1. Budowa morfologiczna i niektóre właściwości gleb

Charakterystykę morfologiczną wybranych do badań profili mad Doliny Dolnej Wisły zestawiono w tabeli 1. Analizowane gleby zawierają od 0,15 do 1,88 % węgla organicznego. Mady ze Starogrodu charakteryzują się najwyższą zawartością tego składnika, natomiast gleby z Grabowa mają niską w stosunku do pozostałych mad ilość C_{org} (tab. 2). Największą zawartość materii organicznej mają poziomy przypowierzchniowe mad; wraz ze wzrostem głębokości w profilu ilość C_{org} maleje, chociaż jest nadal znacząca.

Wszystkie badane mady mają odczyn obojętny lub słabo alkaliczny. Zawierają one w swoim składzie niewielkie ilości $CaCO_3$, nie przekraczające 1,2 %.

Gleba utworzona z osadów aluwialnych Dunaju, ze Sládkovičova, ma nieco niższą aniżeli mady wiślane ilość próchnicy (0,48 - 1,16 % C_{org}), a w profilach pozostałych gleb (Batkowo, Grabów, Tarkowo) próchnica występuje jedynie w poziomach wierzchnich. Odczyn tych gleb jest obojętny (Batkowo, Sládkovičovo) lub słabo kwaśny (Grabów, Tarkowo).

4.2. Skład granulometryczny gleb

Wyniki analizy granulometrycznej mad Doliny Dolnej Wisły pozwalają zaliczyć je do mad średnich (profile z Grabowa), ciężkich (profile z Łęgnowa, Fiszewa, Starogrodu) lub bardzo ciężkich (ze Starego Pola). Zróżnicowanie składu granulometrycznego przedstawiono na trójkącie Fereta (rys.2), a wybranych profilów - w postaci krzywych uziarnienia (rys.3).

Tabela 1
Table 1

Cechy morfologiczne mad
Morphologic features of alluvial soils

Poziom (warstwa) Horizon (layer)	Mięszość Depth (cm)	Głębokość pobranie prób of sampling (cm)	Barwa Colour	Uziarnienie Texture	Struktura Structure	Cechy charakterystyczne Remarks
1	2	3	4	5	6	7
Łęgnowo 1 mada właściwa - typical alluvial soil						
Ap	0-13	5-10	ciemnobrunatna (7,5 YR 2/1)	F ₄ [*]	gr	dobrze wykształcona struktura gruzełkowa, trwała
A	13-33	15-25	brunatna (2,5 Y 3/1)	F ₄	gr	struktura gruzełkowa
C ₁	33-85	40-50	jaśnobrunatna (2,5 Y 4/2)	F ₄	gr	warstewki o miąższości 2-3 cm, co 10-12 cm różniące się głównie zawartością pyłu
C ₂	85-100	75-85	szarobrunatna (5 Y 3/1)	F ₄	os	zwięźlejszy niż nadkład, pojedyncze plamki ogłębienia (5 Y 4/3) i rdzawe konkrety żelaziste (7,5 Y 4/4)
C ₃	100-130	105-110	szarobrunatna (5 Y 3/1)	F ₄	os	widoczne pionowe spekania poniżej 130 cm - lustro wody gruntowej

* F₁-F₅ - odpowiednio mada bardzo lekka, lekka, średnia, ciężka i bardzo ciężka
alluvial soil very light, light, medium, heavy and very heavy, respectively

cd. tabeli 1

1	2	3	4	5	6	7
Łęgnowo 2 mada brunatna - brown alluvial soil						
Ap	0 - 12	2 - 10	ciemnobrunatna (10 YR 3/1)	F ₄	gr	poziom słabo zaznaczony morfologicznie, struktura gruzełkowa
A	12 - 26	12 - 20	jasnobrunatna (2,5 YR 4/2)	F ₄	gr	strukturalny, o ściślejszym ułożeniu niż nadkład
B _{br}	26 - 55	30 - 40	brunatna (2,5 YR 4/3)	F ₃	gr	struktura agregatowa, silnie zhomogenizowany
C ₁	55 - 70	55 - 62	jasnobrunatna (2,5 Y 5/4)	F ₄	os	materiał zwięźły, budowa orzechowa
C ₂	< 70	75 - 85	brunatna (2,5 Y 5/3)	F ₄	os	słabo zaznaczone żyłki (7,5 YR 3/4) i wytrącenia żelaziste, nieregularne pionowe spękania
Starogród 1 mada wiaściwa - typical alluvial soil						
Ap	0 - 15	0 - 15	ciemnobrunatna (2,5 Y 3/2)	F ₄	gr	słabo zaznaczony morfologicznie, struktura gruzełkowa
A	15 - 30	15 - 30	ciemnobrunatna (2,5 Y 3/3)	F ₄	gr	-
C ₁	30 - 120	oo 15 cm	jasnobrunatna (10 YR 2/3)	F ₅	gr	Jednolity materiał, brak warstwowania
IIC ₂	< 120	oo 15 cm	jasnobrunatna (10 YR 5/4)	F ₃	gr	mniej zwięźły niż nadkład, drobne rdzawe wytrącenia Fe (7,5 YR 4/4) nieliczne plamki oglejenia od 140 cm (5 Y 4/2)

od. tabeli 1

1	2	3	4	5	6	7
Starogród 2 mada brunatna - brown alluvial soil						
Ap	0 - 15	0 - 15	ciemnobrunatna (10 YR 2/1)	F ₄	gr	slabo zaznaczony morfologicznie, struktura gruzełkowa
A	15 - 29	15 - 30	brunatna (10 YR 3/2)	F ₃	gr	struktura drobnogruzełkowa
B _{br}	29 - 60	30 - 45 45 - 60	brunatna (10 YR 3/5)	F ₃	gr	silnie zhomogenizowany, slabo zaznaczony morfologicznie
C ₁	60 - 120	oo 15 cm	brunatna (2,5 Y 4/2)	F ₅	os	warstwa więźlejsza niż nadkład, duża plastyczność materiału
IIC ₂	120 - 150	120 - 135 135 - 150	jasnobrunatna (2,5 Y 6/6)	F ₄	os	materiał silniej spieszony, pojedyncze rdzawe żelaziste wytrącenia (7,5 Y 4/4)
Grabowo 1 mada wżasciwa - typical alluvial soil						
A	0 - 30	0 - 15 15 - 30	ciemnobrunatna (2,5 Y 4/3)	F ₃	gr	struktura gruzełkowa, liczne korzenie
C ₁	30 - 120	oo 15 cm	szarobrunatna (5 Y 6/6)	F ₂	gr	materiał jednolity, wytrącenia żelaziste w postaci smug (7,5 YR 4/6)
IIC ₂	120 - 135	120 - 135	szitawo-brunatna (5 Y 6/3)	F ₃	os	materiał bardziej zwęźły niż nadkład
IIC ₃	< 135	135 - 150	szitawo-popielata (7,5 YR 6/4)	F ₁	os	struktura rozdzielnoziarnista

od. tabeli 1

1	2	3	4	5	6	7
Grabowo 2 mada wżaćiwa - typical alluvial soil						
Ap	0 - 15	0 - 15	ciemnobrunatna (10 YR 3/1)	F ₂	gr	struktura drobnogruzełkowa
C ₁	15 - 45	15 - 30 30 - 45	brunatna (10 YR 4/2)	F ₂	gr	struktura orzechowa
C ₂	45 - 75	45 - 60 60 - 75	jasnobrunatna (7,5 YR 4/2)	F ₃	os	bardziej zwiezły niż nadkład, słabo odcinający się morfologicznie
C ₃	75 - 90	75 - 90	jasnożółta (10 YR 6/6)	F ₁	r	wkładka piasku, układ luźny, budowa rozdzielno-cząstkowa
C ₄	90 - 140	90 - 105 105 - 120	brunatna (7,5 YR 4/3)	F ₃	os	materiał zwiezły, sporedyczne plamki oglejenia (5 Y 4/2), rdzawe wytrące- nia żelaziste (10 YR 2/3)
Fiszewo mada brunatna - brown alluvial soil						
A	0 - 20	7 - 17	ciemnobrunatna (2,5 YR 3/3)	F ₄	gr	struktura gruzełkowa
A/B _{Dr}	20 - 36	25 - 36	brunatna (2,5 Y 3/2)	F ₄	gr	resztki roślinności bagiennej
B _{br}	36 - 55	37 - 42 44 - 54	brunatna (2,5 Y 3/3)	F ₄	br	silnie przekształcona i zhomogenizo- wana masa glebowa, struktura brylko- wa, układ zbity
C ₁	55 - 64	54 - 64	jasnobrunatna (10 YR 4/3)	F ₅	os	-
IIC ₂	64 - 85	73 - 85	jasnobrunatna (10 YR 4/3)	F ₄	os	nieliczne rdzawe (5 YR 3/4) przebarwienia

cd. tabeli 1

1	2	3	4	5	6	7
IIC3	85 - 95	85 - 95	ciemnoszaro-brunatna (2,5 Y 3/2)	F4	os	wzrastająca marmurkowatość, brak kierunkowości ułożenia przebarwień
IIC4	105 - 115	105 - 115	ciemnoszaro-brunatna (2,5 Y 3/2)	F4	os	wyraźna marmurkowatość, poziome ułożenie warstwek żelazistych, wytrącenia popielato-brunatne (10 YR 4/2) i rdzawo-brunatne (10 YR 2/3)
Stare Pole						
mada brunatna - brown alluvial soil						
A	0 - 21	6 - 16	ciemnobrunatna (10 YR 3/2)	F5	gr	doskonała struktura gruzełkowa
A/B _{br}	21 - 36	26 - 33	brunatna (2,5 Y 3/2)	F5	gr	duża zwięzłość materiału
B _{br}	36 - 45	36 - 43	brunatna (2,5 Y 3/3)	F5	gr	silnie zhomogenizowany, struktura gruzełkowa
C ₁	45 - 56	45 - 55	rdzawo-brunatna (2,5 Y 4/2)	F5	gr	wyraźna marmurkowatość, poziome ułożenie warstwek o grubości 1 - 3 mm, przewaga barwy rdzawej (10 YR 6/6); liczne korytarze dżdżownic
IIC2	56 - 79	65 - 75	brunatno-rdzawa (2,5 Y 5/3)	F4	os	rosnąca marmurkowatość, liczne rdzawe (2,5 YR 4/6) wytrącenia, duża zwięzłość
IIC3	79 - 110	85 - 95	jasnobrunatno-rdzawa (2,5 Y 4/3)	F5	os	nasilająca się marmurkowatość z przewagą barwy rdzawej (2,5 YR 4/6), liczne plamki oglejenia (7,5 Y 5/1)

Tabela 2
Table 2

Niektóre właściwości gleb
Some properties of soils

Poziom (warstwa) Horizon (layer)	Głębokość (cm) Depth (cm)	C org. (%)		pH		CaCO ₃ (%)	Powierzchnia właściwa (m ² /g) Specific surface area	PWK _C	PWK _S	PWK _Z	Udział ładunków w PWK _C Contribution of charges in PWK _C (%)	
		H ₂ O	KCl	stałych permanent	zmiennych variable							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Łęgnowo 1 mada właściwa - typical alluvial soil												
Ap	5-10	1,46	7,5	7,3	0,43	58,9	29,6	16,5	13,1	55,7	44,3	
A	15-25	1,32	7,8	7,6	0,46	51,7	26,3	17,4	8,9	66,1	33,9	
C ₁	40-50	0,52	8,3	8,0	0,82	36,9	16,4	11,9	4,5	72,6	27,4	
C ₂	75-85	0,76	8,3	7,8	0,62	34,8	19,4	14,5	4,9	74,7	25,3	
C ₃	105-110	0,48	7,7	7,5	0,30	66,1	24,7	18,6	6,1	75,3	24,7	
Łęgnowo 2 mada brunatna - brown alluvial soil												
Ap	2-10	1,88	7,6	7,3	0,35	64,9	25,1	17,2	7,9	68,5	31,5	
A	12-20	1,68	7,9	7,5	0,52	62,9	23,8	17,4	6,4	73,1	26,9	
B _{br}	30-40	0,48	7,6	7,5	0,57	47,1	17,5	15,8	1,7	90,3	9,7	
C ₁	55-62	0,68	8,1	7,5	0,65	69,0	19,2	16,7	2,5	87,0	13,0	
C ₂	75-85	0,52	7,6	7,3	0,23	45,7	12,8	11,1	1,7	86,7	13,3	

od. tabell 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Starogród 1 mada wiaściwa - typical alluvial soil											
Ap	0-15	1,57	7,5	7,1	0	35,5	21,5	9,5	12,0	44,2	55,8
A	15-30	1,47	7,4	7,2	0	35,2	19,4	10,0	9,4	51,5	48,5
C ₁	30-45	1,19	7,3	7,0	0,10	41,0	19,5	10,7	8,8	54,8	45,2
C ₂	45-60	1,49	8,0	7,6	0,86	60,3	20,7	11,0	9,7	53,1	46,9
C ₃	60-75	1,50	8,0	7,6	0,80	82,2	29,8	21,4	8,4	71,8	28,2
C ₄	75-90	1,61	7,9	7,5	0,55	87,4	27,6	21,7	5,9	78,6	21,4
C ₅	90-105	1,18	7,9	7,5	0,60	79,4	32,3	23,4	8,9	72,4	27,6
C ₆	105-120	1,12	7,8	7,4	0,80	70,3	24,2	14,8	9,4	61,2	38,8
IIC ₇	120-135	0,39	8,1	7,8	1,07	38,6	17,4	12,8	4,6	73,6	26,4
IIC ₈	135-150	0,15	8,2	7,8	1,20	27,6	19,2	15,3	3,9	79,7	20,3
Starogród 2 mada brunatna - brown alluvial soil											
Ap	0-15	1,12	7,8	7,3	0,48	37,2	17,2	8,0	9,2	46,5	53,5
A	15-30	0,95	8,0	7,3	0,68	31,1	18,0	8,1	9,9	45,0	55,0
B _{br1}	30-45	0,90	8,0	7,5	0,95	39,5	16,4	9,2	7,2	56,1	43,9
B _{br2}	45-60	0,60	8,1	7,6	0,82	36,2	15,5	9,4	6,1	60,6	39,4
C ₁	60-75	0,94	8,1	7,5	0,51	59,1	24,0	16,5	7,5	68,8	31,2
C ₂	75-90	0,75	7,9	7,3	0,41	60,2	25,5	15,4	10,1	60,4	39,6
C ₃	90-100	1,26	7,0	7,4	0,60	75,3	27,8	19,9	7,9	71,6	28,4
C ₄	105-120	1,08	8,1	7,3	0,72	96,5	29,8	20,7	9,1	69,5	30,5
IIC ₅	120-135	0,60	7,8	6,9	0,16	51,4	18,1	13,1	5,0	72,4	27,6
IIC ₆	135-150	0,41	7,6	6,8	0	44,7	16,8	11,6	5,2	69,0	31,0

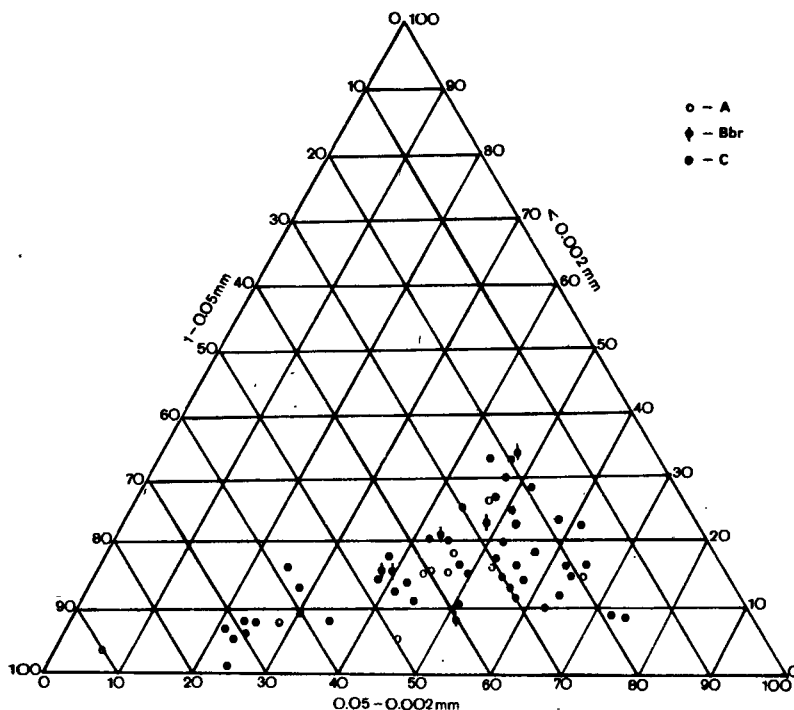
ed. tabeli 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Grabovo 1											
mada vlašciwa - typical alluvial soil											
Ap	0-15	1,31	7,8	7,5	0,85	38,5	19,3	11,3	8,0	58,5	41,5
A	15-30	1,32	7,9	7,6	0,42	34,5	17,6	10,1	7,5	57,4	42,6
C ₁	30-45	0,53	8,1	7,4	0,85	24,1	10,3	6,6	3,7	64,1	35,9
C ₂	45-60	0,64	8,3	7,5	1,41	33,5	13,8	8,6	5,2	62,3	37,7
C ₃	60-75	0,61	8,3	7,5	1,36	23,8	11,2	8,0	3,2	71,4	28,6
C ₄	75-90	0,70	8,4	7,8	1,38	23,8	9,9	4,6	5,3	46,5	53,5
C ₅	90-105	0,26	8,3	7,7	0,80	13,7	16,9	4,2	12,7	24,8	75,2
C ₆	105-120	0,35	8,2	7,6	0,98	23,1	11,8	4,9	6,9	41,5	58,5
IIC ₇	120-135	0,58	8,2	7,5	0,94	32,7	13,5	10,6	2,9	78,5	21,5
IIIC ₈	135-150	0,20	8,0	7,4	0,82	16,6	5,4	3,9	1,5	72,2	27,8
Grabovo 2											
mada vlašciwa - typical alluvial soil											
Ap	0-15	1,35	7,3	7,0	0	24,4	12,8	5,7	7,1	44,5	55,5
C ₁	15-30	0,78	7,4	7,3	0,16	22,4	13,0	5,9	7,1	45,4	54,6
C ₂	30-45	0,34	7,9	7,6	0,67	16,6	8,1	3,8	4,3	46,9	53,1
IIC ₃	45-60	0,26	8,1	7,8	0,88	20,0	7,4	4,8	2,6	64,9	35,1
IIC ₄	60-75	0,37	8,2	7,6	1,10	29,8	14,6	7,4	7,2	50,7	49,3
IIIC ₅	75-90	0,08	8,0	7,6	0,46	8,5	4,5	2,5	2,0	55,6	44,4
IVC ₆	90-100	0,24	8,2	7,8	1,20	28,9	12,6	6,6	6,0	52,4	47,6
IVC ₇	105-120	0,43	8,2	7,8	1,14	35,3	14,0	7,8	6,2	55,7	44,3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fiszewo											
mads brunatna - brown alluvial soil											
A	7-17	1,80	6,8	6,3	0,05	50,3	26,2	15,7	10,5	59,9	40,1
A/B _{br}	25-36	1,80	6,8	6,1	0	49,3	24,1	14,6	9,5	60,6	39,4
B _{br1}	37-42	1,62	6,5	5,8	0	54,8	28,0	15,3	12,7	54,6	45,4
B _{br2}	44-54	1,34	7,3	6,5	0,10	66,8	28,2	21,6	6,6	76,6	23,4
C ₁	54-64	1,10	7,3	6,5	0,13	45,2	30,8	22,8	8,0	74,0	26,0
IIC ₂	73-85	0,50	7,0	6,0	0	45,1	18,6	11,8	6,8	63,4	36,6
IIC ₃	85-95	0,62	7,3	6,2	0,10	47,6	19,3	12,0	7,3	62,2	37,8
IIC ₄	105-115	0,86	7,0	6,2	0,29	69,5	27,9	20,7	7,2	74,2	25,8
Stare Pole											
mads brunatna - brown alluvial soil											
A	6-16	1,19	7,8	7,0	0,21	63,5	29,1	15,2	13,9	52,2	47,8
A/B _{br}	26-33	1,62	7,7	6,9	0,46	64,9	26,2	15,4	10,8	58,8	41,2
B _{br}	36-43	1,20	7,3	6,7	0,12	69,7	27,5	13,2	14,3	48,0	52,0
C ₁	45-55	0,54	7,6	6,6	0,18	62,7	22,6	13,2	9,4	58,4	41,6
IIC ₂	65-75	0,46	7,8	6,9	0,25	59,5	18,9	11,1	7,8	58,7	41,3
IIC ₃	85-95	0,31	7,6	6,8	0,08	51,5	22,7	13,2	9,5	58,1	41,9
Patkovo											
gleba brunatna wiasciwa - typical brown soil											
A ₁	5-15	0,87	7,3	7,1	0	24,4	14,5	6,4	8,1	44,1	55,9
B _{br}	30-38	0,03	7,7	7,3	0,25	32,3	15,6	7,9	7,7	50,6	49,4
B _{br} /C	52-60	0	7,8	7,5	6,49	30,3	14,4	7,9	6,5	54,9	45,1
C	80-90	0	8,4	7,9	6,28	30,0	11,5	6,7	4,8	58,3	41,7

od. tabeli 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Grabów k/Puławy											
gleba płowa władciva - typical soil lessive											
Ap	5-10	0,57	6,7	6,6	0	12,3	8,2	4,1	4,1	50,0	50,0
E _{et}	35-45	0,11	6,6	5,8	0	10,6	10,2	4,8	5,4	47,0	53,0
B _t	50-60	0	6,8	5,4	0,05	21,5	13,7	10,3	3,4	75,2	24,8
C	80-90	0	6,7	5,5	0,08	48,5	12,6	8,4	4,2	66,7	33,3
C _{ca}	120-130	0	7,2	6,1	2,44	36,8	10,6	7,8	2,8	73,6	26,4
Tarkowo											
gleba płowa władciva - typical soil lessive											
Ap	0-22	0,65	6,4	5,7	0	12,0	9,4	4,2	5,2	44,7	55,3
E _{et}	22-29	0,11	6,6	5,6	0	9,8	4,3	3,0	1,3	69,8	30,2
E _{et} /B _t	29-38	0,02	6,7	5,8	0	29,2	15,9	11,4	4,5	71,7	28,3
B _t	49-58	0	6,3	5,2	0	44,3	18,8	13,7	5,1	72,9	27,1
C	80-90	0	6,4	5,7	2,63	45,0	13,6	10,3	3,3	75,7	24,3
Ślądkowidzowo n/Dunajew											
mada brunatna - brown alluvial soil											
Ap	0-20	1,16	7,8	7,2	0,61	58,1	26,2	13,4	12,8	51,1	48,9
A/B _{br}	20-40	1,16	7,9	7,2	0,34	58,2	25,6	14,4	11,2	56,2	43,8
B _{br}	45-65	0,71	8,2	7,3	3,69	57,2	23,2	14,2	9,0	61,2	38,8
C ₁	66-85	0,60	8,2	7,3	3,12	62,2	25,2	15,8	9,4	62,7	37,3
IIC ₂	85-100	0,48	8,0	7,4	3,04	56,6	22,0	12,5	9,5	56,8	43,2



Rys.2. Uziarnienie gleb aluwialnych przedstawione graficznie
Fig.2. Granulation of alluvial soils shown graphically

Wszystkie mady poddane analizie są utworami bezszkieletowymi, a we frakcji piasku dominuje piasek drobny (od 6 do 38 %), z nieznaczną zawartością piasku średniego (od 1 do 12 %); ziarna piasku grubego nie występują wcale lub w ilościach 1 - 2 %. Dotyczy to zarówno gleb położonych wzdłuż Wisły jak i mad żuławskich (tab. 3).

Wszystkie badane mady są silnie pylaste, a rozkład frakcji pyłu jest dość równomierny w profilach, z przewagą pyłu drobnego. W glebach z Grabowa frakcja pyłu dominuje (36 - 62 %) i mady te zaliczyć można do utworów pyłowych. W profilu Grabowo 2, na głębokości 75 - 90 cm, występuje warstwa piasku (75 % masy gleby), a zawartość frakcji pyłu maleje do 19 %. Mady z Łągnowa to również utwory pyłowe: zawartość frakcji pyłu waha się od 40 do 42 %. Pozostałe analizowane mady (Starogród 1, Starogród 2, Stare Pole i Fiszewo) to gleby pylaste. Wyniki te są zgodne z badaniami innych autorów [121, 166].

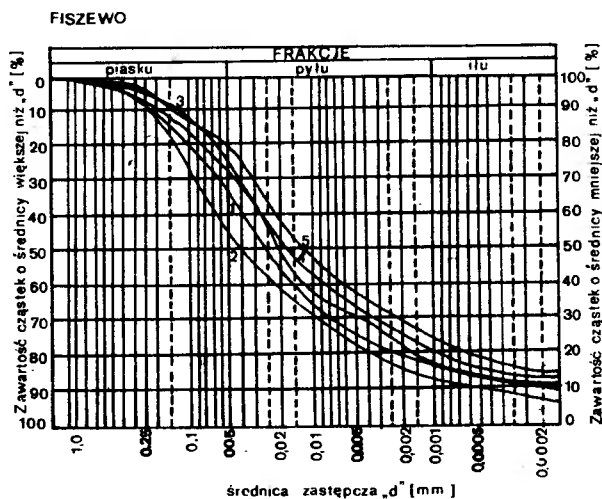
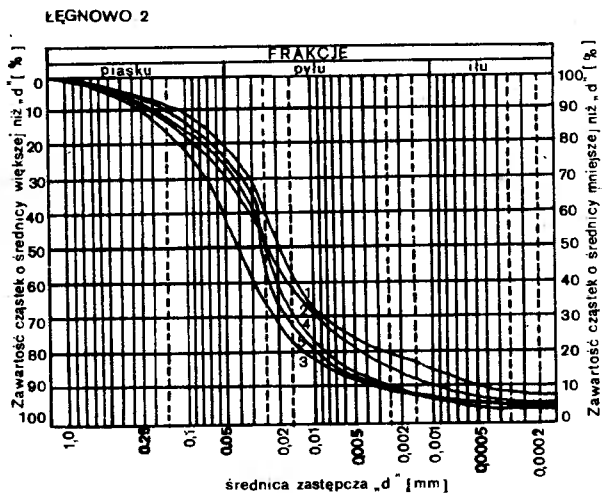
Frakcje glebowe o $\phi < 0,02$ mm stanowią od 18,4 do 53,9 %. Mady z Grabowa charakteryzują się niższą zawartością tych cząstek w porównaniu do pozostałych gleb.

Zawartość frakcji iłu jest dość równomierna w obrębie każdego profilu.

W punktach Starogród 1 i Starogród 2 zauważa się trójczłonowość uziarnienia: w warstwie wierzchniej do głębokości 45 - 60 cm zawartość cząs-

tek spławialnych waha się od 23 do 41 %, w warstwach średnio głębokich (60 - 120 cm) rośnie do 58 %, a poniżej 120 cm znacznie obniża się.

Biorąc pod uwagę położenie punktów badawczych wzdłuż koryta Wisły stwierdza się przewagę frakcji gruboziarnistych (piasku i pyłu) w punktach Grabowo 1 i Grabowo 2, znajdujących się po lewej stronie rzeki w porównaniu do gleb na prawym brzegu oraz mad żuławskich.



Rys.3. Krzywe uziarnienia mady z Łęgnowa 2: 1 - A_p; 2 - A; 3 - B_{br}; 4 - C₁; 5 - C₂ oraz Fiszewa: 1 - A; 2 - B_{br1}; 3 - B_{br2}; 4 - C₂; 5 - II C₃

Fig.3. Granulation curves of alluvial soils from Łęgnowo 2 and Fiszewo

Tabela 3

Table 3

Skład granulometryczny gleb aluwialnych
Granulometric composition of alluvial soils

Poziom (warstwa) Horizon (layer)	Zawartość % frakcji wg średnicy w mm Content of fraction - ϕ in mm							
	1 + + 0,5	0,5 + + 0,25	0,25 + + 0,1	0,1 + + 0,05	0,05 + + 0,02	0,02 + + 0,005	0,005 + + 0,002	< 0,002
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Łęgnowo 1								
A _P	1	3	15	12	30	13	10	16
A	0	1	19	10	34	15	7	14
C ₁	0	1	11	16	41	15	6	10
C ₂	0	1	9	11	37	16	10	16
C ₃	2	5	11	5	28	20	10	19
średnio mean	-	2,2	13	10,8	34,0	15,8	8,6	15
Łęgnowo 2								
A _P	1	1	8	10	30	21	10	19
A	2	2	6	10	33	22	10	15
B _{br}	2	8	13	17	35	12	5	8
C ₁	1	3	13	11	25	24	9	14
C ₂	2	4	10	7	42	20	3	12
średnio mean	1,8	3,8	10	11	33	19,8	7,4	13,6
Starogród 1								
A _P	1	2	18	18	20	22	4	15
A	0	3	17	15	30	14	6	15
C ₁	0	1	17	13	28	18	7	16
C ₂	0	2	11	5	30	23	11	18
C ₃	0	2	11	5	25	30	18	9
C ₄	0	5	17	14	12	20	11	21
C ₅	1	5	22	7	9	25	10	21
C ₆	1	5	30	11	12	10	11	20
IIC ₇	1	6	35	17	15	7	6	13
IIC ₈	2	11	33	12	15	7	3	17
średnio mean	-	4,2	21,1	11,7	19,6	17,6	8,7	16,5

od. tabeli 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Starogród 2								
A _p	1	6	24	9	24	12	8	16
A	0	5	28	11	24	10	7	15
B _{br1}	0	3	31	12	20	12	7	15
B _{br2}	0	1	28	16	21	13	6	15
C ₁	0	2	17	8	26	17	10	20
C ₂	0	3	9	8	28	23	9	20
C ₃	0	3	9	6	24	23	11	24
C ₄	1	4	21	4	15	18	11	26
IIC ₅	1	3	26	12	24	13	6	15
IIC ₆	1	3	28	12	25	9	4	18
średnio mean	0,5	3,3	22,1	10,2	23,1	15,0	8,0	18,4
Grabowo 1								
A _p	0	6	26	17	30	11	5	5
A	0	7	21	35	11	12	5	9
C ₁	0	7	20	32	25	6	2	8
C ₂	0	4	17	18	44	2	0	15
C ₃	0	6	16	33	29	6	2	8
C ₄	0	6	25	27	27	5	3	7
C ₅	3	12	30	26	21	3	0	5
C ₆	0	5	29	18	28	9	3	8
IIC ₇	0	2	7	18	42	15	6	10
IIC ₈	0	10	36	28	17	4	4	1
średnio mean	0	3,5	22,7	25,2	27,4	7,3	3,0	7,6
Grabowo 2								
A _p	0	8	37	21	15	5	5	9
C ₁	0	11	37	20	18	5	1	8
C ₂	0	9	38	22	16	7	1	7
IIC ₃	0	3	29	28	20	10	1	9
IIC ₄	0	5	16	17	37	12	2	11
IIC ₅	0	20	55	15	4	3	0	3
IVC ₆	0	4	15	25	33	10	0	13
IVC ₇	0	3	10	17	40	15	2	13
średnio mean	0	7,9	29,6	20,6	22,9	8,4	1,5	9,1

od. tabeli 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Stare Pole								
A	2	4	12	7	19	18	11	27
A/B _{br}	2	5	14	6	20	16	8	33
B _{br}	1	3	10	5	20	20	8	33
C ₁	1	3	12	5	22	20	7	30
IIC ₂	0	0	20	18	26	10	6	20
IIIC ₃	0	2	6	7	26	26	10	23
średnio mean	1	2,8	12,3	8	22,2	18,3	8,3	27,3
Fiszewo								
A	1	4	20	10	24	15	8	18
A/B _{br}	1	4	21	10	24	13	8	19
B _{br1}	1	4	23	7	23	14	7	21
B _{br2}	0	4	15	8	23	16	9	25
C ₁	0	2	11	6	25	19	8	29
IIC ₂	0	1	17	16	31	13	5	17
IIC ₃	0	1	13	14	33	16	6	17
IIC ₄	0	1	9	13	33	14	6	24
średnio mean	0	2,6	16,1	10,5	27,0	15,0	7,1	21,4

4.3. Uziarnienie frakcji iłu koloidalnego

W składzie iłu koloidalnego badanych mąd (tab. 4) dominuje podfrakcja gruba, której zawartość (obliczona w stosunku do frakcji iłu koloidalnego przyjętej jako 100 %) waha się w granicach 39,5-63,5 % oraz podfrakcja drobna, występująca w nieco mniejszej ilości (29,5-48,8 %). Podfrakcji średniej jest zdecydowanie mniej (od 6,7 do 18,2 %). Tendencja ta jest typowa zarówno dla punktów badawczych wyznaczonych wzdłuż koryta rzeki (profile z Łęgnowa i Grabowa), jak również na obszarze Żuław (profile ze Starego Pola i Fiszewa). Porównując bezwzględne ilości poszczególnych podfrakcji stwierdzić można, że największe ilości ziaren najdrobniejszych ($d < 0,2 \mu\text{m}$) występują w glebie ze Starego Pola (7,3-14,1 % masy gleby) oraz Fiszewa (5,9-12,7 % masy gleby). Najbardziej ubogie we frakcje najdrobniejsze są mady z Grabowa (1,0-6,2 % masy gleby). Największe wahania zawartości poszczególnych podfrakcji w obrębie profilu stwierdzono w punkcie Starogród 1. Jest to w zgodzie ze zmniejszającą się zawartością frakcji iłu i trójdziałnością tego profilu. Podobnie dość duże wahania zawartości podfrakcji obserwuje się w obrębie profilu Starogród 2, przy czym udział procentowy podfrakcji drobnej jest wyższy niż w punkcie Starogród 1.

Tabela 4
Table 4

Uziarnienie iłu koloidalnego gleb aluwialnych
Granulation of clay fraction of alluvial soils

Poziom (warstwa) Horizon (layer)	Zawartość % frakcji iłu w stosunku do masy gleby Contents of clay in relation to weight of soil					Zawartość % podfrakcji iłu w stosunku do frakcji iłu koloidalnego Contents of clay subfraction in relation to colloidal clay fraction								
	φ < 2 μm		φ 2 - 0,5 μm		φ 0,5 - 0,2 μm		φ < 0,2 μm		φ 2 - 0,5 μm		φ 0,5 - 0,2 μm		φ < 0,2 μm	
	2	3	4	5	6	7	8							
Łęgnowo 1														
Ap	13,58	6,63	1,67	5,29	48,8	12,3	38,9							
A	12,99	6,34	1,67	4,98	48,8	12,8	38,3							
C ₁	8,21	4,18	0,77	3,26	50,9	9,4	39,7							
C ₂	12,87	6,43	1,82	4,61	50,0	14,1	35,9							
C ₃	17,12	6,76	2,19	8,17	39,5	12,8	47,7							
Łęgnowo 2														
Ap	16,5	6,8	2,6	7,1	41,2	16,4	43,0							
A	12,6	5,7	1,9	5,0	45,2	15,1	39,7							
B _{br}	8,4	3,7	1,2	3,5	44,0	14,3	41,7							
C ₁	11,6	4,8	1,8	5,0	41,4	15,5	43,7							
C ₂	9,8	4,3	0,9	4,6	43,8	9,2	46,9							

1	2	3	4	5	6	7	8
Starogröd 1							
Ap	14,6	8,3	1,8	4,5	56,8	12,3	30,8
A	15,5	9,0	1,7	4,8	58,0	11,0	31,0
C ₁	15,0	9,0	1,4	4,6	60,0	9,3	30,7
C ₂	17,0	10,8	1,2	5,0	63,5	7,0	29,5
C ₃	8,8	4,8	0,6	3,4	54,5	6,8	38,9
C ₄	20,4	11,1	2,0	7,3	54,4	9,8	35,8
C ₅	21,3	12,0	1,7	7,6	56,3	8,0	35,7
C ₆	18,7	11,1	1,4	6,2	59,3	7,5	33,1
IIC ₇	12,0	7,2	0,8	4,0	60,0	6,7	33,3
IIC ₈	16,8	6,9	2,9	7,0	41,1	17,3	41,7
Starogröd 2							
Ap	16,0	7,8	1,5	6,7	48,7	9,4	41,9
A	15,3	6,5	2,1	6,7	42,5	13,7	43,8
B _{br1}	15,3	7,7	1,8	5,7	50,3	11,8	37,2
B _{br2}	15,6	8,5	1,6	5,5	54,5	10,2	35,3
C ₁	21,0	9,5	2,3	9,2	45,2	11,0	43,8
C ₂	20,4	9,4	2,4	8,6	46,1	11,8	42,1
C ₃	24,1	9,2	2,3	12,0	40,7	9,5	49,8
C ₄	25,6	10,6	2,5	12,5	41,4	9,8	48,8
IIC ₅	16,1	7,1	1,3	7,7	44,1	8,1	47,8
IIC ₆	18,3	9,3	1,4	7,6	50,3	7,6	41,5

od. tabeli 4

1	2	3	4	5	6	7	8
Grabowo 1							
Ap	5,2	2,6	0,9	1,7	50,0	17,3	32,7
A	8,8	4,1	1,6	3,1	46,6	18,2	35,2
C ₁	7,9	3,6	1,3	3,0	45,6	16,4	38,0
C ₂	15,0	6,3	2,5	6,2	42,0	16,7	41,3
C ₃	8,8	3,8	1,7	3,3	43,2	19,3	37,5
C ₄	7,0	3,2	1,1	2,7	45,7	15,7	38,6
C ₅	4,5	2,3	0,6	1,6	51,1	13,3	35,6
C ₆	8,0	3,8	1,2	3,0	47,5	15,0	37,5
IIC ₇	8,2	4,0	1,3	2,9	48,8	15,8	35,4
IIIC ₈	1,0	n.o.*	n.o.*	n.o.*	-	-	-
Grabowo 2							
Ap	8,6	4,2	1,4	3,0	48,8	16,3	34,9
C ₁	8,0	3,7	1,2	3,1	46,2	15,0	38,8
C ₂	6,8	3,0	0,9	2,9	44,1	13,2	42,6
IIC ₃	8,8	4,1	1,4	3,3	46,6	15,9	37,5
IIC ₄	11,0	4,6	1,8	4,6	41,8	16,4	41,8
IIIC ₅	2,6	1,2	0,4	1,0	46,1	15,4	38,5
IVC ₆	13,0	6,2	2,3	4,5	47,7	17,7	34,6
IVC ₇	12,7	6,0	2,1	4,6	47,2	16,5	36,3

* n.o. - nie oznaczono
not determined

cd. tabeli 4

1	2	3	4	5	6	7	8
Stare Pole							
A	28,2	14,1	2,8	11,3	50,0	9,9	40,1
A/B _{br}	29,8	14,6	3,4	11,8	49,0	11,4	39,6
B _{br}	33,6	15,4	4,1	14,1	45,8	12,2	42,0
C ₁	30,2	14,3	3,8	12,1	47,3	12,6	40,1
IIC ₂	19,6	10,4	1,9	7,3	53,1	9,7	37,2
IIC ₃	23,1	12,7	2,7	7,7	55,0	11,7	33,3
Fiszewo							
A	18,7	8,1	2,3	8,3	43,3	12,3	44,4
A/B _{br}	20,3	8,9	2,3	9,1	43,8	11,3	44,8
B _{br1}	21,2	8,8	2,7	9,7	41,5	12,7	45,8
B _{br2}	26,7	11,0	4,4	11,3	42,2	16,5	42,3
C ₁	29,0	12,0	4,3	12,7	41,4	15,7	43,8
IIC ₂	16,9	7,8	1,8	7,3	46,1	10,7	43,2
IIC ₃	16,6	8,1	2,6	5,9	48,8	15,7	35,5
IIC ₄	24,7	10,6	3,6	10,5	42,9	14,6	42,5

Zwraca uwagę dość jednolite rozmieszczenie podfrakcji drobnej w obrębie profilów: Stare Pole i Łęgnowo. Nie stwierdza się nagromadzenia tej podfrakcji w morfologicznie wyodrębnionych poziomach B_{br} analizowanych mad.

5. SKŁAD CHEMICZNY GLEB

Rozpatrując skład chemiczny masy glebowej (tab. 5-12) należy mieć na uwadze odrębność uziarnienia niektórych profilów (Grabowo 1, Grabowo 2) oraz występowanie spiaszczonych przewarstwień (profile ze Starogrodu). Uwzględniając ten fakt wyróżnić można mady, w których zawartości składników są mało zróżnicowane (profile z Łęgnowa, Fiszewa, Starego Pola), jak również takie, które zawierają stosunkowo duże ilości SiO_2 i relatywnie mniejszą ilość pozostałych składników (mady z Grabowa). Jednocześnie stwierdza się pewną zbieżność między morfologią profilu a składem chemicznym wyodrębnionych poziomów i warstw. Wyrazem tego jest stosunkowo mało zróżnicowany skład chemiczny mad z Łęgnowa, czemu odpowiada jednorodność uziarnienia. Od głębokości 50-55 cm zaznaczają się w nich pewne zmiany, wyrażające się również wzrostem zawartości Al_2O_3 i Fe_2O_3 (a w konsekwencji obniżeniem stosunków molarnych SiO_2/Al_2O_3 i SiO_2/Fe_2O_3) (tab. 5 i 6). Podobnie mady z obszaru Żuław (Fiszewo, Stare Pole) mają dość wyrównany skład masy glebowej, czego obrazem jest zbliżona zawartość najbardziej odpornych na wietrzenie składników TiO_2 oraz SiO_2 (tab. 11 i 12).

Natomiast skład chemiczny gleb ze Starogrodu wykazuje trójczłonowość w profilu. Wzrostowi zawartości frakcji iłu koloidalnego w warstwie C, w stosunku do zalegającej powyżej, odpowiada obniżenie ilości SiO_2 , przy jednoczesnym wzroście zawartości Al_2O_3 i Fe_2O_3 . W warstwie IIC obserwuje się natomiast nagromadzenie SiO_2 , czemu towarzyszy obniżenie ilości Fe_2O_3 . Zwraca uwagę malejąca zawartość TiO_2 wraz ze wzrostem głębokości w tych glebach.

Zdecydowanie inny skład chemiczny wykazują gleby z Grabowa (tab. 9 i 10). W madach tych jest niższa zawartość Fe_2O_3 oraz Al_2O_3 , jak również wyższe ilości SiO_2 , szczególnie w glebie Grabowo 2, w której występuje wkładka materiału piaszczystego. W efekcie daje to szeroki stosunek SiO_2/Fe_2O_3 i SiO_2/Al_2O_3 .

Zawartości MgO i CaO wahają się od 0,38 do 1,24 % (MgO) oraz od 0,07 do 1,32 % (CaO), przy czym mniejsze ilości tych składników występują w silnie spiaszczonych madach z Grabowa oraz piaszczystych wkładkach profili ze Starogrodu.

Zwraca uwagę niska zawartość P_2O_5 w badanych glebach, za wyjątkiem zasobnych w ten składnik próbek z Fiszewa i Starego Pola, co może być wynikiem procesów sedymentacyjnych.

Tabela 5
Table 5

Skład chemiczny masy glebowej oraz frakcji ilastej mady właściwej Łęgowo 1
Chemical composition of soil and clay fraction from typical alluvial soil Łęgowo 1

Składnik Component (%)	Gleba - Soil						Frakcja ilasta - Clay fraction					
	Poziom (warstwa) - Horizon (layer)						Poziom (warstwa) - Horizon (layer)					
	Ap	A	C ₁	C ₂	C ₃		Ap	A	C ₁	C ₂	C ₃	
SiO ₂	76,79	77,52	78,07	76,32	77,90		51,46	56,46	58,64	55,58	57,62	
Al ₂ O ₃	8,94	8,77	8,22	8,72	9,60		23,10	20,94	15,62	18,84	19,40	
Fe ₂ O ₃	3,89	3,77	3,92	4,36	4,29		8,04	6,64	8,30	8,62	8,31	
CaO	1,01	1,24	1,28	1,23	1,32		0,11	0,12	0,10	0,12	0,30	
MgO	0,87	0,90	0,96	0,94	0,84		2,76	2,46	2,46	2,25	2,19	
Na ₂ O	1,10	1,00	1,12	1,19	1,19		2,41	1,97	2,11	2,18	1,80	
K ₂ O	1,67	1,60	1,52	1,54	1,60		3,11	3,03	3,10	3,26	3,04	
TiO ₂	0,55	0,42	0,52	0,59	0,54		0,76	0,85	0,80	0,68	0,90	
P ₂ O ₅	0,20	0,19	0,12	0,16	0,14		0,11	0,21	0,11	0,19	0,18	
MnO	0,11	0,10	0,10	0,10	0,09		0,14	0,10	0,10	0,08	0,10	
straty prażenia loss on ignition	5,46	5,01	3,98	4,57	3,02		8,06	7,34	7,82	7,48	6,90	
Σ	100,59	100,52	99,81	99,62	100,53		100,06	100,12	99,16	99,29	100,74	
$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	15,5	15,0	16,0	14,9	13,8		3,8	4,6	6,4	5,0	5,0	
$\frac{SiO_2}{Fe_2O_3}$	53,2	56,1	52,8	46,5	48,0		17,0	22,6	18,8	17,2	18,5	

Tabela 6
Table 6

Skład chemiczny masy glebowej oraz frakcji ilastej mady brunatnej Łęgnowo 2
Chemical composition of soil and clay fraction from brown alluvial soil Łęgnowo 2

Składnik Component (%)	Gleba - Soil						Frakcja ilasta - Clay fraction								
	Poziom (warstwa) - Horizon (layer)														
	A _p	A	B _{br}	C ₁	C ₂	A _p	A	B _{br}	C ₁	C ₂	A _p	A	B _{br}	C ₁	C ₂
SiO ₂	76,08	78,12	79,28	77,76	76,62	52,06	55,20	59,30	58,70	57,04	52,06	55,20	59,30	58,70	57,04
Al ₂ O ₃	8,58	8,77	8,96	8,80	9,86	22,05	22,18	14,70	17,30	20,60	22,05	22,18	14,70	17,30	20,60
Fe ₂ O ₃	3,38	3,29	2,96	3,63	3,75	7,74	6,80	8,50	8,09	7,02	7,74	6,80	8,50	8,09	7,02
CaO	1,19	1,31	1,32	1,23	1,01	0,10	0,07	0,06	0,07	0,29	0,10	0,07	0,06	0,07	0,29
MgO	0,89	0,86	0,96	0,98	0,88	2,45	2,40	2,41	2,26	1,82	2,45	2,40	2,41	2,26	1,82
Na ₂ O	1,15	1,17	1,29	1,29	1,17	2,61	2,32	2,20	2,30	2,61	2,61	2,32	2,20	2,30	2,61
K ₂ O	1,68	1,65	1,68	1,63	1,64	3,05	3,02	3,00	2,90	2,86	3,05	3,02	3,00	2,90	2,86
TiO ₂	0,57	0,57	0,60	0,63	0,63	0,78	0,95	0,98	0,98	1,06	0,78	0,95	0,98	0,98	1,06
P ₂ O ₅	0,21	0,18	0,16	0,14	0,14	0,11	0,08	0,11	0,12	0,10	0,11	0,08	0,11	0,12	0,10
MnO	0,10	0,11	0,08	0,10	0,08	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03
straty prażenia loss on ignition	5,89	4,51	2,06	3,33	3,88	9,37	7,54	7,60	6,88	7,40	9,37	7,54	7,60	6,88	7,40
Σ	99,72	100,54	99,35	99,52	99,65	100,38	100,59	98,90	99,64	100,84	100,38	100,59	98,90	99,64	100,84
SiO ₂ Al ₂ O ₃	15,1	15,1	15,0	15,0	13,1	4,0	4,2	6,8	5,8	4,7	4,0	4,2	6,8	5,8	4,7
SiO ₂ Fe ₂ O ₃	60,3	61,9	71,4	57,0	55,43	17,9	21,6	18,6	19,5	21,6	17,9	21,6	18,6	19,5	21,6

Skład chemiczny masy glebowej oraz frakcji ilastej mady wiaściwej Starogród 1
Chemical composition of soil and clay fraction from typical alluvial soil Starogród 1

Składnik Component	Gleba - Soil											Frakcja ilasta - Clay fraction				
	Poziom (warstwa) - Horizon (layer)															
	Ap	A	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	IIC ₇	IIC _B	Ap	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	IIC ₇
SiO ₂	87,75	81,16	80,82	76,70	72,12	75,30	75,94	81,18	85,20	85,30	58,10	57,40	58,93	60,53	63,92	58,60
Al ₂ O ₃	7,02	7,45	7,74	8,84	9,95	8,46	8,08	7,36	6,21	6,55	18,83	19,16	17,76	19,24	15,88	16,32
Fe ₂ O ₃	3,18	3,57	3,36	4,11	5,46	4,97	5,05	3,18	2,94	3,04	7,92	6,84	7,41	7,30	7,82	10,56
CaO	0,12	0,13	0,15	0,17	0,19	0,19	0,29	0,25	0,25	0,19	0,11	0,35	0,11	0,30	0,12	0,26
MgO	0,69	0,68	0,74	0,86	1,10	0,95	0,94	0,64	0,53	0,54	2,17	2,32	4,16	3,05	2,41	3,35
Na ₂ O	1,02	1,08	1,16	1,15	1,02	0,95	0,86	0,86	0,88	0,90	0,73	0,57	0,71	0,26	0,56	0,45
K ₂ O	1,80	1,80	1,81	2,11	2,19	1,82	1,77	1,55	1,27	1,26	3,35	3,15	3,87	2,49	3,19	2,64
TiO ₂	0,49	0,50	0,60	0,62	0,45	0,55	0,32	0,32	0,32	0,32	0,82	0,89	0,93	0,64	0,95	0,69
P ₂ O ₅	0,32	0,33	0,18	0,36	0,48	0,40	0,28	0,28	0,19	0,17	0,46	0,29	0,40	0,34	0,40	0,34
MnO	0,06	0,07	0,08	0,12	0,19	0,22	0,22	0,21	0,14	0,08	0,13	0,07	0,09	0,13	0,09	0,10
straty prażenia loss on ignition	3,37	3,61	3,51	5,41	6,55	6,59	5,92	3,76	2,60	1,58	7,64	8,23	6,42	6,54	4,97	5,87
Σ	100,82	100,39	100,05	100,45	99,92	100,30	100,26	99,63	100,34	99,93	100,26	99,27	100,79	100,32	100,31	99,18
$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	20,0	19,3	17,7	15,4	12,2	15,6	15,7	18,7	23,3	22,2	5,2	6,0	5,6	5,3	6,8	6,1
$\frac{SiO_2}{Fe_2O_3}$	69,2	61,4	64,0	49,6	35,1	40,0	40,7	67,9	77,1	74,7	19,5	22,4	21,2	22,1	21,7	14,7

Tabela 8
Table 8Skład chemiczny masy glebowej oraz frakcji ilastej mady brunatnej Starogród 2
Chemical composition of soil and clay fraction from brown alluvial soil Starogród 2

Składnik Component (%)	Gleba - Soil										Frakcja ilasta - Clay fraction				
	Poziom (warstwa) - Horizon (layer)														
	Ap	B _{br1}	B _{br2}	C ₂	C ₄	IIC ₅	Ap	B _{br1}	C ₂	C ₄	IIC ₅				
SiO ₂	82,30	83,30	83,98	76,80	74,30	83,14	57,14	57,46	57,47	60,62	59,86				
Al ₂ O ₃	7,02	7,04	7,14	10,13	10,08	7,24	18,83	19,26	20,43	16,37	16,59				
Fe ₂ O ₃	2,86	2,83	2,66	4,31	4,58	3,10	7,68	7,92	7,84	8,94	9,83				
CaO	0,10	0,10	0,11	0,09	0,11	0,10	0,10	0,21	0,34	0,28	0,23				
MgO	0,65	0,63	0,62	0,92	0,91	0,64	2,11	2,10	3,63	2,84	3,14				
Na ₂ O	0,55	0,90	0,82	1,05	1,10	1,10	0,68	0,54	0,30	0,52	0,43				
K ₂ O	1,80	1,82	1,75	1,80	1,87	1,67	3,25	3,04	3,02	3,16	2,94				
TiO ₂	0,50	0,50	0,30	0,31	0,31	0,27	0,80	0,87	0,92	0,94	0,72				
P ₂ O ₅	0,32	0,30	0,24	0,34	0,36	0,21	0,43	0,32	0,23	0,34	0,30				
MnO	0,08	0,08	0,07	0,12	0,13	0,08	0,16	0,08	0,09	0,12	0,11				
straty prażenia loss on ignition	4,04	3,59	3,10	4,31	5,81	2,26	8,80	8,45	6,12	6,41	5,43				
Σ	101,22	100,73	100,56	100,18	99,56	99,82	99,98	100,15	100,40	100,54	99,58				
SiO ₂ Al ₂ O ₃	19,8	20,1	20,0	12,8	12,5	19,5	5,1	5,1	4,8	6,2	6,1				
SiO ₂ Fe ₂ O ₃	76,5	78,3	84,2	47,3	43,1	72,8	20,8	21,8	19,5	18,1	16,2				

Skład chemiczny masy glebowej oraz frakcji ilastej mady właściwej Grabowo 1
Chemical composition of soil and clay fraction from typical alluvial soil Grabowo 1

Składnik Component (%)	Gleba - Soil											Frakcja ilasta - Clay fraction				
	Poziom (warstwa) - Horizon (layer)															
	Ap	A	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	IIC7	IIIC8	Ap	C ₁	C ₃	C ₅	IIC7	
SiO ₂	82,86	84,60	83,35	82,39	83,82	84,46	88,30	85,60	79,98	85,46	56,20	55,60	55,72	56,84	57,70	
Al ₂ O ₃	6,20	5,62	6,93	6,90	6,41	6,14	5,30	5,48	7,83	6,02	20,60	23,80	20,24	19,92	20,12	
Fe ₂ O ₃	2,80	2,17	2,71	2,69	2,49	2,83	2,00	2,70	2,32	2,29	7,26	7,81	8,37	8,23	7,85	
CaO	0,12	0,13	0,15	0,14	0,22	0,24	0,04	0,10	0,16	0,20	0,20	0,23	0,24	0,22	0,25	
MgO	0,68	0,68	0,67	0,88	0,68	0,60	0,50	0,68	0,84	0,50	2,13	2,50	3,10	3,95	3,05	
Na ₂ O	0,90	0,60	1,28	1,30	1,25	1,02	0,90	1,25	1,38	1,17	0,30	0,34	0,49	0,65	0,44	
K ₂ O	1,64	1,82	1,67	1,89	1,75	1,78	1,42	1,75	1,91	1,54	3,42	3,45	3,46	3,40	3,03	
TiO ₂	0,38	0,40	0,43	0,40	0,49	0,31	0,19	0,39	0,50	0,41	0,64	0,68	0,76	0,77	0,92	
P ₂ O ₅	0,22	0,20	0,20	0,22	0,22	0,20	0,18	0,22	0,20	0,21	0,32	0,30	0,28	0,35	0,30	
MnO	0,06	0,06	0,07	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,08	0,06	0,12	0,12	0,17	0,14	0,06	
straty prażenia loss on ignition	4,64	3,99	2,59	3,38	2,59	2,90	1,49	2,43	3,30	1,91	8,15	5,64	5,98	5,74	5,42	
Σ	100,30	100,83	100,05	100,18	99,97	100,54	100,57	100,86	99,50	99,77	99,34	100,47	98,80	100,21	99,14	
SiO ₂ Al ₂ O ₃	22,5	22,6	20,4	20,2	22,1	23,4	28,2	26,5	17,3	24,1	4,6	4,0	4,6	4,7	5,8	
SiO ₂ Fe ₂ O ₃	78,6	103,7	82,0	81,6	90,0	79,4	47,5	84,3	84,0	100,1	20,7	18,8	17,7	18,4	19,6	

Tabela 10
Table 10Skład chemiczny mady właściwej Grabowo 2
Chemical composition of alluvial soil Grabowo 2

Składnik Component (%)	Poziom (warstwa) - Horizon (layer)							
	A _p	C ₁	C ₂	IIC ₃	IIC ₄	IIIC ₅	IVC ₆	IVC ₇
SiO ₂	86,46	88,16	87,47	85,10	82,63	92,56	83,25	81,84
Al ₂ O ₃	5,25	5,0	5,36	6,20	7,27	3,38	6,56	7,80
Fe ₂ O ₃	1,90	1,93	1,96	2,18	2,60	1,28	2,55	2,93
CaO	0,08	0,08	0,07	0,10	0,13	0,08	0,16	0,18
MgO	0,40	0,38	0,39	0,60	0,74	0,39	0,94	0,94
Na ₂ O	0,46	0,47	0,50	1,10	0,66	0,37	0,68	0,70
K ₂ O	1,42	1,40	1,41	1,81	1,76	1,13	1,81	2,82
TiO ₂	0,28	0,30	0,21	0,43	0,48	0,05	0,43	0,43
P ₂ O ₅	0,25	0,25	0,23	0,27	0,28	0,21	0,34	0,27
MnO	0,05	0,06	0,04	0,05	0,07	0,03	0,07	0,09
straty prażenia loss on ignition	3,65	2,72	1,80	1,98	3,00	0,90	2,90	3,25
Σ	100,20	100,75	99,71	99,77	99,62	99,38	99,71	100,25
$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	28,2	29,9	27,8	23,3	29,4	46,1	21,6	17,8
$\frac{SiO_2}{Fe_2O_3}$	120,9	121,2	118,7	104,1	84,4	190,4	87,1	74,4

Skład chemiczny masy glebowej oraz frakcji ilastej mady brunatnej z Fiszewa
Chemical composition of soil and clay fraction from brown alluvial soil Fiszewo

Składnik Component (%)	Gleba - Soil							Frakcja ilasta - Clay fraction						
	Poziom (warstwa) - Horizon (layer)													
	A	B _{br1}	B _{br2}	C ₁	IIC ₂	IIC ₃	IIC ₄	A	B _{br2}	C ₁	IIC ₂	IIC ₄		
SiO ₂	79,96	79,83	77,25	76,94	81,73	81,63	75,45	52,78	53,64	58,90	57,26	55,22		
Al ₂ O ₃	7,60	7,50	8,80	9,14	7,88	7,86	9,92	20,82	19,43	20,26	19,07	20,47		
Fe ₂ O ₃	3,61	3,81	3,84	3,51	2,97	3,05	4,21	10,08	10,35	8,83	8,96	9,23		
CaO	0,12	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,13	0,15	0,32	0,20	0,36	0,18		
MgO	0,66	0,71	0,86	0,89	0,61	0,61	0,93	3,42	3,17	3,04	2,65	3,63		
Na ₂ O	1,17	1,22	1,21	1,19	1,35	1,24	1,26	0,38	0,54	0,87	0,63	0,49		
K ₂ O	1,90	1,90	2,00	2,05	1,71	1,70	2,15	3,76	2,62	2,18	3,50	3,43		
TiO ₂	0,42	0,42	0,43	0,44	0,42	0,40	0,65	0,83	0,91	0,96	0,84	1,06		
P ₂ O ₅	0,52	0,51	0,53	0,35	0,28	0,29	0,32	0,43	0,32	0,28	0,42	0,27		
MnO	0,09	0,07	0,11	0,06	0,05	0,05	0,10	0,14	0,10	0,08	0,11	0,10		
straty prażenia loss on ignition	4,70	4,45	4,87	4,78	2,70	2,83	4,24	6,42	6,94	5,24	6,41	5,34		
Σ	100,75	100,55	100,03	99,48	99,82	99,78	99,36	99,21	99,34	100,84	100,21	99,42		
$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	18,0	18,2	14,9	14,3	17,7	17,6	12,9	4,3	4,7	4,9	5,1	4,6		
$\frac{SiO_2}{Fe_2O_3}$	58,8	55,8	53,5	64,6	73,1	71,5	47,5	13,9	13,8	17,7	17,0	15,9		

Tabela 12
Table 12

Skład chemiczny masy glebowej oraz frakcji ilastej mady brunatnej ze Starego Pola
Chemical composition of soil and clay fraction from brown alluvial soil Stare Pole

Składnik Component (%)	Gleba - Soil						Frakcja ilasta - Clay fraction					
	Poziom (warstwa) - Horizon (layer)											
	A	A/B _{br}	B _{br}	C ₁	IIC ₂	IIIC ₃	A	A/B _{br}	B _{br}	C ₁	IIC ₂	IIC ₃
SiO ₂	76,14	76,19	75,46	75,85	80,81	77,55	55,70	55,30	55,30	56,75	55,20	56,70
Al ₂ O ₃	7,94	8,12	9,55	8,97	7,62	8,60	22,46	23,18	21,83	19,76	20,83	21,47
Fe ₂ O ₃	4,43	4,24	4,06	3,46	3,42	3,87	5,45	6,48	7,36	8,04	8,74	8,16
CaO	0,10	0,13	0,14	0,12	0,10	0,11	0,29	0,34	1,10	0,89	0,62	0,35
MgO	1,22	1,02	1,24	1,18	1,05	0,96	2,20	1,87	2,29	2,46	2,65	2,12
Na ₂ O	1,14	1,07	1,10	1,11	1,16	1,05	0,84	1,23	0,89	0,74	0,63	0,58
K ₂ O	1,92	1,81	1,95	2,04	1,95	2,06	3,40	3,02	3,40	3,76	2,49	2,54
TiO ₂	0,53	0,50	0,48	0,46	0,40	0,42	0,90	0,95	0,86	0,91	0,82	0,78
P ₂ O ₅	0,50	0,53	0,54	0,52	0,36	0,40	0,34	0,30	0,43	0,28	0,27	0,30
MnO	0,13	0,11	0,11	0,11	0,08	0,10	0,13	0,14	0,12	0,12	0,13	0,13
straty prażenia loss on ignition	6,40	6,08	4,90	4,48	3,51	4,04	8,94	7,46	6,29	5,43	6,42	5,92
Σ	100,45	99,80	99,53	99,30	100,47	99,16	100,65	100,27	99,87	99,14	98,79	99,05
$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	16,3	16,9	13,4	14,4	17,6	15,3	4,2	4,0	4,4	4,9	4,6	4,5
$\frac{SiO_2}{Fe_2O_3}$	45,7	45,9	49,4	45,2	47,8	53,4	31,0	23,0	20,0	18,8	18,4	18,5

Skład chemiczny gleb wytworzonych z innych podłoży
Chemical composition of soil developed from other parent rocks

Składnik Component (%)	Batkowo - gleba brunatna właściwa - typical brown soil		Grabów - gleba płowa właściwa - typical soil lessive		Poziom (warstwa) - Horizon (layer)							Ślądkowicovo - mada brunatna - brown alluvial soil		
	A	B _{br}	B _{br} /C	C	A _p	A	E _{et}	B _t	C	A _p	A/B _{br}	B _{br}	C ₁	IIC ₂
SiO ₂	79,81	79,02	76,95	76,80	89,12	83,34	78,16	80,52	82,48	75,05	73,84	77,60	74,81	75,24
Al ₂ O ₃	5,96	8,40	6,93	7,53	4,53	8,54	9,86	8,54	8,43	7,64	8,06	6,78	7,94	7,03
Fe ₂ O ₃	1,96	3,57	2,66	2,68	1,10	1,26	2,29	3,35	3,03	5,02	5,28	4,29	5,46	4,43
CaO	0,58	1,10	7,02	6,44	0,01	0,01	0,01	0,01	0,20	0,29	0,33	1,10	0,76	0,82
MgO	0,49	0,84	1,49	1,42	0,40	0,52	0,62	0,83	0,82	1,32	1,65	1,85	1,96	6,63
Na ₂ O	0,68	0,66	0,63	0,61	0,60	0,78	0,86	0,88	0,86	1,34	1,47	1,35	1,34	1,37
K ₂ O	1,96	2,43	2,24	1,87	1,81	1,94	2,59	2,85	2,59	2,37	2,42	2,22	2,45	2,25
TiO ₂	0,37	0,43	0,40	0,37	0,32	0,35	0,29	0,36	0,37	0,63	0,60	0,57	0,60	0,74
P ₂ O ₅	0,10	0,17	0,17	0,12	0,07	0,06	0,07	0,08	0,08	0,34	0,48	0,51	0,54	0,68
MnO	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,12	0,10	0,10	0,03	0,07
straty prażenia loss on ignition	6,88	2,21	0,51	1,72	2,52	2,63	4,42	3,40	2,41	7,03	6,74	4,46	3,80	4,88
Σ	98,83	98,87	99,44	99,62	100,51	99,46	99,20	100,86	100,31	101,15	100,97	100,83	99,75	101,14
$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	22,7	15,9	18,8	17,3	33,4	16,6	13,5	16,0	16,4	16,7	15,6	19,5	15,9	18,1
$\frac{SiO_2}{Fe_2O_3}$	110,0	59,5	77,1	76,2	215,9	176,2	90,8	64,0	71,6	40,3	37,3	47,9	36,5	44,5

Zawartości K_2O są nieznacznie zróżnicowane (poza silnie spiaszczonym i ubogim w potas profilem Grabowo 2) i mieszczą się w zakresie 1,26 - 2,79%.

Zestawienie składu chemicznego mady Doliny Dolnej Wisły oraz gleb porównawczych (tab. 13) wykazuje, że mady zawierają w swoim składzie stosunkowo mniej potasu ogólnego aniżeli gleby wytworzone z glin zwałowych oraz mada z nad Dunaju. Wynikać to może między innymi z mniejszej zawartości frakcji grubszej, piaszczystej, w której obecne są minerały pierwotne, zawierające potas. Mady wiślane są także nieco bardziej zasobne w TiO_2 w porównaniu do pozostałych analizowanych gleb.

6. SKŁAD CHEMICZNY FRAKCJI IŁU KOLOIDALNEGO

Skład chemiczny frakcji ilastej mady Doliny Dolnej Wisły jest niejednorodny (tab. 5 - 12). Zawartość SiO_2 waha się w granicach 51,46 - 63,92 % . Zwraca uwagę jednolita ilość krzemionki we frakcji ilastej mady z Grabowa 1.

Ilości Al_2O_3 są mało zróżnicowane dla większości próbek, co znajduje odbicie w stosunkach molarnych SiO_2/Al_2O_3 . Znacznie większe różnice obserwuje się w zawartości żelaza. Frakcja ilasta mady wiślanej jest zasobna w żelazo (5,45 - 10,35 % Fe_2O_3). Zwraca uwagę akumulacja Fe w poziomach cambic (profile Łęgnowo 2, Fiszewo, Stare Pole, Starogród 2).

Ilości MgO kształtują się w zakresie 1,81 - 4,16 %. Bogata w magnez jest frakcja koloidalna mady ze Starogrodu, szczególnie warstw głębszych.

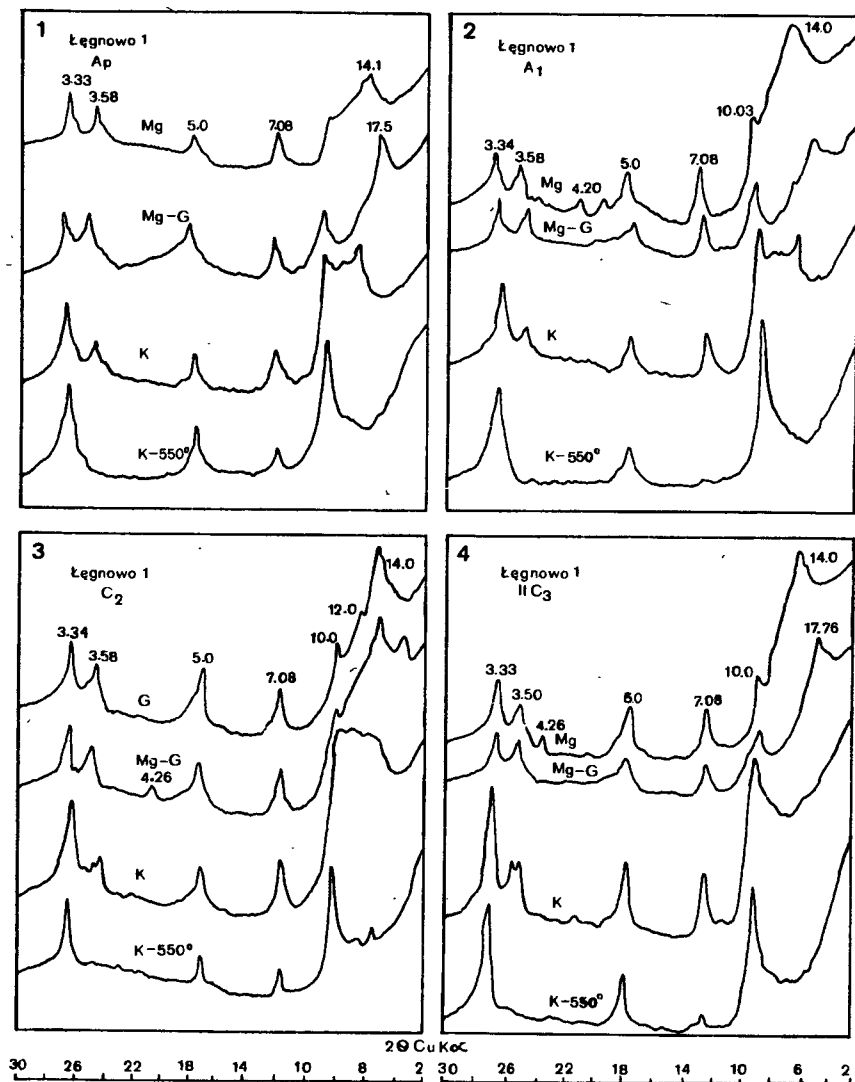
Analizując zawartości bardziej ruchliwych składników w obrębie poszczególnych profilów (MgO, Na_2O , K_2O , CaO) nie stwierdza się zubożenia w te komponenty górnych warstw, co świadczyłoby o procesach wietrzenia i selektywnym wymywaniu minerałów. Słabe zaawansowanie zjawisk wietrzenia i transformacji frakcji ilastej potwierdza również dość jednolita zawartość TiO_2 w obrębie profilów, która waha się w przedziale 0,64 - 1,06 %.

Frakcja ilasta mady jest zasobna w potas (2,49 - 3,67 % K_2O). Zawartość tego składnika może być miarą ilości minerałów typu illitu oraz struktur mieszanopaketowych illit-smektyt (porównaj rozdział III - Dyskusja).

7. SKŁAD MINERALOGICZNY FRAKCJI IŁU KOLOIDALNEGO

7.1. Badania rentgenostrukturalne

Dyfraktogramy frakcji ilastej mady Doliny Dolnej Wisły, zestawione na rysunkach 4 - 13, wskazują na zróżnicowanie składu mineralogicznego zarówno pomiędzy poszczególnymi glebami, jak też w obrębie każdego profilu (tab. 14).

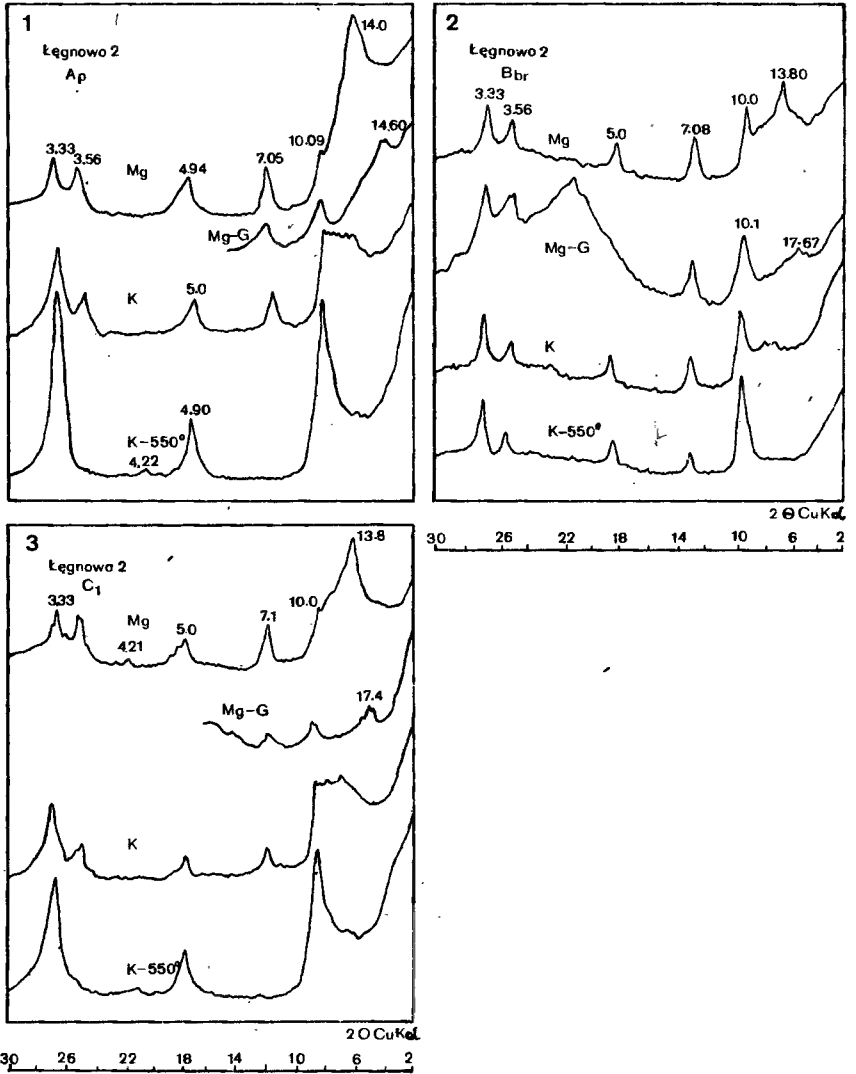


Rys.4. Dyfraktogramy frakcji ilastej mady Łęgnowo 1

- Mg - próbka wysycona magnezem,
 Mg-G - próbka wysycona magnezem i solwatowana glicerolem,
 K - próbka wysycona potasem,
 K-550° - próbka wysycona potasem i prażona w temp. 550°C

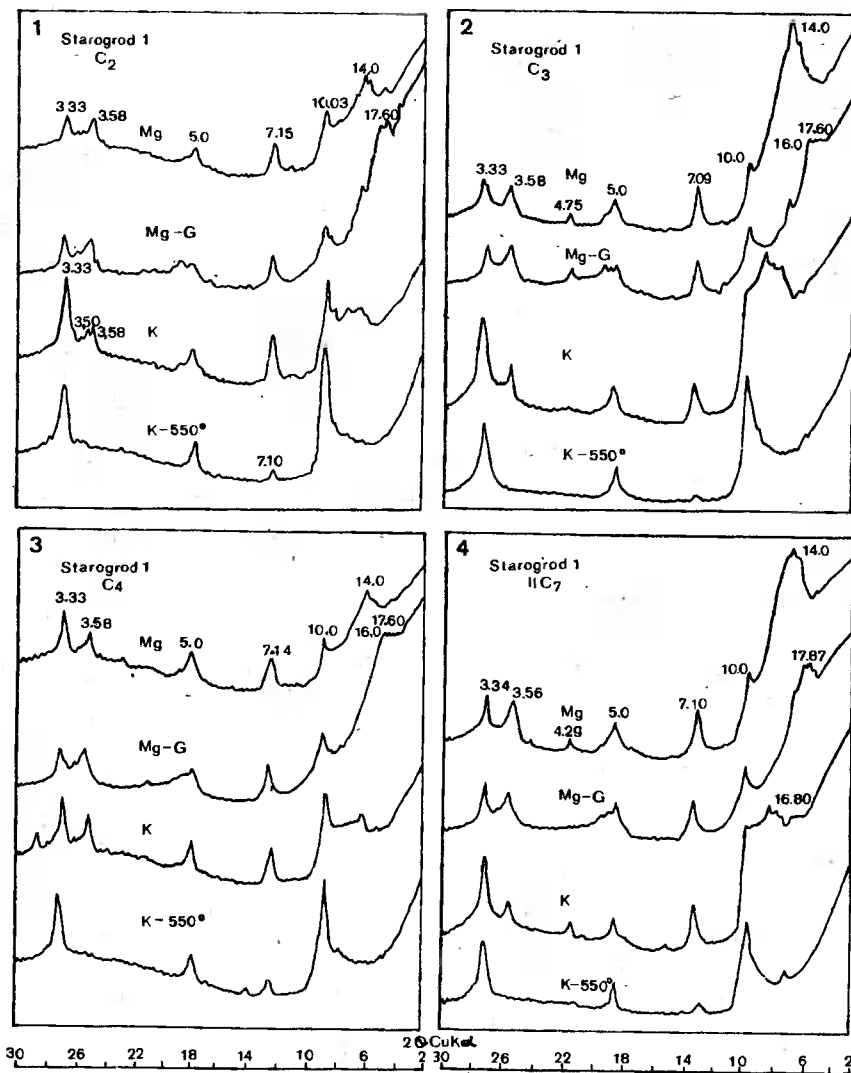
Fig.4. Diffractograms of clay fraction of alluvial soil Łęgnowo 1

- Mg - sample Mg-saturated,
 Mg-G - sample Mg-saturated and glycerol solvated,
 K - sample K-saturated,
 K-550° - sample K-saturated and heated at 550°



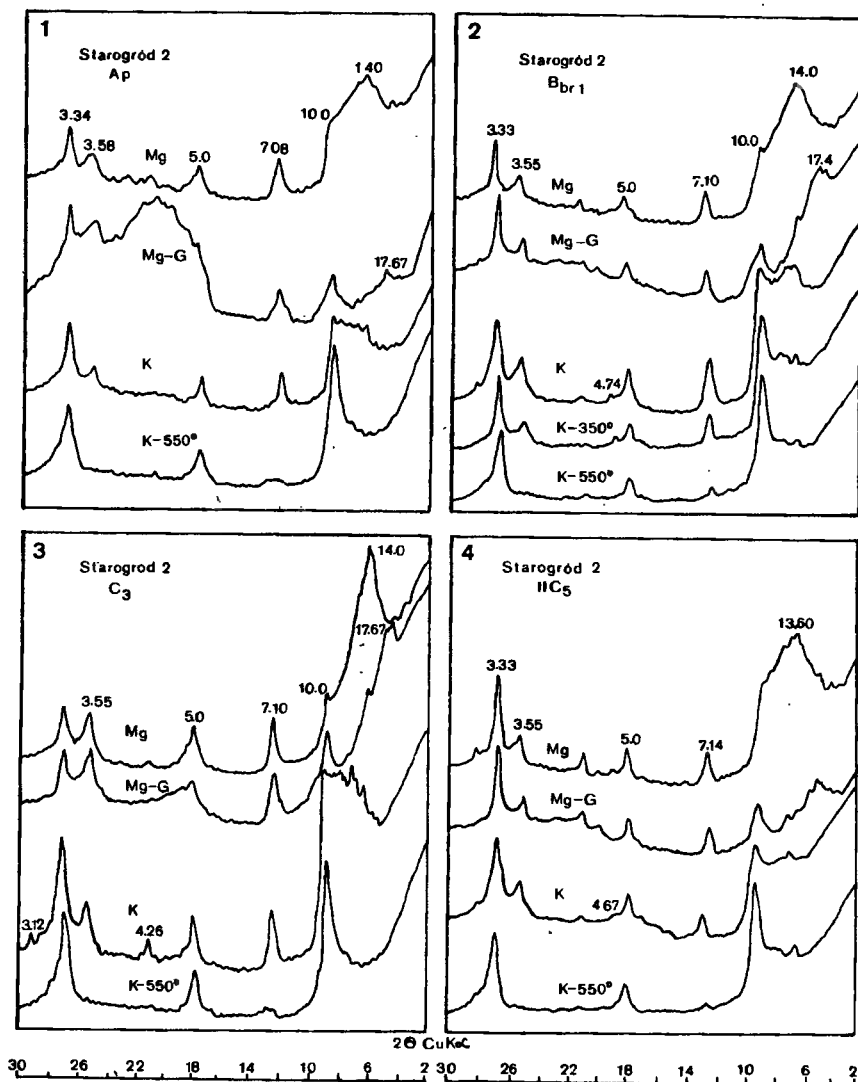
Rys.5. Dyfraktogramy frakcji ilastej mady Łęgnowo 2 (oznaczenia analogiczne jak na rys.4)

Fig.5. Diffractograms of clay fraction of alluvial soil Łęgnowo 2 (denotation as on fig.4)



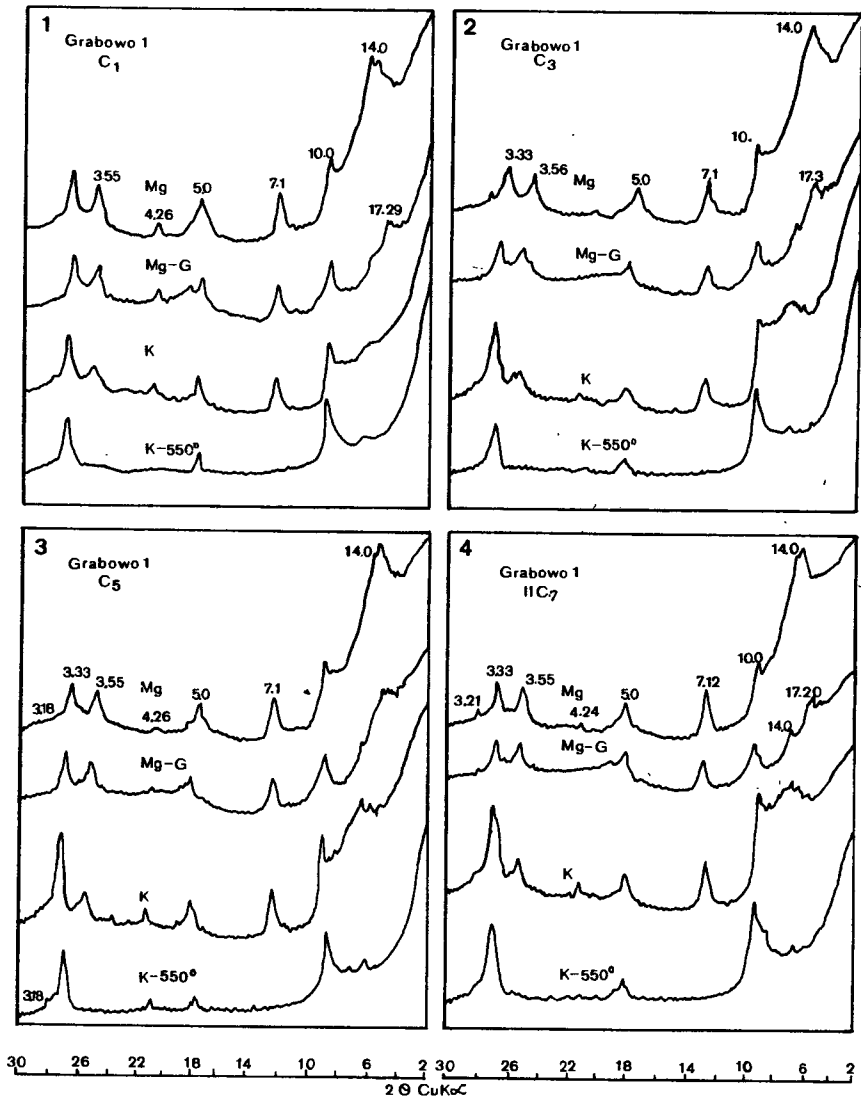
Rys.6. Dyfraktogramy frakcji ilastej mady Starogrod 1 (oznaczenia analogiczne jak na rys.4)

Fig.6. Diffractograms of clay fraction of alluvial soil Starogrod 1 (denotation as on fig.4)



Rys.7. Dyfraktogramy frakcji ilastej mady Starogród 2 (oznaczenia analogiczne jak na rys.4)

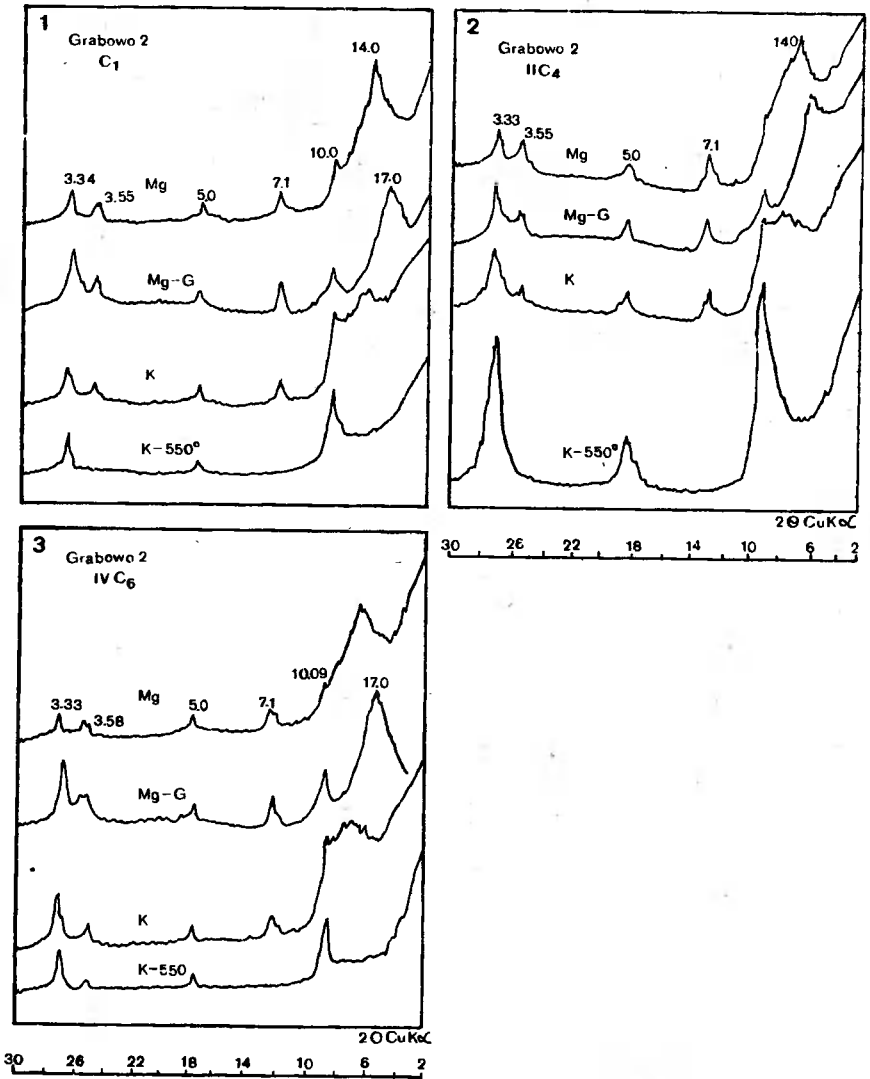
Fig.7. Diffractograms of clay fraction of alluvial soil Starogród 2 (denotation as on fig.4)



Rys.8. Dyfraktogramy frakcji ilastej mady Grabowo 1
(oznaczenia analogiczne jak na rys.4)

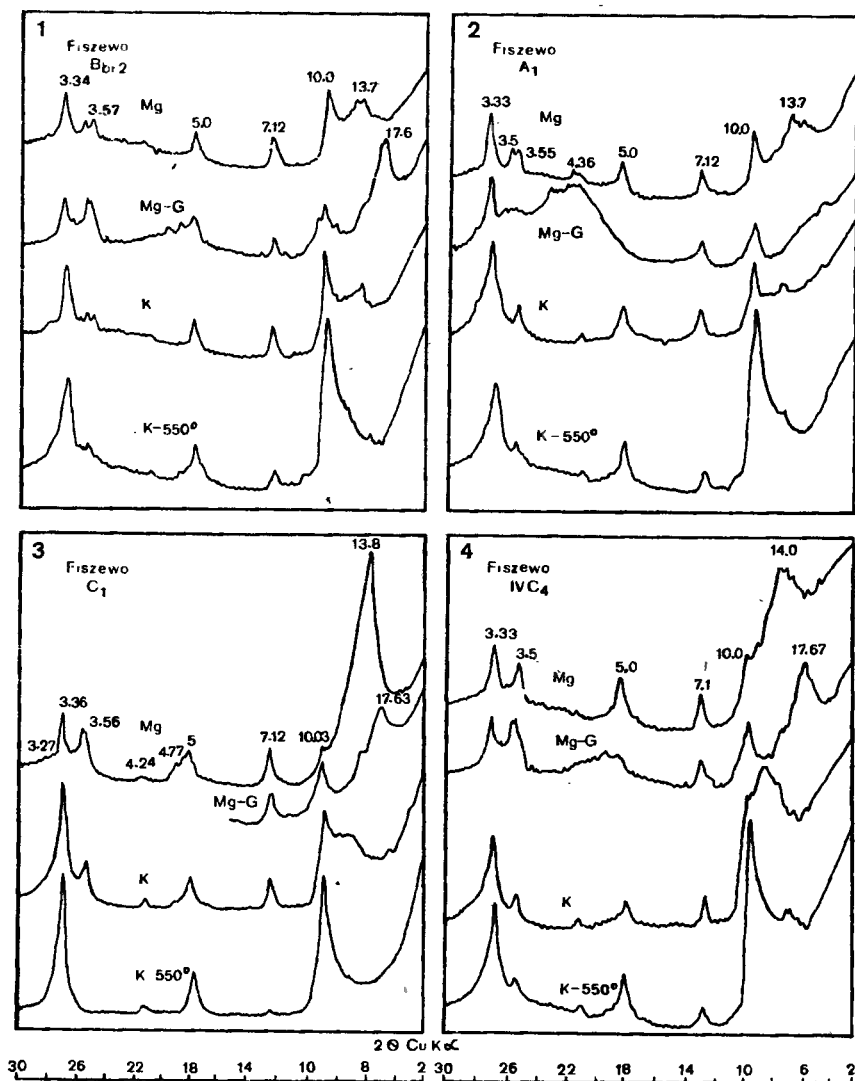
Fig.8. Diffractograms of clay fraction of alluvial soil Grabowo 1
(denotation as on fig.4)





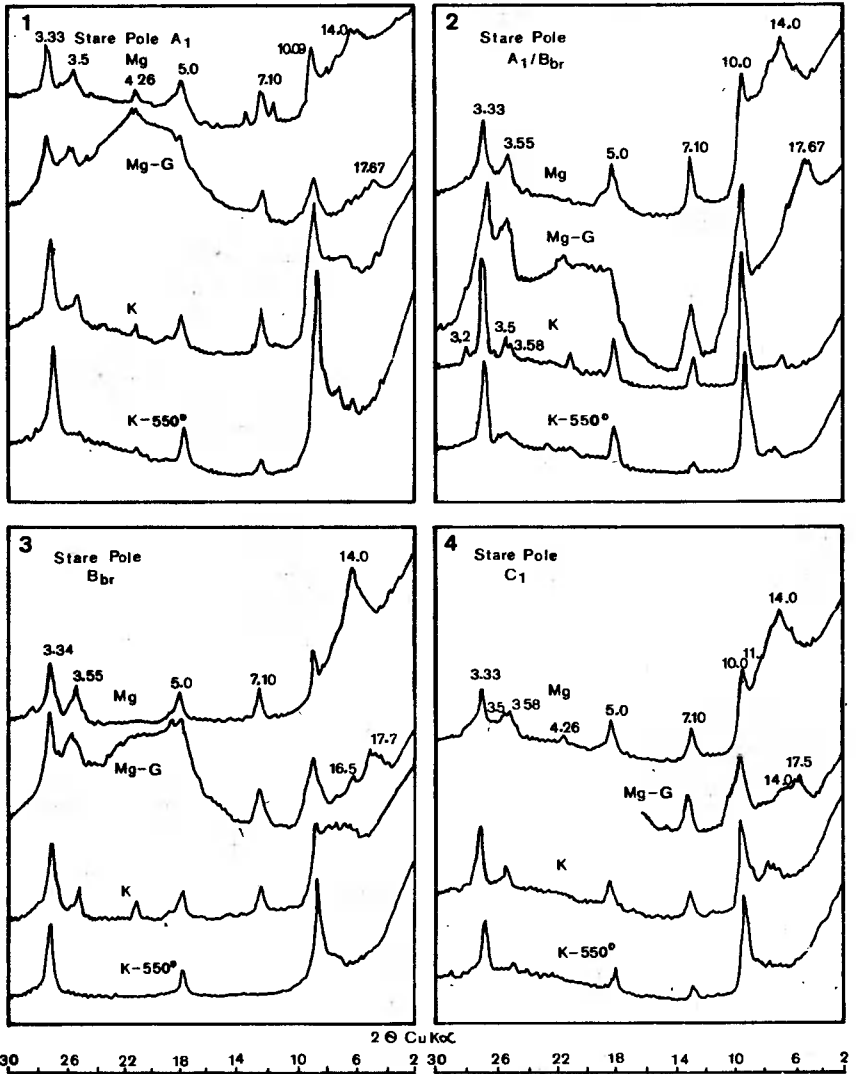
Rys.9. Dyfraktogramy frakcji ilastej mady Grabowo 2 (oznaczenia analogiczne jak na rys.4)

Fig.9. Diffractograms of clay fraction of alluvial soil Grabowo 2 (denotation as on fig.4)



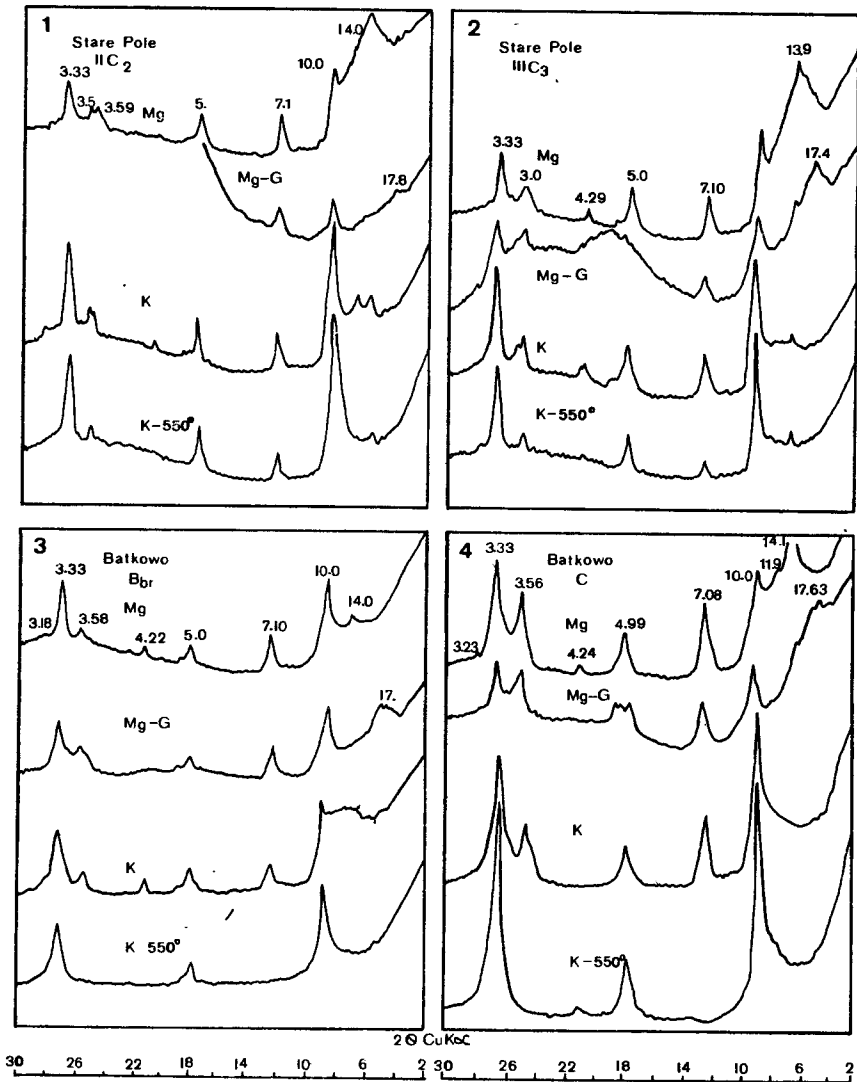
Rys.10. Dyfraktogramy frakcji ilastej mady z Fiszewa (oznaczenia analogiczne jak na rys.4)

Fig.10. Diffractograms of clay fraction of alluvial soil from Fiszewo (denotation as on fig.4)



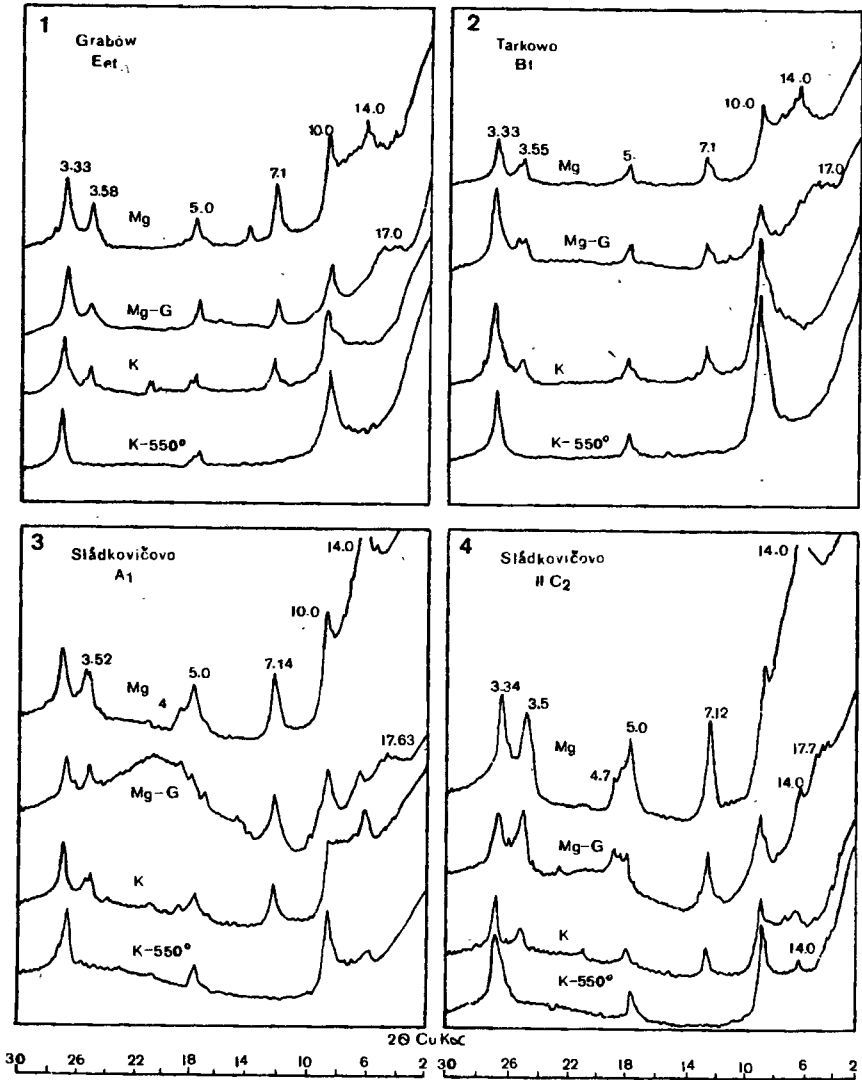
Rys.11. Dyfraktogramy frakcji ilastej mady ze Starego Pola (oznaczenia analogiczne jak na rys.4)

Fig.11. Diffractograms of clay fraction of alluvial soil from Stare Pole (denotation as on fig.4)



Rys.12. Dyfraktogramy frakcji ilastej gleb ze Starego Pola i Batkowa (oznaczenia analogiczne jak na rys.4)

Fig.12. Diffractograms of clay fraction of soils from Stare Pole and Batkowo (denotation as on fig.4)



Rys.13. Dyfraktogramy frakcji ilastej gleb z Grabowa, Tarkowa i Sládkovičova (oznaczenia analogiczne jak na rys.4)

Fig.13. Diffractograms of clay fraction of soils from Grabów, Tarkowo and Sládkovičovo (denotation as on fig.4)

Skład mineralogiczny^{1/} frakcji ilastej mad
Mineralogical composition of clay fraction of alluvial soils

Profil Profile	Poziom (warstwa) Horizon (layer)	Il sm	Sm	K	Ch	W	$\frac{Il}{Sm}$	$\frac{Sm}{Ch}$	$\frac{Il}{Ch}$	Kw	S
Łęgnowo 1	A _p	XX	X	X	X		XX				
	A	XX	X	X	X		XX			X	
	C ₂	XX	XX	X	X		X	X		X	
	C ₃	XX	XX	X	X		X	X		X	
Łęgnowo 2	A _p	XX	X	X			XX	X			
	B _{br}	XX	XX	X	X		XX		X		
	C ₁	X	XX	X	X		XXX		X	X	
Starogród 1	A _p	XX	XX	X	X		XX		X		
	C ₃	XX	XX	X	X	X	XX				
	C ₄	XX	XX	X	X		XX				X
	IIC ₇	XX	XX	X	X		X		X		
Starogród 2	A _p	XX	XX	X	X		XX		X		
	B _{br}	XX	XX	X	X	X	XX				
	C ₃	X	XX	X	X		XX			X	
	IIC ₅	X	XXX	X	X	X	X				
Grabowo 1	A _p	XX	XX	X			XX				
	C ₃	XX	XX	X			XX				
	C ₅	X	X	X			XX			X	
	IIC ₇	X	XX	X			XX			X	
Grabowo 2	C ₁	XX	XX	X			XX				
	IIC ₄	XX	XX	X			XX				
	IVC ₆	XX	XX	X			XX				
Fiszewo	A	XX	XX	X	X		XX				
	B _{br2}	XX	XX	X	X		XX				
	C ₁	X	XX	X	X		XX				
	IIC ₄	X	XX	X	X		XXX				
Stare Pole	A	XX	X	X	X		XX				
	B _{br}	X	XX	X	X		XX		X		X
	C ₁	X	XX	X	X		XX		X		
	IIC ₂	X	XXX	X	X		XX		X		
	IIIC ₃	X	XXX	X	X		XXX		XX		

sm Il - illit; Sm - smektyt; K - kaolinit; Ch - chloryt; W - wernikulit; struktury mieszanopakietowe: Il/Sm - illit - smektyt, Sm/Ch - smektyt - chloryt; Il/Ch - illit - chloryt; Kw - kwarc, S - skalenie
Il - illite; Sm - smectite; K - kaolinite; Ch - chlorite; W - vermiculite;
interstratified structures: Il/Sm - illite - smectite; Sm/Ch - smectite - chlorite; Il/Ch - illite - chlorite; Kw - quartz; S - feldspars

^{1/} Oszacowany w oparciu o analizę RTG, DTA, DTG, chemiczną oraz PWR_C.
Estimated on the base of RTG, DTA, DTG, chemical analysis and PWR_C values.

Różna intensywność refleksów pierwszego rzędu smektytu, illitu i kaolinitu (chlorytu) świadczy o różnej zawartości tych minerałów.

Refleksy 10,0 Å; 5,0 Å i 3,33 Å^m wskazują na obecność minerałów z grupy illitu. Położenie tych linii nie zmienia się po solwatacji glicerolem, ani w wyniku prażenia, co dowodzi dioktaedrycznej budowy illitu. Zwraca uwagę mała intensywność refleksu 002 w porównaniu do refleksów 001 i 003 illitu. Obecne są również minerały pęczniące z grupy smektytu (linia 14,0 Å próbki Mg⁺² - nasyconej, która przesuwa się w kierunku niższych kątów po solwatacji glicerolem). Szerokie pasmo, o dużej intensywności, obejmujące zakres od refleksu 001 illitu do refleksu 001 smektytu, w próbce K⁺ - nasyconej, sugeruje obecność struktur mieszanopakietowych typu illit-smektyt. W niektórych próbkach (Łęgnowo 1, Łęgnowo 2, Stare Pole) możliwe jest występowanie minerałów interstratyfikowanych typu smektyt-chloryt lub illit-chloryt. Jako domieszka obecny jest kaolinit (refleks 7,1 Å zanikający w wyniku prażenia w temperaturze 550°C) oraz w niektórych próbkach chloryt.

W dyfraktogramach frakcji ilastej mady ze Starogrodu występuje refleks 14,0 Å, niezmienny po solwatacji glicerolem, który przesuwa się do 10,0 Å po wysyceniu próbki jonami K⁺ i prażeniu. Świadczy on o obecności niewielkich ilości wernikulitu [75, 158].

Spośród materiałów nieilastych występuje kwarc (42,6 Å) oraz skalenie (3,12 Å).

Tabela 15

Table 15

Skład mineralogiczny frakcji ilastej
gleb wytworzonych z innych podłoża

Mineralogical composition of clay fraction of soils
developed from other parent rocks

Profil Profile	Poziom (warstwa) Horizon (layer)	Il	Sm	K	Ch	Il/Sm	S
Batkowo	B _{br}	XXX	X	X	X	XX	X
	C	XXX	XX	X	X	X	X
Grabów	E _{et}	XXX	X	X	X	X	
	B _t	XXX	XX	X	X	XX	X
Tarkowo	E _{et}	XX	X	X	X	XX	
	B _t	XX	X	X	X	X	
Sładkovičovo	A _p	XXX	XX	X	X	XXX	
	IIC ₂	XXX	XX	X	X	XX	

^m Położenia pików podano w Å jak jest przyjęte w literaturze polskiej. Dla wyrażenia wartości w jednostkach SI (nm) należy zastosować mnożnik 10⁻¹.

Fracja ilasta gleb wytworzonych z materiałów zwałowych (profile Batkowo, Tarkowo, Grabów) składa się głównie z minerałów typu illitu, obecne są też struktury mieszanopakietowe typu illit-smektyt oraz smektyt i kaolinit (w postaci domieszki). Inny skład ma frakcja ilasta mady ze Sładkovicova, w której dominują minerały pęczniejące z grupy smektytu i interstratyfikowane illit-smektyt (tab.15 i rys.13).

7.2. Analiza derywatograficzna

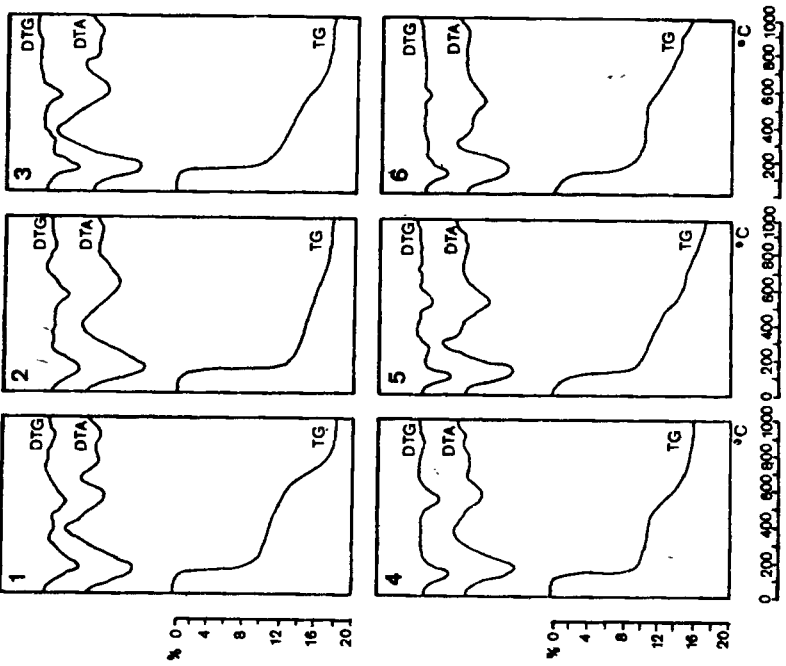
Derywatogramy frakcji iłu koloidalnego mad rejestrują dwa wyraźne efekty endotermiczne z maksimum w temperaturach 125 - 150°C i 520 - 580°C oraz słabiej zaznaczony efekt endotermiczny w zakresie 850 - 900°C (rys.14 - 17). Pierwszy, niskotemperaturowy efekt połączony jest z dużym ubytkiem masy. Całkowity ubytek masy frakcji ilastej mad w czasie analizy termicznej waha się od 15,5 do 19,0 %. Stosunki intensywności pierwszego i drugiego efektu endotermicznego są w zakresie 1,9 - 5,0. Na derywatogramach próbek z Łęgnowa 1 (C₂), Starogrodu 1 (IIC₂), Starogrodu 2 (A_p, C₃) występuje przegięcie przy 920 - 950°C.

Analiza termiczna frakcji ilastej gleb wytworzonych z innych podłoży (Batkowo, Tarkowo, Grabów) rejestruje obecność dwóch efektów endotermicznych przy 120 - 150°C i 540 - 555°C. Trzeci efekt z maksimum przy 860 - 890°C jest słabo zarysowany (rys.17). Stosunek pierwszego do drugiego efektu jest niższy aniżeli dla mad i waha się w granicach 1,8 - 2,2, a krzywa TG rejestruje mniejsze ubytki masy (14,3 - 15,2 %) w porównaniu do mad wiślanych. Natomiast frakcja ilasta mady naddunajskiej daje zbliżone do mad Doliny Dolnej Wisły krzywe termiczne; strata masy przy ogrzewaniu do 1000°C wynosi 18,6 %, a stosunek intensywności pierwszego do drugiego efektu endotermicznego jest równy 4,8.

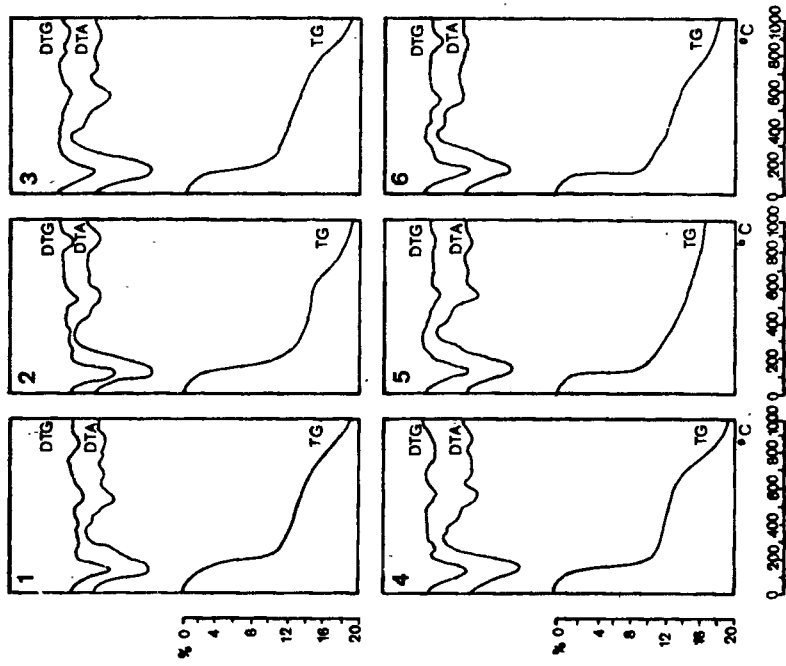
7.3. Mikroskopia elektronowa

Zdjęcie mikroskopii elektronowej frakcji iłu koloidalnego wyseparowanego z warstwy C₁ mady z Łęgnowa 1 przedstawia blaszkowate mikroagregaty zawierające cząstki illitu lub smektyt (rys.18).

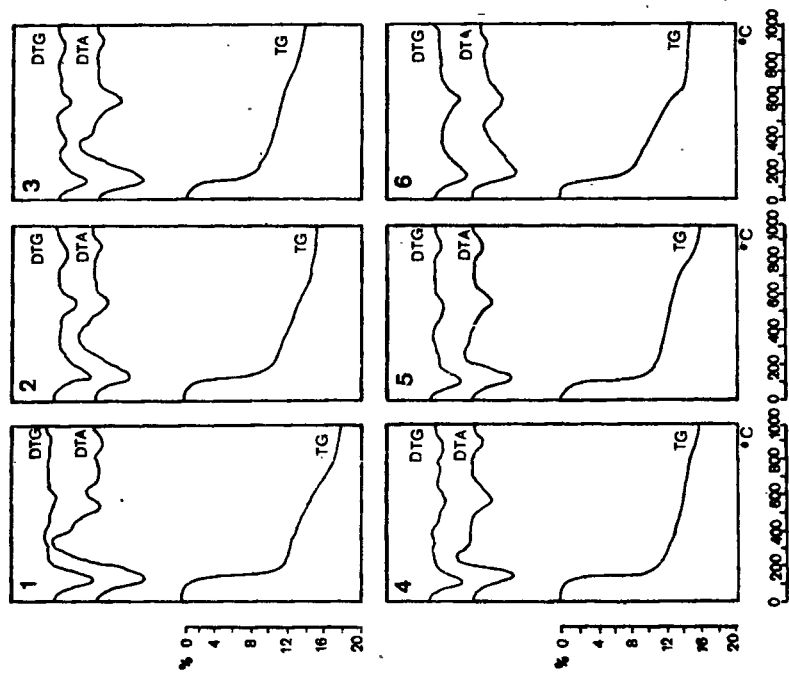
Zbliżoną mikrostrukturą, chociaż bardziej drobnoziarnistą, charakteryzuje się frakcja ilasta mady z Fiszewa (rys.19). Zasadniczym składnikiem są tutaj blaszki o nieregularnych krawędziach i kształcie wieloboku, wśród których wyróżnić można kaolinit.



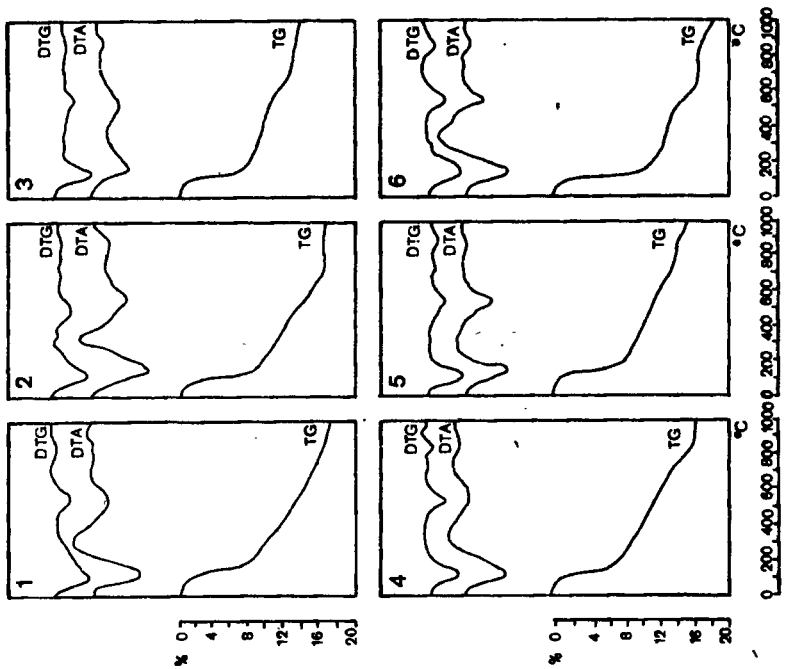
Rys.14. Derywatogramy frakcji ilastej mad.
 Fig.14. Differential thermal curves of clay fraction
 Łągnowo 1: 1 - Ap; 2 - A; 3 - C₁; 4 - IIC₃
 Łągnowo 2: 5 - Ap; 6 - C₁



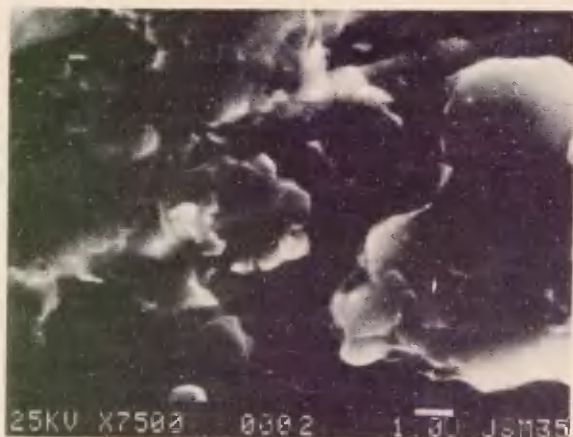
Rys.15. Derywatogramy frakcji ilastej mad.
 Fig.15. Differential thermal curves of clay fraction
 Starogród 1: 1 - Ap; 2 - C₁; 3 - C₃; 4 - C₅
 Starogród 2: 5 - Ap; 6 - A



Rys. 16. Derywatogramy frakcji ilastej mad
 Fig. 16. Differential thermal curves of clay fraction
 Starogród 2: 1 - C₃; Fiszewo: 2 - A₁; 3 - B_{br2};
 4 - IIC₂; 5 - IVC₄; Tarkowo: 6 - B_t

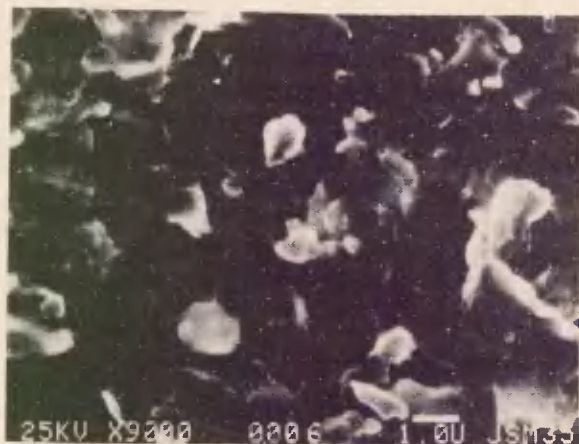


Rys. 17. Derywatogramy frakcji ilastej mad
 Fig. 17. Differential thermal curves of clay fraction
 Grabowo 2: 1 - C₄; 2 - IVC₆; Grabów: 3 - E_{et};
 4 - E_t; Batkowo: 5 - B_{br}; Siadkowičowo: 6 - IIC₂



Rys.18. Elektronomikroskopowy obraz frakcji koloidalnej mady z Łęgnowa 1 (C_1)

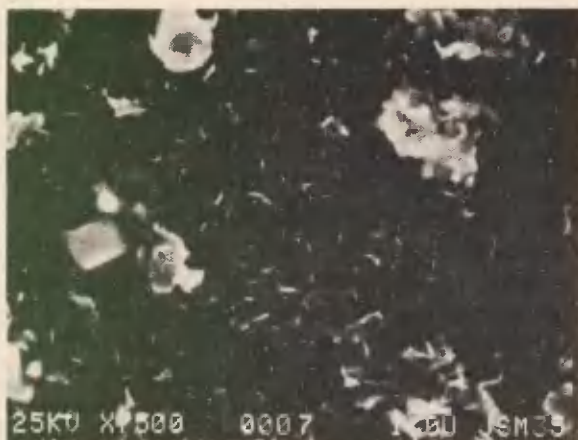
Fig.18. SEM micrograph of clay fraction from Łęgnowo 1 (C_1)



Rys.19. Elektronomikroskopowy obraz frakcji koloidalnej mady z Fiszewa (C_1)

Fig.19. SEM micrograph of clay fraction from Fiszewo (C_1)

We frakcji ilastej gleby z Łęgnowa 2 - warstwa C_1 (rys.20) - widoczne są kryształy illitu w postaci igieł wielkości $0,5-1,5 \mu\text{m}$ oraz mikroagregaty płytkowe o nieregularnej powierzchni, wielkości $2,0-6,0 \mu\text{m}$. Zdjęcie frakcji ilastej z poziomu B_{br} tej gleby (rys.21) uwiadczenia na tle blaszkowatych mikroagregatów obecność drobnego materiału w postaci paciorkowato ułożonych skupisk cząstek, prawdopodobnie tlenków i uwodnionych tlenków żelaza.



Rys.20. Elektronomikroskopowy obraz frakcji koloidalnej mady z Łęgnowa 2 (C_1)

Fig.20. SEM micrograph of clay fraction from Łęgnowo 2 (C_1)



Rys.21. Elektronomikroskopowy obraz frakcji koloidalnej mady z Łęgnowa 2 (B_{br})

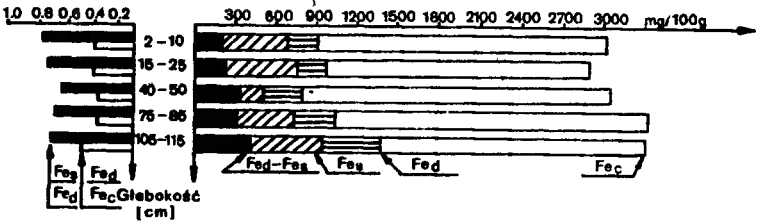
Fig.21. SEM micrograph of clay fraction from Łęgnowo 2 (B_{br})

8. CHARAKTER POŁĄCZEŃ ŻELAZA

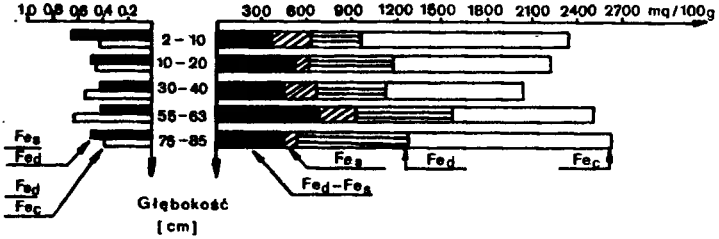
8.1. Tlenki żelaza ekstrahowane metodą Tamma oraz Mehra-Jacksona

Zawartość żelaza niekrzemianowego, na którą składają się między innymi uwodnione amorficzne i krystaliczne tlenki żelaza, zestawiono w tabeli 16 oraz na rysunkach 22 - 26.

ŁĘGNOWO 1



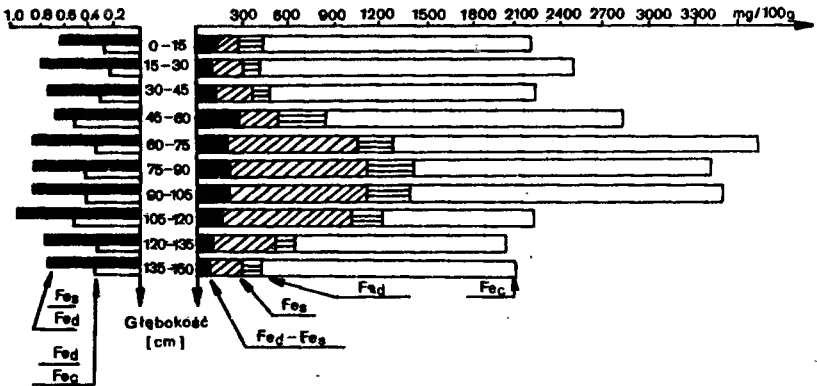
ŁĘGNOWO 2



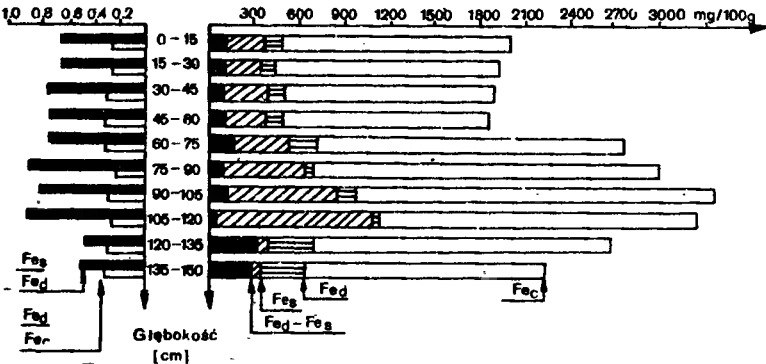
Rys.22. Zawartość połączeń żelaza w macach z Łęgowo

Fig.22. Content of Fe compounds in alluvial soils from Łęgowo

STAROGRÓD 1

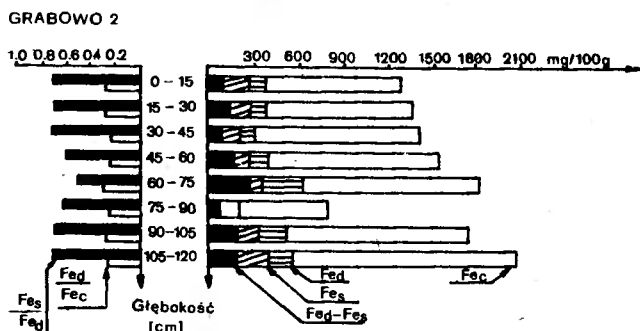
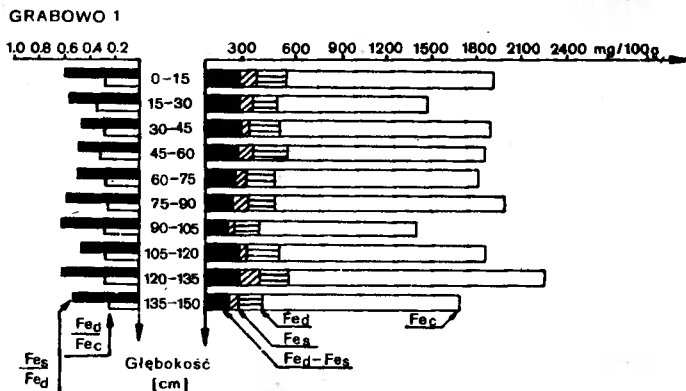


STAROGRÓD 2



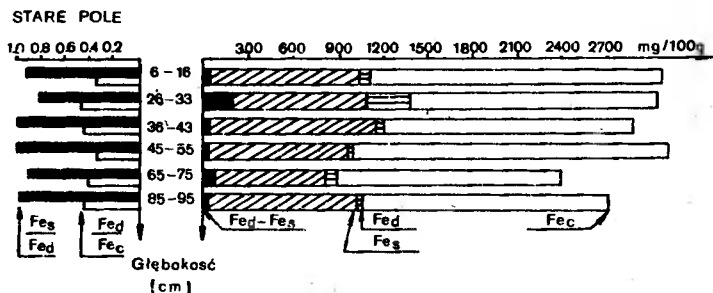
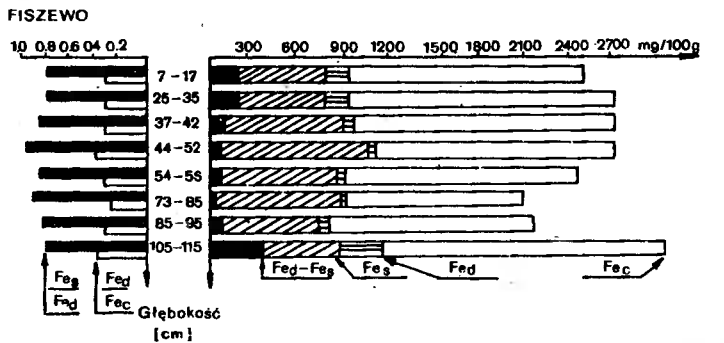
Rys.23. Zawartość połączeń żelaza w macach ze Starogrodu

Fig.23. Content of Fe compounds in alluvial soils from Starogród



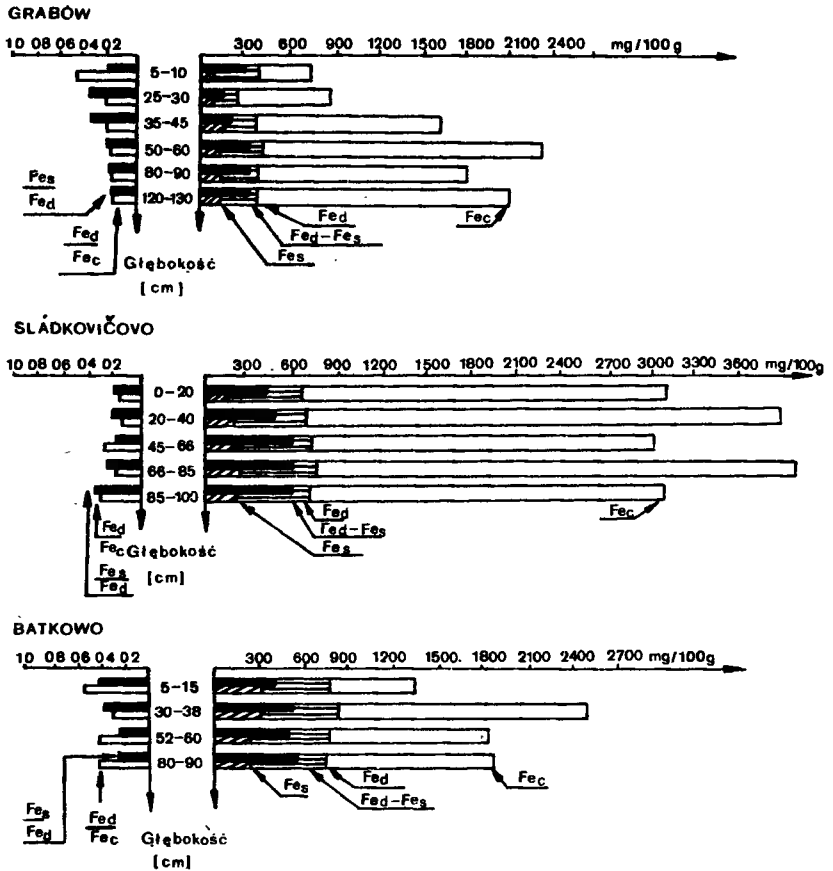
Rys.24. Zawartość połączeń żelaza w madach z Grabowa

Fig.24. Content of Fe compounds in alluvial soils from Grabowo



Rys.25. Zawartość połączeń żelaza w madach z Fiszewa i Starego Pola

Fig.25. Content of Fe compounds in alluvial soils from Fiszewo and Stare Pole



Rys.26. Zawartość połączeń żelaza w glebach wytworzonych z innych podłoży Fig.26. Content of Fe compounds in soils developed from other parent rocks

Ilości tlenków żelaza, ekstrahowanych kwaśnym szczawianem amonu (Fe_g) jak i tlenków żelaza, ekstrahowanych cytrynianem sodu, po redukcji ditiocyniną (Fe_d), są znacznie zróżnicowane i wahają się odpowiednio od 127,5 do 1241,0 mg/100 g gleby (Fe_g) oraz od 200,7 do 1645,0 mg/100 g gleby (Fe_d). Największą ilość żelaza wolnego stwierdzono w madach ze Starogrodu 1 oraz Łęgnowa 2, mniej w madach z Grabowa. Mady z Fiszewa i Starego Pola mają wysoką i stosunkowo równomiernie rozmieszczoną w profilach ilość tego składnika.

Zawartość żelaza ekstrahowanego cytrynianem sodu (Fe_d) jest tylko nieznacznie wyższa od ilości Fe związanego przez kwaśny szczawian amonu (Fe_g), co świadczy, że obecne w glebie tlenki żelaza są głównie w formie amorficznej. Wyrazem tego jest zbliżony do jedności indeks krystaliczności mad (Fe_g/Fe_d) (tab.16, rys.22-26). Natomiast w glebach porównawczych (profile Batkovo, Tarkovo, Grabów) udział krystalicznych form tlenków żelaza jest znacznie wyższy, a indeks krystaliczności waha się w granicach 0,23-0,41 (tab.17, rys.26).

Zawartości połączeń żelaza w miedach
Content of iron compounds in alluvial soils

Poziom (warstwa) Horizon (layer)	Fe organiczne (Fe - OM)												13	14
	0,1 N Na ₂ B ₄ O ₇		0,1 N Na ₄ P ₂ O ₇		0,1 N NaOH		Σ Fe - OM (mg/100 g)		Fe _d	Fe _c	Fe _k (Fe _d - Fe _c)	Fe _c		
	Fe	C	Fe	C	Fe	C	8	9						
	(mg/100 g)						(mg/100 g)							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Łęgnowo 1 mada wiaściwa - typical alluvial soil														
Ap	20,5	203,5	256,5	353,9	13,1	176,0	290,1	628,3	820,0	191,7	2721,0	0,77	0,30	
A	16,5	156,7	191,0	276,2	9,4	148,6	216,9	686,5	885,0	198,5	2637,1	0,78	0,34	
C ₁	22,0	61,4	123,0	45,9	11,0	13,3	156,0	443,3	730,6	287,3	2749,0	0,61	0,27	
C ₂	20,2	256,8	155,5	209,2	12,0	10,1	187,7	670,0	945,8	275,8	3049,8	0,71	0,31	
C ₃	16,0	327,8	256,5	109,0	26,5	147,0	299,0	869,9	1260,6	390,7	3000,8	0,69	0,42	
Łęgnowo 2 mada brunatna - brown alluvial soil														
Ap	20,0	256,1	181,5	306,6	32,8	184,8	234,3	630,0	995,0	365,0	2364,3	0,63	0,42	
A	8,0	125,9	236,0	252,8	27,3	122,5	271,3	615,1	1170,0	554,9	2301,3	0,53	0,51	
B _{dr}	9,6	82,4	199,5	70,3	24,4	49,7	233,5	485,0	1145,5	660,5	2070,5	0,42	0,55	
C ₁	9,8	101,8	256,5	312,5	20,0	105,6	286,3	688,3	1400,8	712,5	2539,2	0,49	0,55	
C ₂	11,8	144,9	166,0	259,2	18,3	70,8	196,1	538,3	1002,4	464,1	2623,1	0,54	0,38	

cd. tabeli 16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Starogród 1													
mada wiaściwa - typical alluvial soil													
Ap	86,5	64,6	155,0	206,4	34,5	53,2	276,0	355,0	570,0	215,0	2224,4	0,62	0,26
A	80,0	84,2	168,0	243,2	33,5	68,1	281,5	413,0	522,4	109,4	2497,2	0,79	0,21
C ₁	65,8	82,9	225,0	136,5	41,0	30,4	331,8	449,9	597,6	147,7	2350,3	0,75	0,25
C ₂	33,3	49,4	285,0	138,6	107,5	68,4	757,6	559,0	858,0	259,0	2874,9	0,70	0,30
C ₃	37,5	96,1	385,0	156,7	129,5	121,7	552,0	1113,3	1308,0	194,7	3819,3	0,85	0,34
C ₄	43,5	104,6	457,5	514,6	123,3	70,3	624,3	1259,1	1480,6	211,5	3476,5	0,86	0,43
C ₅	48,8	92,4	445,5	204,7	108,3	57,0	602,3	1241,6	1446,8	205,2	3532,5	0,86	0,41
C ₆	44,5	71,4	418,0	252,8	112,3	49,4	574,8	1120,5	1192,2	221,7	2224,4	0,94	0,53
IIC ₇	45,8	32,8	365,5	109,0	4,4	49,6	415,7	481,5	627,0	145,5	2056,5	0,77	0,30
IIC ₈	54,5	9,5	157,5	24,9	6,5	11,4	218,5	333,3	441,4	108,1	2126,5	0,76	0,21
Starogród 2													
mada brunatna - brown alluvial soil													
Ap	20,5	61,7	210,0	134,0	42,5	113,0	273,0	336,6	450,4	113,8	2000,6	0,75	0,22
A	29,7	70,4	193,0	183,0	38,0	72,4	260,7	328,3	435,0	106,7	1979,6	0,75	0,22
B _{br1}	17,5	61,9	220,0	111,0	22,5	75,8	260,0	383,3	476,8	93,5	1908,2	0,80	0,25
B _{br2}	38,0	72,0	207,5	162,5	56,4	64,0	301,9	370,0	465,2	95,2	1860,7	0,80	0,25
C ₁	55,2	64,9	248,6	180,2	104,5	112,0	408,3	578,3	720,0	141,7	2768,0	0,81	0,26
C ₂	40,2	76,0	228,0	326,0	109,0	126,5	377,7	606,5	655,0	58,5	3014,9	0,93	0,22
C ₃	66,0	59,6	386,5	257,0	121,3	43,5	573,0	863,3	960,0	96,7	3318,3	0,90	0,29
C ₄	59,5	96,1	407,2	252,6	93,0	65,2	559,7	1110,0	1135,0	25,0	3203,7	0,98	0,24
IIC ₅	52,6	104,0	286,0	181,0	9,4	321,6	348,0	333,3	695,0	361,0	2670,1	0,48	0,26
IIC ₆	50,0	82,4	228,4	136,5	8,6	38,0	287,0	298,3	610,4	312,1	2168,4	0,49	0,28

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Grabowo 1 mada wiaściwa - typical alluvial soil													
Ap	47,0	202,5	136,5	297,9	27,5	309,4	211,0	299,0	510,0	211,0	1958,6	0,59	0,26
A	58,0	124,2	120,5	192,0	19,5	93,6	198,8	275,0	480,0	205,0	1517,9	0,57	0,32
C ₁	60,0	129,9	117,0	140,4	15,6	17,2	192,6	250,0	474,0	224,0	1895,6	0,53	0,25
C ₂	77,3	93,6	142,0	163,3	12,2	9,6	231,5	280,6	564,0	283,5	1881,7	0,50	0,30
C ₃	68,0	114,6	127,0	140,4	14,7	19,1	209,7	240,6	459,6	219,0	1741,8	0,52	0,26
C ₄	75,0	99,3	110,5	200,6	6,4	17,2	191,9	267,0	450,0	183,0	1979,6	0,59	0,23
C ₅	72,3	53,5	76,5	40,1	4,8	11,5	153,6	197,5	330,2	132,7	1399,0	0,60	0,24
C ₆	90,0	141,3	100,0	77,4	9,0	42,0	199,0	237,5	468,0	230,5	1888,6	0,51	0,25
IIC ₇	55,5	93,6	161,0	146,1	8,7	117,5	225,2	340,0	549,3	209,3	2322,3	0,62	0,24
IIIC ₈	84,0	120,3	93,5	74,5	6,8	38,2	184,2	217,6	372,0	154,4	1601,9	0,58	0,23
Grabowo 2 mada wiaściwa - typical alluvial soil													
Ap	54,6	81,0	89,5	154,0	8,6	153,2	152,7	257,5	350,0	92,5	1329,0	0,74	0,26
C ₁	62,0	47,2	96,0	124,3	6,5	221,0	164,5	272,5	390,0	117,5	1350,0	0,70	0,29
C ₂	54,5	38,6	84,0	61,3	7,4	53,1	145,9	207,5	285,0	77,5	1371,0	0,73	0,21
IIIC ₃	60,0	48,3	112,5	72,5	4,8	66,8	177,3	240,0	387,5	147,5	1525,0	0,62	0,25
IIIC ₄	54,3	52,0	110,0	86,4	10,0	43,0	174,3	357,6	620,0	262,4	1818,7	0,58	0,34
IIIC ₅	52,0	46,8	88,6	112,5	8,2	21,6	108,8	127,5	200,4	72,9	895,4	0,64	0,22
IVC ₆	24,0	89,5	94,0	148,0	6,0	17,4	124,0	375,4	540,0	164,6	1783,7	0,70	0,33
IVC ₇	63,3	62,0	95,5	80,5	4,8	10,6	182,6	407,5	590,2	182,7	2049,5	0,69	0,29

cd. tabeli 16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Fiszewo													
mada brunatna - brown alluvial soil													
A	84,2	86,8	130,0	63,7	42,5	75,0	256,7	736,6	915,0	178,4	2525,2	0,81	0,36
A/B _{br}	86,7	67,5	144,5	92,6	43,5	189,0	274,7	726,6	920,4	193,8	2660,0	0,79	0,35
B _{br1}	93,0	81,3	143,5	178,3	41,8	134,0	278,3	916,6	980,6	64,0	2665,1	0,93	0,37
B _{br2}	84,5	59,8	163,0	133,1	55,5	138,9	303,0	1093,3	1105,0	11,7	2686,1	0,99	0,42
C ₁	71,5	38,6	152,0	127,3	49,0	123,5	272,5	766,6	860,0	93,4	2455,2	0,89	0,35
IIC ₂	69,2	48,2	96,5	8,7	25,3	90,7	191,0	533,3	560,5	27,2	2077,5	0,95	0,27
IIC ₃	66,0	46,3	92,0	5,8	19,8	55,9	177,8	673,3	780,0	106,7	2133,5	0,86	0,37
IIC ₄	81,0	59,8	122,5	78,1	29,3	52,6	232,8	829,9	1145,0	315,1	2944,9	0,72	0,39
Stare Pole													
mada brunatna - brown alluvial soil													
A	40,0	146,0	297,5	254,5	38,4	204,2	375,9	1093,3	1140,0	46,7	3098,8	0,96	0,37
A/B _{br}	14,0	149,0	420,0	224,9	40,5	93,8	474,5	1123,3	1428,6	305,3	3091,8	0,79	0,46
B _{br}	8,0	162,0	362,5	165,2	43,8	124,5	414,3	1170,0	1212,0	42,0	2899,9	0,97	0,43
C ₁	24,0	96,5	430,0	110,0	61,2	65,2	515,2	956,6	978,0	21,4	3119,8	0,98	0,31
IIC ₂	18,0	112,5	165,0	178,0	39,4	37,0	222,4	890,0	960,8	70,8	2992,3	0,93	0,40
IIC ₃	52,8	225,0	305,0	149,0	20,5	56,2	378,3	1113,3	1144,0	30,7	2707,1	0,97	0,42

Tabela 17

Table 17

Zawartość połączeń żelaza w glebach wytworzonych z innych podłożu
Content of iron compounds in soils developed from other parent rocks

Poziom (warstwa) Horizon (layer)	Fe _s	Fe _d	Fe _k	Fe _c	$\frac{Fe_s}{Fe_d}$	$\frac{Fe_d}{Fe_c}$
	(mg/100 g)					
Batkowo gleba brunatna właściwa - typical brown soil						
A	313,3	765,0	451,4	1371,0	0,41	0,56
B _{br}	311,6	820,0	508,4	2497,2	0,38	0,33
B _{br} /C	223,0	765,6	542,6	1860,7	0,29	0,41
C	213,4	760,8	547,4	1874,7	0,28	0,41
Grabów gleba płowa właściwa - typical soil lessive						
A _p	96,5	417,0	320,5	769,5	0,23	0,54
A	91,0	234,6	143,6	881,4	0,39	0,27
E _{et}	153,0	417,1	264,1	1601,9	0,37	0,26
B _t	117,5	459,0	341,5	2343,3	0,26	0,20
B _t /C	118,0	435,2	317,2	2176,6	0,27	0,20
C	120,0	440,8	320,4	2119,4	0,27	0,21
Ślądkowice mada brunatna - brown alluvial soil						
A _p	131,5	636,0	504,5	3551,0	0,21	0,18
A/B _{br}	150,0	660,4	510,4	3580,6	0,23	0,17
B _{br}	160,4	752,3	591,9	3000,0	0,21	0,25
C ₁	190,5	784,0	593,5	3548,0	0,24	0,20
IIC ₂	182,0	718,8	536,8	3051,6	0,25	0,23

8.2. Żelazo związane z materią organiczną gleby

Wyniki analizy przedstawione w tabeli 16 wskazują, że żelazo tworzy z materią organiczną głównie trwałe kompleksy, ekstrahowane pirofosforanem sodu. Gleby najbardziej zasobne w te połączenia to mada właściwa oraz brunatna ze Starogrodu i mada brunatna ze Starego Pola. Kompleksy nietrwałe żelaza, z wiązaniem elektrostatycznymi (ekstrahowane 0,05 M Na₂B₄O₇), występują w nieznacznych ilościach. Podobnie tylko niewielka ilość żelaza tworzy trwałe kompleksy próchniczne, ekstrahowane 0,1 M NaOH.

Jedynie mady z Grabowa wyróżniają się stosunkowo wysoką zawartością Fe związanego w nietrwałe kompleksy z próchnicą. Mają one również najmniej

trwałych połączeń żelazo - kwas huminowy (ekstrahowanych 0,1 M NaOH), szczególnie w głębszych partiach profilu. Taki skład może wynikać z faktu, że jeszcze 40 lat temu gleby te ulegały okresowym zalewom.

Zawartości C_{org} ekstrahowanego wraz z żelazem były zmienne, a stosunek Fe/C w ekstraktach był zróżnicowany i wahał się w szerokich granicach (tab.16). Świadczy to, że połączenia żelazo - próchnica mają niestały skład i stanowią mieszaninę związków o różnym składzie.

Celem określenia całkowitej ilości żelaza, które jest związane z materią organiczną, podano sumę tego składnika, wydzielonego w czasie trzech następujących po sobie ekstrakcji (tab.18). Ilości Fe związanego z próchnicą są zróżnicowane w obrębie profilów badanych mad, przy czym najmniejsze ilości tych połączeń występują w silnie spiaszczonych madach z Grabowa. Jednocześnie stwierdza się niewielkie nagromadzenie połączeń organicznych żelaza w madach brunatnych, głównie w poziomach cambic.

Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała istotną, wysoką korelację między ilością Fe_g a zawartością frakcji o $\phi < 0,02$ mm zarówno dla mad właściwych jak i brunatnych (tab.19). Jednocześnie stwierdzono brak istotnej korelacji między zawartością żelaza związanego z próchnicą, a ilością węgla organicznego (C_{org}) dla mad brunatnych oraz istotną korelację dla mad właściwych.

8.3. Zawartość żelaza całkowitego

Mady Doliny Dolnej Wisły mają bardzo zróżnicowaną zawartość całkowitego żelaza (895 - 3819 mg/100 g gleby), co jest przede wszystkim związane z pochodzeniem materiału. Istotnym parametrem wydaje się wyznaczony w oparciu o ilość Fe całkowitego tzw. stopień uruchomienia żelaza, wyrażony udziałem wolnego żelaza w całkowitej zawartości tego składnika Fe_d/Fe_c (tab.16). Parametr ten obrazuje przebiegające procesy transformacji materiału glebowego, w tym uwalnianie tlenków Fe w trakcie wietrzenia krzemionów [11] i może być wskaźnikiem zachodzącego brunatnienia [3, 147].

Stopień uruchomienia związków żelaza w madach Doliny Dolnej Wisły jest nieduży (0,4 - 0,5) w porównaniu do gleb wytworzonych z glin zwałowych (profile Batkowo, Tarkowo), co związane jest przede wszystkim z wiekiem mad (utwory młode) oraz wysokim pH, nie sprzyjającym procesom transformacji i uwalniania żelaza.

9. CAŁKOWITA POWIERZCHNIA WŁAŚCIWA GLEB

Całkowita powierzchnia właściwa badanych mad Doliny Dolnej Wisły waha się w dość szerokich granicach (8 - 96 m^2/g - tab.2), co jest zbieżne z wynikami uzyskanymi przez innych autorów dla gleb aluwialnych [45, 46].

Ekstrakcja sekwencyjna połączeń Fe z substancją organiczną (Fe-OM)
Sequence extraction of Fe combined with organic matter (Fe-OM)

Fe-OM ^{1/}	Wszystkie mady All alluvial soils		Mady właściwe Typical alluvial soils		Mady brunatne Brown alluvial soils		Poziom B _{br} mad brunatnych B _{br} horizon of brown alluvial soils	
	średnio mean	zakres range	średnio mean	zakres range	średnio mean	zakres range	średnio mean	zakres range
Fe _{cb}	46,5	8,0 - 93,0	52,8	16,0 - 90,0	40,0	8,0 - 93,0	37,8	8,0 - 93,0
Fe _p	200,5	84,0 - 457,5	168,5	84,0 - 457,5	232,5	92,0 - 430,0	245,1	143,5 - 420,0
Fe _{OH}	33,9	4,4 - 129,5	25,9	4,4 - 129,5	41,7	8,6 - 121,3	40,7	22,5 - 56,4
Fe _o	287,6	108,8 - 757,5	261,5	108,8 - 757,6	313,6	191,0 - 573,0	323,6	233,5 - 474,5
C _{cb}	109,0	9,5 - 256,8	111,3	9,5 - 327,8	105,6	61,7 - 256,1	95,5	59,8 - 162,0
C _p	168,6	5,8 - 514,6	162,4	24,9 - 514,6	174,6	5,8 - 326,0	149,5	70,3 - 224,9
C _{OH}	85,9	9,6 - 221,0	74,4	10,1 - 309,0	119,8	43,5 - 204,2	97,2	49,7 - 138,9
Fe _{cb} /Fe _p	0,22	0,22 - 0,94	0,39	0,06 - 0,83	0,43	0,02 - 0,72	0,22	0,02 - 0,65
Fe _o /Fe _d	0,38	0,18 - 0,65	0,40	0,20 - 0,88	0,28	0,18 - 0,61	0,37	0,20 - 0,65
Fe _o /Fe _c	0,12	0,06 - 0,26	0,11	0,06 - 0,26	0,12	0,07 - 0,17	0,13	0,10 - 0,16

1/ Fe_{cb}, Fe_p, Fe_{OH} - żelazo ekstrahowane odpowiednio roztworami czteroboranu, pirofosforanu, wodorotlenku sodu
Fe extracted with tetraborate, pyrophosphate and sodium hydroxide solution, respectively

Fe_o - żelazo związane z substancją organiczną
Fe combined with organic matter

Fe_c - żelazo całkowite
total Fe

Tabela 19
Table 19

Współczynniki korelacji liniowej między składem mad a zawartością żelaza
Linear correlation coefficients between soil components and iron content

Frakcja gleby Fraction of soil (μ m)	Fe _g			Fe _d			Fe _o		
	Wszystkie mady Alluvial soils	Mady właściwe Typical alluvial soils	Mady brunatne Brown alluvial soils	Wszystkie mady Alluvial soils	Mady właściwe Typical alluvial soils	Mady brunatne Brown alluvial soils	Wszystkie mady Alluvial soils	Mady właściwe Typical alluvial soils	Mady brunatne Brown alluvial soils
20 - 5	0,680 ^{xx}	0,772 ^{xx}	0,465 ^{xx}	0,728 ^{xx}	0,770 ^{xx}	0,534 ^{xx}	0,602 ^{xx}	0,657 ^{xx}	0,417 ^x
5 - 2	0,699 ^{xx}	0,839 ^{xx}	0,293	0,652 ^{xx}	0,837 ^{xx}	0,130	0,692 ^{xx}	0,759 ^{xx}	0,503 ^{xx}
< 2	0,772 ^{xx}	0,718 ^{xx}	0,799 ^{xx}	0,569 ^{xx}	0,727 ^{xx}	0,370 ^x	0,567 ^{xx}	0,638 ^{xx}	0,650 ^{xx}
2 - 0,5	0,772 ^{xx}	0,721 ^{xx}	0,734 ^{xx}	0,585 ^{xx}	0,697 ^{xx}	0,230	0,660 ^{xx}	0,767 ^{xx}	0,585 ^{xx}
0,5 - 0,2	0,567 ^{xx}	0,196	0,725 ^{xx}	0,439 ^{xx}	0,243	0,367 ^x	0,217	0,033	0,328
< 0,2	0,717 ^{xx}	0,677 ^{xx}	0,718 ^{xx}	0,567 ^{xx}	0,703 ^{xx}	0,269	0,500 ^{xx}	0,524 ^{xx}	0,668 ^{xx}
C _{org}	0,454 ^{xx}	0,518 ^{xx}	0,279	0,441 ^{xx}	0,498 ^{xx}	0,271	0,422 ^{xx}	0,576 ^{xx}	0,099

x, xx - istotne odpowiednio przy $\alpha = 0,05$ i $\alpha = 0,01$
significant at a level $\alpha = 0,05$ and $\alpha = 0,01$, respectively

Najwyższą powierzchnią właściwą charakteryzują się próbki mad zasobne we frakcję Włastą, szczególnie zawierającą znaczące ilości smektytu oraz wermikulit (Starogród 1 i 2). Znacznie mniejsze powierzchnie właściwe mają próbki z Grabowa. Jest to związane zarówno z ich uziarnieniem (mniejsza zawartość frakcji ilastej) jak też składem mineralogicznym.

Zwraca uwagę stosunkowo mało zmieniająca się wraz z głębokością w profilu wielkość powierzchni właściwej gleby z Fiszewa i Starego Pola. Odpowiada to dość jednolitemu, w porównaniu do pozostałych mad, uziarnieniu oraz zbliżonemu składowi mineralogicznemu.

Zbliżoną do mad Doliny Dolnej Wisły wielkość powierzchni właściwej mają próbki mady ze Sládkovičova n/Dunajem ($56,6 - 62,2 \text{ m}^2/\text{g}$). Natomiast gleby płowe z miejscowości Grabów k/Puław oraz z Tarkowa wykazały niższą i zróżnicowaną w obrębie profilu powierzchnię właściwą, z charakterystycznym jej obniżeniem w poziomie E_{et} . Całkowita powierzchnia właściwa gleby brunatnej z Batkowa była wyrównana w całym profilu i wahała się w zakresie $24,4 - 32,2 \text{ m}^2/\text{g}$.

9.1. Udział tlenków żelaza w całkowitej powierzchni właściwej gleb

Dla określenia wpływu obecności tlenków żelaza na wielkość powierzchni właściwej mad przeprowadzono deferrację wybranych próbek gleb i wyznaczono wielkości powierzchni właściwej. Wyniki zestawiono w tabeli 20.

Usunięcie tlenków żelaza metodą Mehra-Jacksona spowodowało zmniejszenie wielkości powierzchni właściwej wszystkich badanych próbek. Sugeruje to, że tlenki Fe występują w postaci drobnych, oddzielnych cząstek, których wielkość jest mniejsza aniżeli średnie wymiary (średnica) ziaren glabowych, pozostałych w próbce po deferracji.

Zmniejszenie się całkowitej powierzchni właściwej gleb w wyniku ekstrakcji wolnych tlenków żelaza jest w zgodzie z wynikami uzyskanymi przez Desphande i innych [42], Borggaard [17] oraz Galleza i współautorów [57]. Stosując połączenie metody selektywnego rozpuszczania i mikroskopii elektronowej, Greenland i współautorzy [66, 67, 68] stwierdzili, że tlenki Fe obecne we frakcji ilastej gleb występują głównie w postaci oddzielnych cząstek. Jednocześnie Borggaard [17], a także Pyman i Posner [117], wyznaczając powierzchnie tlenków Fe metodą adsorpcji N_2 oraz adsorpcji pary wodnej, udowodnili że zarówno amorficzne jak i wolne tlenki żelaza występujące w glebie mają jedynie powierzchnię zewnętrzną.

Bardziej radykalne zmniejszenie powierzchni właściwej nastąpiło po usunięciu tlenków żelaza metodą Tamma, szczególnie dla prób ze Starogrodu, co wskazuje, że na wielkość powierzchni właściwej tych gleb duży wpływ mają amorficzne tlenki żelaza.

Zakładając, że powierzchnia gleby jest wielkością addytywną, a zmniejszenie powierzchni właściwej w wyniku ekstrakcji jest jedynie związane z usunięciem tlenków Fe, które występują w postaci oddzielnych ziaren, można obliczyć powierzchnię właściwą tlenków żelaza. Oszacowane przy takim założeniu powierzchnie właściwe tlenków żelaza zestawiono w tabeli 20.

Całkowita powierzchnia właściwa próbek naturalnych (S_n),
ekstrahowanych cytrynianem sodu (S_d), szczawianem amonu (S_s)
oraz wyliczone powierzchnie właściwe tlenków żelaza

Specific surface area of natural samples (S_n), after citrate-ditionite
extraction (S_d), after ammonium oxalate extraction (S_s)
and calculated specific surface area of iron oxides

Gleba Soil	Poziom (warstwa) Horizon (layer)	Całkowita powierzchnia właściwa Specific surface area (m ² /g)				
		S_n	S_d	S_s	$S_{Fe_d}^*$	$S_{Fe_s}^{**}$
Łęgnowo 1	A	51,7	39,1	38,7	121,4	245,0
	C ₂	34,8	28,8	28,8	75,0	122,6
Łęgnowo 2	B _{br}	47,1	24,9	23,0	261,1	385,0
	C ₂	45,7	20,8	25,5	285,7	302,3
Starogród 1	C ₃	82,2	50,1	31,0	255,0	818,7
Starogród 2	A	31,1	24,8	31,2	68,0	-
	B _{br1}	39,5	35,1	34,9	78,2	111,5
	C ₂	75,3	46,5	37,3	271,5	613,0
Grabowo 2	C ₁	22,4	12,5	22,4	199,2	-
	IVC ₆	28,9	13,9	19,1	159,1	200,6
Fiszewo	B _{br}	54,8	30,5	47,3	186,3	146,0
	IIC ₂	45,1	23,0	28,2	227,6	218,1
Stare Pole	A/B _{br}	64,9	45,0	42,5	161,4	359,0
	B _{br}	69,7	34,7	40,1	281,2	632,2

* S_{Fe_d} - całkowita powierzchnia właściwa tlenków Fe ekstrahowanych cytrynianem, obliczona wg T. J. Rice i wsp. [119]:
specific surface area of Fe oxides, extracted by citrate, calculated according to T. J. Rice and coworkers [119]:

$$S_{Fe_d} = \frac{(S_n - S_d) \cdot (1 - W)}{W}$$

gdzie: S_n - powierzchnia właściwa naturalnej próbki gleby
where: specific surface area of natural soil sample
 S_d - powierzchnia właściwa próbki po ekstrakcji cytrynianem
specific surface area after citrate extraction
W - strata masy próbki w wyniku ekstrakcji, wyrażona jako frakcja masy
gravimetric weight loss, expressed as a fraction of weight

**

S_{Fe_s} - całkowita powierzchnia właściwa tlenków Fe ekstrahowanych szczawianem, obliczona analogicznie jak S_{Fe_d}
specific surface area of oxalate extracted Fe oxides, calculated as S_{Fe_d}

Wahają się one w granicach 68,0 - 285,7 m²/g.

Stosunkowo wysokie wartości powierzchni właściwej wolnych tlenków Fe niektórych mad (Starogród 1, Fiszewo, Łęgnowo 2) sugerują, że udział w nich form krystalicznych, które mają niewielką powierzchnię właściwą (getyt 14 - 77 m²/g [17], a hematyt 34 - 45 m²/g [20]) jest niewielki. W glebach tych dominują w sposób przeważający tlenki Fe ekstrahowane kwaśnym szczawianem amonu ($Fe_g/Fe_d \sim 0,85$) (por. tab.16).

Zbliżone wartości całkowitej powierzchni właściwej, obliczonej tą samą jak w niniejszej pracy metodą, podali dla wolnych tlenków żelaza Desphande i wsp. [42] (100 - 300 m²/g), Rice i wsp. [122] (82 - 261 m²/g), a także Bigham i wsp. [11].

W podobny sposób oszacowano wielkości powierzchni właściwej amorficznych tlenków żelaza mad (Fe_g) - tabela 20. Wahają się one od 111,5 do 818,7 m²/g i są wyższe aniżeli powierzchnia tlenków Fe ekstrahowanych cytrynianem sodu (Fe_d), za wyjątkiem gleby z Fiszewa. Dla dwóch próbek nie stwierdzono zmiany powierzchni po usunięciu amorficznych tlenków Fe, co może sugerować, że tlenki żelaza występują w postaci otoczek na ziarnach minerałów. Dla tych próbek nie jest możliwe oszacowanie wielkości powierzchni właściwej tlenków Fe.

Analizując zawartość węgla organicznego oraz wielkość powierzchni właściwej amorficznych tlenków żelaza w madach nie stwierdzono między nimi odwrotnie proporcjonalnej zależności, jak podają Susser i Schwertmann [150].

Zakładając, że ekstrakcja szczawianem amonu jest selektywna dla ferryhydrytu, który otrzymany syntetycznie ma wysoką powierzchnię właściwą rzędu 200 - 300 m²/g [129], a niekiedy 600 m²/g [40, 133], można przypuszczać, że jeśli oprócz ferryhydrytu jest obecny w glebie lepidokrocyt, to on również może być ekstrahowany.

Nieco wyższe wartości powierzchni właściwej amorficznych tlenków żelaza gleb duńskich wyznaczył Borggaard [17]. Jest to być może związane z zastosowaniem innego ekstrahentu (EDTA) do wydzielania tlenków Fe.

10. CHARAKTERYSTYKA ŁADUNKU POWIERZCHNIOWEGO GLEB

10.1. Miareczkowanie potencjometryczne gleb

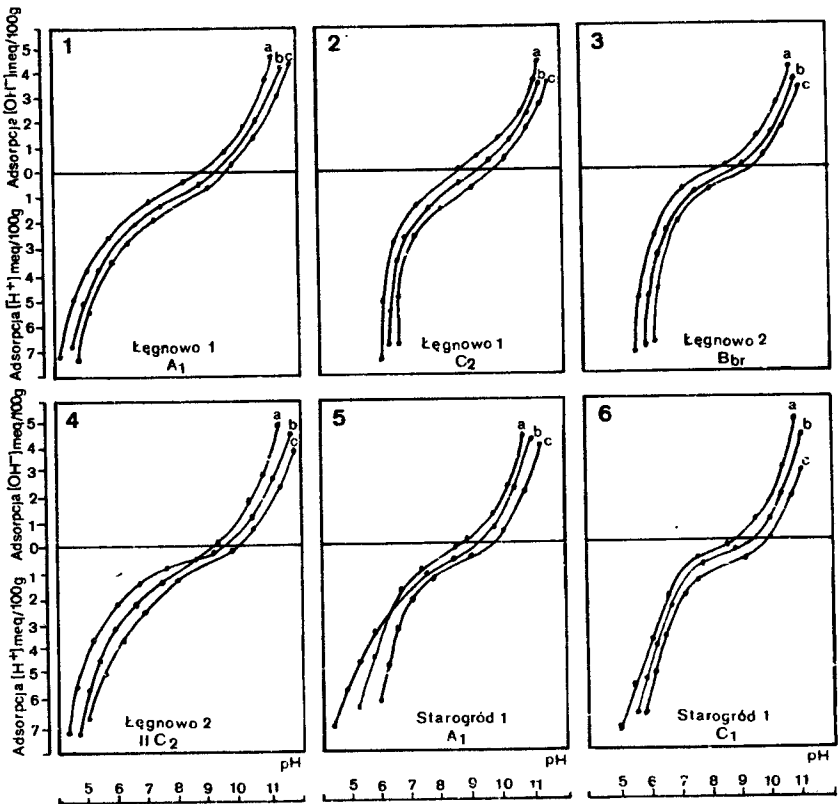
Przeprowadzone w niniejszej pracy studia ładunku powierzchniowego gleb aluwialnych Doliny Dolnej Wisły przedstawiono w postaci wykresów miareczkowania kwasowo-zasadowego (rys.27 - 30).

Miareczkowanie potencjometryczne zawiesiny glebowej, w roztworze elektrolitu obojętnego o różnej sile jonowej, dało dla każdej próbki rodzinę krzywych; w części alkalicznej są one równoległe do siebie, a w części kwasowej mają charakter zbieżny, lub biegną równoległe. Zbieżność

krzywych przy niskich wartościach pH świadczy o występowaniu znacznych ilości składników o stałym ładunku ujemnym [89].

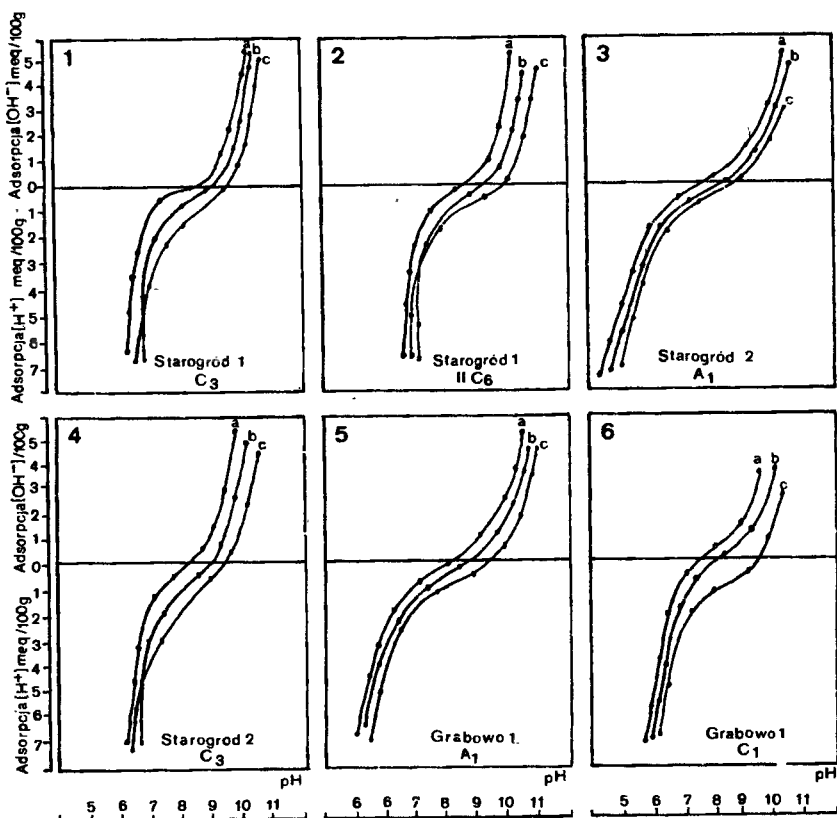
Charakterystyczny jest stromy przebieg krzywych miareczkowania w części alkalicznej; stosunkowo niewielka ilość dodawanych jonów OH^- powoduje wzrost pH zawiesiny. Decyduje o tym przewaga ładunku ujemnego powierzchni w stosunku do ładunku dodatniego.

Interpretację przebiegu krzywych miareczkowania potencjometrycznego mad oraz zachodzących reakcji powierzchniowych można przeprowadzić, traktując glebę jako mieszaninę składników o ładunkach stałych, które tworzą się w wyniku defektów wewnątrzsielowych w strukturze minerałów oraz o ładunkach zmiennych, będących wynikiem adsorpcji jonów potencjałotwórczych (ang. potential determining ions - pdi).



Rys.27. Krzywe miareczkowania kwasowo-zasadowego mad
a,b,c - odpowiednio w roztworze 1 M; 0,1 M; 0,01 M NaCl

Fig.27. Acid-base titration curves of alluvial soils
a,b,c - in 1 M; 0,1 M; 0,01 M NaCl solution, respectively



Rys.28. Krzywe miareczkowania kwasowo-zasadowego nad a,b,c - odpowiednio w roztworze 1 M; 0,1 M; 0,01 M NaCl

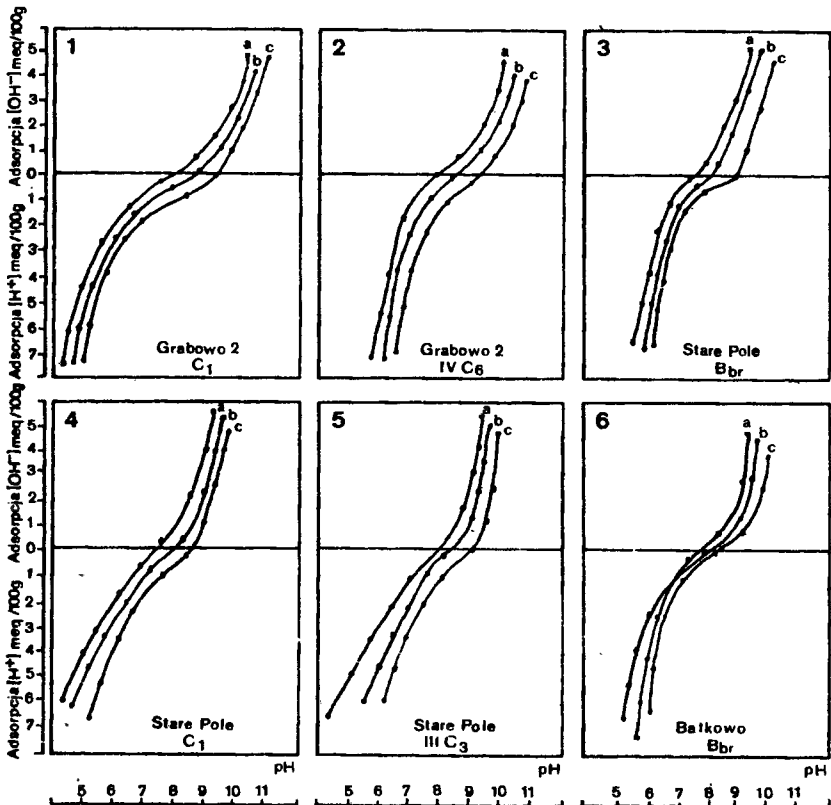
Fig.28. Acid-base titration curves of alluvial soils a,b,c - in 1 M; 0,1 M; 0,01 M NaCl solution, respectively

W trakcie miareczkowania potencjometrycznego następuje adsorpcja jonów H^+ i OH^- (jonów pdi) na powierzchni cząstek zgodnie z modelem Sterna, użytym przez Bowdena i wsp. [18] oraz Madrida i wsp. [95]. Jony pdi są adsorbowane zarówno na powierzchni tlenków żelaza i glinu, jak i na krawędziach minerałów ilastych. Curtin i Smilie [38] stwierdzili znaczący udział ładunków zmiennych o pochodzeniu „nieorganicznym” w glebach strefy umiarkowanej.

Wcześniejsze prace wskazują też na obecność ładunków zmiennych na powierzchni kaolinitu [149] oraz illitu i smektytu [118]. W całkowitym ładunku oraz adsorpcji jonów pdi bierze też udział substancja organiczna i kompleksy organiczno-mineralne [56, 59, 89].

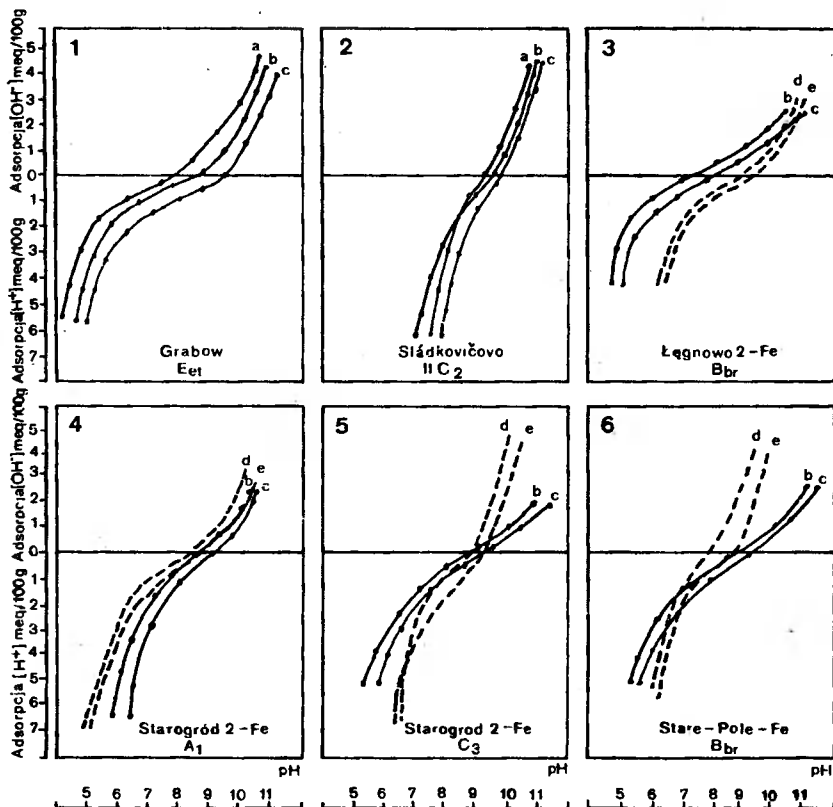
Zróżnicowane zawartości składników decydujących o ładunku zmiennym badanych gleb aluwialnych mają wpływ na kształt i nachylenie krzywych miareczkowania. Poszczególne komponenty gleby, poprzez grupy funkcyjne o różnej tendencji do reakcji protonacji/deprotonacji mają indywidualny, choć nie addytywny wkład w ładunek gleby.

Ubogie w wolne tlenki żelaza i próchnicę oraz silnie spiaszczone próbki mąd z Grabowa 2 dają w wyniku miareczkowania krzywe płaskie, położone blisko osi (pH), natomiast mady zasobne w te składniki (próbki Starogród 2) dają krzywe o przebiegu stromym. Wysokiej zawartości wolnych tlenków żelaza towarzyszy nieco bardziej stromy przebieg krzywych miareczkowania, a więc większa adsorpcja jonów potencjalotwórczych (próbki ze Starogrodu). Nieco inny przebieg mają krzywe dla mady ze Starego Pola (rys.29). Kąt nachylenia względem osi układu jest bardziej ostry, a krzywe wykazują tendencje rozbieżne w części kwasowej. Krzywe dla próby C_2 z Łęgnowa 2 przecinają się tuż poniżej punktu zerowego miareczkowania (rys.27). Na podstawie dotychczasowych badań trudno jest wyjaśnić taki przebieg krzywych. Zdecydowanie inny kształt mają krzywe miareczkowania próbek gleby porównawczej z Grabowa k/Puław. Kąt nachylenia względem osi odciętych jest najniższy spośród wszystkich badanych prób, a adsorpcja jonów jest najmniejsza.



Rys.29. Krzywe miareczkowania kwasowo-zasadowego gleb
a,b,c - odpowiednio w roztworze 1 M; 0,1 M; 0,01 M NaCl

Fig.29. Acid-base titration curves of soils
a,b,c - in 1 M; 0,1 M; 0,01 M NaCl solution, respectively



Rys.30. Krzywe miareczkowania kwasowo-zasadowego gleb oraz próbek pozbawionych wolnych tlenków żelaza. Na wykresach 3-6 liniami przerywanymi (d, e) zaznaczono przebieg miareczkowania gleb przed deferracją

Fig.30. Acid-base titration curves of soils and samples free of iron oxides. Dotted lines (d, e) on 3-6 fig. show titrations curves of soils before deferration

Dla badanych gleb aluwialnych nie stwierdzono przecięcia się trzech krzywych miareczkowania, lecz co najwyżej dwóch. Punkty przecięcia istnieją tylko dla próbek ze Starogrodu 1.

W związku z tym nie jest możliwe wyznaczenie punktu zerowego ładunku (ZPC) metodą miareczkowania potencjometrycznego [142]. Nie można również oszacować wielkości ładunków ujemnych. Wynika to ze złożoności mieszaniny badanych gleb i dominacji koloidów o stałych ładunkach powierzchni.

Krzywe miareczkowania większości próbek gleb mają charakter zbieżny, co sugeruje występowanie punktów przecięcia przy pH poniżej obszaru analizowanego. Taki przebieg krzywych może być związany z wysoką zawartością minerałów typu illitu. Jak wykazały studia Hendershota i Lavkulicha [70] minerał ten nie dawał punktu ZPC. Obniżenie punktu ZPC nad poniżej zakresu objętego badaniami może mieć też związek z obecnością materii organicznej [158]. Obecność niewielkich ilości specyficznie adsorbowanych jonów Si,

Mg, Ca na powierzchni tlenków Fe może również wpływać na obniżenie ZPC.

Dodawane w trakcie miareczkowania jony H^+ i OH^- mogą być zużyte nie tylko na zmianę ładunku powierzchniowego. Jednocześnie pewna ilość jonów może wchodzić w reakcję wymiany między H^+ i kationami, które równoważą ładunek minerałów ilastych; może to „zużywać” jony H^+ bez wpływu na ładunek powierzchni. W trakcie miareczkowania kwasem może też zachodzić rozpuszczanie niektórych drobnokrystalicznych glinokrzemianów. Jony H^+ mogą brać również udział w reakcji z zaadsorbowanymi jonami $Al(OH)_2^+$. Ta ostatnia reakcja w przypadku badanych mać przebiega tylko w nieznacznym stopniu.

10.2. Wpływ tlenków żelaza na przebieg miareczkowania potencjometrycznego

W glebach ziarna mineralne są zwykle pokryte w mniejszym lub większym stopniu produktami pedogenezy (między innymi tlenkami żelaza). Dla określenia wpływu obecności wolnych tlenków żelaza na charakter ładunków powierzchniowych mać Doliny Dolnej Wisły przeprowadzono deferrację wybranych próbek gleb. Zdeferrowane (metodą Mehra-Jacksona) próbki miareczkowano, a krzywe przedstawiono na rysunku 30.

Porównanie otrzymanych krzywych z przebiegiem miareczkowania naturalnych próbek gleby wskazuje, że usunięcie tlenków Fe powoduje znaczne zmiany w nachyleniu i kształcie krzywych. Przebiegają one płasko i dla danej próby są prawie równoległe do siebie. Zmianę we właściwości powierzchni po usunięciu tlenków żelaza dało się zauważyć już w trakcie miareczkowania. Stosunkowo niewielkie ilości dodawanego titranta powodowały szybką (w porównaniu do próbki naturalnej) zmianę pH zawiesiny glebowej. Świadczy to o znacznie mniejszych zdolnościach buforowych próbki pozbawionej wolnych tlenków żelaza.

W studiach modelowych Hendershot i Lavkulich [70] badali wpływ obecności półtoratlenków (w tym tlenków żelaza) na ładunek illitu oraz gleb naturalnych. Stwierdzili oni identyczną tendencję wzrostu zdolności buforowych i bardziej stromy przebieg krzywych miareczkowania próbek zawierających tlenki żelaza.

11. KATIONOWA POJEMNOŚĆ WYMIENNA, ZWIĄZANA ZE STAŁYMI I ZMIENNYMI ŁADUNKAMI GLEBY

Kationowa pojemność wymienna gleby jest funkcją rozkładu i charakteru ładunku powierzchniowego jej składników. Zastosowana w niniejszej pracy procedura analityczna umożliwia określenie udziału ładunków stałych oraz zmiennych, zależnych od pH, w całkowitej pojemności wymiennej gleby.

Analizowane gleby aluwialne Doliny Dolnej Wisły mają stosunkowo zróżnicowaną kationową pojemność wymienną (PWK_C), która waha się od 4,5 do

29,8 cmol(+) · kg⁻¹ gleby (tab.2). Wierzchnie poziomy gleb mają zwykle nieco wyższą pojemność, co wynika z obecności próchnicy. Najwyższą pojemnością wymienną charakteryzują się próbki zasobne w mineralną frakcję ilastą, w której występują znaczne ilości smektytu oraz struktur mieszanopakietowych typu illit-smektyt (gleby ze Starogrodu). Towarzyszy temu akumulacja substancji organicznej, również w poziomach głębiej położonych oraz stosunkowo duże ilości żelaza wolnego.

We wszystkich badanych glebach udział ładunków stałych w całkowitej pojemności wymiennej (PWK_c) jest przeważający (za wyjątkiem poziomów wierzchnich). Udział ten wzrasta wraz ze wzrostem głębokości w profilu.

Najwyższą wartość PWK_c wykazywały próbki ze Starogrodu 1, co jest konsekwencją akumulacji mineralnej frakcji ilastej zasobnej w smektyt, jak również stosunkowo wysokiej zawartości wolnych tlenków żelaza.

Najniższe wartości kationowej pojemności wymiennej, związanej ze stałymi ładunkami (PWK_s) stwierdzono dla próbek z Grabowa 2. Gleba ta charakteryzuje się niską zawartością mineralnej frakcji ilastej, której skład mineralogiczny i stosunkowo mała zawartość minerałów typu smektytu tłumaczy niewielkie właściwości sorpcyjne.

Analizując wartości kationowej pojemności wymiennej, związanej ze zmiennymi ładunkami gleby (PWK_z) widać, że udział tych ładunków jest dla wszystkich badanych gleb niski i tylko dla niektórych gleb, głównie przy powierzchniowych, o największej zawartości próchnicy, przekracza 50 % (tab.2). Wyjątkami są: gleba Grabowo 2, w której udział kationowej pojemności wymiennej, zależnej od pH, jest znaczący, równomierny w całym profilu i waha się od 44,3 do 55,5 % oraz gleba Grabowo 1 (próbki C₄, C₅, C₆), dla której udział PWK_z jest w zakresie 53,5 - 75,2 %. W pojemności wymiennej tej masy, z uwagi na stosunkowo niską zawartość mineralnej frakcji koloidalnej oraz próchnicy, znaczący udział mogą mieć tlenki żelaza, występujące w aktywnej, tj. amorficznej formie (tab.16).

11.1. Udział próchnicy w kationowej pojemności wymiennej

Dla określenia udziału próchnicy w kationowej pojemności wymiennej gleb aluwialnych Doliny Dolnej Wisły usunięto w wybranych próbkach substancję organiczną przez jej mineralizację 30 % H₂O₂ (co nie ma wpływu na skład mineralogiczny frakcji ilastej [153]) i oznaczono pojemności tak zmodyfikowanych próbek.

Usunięcie materii organicznej generalnie powoduje obniżenie PWK_c (tab.21). W przypadku próbek Starogród 1 i Fiszewo stwierdzono tylko nieznaczne zmniejszenie całkowitej pojemności wymiennej, natomiast dla pozostałych gleb pojemność wymienna zmalała w większym stopniu po zniszczeniu próchnicy.

Kationowa pojemność wymienna (PWK_C) związana ze stałymi (PWK_S)
i zmiennymi (PWK_Z) ładunkami wybranych miedzi pozbawionych próchnicy

Cation exchange capacity (PWK_C) due to permanent (PWK_S)
and variable (PWK_Z) charges of selected alluvial soils
after removal of organic matter

Poziom (warstwa)	PWK_C	PWK_S	PWK_Z	Udział ładunków w PWK_C Contribution of charges in PWK_C (%)		PWK_{org} $cmol(+) \cdot g^{-1}$
				sta- łych perma- nent	zmiennych vari- able	
Horizon (layer)	$cmol(+) \cdot kg^{-1}$					
Łęgnowo 1 mada właściwa - typical alluvial soil						
A_p	20,0 (125,0) [Ⓜ]	14,5 (90,6)	5,5 (24,4)	72,5	27,5	6,5
C_2	16,7 (104,4)	6,1 (38,1)	10,6 (66,2)	36,5	63,5	4,3
Starogród 1 mada właściwa - typical alluvial soil						
A_p	20,7 (138,0)	17,0 (113,3)	7,7 (51,3)	82,1	17,9	0,5
C_3	24,9 (276,7)	13,0 (144,4)	11,9 (132,2)	52,2	47,8	3,2
Grabowo 2 mada właściwa - typical alluvial soil						
C_1	7,2 (90,0)	3,6 (45,0)	3,6 (45,0)	50,0	50,0	7,4
IVC_6	11,1 (85,0)	5,0 (38,5)	6,1 (46,9)	45,0	55,0	6,2
Fiszewo mada brunatna - brown alluvial soil						
A	25,1 (139,4)	12,0 (66,7)	13,1 (72,8)	47,8	52,2	0,6
C_1	29,5 (101,7)	6,7 (23,1)	22,8 (78,6)	22,7	77,3	1,1
Stare Pole mada brunatna - brown alluvial soil						
B_{br}	20,3 (61,5)	9,9 (30,0)	10,4 (51,5)	48,8	51,2	6,0
IIC_2	17,8 (81,5)	8,4 (42,0)	9,4 (47,0)	47,2	52,8	2,3

[Ⓜ] Wartości w nawiasach odpowiadają PWK wyrażonej w $cmol(+) \cdot kg^{-1}$ frakcji ilu

Figures between parantheses refer to values in $cmol(+) \cdot kg^{-1}$ clay

^{ⓂⓂ} Kationowa pojemność wymienna wyrażona w $cmol(+) \cdot g^{-1}$ węgla organicznego
Cation exchange capacity refers to $cmol(+) \cdot g^{-1}$ of organic carbon

Badania Stevensona [144] wykazały, że współczynnik, który opisuje udział C_{org} w kationowej pojemności wymiennej gleb, przyjmuje wartość od 1,12 do 5,5 $cmol(+)/1 g C_{org}$. Współczynnik wyznaczony w oparciu o studia gleb aluwialnych waha się w szerszych granicach (tab.21). Zatem próchnica ma zróżnicowany udział w całkowitej pojemności wymiennej mad Doliny Dolnej Wisły.

Zniszczenie substancji próchnicznych powoduje obniżenie kationowej pojemności wymiennej, związanej ze stałymi ładunku (PWK_g). Zatem obserwuje się tutaj efekt synergistyczny próchnicy i mineralnej frakcji ilastej na wielkość ładunków stałych, co odzwierciedla większa kationowa pojemność PWK_g , gdy próchnica jest obecna w glebie. Zjawisko to jest charakterystyczne dla gleb o mieszanym składzie mineralogicznym, w których występują minerały z grupy illitu, montmorylonitu, kaolinitu [153]. Wyjątkiem jest próbka A_p ze Starogrodu 1, dla której zniszczenie substancji organicznych powoduje wzrost PWK_g . W oparciu o tezę Tana i Dowlinga [153] można przypuszczać, że ładunki stałe mineralnej frakcji ilastej, w której jest znaczny udział minerałów z grupy smektytu, są częściowo blokowane w wyniku oddziaływania z próchnicą (efekt antagonistyczny).

Jeśli kationową pojemność wymienną próbek pozbawionych próchnicy wyrazić w $cmol(+)\cdot kg^{-1}$ frakcji ilastej, jak to sugerują prace amerykańskie, wówczas różnice w pojemności wymiennej są wyraźniejsze (tab.21). Najwyższą pojemnością wymienną (w przeliczeniu na 1) charakteryzuje się gleba ze Starogrodu 1, zasobna w smektyt, wermikulit i minerały mieszanopaketowe typu illit-smektyt. Zwraca uwagę wzrost PWK_c i PWK_g wraz z głębokością w profilach Łęgnowo 1 i Starogród 1, co związane jest ze wzrastającą ilością tych minerałów w głębiej położonych warstwach.



III. D Y S K U S J A

Dla wyodrębnienia cech, które mogłyby stanowić kryteria diagnostyczne, pomocne przy klasyfikacji gleb aluwialnych, konieczne jest powiązanie ich składu i właściwości z przebiegającymi procesami pedogenezy, a także określenie udziału procesów geologicznych oraz jednostkowych procesów glebowych w kształtowaniu mad.

1. UZIARNIENIE MAD

Rozpatrując profilowe rozmieszczenie ziaren glebowych o różnej średnicy (w tym frakcji iłu koloidalnego), należy wziąć pod uwagę następujące procesy, które mogły mieć na to wpływ:

- 1) procesy sedymentacyjne, prowadzące do wytworzenia poszczególnych warstw różniących się uziarnieniem,
- 2) tworzenia iłu „in situ” na drodze wietrzenia (brak przemieszczenia),
- 3) przemieszczanie się cząstek (głównie najdrobniejszych) w głąb profilu, w wyniku procesów przemywania.

Ponieważ frakcja ilasta gleby jako mieszanina ziaren o różnej średnicy i różnym składzie nie może być traktowana jako homogeniczna, istotnym wydaje się określenie ewentualnego wpływu tych procesów na rozmieszczenie najdrobniejszej, najbardziej mobilnej frakcji, tj. podfrakcji drobnej ($d < 0,2 \mu\text{m}$). Analizując rozkład tej frakcji w obrębie poszczególnych profili trudno jest jednakże definitywnie określić, czy np. pewne wzbogacenie warstwy C gleby Starogród 1, czy też IIC mady Starogród 2 w tę frakcję wynika z przemieszczania się najdrobniejszych ziaren kosztem poziomów wyżej położonych, czy też jest związane z procesami geologicznymi (sedymentacją). Rozmieszczenie frakcji grubych w tych profilach sugeruje raczej zasadniczy udział procesów sedymentacji. Jednocześnie nie stwierdza się wyraźnego wzbogacenia we frakcję ilastą poziomów B_{br} mad brunatnych (profile Łęgnowo 2, Starogród 2, Fiszewo, Stare Pole), co jest charakterystyczne dla gleb brunatnych pochodzenia niealuwialnego [31, 105].

2. SKŁAD CHEMICZNY MAD

Jak wiadomo rozmieszczenie składników w glebie jest funkcją składu skały macierzystej oraz zachodzących procesów glebotwórczych, które prowadzą do selektywnego usuwania niektórych składników i akumulacji innych [8]. Skład masy glebowej utworów aluwialnych jest wynikiem zarówno procesów geologicznych jak i glebotwórczych. Niezwykle trudno jest ocenić, czy zróżnicowanie uziarnienia oraz składu chemicznego i mineralogicznego w obrębie profilu wynika z geologicznej niejednorodności materiału aluwialnego, czy też procesów wietrzeniowych „in situ” lub przemieszczania się składników w trakcie procesów glebotwórczych. Oszacowanie stopnia wietrzenia materiału prowadzi się zwykle przez porównanie składu chemicznego i mineralogicznego poszczególnych poziomów ze składem skały macierzystej. Dla gleb wytworzonych na transportowanych i ponownie osadzanych aluwiach, w których następują procesy transformacji składników, materiał skały macierzystej jest bezpowrotnie stracony. Byłoby tutaj konieczne wyznaczenie tzw. wskaźników dojrzałości materiału glebowego („maturity index”), wprowadzonych przez Wakatsuki i współprac. [160]. Badania takie wykraczałyby jednak znacznie poza tematykę niniejszej pracy.

Biorąc pod uwagę zaproponowany przez Cheswortha [29, 30] podział pierwiastków głównych, występujących w glebie, na trzy grupy różniące się mobilnością i rozpatrując zawartości najbardziej odpornych na wietrzenie składników (tj. SiO_2 , Fe_2O_3 i Al_2O_3) oraz mając przesłanki, że gleby aluwialne Doliny Dolnej Wisły są stosunkowo młode geologicznie [49, 50, 123], a więc procesy wietrzenia są słabo zaawansowane, należy przypuszczać, że profilowe rozmieszczenie składników wynika przede wszystkim z procesów aluwialnych. Zatem zróżnicowanie składu chemicznego mad ze Starogrodu oraz Grabowa to głównie rezultat niejednorodności materiału osadzanego w trakcie kolejnych wylewów i akumulacyjnej działalności rzeki. Natomiast gleby z Łęgnowa oraz z terenu Żuław, o stosunkowo jednolitym składzie masy glebowej w obrębie profilu, to wynik zarówno większej jednorodności geologicznej osadów, jak też wpływu transformacji materiału wskutek zachodzących procesów glebowych (w tym brunatnienia). W glebach tych (poza profilem Łęgnowo 1) występuje poziom brunatnienia (cambic) o charakterystycznej barwie. Można sądzić, że w trakcie procesów prowadzących do wykształcenia poziomu cambic zachodziła homogenizacja materiału glebowego i zniszczenie warstw w obrębie profilu. Za takim przebiegiem procesów w madach przemawiają między innymi wyniki badań Collinsa i Larney'a [36]. Stwierdzili oni, że wraz z rozwojem gleb aluwialnych następuje zanik warstwowania, przekształcanie masy glebowej oraz jej homogenizacja, a w dalszej kolejności dyferencjacja w obrębie profilu, co związane jest z procesami jednostkowymi.

Obrazem dyferencjacji w badanych glebach aluwialnych jest akumulacja żelaza całkowitego we frakcji ilastej poziomu cambic. Tendencja ta jest wyraźniejsza dla gleb z dobrze zarysowanym morfologicznie poziomem B_{br} .

Silnie przekształcona masa glebowa poziomu cambio wyróżnia się jednolitą brunatną barwą i strukturą (tab.1). Wcześniejsze badania gleb brunatnych oraz czarnoziemnych, wytworzonych z glin zwałowych różnego wieku [31, 33] wykazały, że frakcja ilasta jest również zasobna w związki żelaza. Wydaje się zatem, że akumulacja związków żelaza we frakcji ilastej poziomu cambio jest charakterystyczna dla przebiegających procesów brunatnienia. Fakt ten może być wykorzystany jako pomocnicze kryterium diagnostyczne.

3. SKŁAD MINERALOGICZNY FRAKCJI IŁU KOLOIDALNEGO

Analiza rentgenograficzna oraz derywatograficzna wykazała, że frakcja ilasta gleb aluwialnych Doliny Dolnej Wisły ma charakter polimineralny i składa się z minerałów typu illitu, smektytu, minerałów mieszanopakietowych illit-smektyt oraz kaolinitu i chlorytu. Obecne są również minerały pierwotne: kwarc oraz niewielkie ilości skaleni (tab.14).

Różne stosunki intensywności refleksów Rtg pierwszego rzędu wskazują na zróżnicowaną zawartość tych składników. Najwyższą zawartością illitu w stosunku do smektytu oraz minerałów z grupy kaolinitu i chlorytu charakteryzuje się frakcja ilasta gleby z Grabowa i Fiszewa. Miarą ilości minerałów typu illitu oraz mieszanopakietowych struktur illitowo-smektytowych jest zawartość K_2O we frakcji ilastej. Przyjmując, że zawartość K_2O w illicie wynosi 6,5% [141, 162] oraz uwzględniając wyniki badań Olsonów [111] można szacunkowo określić ilości illitu oraz minerałów typu illit-smektyt w analizowanych madach. Wahają się one w zakresie 30-55%.

Położenie linii illitu nie zmienia się po solwatacji glicerolem ani też w wyniku prażenia, a stosunek intensywności refleksów trzeciego i pierwszego rzędu wynosi około 0,55, co świadczy, że illit jest dioktaedryczny. Mała intensywność refleksu 002 w stosunku do 001 i 003 sugeruje obecność żelaza w strukturze illitu. Znajduje to potwierdzenie w wynikach analizy chemicznej frakcji ilastej, w której występuje od 5,45 do 10,56% Fe_2O_3 . Również zdjęcia elektronomikroskopowe dowodzą obecności zasobnego w żelazo illitu, który tworzy kryształy w kształcie igieł.

Jednocześnie wstępne badania metodą spektroskopii Mössbauera wykazały, że żelazo w analizowanych madach wchodzi w skład minerałów ilastych i zajmuje oktaedryczne pozycje.

Wyniki analizy termicznej (intensywność pierwszego efektu endotermicznego kilkakrotnie większa od drugiego oraz efekt endotermiczny w zakresie temperatur 330-920°C z charakterystycznym przegięciem) świadczą o występowaniu obok illitu, minerałów z grupy smektytu. Stosunek intensywności obu efektów, który może być pewnym wskaźnikiem zawartości smektytu, waha się od 1,8 do 7,0. Sugeruje to największą ilość minerałów typu smektytu w glebie ze Starogrodu 1 oraz w próbie porównawczej mady naddunajskiej ze Sládkovičova (Czechosłowacja). Znacznie mniej minerałów pęcznie-

jących zawiera frakcja ilasta mady ze Starego Pola. W większości analizowanych gleb aluwialnych zawartość smektytu wzrasta wraz z głębokością w profilu, natomiast maleje nieznacznie ilość minerałów z grupy illitu.

We frakcji ilastej mad Doliny Dolnej Wisły występują w znacznych ilościach minerały mieszanopakietowe typu illit-smektyt; na dyfraktogramach plateau łączące piki $10,0 \text{ \AA}$ i $14,0 \text{ \AA}$ wskazuje na interstratyfikację illitu z minerałami $14,0 \text{ \AA}$. Potwierdzają to wyniki analizy termicznej: dehydroksylacja w temperaturach $530-550^\circ\text{C}$ jest charakterystyczna dla mieszanopakietowych układów illit-smektyt. Krzywe DTA częściowo określają charakter i budowę tych minerałów. Obecność pików endotermicznego w zakresie $525-625^\circ\text{C}$ świadczy o przewadze „illitowych” właściwości oraz prawdopodobnie nieuporządkowanej strukturze minerałów [34]. Nieregularnie interstratyfikowane warstwy powodują silne rozproszenie promieniowania Rtg przy niskich kątach, podwyższenie tła oraz poszerzenia pików widoczne na dyfraktogramach większości próbek. Jednocześnie występowanie pików bez przeszczerzenia rozdzielających (average spacing) sugeruje obecność innych interstratyfikowanych struktur typu illit-chloryt, smektyt-chloryt, jak również układów wyższego stopnia interstratyfikacji typu illit-smektyt-chloryt.

We frakcji koloidalnej badanych mad występuje również pewna ilość kaolinitu, którego charakterystyczny efekt egzotermiczny jest zarejestrowany w zakresie $940-960^\circ\text{C}$ [43]. Efekt ten jest słabo zarysowany, co wskazywałoby na niewielką domieszkę minerałów z grupy kaolinitu. Potwierdza to analiza rentgenograficzna.

Na dyfraktogramach większości mad (za wyjątkiem gleb z Grabowa) refleks podstawowy $7,1 \text{ \AA}$ próbek K^+ nasyconych pozostaje po prażeniu preparatu, co świadczy o obecności niewielkiej domieszki minerałów z grupy chlorytu. Ilość kaolinitu i chlorytu nie przekracza $5-7\%$, a obecność chlorytu przejawia się wyraźniej w górnych partiach profilów badanych mad.

Pośród innych minerałów ilastych, w glebie ze Starogrodu 2 występują nieznaczne ilości wermikulitu, który daje na dyfraktogramie refleks przy $14,0 \text{ \AA}$, niezmienny po solwatacji glicerolem [161]. Intensywność tego refleksu zmniejsza się po ogrzaniu próbki w 350°C , co jest charakterystyczne dla minerałów z grupy wermikulitu [12]. Wermikulit daje też pik drugiego rzędu przy $7,1 \text{ \AA}$, wspólny z kaolinitem [74]. Za obecnością niewielkich ilości wermikulitu przesawia również zarysowany słabo refleks trzeciego rzędu $4,7 \text{ \AA}$, który pozostaje na dyfraktogramie po wyprażeniu próbki w temperaturze 350°C , ale zanika gdy prażenie prowadzi się w temperaturze 550°C . Aby potwierdzić występowanie wermikulitu próbkę frakcji ilastej wysyciono dodatkowo jonami NH_4^+ ; wermikulit dał na dyfraktogramie słabo zaznaczony pik przy $11,2 \text{ \AA}$ [7, 12].

Możliwość występowania wermikulitu w glebach aluwialnych obszaru Polski potwierdzają badania innych autorów. Brogowski i Mazurek [21] stwierdzili obecność wermikulitu w glebie aluwialnej tarasu Wisły okolic Warszawy. Również w składzie minerałów ilastych mad rejonu środkowej Odry, obok dominującej ilości struktur mieszanopakietowych illit-montaorylonit,

występował wermikulit [86]. Schuffelea i Van Marel [126] analizując gleby aluwialne Holandii opisali także obecność wermikulitu w ilościach 7-9 %.

Występowanie wermikulitu we frakcji iłu koloidalnego może być związane z bezpośrednimi zmianami strukturalnymi w trakcie wietrzenia illitu w kierunku wermikulitu, dając również możliwość powstania mieszanopakietowych układów typu illit-wermikulit lub chloryt-wermikulit. W Entisolach może również zachodzić „wermikularyzacja” biotyty [164]. Obecność wermikulitu wynikać może też ze zróżnicowania osadów nanoszonych w trakcie tworzenia się gleb aluwialnych.

Na derywatogramach niektórych próbek mad występuje szeroki efekt egzotermiczny z maksimum w temperaturach 300-440°C. Efekt ten może być związany z obecnością tlenków żelaza [106]. Stoch [145] sugeruje występowanie getytu, który w tej temperaturze ulega dehydratacji; nieco niższa temperatura dehydratacji może wynikać z jego dużego rozdrobnienia. Fischer i Schwertmann [55] w swoich badaniach nad syntetycznymi tlenkami żelaza stwierdzili na krzywych DTA silny pik endotermiczny przy 150°C, związany z utratą zaadsorbowanej wody i ostry efekt egzotermiczny przy 420°C, odpowiadający krystalizacji getytu. Kassim i współprac. [76] pik egzotermiczny przy 300-500°C przypisali ferryhydrytom.

Szczegółowe badania nad naturalnym ferryhydrytem podjęła Carlson [26]. Stwierdziła ona występowanie na krzywej DTA ostrego, egzotermicznego piku w zakresie 300-350°C, związanego z transformacją ferryhydrytu do hematytu. Egzotermiczny pik ferryhydrytu ulega osłabieniu i poszerzeniu wraz ze wzrostem zawartości Si w próbce, a jego maksimum przesunęło się w kierunku wyższych temperatur (od 330 do 760°C). Podobne wyniki uzyskali Herbillon i Tran Vinh An [71]. Uwzględniając powyższe dane, występujący na krzywej DTA efekt egzotermiczny w zakresie 235-270°C należy przypisać obecności tlenków żelaza, zarówno krystalicznych jak i amorficznych, które dominują w badanych glebach aluwialnych. Z uwagi na nieuporządkowaną strukturę, te ostatnie nie dają wyraźnych refleksów na dyfraktogramach.

Reasumując, frakcję koloidalną badanych gleb aluwialnych Doliny Dolnej Wisły zaliczyć można do klasy illitowej ze znacznym udziałem struktur interstratyfikowanych typu illit-smektyt oraz smektytu, a także domieszek kaolinitu, a w niektórych próbkach chlorytu jak również wermikulitu i wysokodispersyjnego kwarcu oraz skaleni.

Skład mineralogiczny frakcji ilastej gleb porównawczych odbiega od składu mad. Dominują w nich minerały z grupy illitu, z niewielkim udziałem struktur typu smektytu oraz illitu-smektytu (za wyjątkiem mady naddunajskiej ze Ślądковиčova, zasobnej w składniki pęczniące), a także nieznaną domieszką kaolinitu. Obserwuje się pewne nagromadzenie smektytu w poziomie B₁ gleb płowych.

4. POŁĄCZENIA ŻELAZA W MADACH

Wolne tlenki żelaza występują głównie w formie amorficznej, a stosunek Fe_g/Fe_d jest bliski jedności (rys.22 - 25).

Dominacja amorficznych tlenków żelaza potwierdza młody wiek badanych gleb aluwialnych [3, 53, 73]. Wysoka zawartość amorficznych tlenków żelaza wydaje się zatem cechą charakterystyczną mad Doliny Dolnej Wisły.

Przewaga amorficznej formy tlenków żelaza (wg Schwertmanna i współprac. [134] jest to głównie ferryhydryt) w glebach może być w pewnym stopniu związana z warunkami niesprzyjającymi krystalizacji. Proces transformacji ferryhydrytu do krystalicznego, termodynamicznie uprzywilejowanego getytu zachodzi poprzez roztwór, a rozpuszczalność ferryhydrytu wzrasta wraz z obniżeniem się pH. Zatem w madach, które mają odczyn obojętny lub słabo alkaliczny, proces przechodzenia tlenków żelaza w formę krystaliczną może być utrudniony.

Krystalizacja ferryhydrytu jest również hamowana przez jony krzemianowe lub fosforanowe występujące w roztworze glebowym [159]. W środowisku gleby mogą być także obecne kwasy organiczne, które inhibują krystalizację tlenków żelaza [37]. Inhibitorem krystalizacji jest również próchnica glebowa [28, 154]. Studia Kodamy i Schnitzera [79] wskazują jednakże, że tendencja ta maleje wraz ze wzrostem pH gleby i może mieć zatem niewielki wpływ na procesy transformacji tlenków żelaza w madach wiślanych. Analiza statystyczna uzyskanych wyników wykazała istotną, choć niewysoką korelację między zawartością Fe_g a C_{org} oraz między Fe_d a C_{org} dla mad właściwych oraz brak istotnej korelacji tych parametrów dla mad brunatnych (tab.19).

Biorąc pod uwagę warunki krystalizacji tlenków żelaza należy uwzględnić wyniki badań Stonehouse'a i Arnaud [147], którzy wiążą wysoki stosunek żelaza aktywnego (Fe_g/Fe_d) z niekorzystnymi warunkami powietrzno-wodnymi w źle zdrenowanych glebach Kanady. Jak wiadomo mady wiślane charakteryzują się właśnie okresowym nadmiarem wody oraz pewnym niedotlenieniem warstw głębszych [137], zatem procesy krystalizacji tlenków żelaza mogą być w pewnym stopniu zdeterminowane niewłaściwym drenażem tych gleb. Jednakże Pena i Torrent [115] porównując stosunki Fe_g/Fe_d w glebach aluwialnych dobrze zdrenowanych oraz cierpiących na nadmiar wody nie stwierdzili znaczących różnic między nimi.

Rozpatrując warunki krystalizacji tlenków żelaza w badanych glebach należy wziąć pod uwagę wpływ wymienionych czynników, chociaż najistotniejszym wydaje się młody wiek mad. Gleby aluwialne Doliny Dolnej Wisły są utworami należącymi do najmłodszych osadów współczesnych (datowania prowadzone w badaniach geomorfologicznych wskazują na wiek 4000 - 5000 lat [50]), w których krótki okres zachodzących procesów glebotwórczych nie pozwolił na transformację tlenków żelaza w formę krystaliczną. Hipotezę tę potwierdza analiza zawartości wolnych tlenków żelaza w glebach starszych: glinach zlodowacenia bałtyckiego (profil Batkowo, Tarkowo) i zlodowacenia środkowopolskiego (profil Grabów). Gleby te zawierają stosunkowo duże ilości

tlenków żelaza w formie krystalicznej, a tzw. indeks krystaliczności (stosunek Fe_s/Fe_d) waha się od 0,23 do 0,41 (rys.26). Dla mad wiślanych wskaźnik ten przyjmuje znacznie wyższe wartości, zbliżone do jedności (rys.22 - 25), natomiast w madzie naddumajskiej jest również niski (0,21 - 0,25).

Przeprowadzona analiza statystyczna wyników wykazała, że w madach brunatnych ilość Fe_s jest istotnie skorelowana z najdrobniejszymi frakcjami gleb, a współczynniki korelacji są wyższe aniżeli dla tych samych zmiennych mad właściwych (tab.19). Świadczyć to może o większym rozdrobieniu Fe_s w madach brunatnych.

Równania regresji, opisujące związek zawartości żelaza ekstrahowanego szczawianem amonu z uziarnieniem mad, mają postać:

a) dla wszystkich badanych mad

$$Fe_s = 37,28 \text{ (fr. } 5 - 2\mu\text{m)} - 192,19 \text{ (fr. } 0,5 - 0,2\mu\text{m)} + \\ + 127,83 \text{ (fr. } < 0,2 \mu\text{m)} + 27,93; \quad R^2 = 0,862$$

b) dla mad właściwych

$$Fe_s = 32,05 \text{ (fr. } 5 - 2\mu\text{m)} + 26,11 \text{ (fr. } < 2 \mu\text{m)} - 35,59; \quad R^2 = 0,772$$

c) dla mad brunatnych

$$Fe_s = 36,28 \text{ (fr. } < 2\mu\text{m)} - 18,79; \quad R^2 = 0,639$$

Jednocześnie test istotności w oparciu o zmienną losową t-Studenta potwierdził istotność różnic w zawartości Fe ekstrahowanego szczawianem w madach brunatnych oraz właściwych ($t = 4,31$; $\alpha = 0,05$).

Wzrost zawartości połączeń żelaza w poziomach brunatnienia mad obszaru Żuław stwierdził Witek i współprac. [166]. Podaje on, że w glebach o jednorodnym składzie granulometrycznym jest to wynikiem procesu glejowego i wstępującego ruchu wody gruntowej, zasobnej w jony Fe^{+2} , które ulegają utlenieniu i wytrącają się w postaci brunatno zabarwionych połączeń Fe. Na wyższą zawartość Fe w poziomie brunatnienia mad odrzańskich zwraca również uwagę Laskowski i Szozda [88]. W badanych glebach aluwialnych Doliny Dolnej Wisły obserwuje się pewien wzrost stopnia uruchomienia żelaza (Fe_d/Fe_c) w środkowej części profilu mad brunatnych (0,46 - 0,52). Sugeruje to przebiegające procesy brunatnienia [80].

Według Stefanovitsa [143] zasadniczym procesem, zachodzącym w czasie brunatnienia gleb różnego pochodzenia, jest uwalnianie żelaza /II/ krzemianowego, jego utlenienie i przejście w formie tlenków do frakcji ilastej. Powstałe tlenki żelaza pozostają „in situ” w profilu - nie ulegają przemieszczeniu nawet w glebach brunatnych z cechami przemývania. Hipotezę tę potwierdzają badania innych autorów [31, 80, 116].

Opierając się na powyższym, należałoby oczekiwać nagromadzenia wolnych tlenków żelaza w poziomach brunatnienia mad. Porównując ilości tlenków żelaza w obrębie każdego profilu widać wyraźnie, że dla mad z silnie zaznaczonym morfologicznie poziomem cambic (np. mada brunatna z Fiszewa) obserwuje się wyraźną akumulację wolnych tlenków Fe w poziomie B_{hm} . Podob-

nie w profilu Stare Pole, w którym przekształcona masa glebowa poziomu cambic wyróżnia się jednolitą, brunatną barwą na tle niższej zalegających warstw o nasilającej się wraz z głębokością marmurkowatości, występuje znacznie więcej tlenków Fe. Mady Starogród 2 i Łęgnowo 2 mają również wyróżniony morfologicznie poziom brunatnienia, chociaż nieco słabiej zarysowany. Jednakże, mimo że gleby te zalicza się w oparciu o morfologię do mad brunatnych, to nie posiadają one poziomu wzbogaconego w tlenki Fe. Zatem kryterium brunatnienia oparte wyłącznie na cechach morfologicznych profilu glebowego jest mało precyzyjne i nie pozwala na rozróżnienie gleb aluwialnych, różniących się zawartością wolnych tlenków. W oparciu o wyniki badań przeprowadzonych w niniejszej pracy, proponuje się przyjąć jako jedno z kryteriów procesu brunatnienia zawartość wolnych tlenków Fe lub też stosunek Fe_d/Fe_o . Ten ostatni parametr jest bardziej jednoznaczny w przypadku gleb, które wytworzyły się na materiale warstwowanym, różnego pochodzenia geologicznego i o różnym składzie.

Analiza wyników ekstrakcji sekwencyjnej połączeń organicznych żelaza, z uwzględnieniem typologii mad (tab.18) sugeruje również nieznaczne wzbogacenie poziomów cambic w Fe związane z próchnicą. Tendencja ta jest wyraźniejsza dla mad z silnie zaznaczonym morfologicznie poziomem brunatnienia (mada z Fiszewa i Starego Pola). Jeśli przyjąć za Wadą [159], że ilość połączeń organicznych żelaza rośnie wraz z wiekiem i stopniem zwietrzenia gleb, wówczas za najbardziej „dojrzałe” należałoby uznać mady ze Starogrodu oraz Starego Pola.

Hipoteza akumulacji połączeń organicznych żelaza w poziomach B_{br} mad brunatnych wymaga potwierdzenia dla większej, reprezentatywnej ilości prób glebowych.

5. WŁAŚCIWOŚCI POWIERZCHNI

Zróżnicowanie wielkości całkowitej powierzchni właściwej badanych mad w obrębie profili związane jest z występowaniem warstw sedymentacyjnych, różniących się uziarnieniem, składem mineralogicznym oraz jakością i ilością związków próchnicznych. Porównanie powierzchni właściwej mad wiślanych oraz gleb z profilów porównawczych wykazuje, że o wielkości powierzchni właściwej decyduje nie wiek, lecz raczej pochodzenie materiału, a w konsekwencji skład i uziarnienie, bowiem gleby różnego wieku (Batkowo, Tarkowo - zlodowacenie bałtyckie, Grabów - zlodowacenie środkowopolskie), mają zbliżoną do siebie i niższą, aniżeli mady Doliny Dolnej Wisły, powierzchnię właściwą.

Stwierdzono ścisłą współzależność statystyczną między wielkością powierzchni właściwej S a zawartością żelaza Fe_s oraz Fe_d w madach właściwych oraz nieco mniejszą w madach brunatnych, czego wyrazem jest wyższa wartość współczynników korelacji dla mad właściwych (tab.22).

Tabela 22
Table 22

Współczynniki korelacji liniowej między niektórymi parametrami mad
Linear correlation coefficients between some parameters of alluvial soils

Składnik Component	S ₁			CEC ₀			CEC _{2B}		
	Wszystkie mady All alluvial soils	Mady właściwe Typical alluvial soils	Mady brunatne Brown alluvial soils	Wszystkie mady All alluvial soils	Mady właściwe Typical alluvial soils	Mady brunatne Brown alluvial soils	Wszystkie mady All alluvial soils	Mady właściwe Typical alluvial soils	Mady brunatne Brown alluvial soils
20 - 5 a/	0,755 ^{xx}	0,794 ^{xx}	0,508 ^{xx}	0,694 ^{xx}	0,746 ^{xx}	0,397 ^{xx}	0,322 ^x	0,389 ^x	0,077
5 - 2	0,725 ^{xx}	0,871 ^{xx}	0,466 ^{xx}	0,765 ^{xx}	0,796 ^{xx}	0,554 ^{xx}	0,412 ^{xx}	0,352 ^x	0,404 ^x
< 2	0,694 ^{xx}	0,730 ^{xx}	0,552 ^{xx}	0,759 ^{xx}	0,730 ^{xx}	0,775 ^{xx}	0,539 ^{xx}	0,376 ^x	0,654 ^{xx}
2 - 0,5	0,683 ^{xx}	0,739 ^{xx}	0,734 ^{xx}	0,729 ^{xx}	0,717 ^{xx}	0,606 ^{xx}	0,602 ^{xx}	0,455 ^{xx}	0,716 ^{xx}
0,5 - 0,2	0,465 ^{xx}	0,230	0,725 ^{xx}	0,602 ^{xx}	0,307	0,772 ^{xx}	0,412 ^{xx}	0,105	0,546 ^{xx}
< 0,2	0,691 ^{xx}	0,687 ^{xx}	0,718 ^{xx}	0,742 ^{xx}	0,681 ^{xx}	0,813 ^{xx}	0,502 ^{xx}	0,274	0,659 ^{xx}
Org	0,535 ^{xx}	0,648 ^{xx}	0,279 ^{xx}	0,663 ^{xx}	0,696 ^{xx}	0,590 ^{xx}	0,575 ^{xx}	0,646 ^{xx}	0,450 ^{xx}
Fe _s	0,882 ^{xx}	0,953 ^{xx}	0,702 ^{xx}	0,830 ^{xx}	0,837 ^{xx}	0,739 ^{xx}	0,463 ^{xx}	0,321	0,542 ^{xx}
Fe _d	0,879 ^{xx}	0,956 ^{xx}	0,681 ^{xx}	0,745 ^{xx}	0,838 ^{xx}	0,449 ^{xx}	0,242	0,301	0,012
Fe ₀	0,758 ^{xx}	0,839 ^{xx}	0,623 ^{xx}	0,623 ^{xx}	0,675 ^{xx}	0,477 ^{xx}	0,375 ^{xx}	0,351	0,379 ^x
Fe _p	0,777 ^{xx}	0,906 ^{xx}	0,536 ^{xx}	0,620 ^{xx}	0,780 ^{xx}	0,250 ^{xx}	0,318	0,294	0,367
S	1	1	1	0,854 ^{xx}	0,889 ^{xx}	0,662 ^{xx}	0,385 ^{xx}	0,415 ^x	0,195

x, xx istotne odpowiednio przy $\alpha = 0,05$ i $\alpha = 0,01$
significant at a level of $\alpha = 0,05$ and $\alpha = 0,01$, respectively

1/ całkowita powierzchnia właściwa
specific surface area

a/ % zawartość frakcji gleby o ϕ w μm
% content of soil fraction, ϕ in μm

Zwraca uwagę stosunkowo duży udział tlenków Fe w całkowitej powierzchni właściwej mad. Usunięcie tych połączeń powoduje zmniejszenie powierzchni właściwej (tab.20). Obliczone wielkości powierzchni właściwej tlenków Fe są zróżnicowane, przy czym nie stwierdza się związku między morfologią profilu i zróżnicowaniem mad na właściwe i brunatne, a charakterem wolnych tlenków żelaza oraz ich powierzchnią właściwą.

Przeprowadzona charakterystyka ładunku powierzchniowego mad metodą miareczkowania potencjometrycznego dała dla każdej próbki rodzinę krzywych. Kształt i przebieg tych krzywych zależy głównie od składu analizowanych gleb oraz przebiegu reakcji powierzchniowych i nie różnicuje badanego materiału glebowego w aspekcie cech diagnostycznych i typologii.

Właściwości i charakter powierzchni determinują wielkość kationowej pojemności wymiennej (tab.2), przy czym uzyskane wyniki są w zgodzie z badaniami mad żuławskich Reimanna i współprac. [119, 120] oraz Witka i współprac. [166].

Analiza statystyczna wykazała, że kationowa pojemność wymienna mad Doliny Dolnej Wisły jest istotnie, wysoce skorelowana z wielkością powierzchni właściwej (S). Współczynnik korelacji jest wyższy dla mad właściwych (tab.22). Stwierdzono również istotną korelację wielkości S z zawartością najdrobniejszych frakcji mad. Tendencja ta jest wyraźniejsza dla mad brunatnych.

Dla określenia kompleksowego wpływu składu mad na wielkość kationowej pojemności wymiennej zastosowano analizę regresji. Równanie regresji dla wszystkich badanych mad przyjęło postać:

$$PWK_C = 0,60 (\text{fr.} < 0,2\mu\text{m}) + 4,85 C_{\text{org}} + 0,01 Fe_s + 5,87$$

$$R^2 = 0,835$$

dla mad właściwych

$$PWK_C = 0,93 (\text{fr.} < 0,2\mu\text{m}) + 5,33 C_{\text{org}} + 0,01 Fe_s + 3,91$$

$$R^2 = 0,827$$

dla mad brunatnych

$$PWK_C = 0,82 (\text{fr.} < 0,2\mu\text{m}) + 3,24 C_{\text{org}} + 0,005 Fe_s + 5,64$$

$$R^2 = 0,872$$

Wartości współczynników korelacji β świadczą, że najważniejszymi zmiennymi, wpływającymi na PWK_C , jest zawartość najdrobniejszej frakcji ($\phi < 0,2\mu\text{m}$) oraz ilość C_{org} .

W niniejszej pracy po raz pierwszy oszacowano udział ładunków stałych i zmiennych w pojemności wymiennej mad obszaru Polski. Stwierdzono przeważający udział ładunków stałych. Jednocześnie udział ładunków zmiennych jest znaczący, chociaż rola próchnicy nie jest tutaj zasadnicza. Usunięcie substancji organicznej nie powoduje bowiem radykalnego zmniejszenia pojemności wymiennej (tab.21).

Z przeprowadzonych badań wynika, że kationowa pojemność wymienna mad Doliny Dolnej Wisły nie jest wielkością addytywną składników: próchnicy

i minerałów ilastych. Prawdopodobnie tworzą one połączenia kompleksowe, które zmieniają charakterystykę i rozkład ładunków powierzchniowych gleby. W połączeniach tych część ujemnie naładowanych centrów aktywnych jest zablokowana, co wpływa na wielkość pojemności wymiennej.

Usunięcie próchnicy powoduje zmniejszenie kationowej pojemności wymiennej, związanej ze zmiennymi ładunkami, chociaż nadal PWK_z ma swój znaczący udział w PWK_c . Zatem teza o tym, że zasadniczym źródłem ładunku zmiennego w glebie jest próchnica, nie potwierdza się w przypadku analizowanych gleb aluwialnych. Należy sądzić, że zarówno tlenki żelaza, jak i wtórne minerały glinokrzemianowe, w tym typu 1:1 (kaolinit) oraz 2:1 (illit, smektyt) mają swój udział w ładunkach powierzchniowych, zależnych od pH. Wskazują na to badania przeprowadzone przez Colemaną i Thomasa [35], Sawhney'a i współprac. [124]. Ładunki zmienne występują również na powierzchni kompleksów Fe i Al z substancją organiczną. Schnitzer i Gupta [125] oraz Turner i Nicol [156] stwierdzili, że połączenia te wykazują charakter słabych kwasów i mogą mieć udział w pH zależnych ładunkach.

Z uwagi na to, że wielkości kationowej pojemności wymiennej mad mają głównie związek ze składem mineralogicznym oraz granulometrycznym, trudno jest wykorzystać te parametry jako kryteria diagnostyczne, pomocne przy klasyfikacji gleb aluwialnych.



IV. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone studia potwierdziły, mimo pewnych podobieństw, zmienność mad, która z pedologicznego punktu widzenia ma istotne znaczenie. Wyraża się ona w zróżnicowaniu uziarnienia w układzie profilowym i przestrzennym, jak również w składzie chemicznym masy glebowej oraz frakcji ilastej.

Badane gleby zaliczyć można do mad średnich, ciężkich lub bardzo ciężkich, silnie pylastych. Są to gleby zasobne w próchnicę, mają odczyn obojętny lub słabo alkaliczny, są sorpcyjnie nasycone.

Analiza składu chemicznego masy glebowej w przekroju profilowym i wyniki analiz frakcji ilastej pozwalają na wyodrębnienie mad o stosunkowo jednolitym składzie chemicznym, co może być rezultatem zarówno jednorodności geologicznej materiału sedymentacyjnego, jak też jego wtórnej homogenizacji wskutek zachodzących procesów pedogenicznych. Należy jednak mieć na uwadze, że w Dolinie Dolnej Wisły występuje przestrzenne zróżnicowanie mad, co ma swoje odbicie zarówno w składzie chemicznym, jak i mineralogicznym frakcji ilastej.

Cechą charakterystyczną mad Doliny Dolnej Wisły jest stosunkowo duża, w porównaniu do gleb wytworzonych z glin zwalowych, zawartość minerałów pęczniejących, w tym smektytu oraz struktur mieszanopakietowych typu illit-smektyt. Cechą specyficzną frakcji ilastej jest również występowanie illitu zasobnego w żelazo, a także obecność kaolinitu, a w niektórych próbkach chlorytu i wermikulitu.

Badania nad charakterem i właściwościami tlenków żelaza, które jak dotychczas są mało poznane w specyficznych uwarunkowaniach gleb aluwialnych, wykazały, że w madach dominują tlenki Fe ekstrahowane szczawianem amonu, a więc amorficzne. Krystaliczne tlenki żelaza występują w nieznacznych ilościach, a indeks krystaliczności Fe_g/Fe_d jest zbliżony do jedności. Natomiast parametr ten wyznaczony dla gleb pochodzenia niealuwialnego, wytworzonych z osadów zwalowych, waha się w zakresie 0,23 - 0,41.

Oszacowane wielkości powierzchni właściwej tlenków Fe mad wiślanych dla całości wolnych tlenków są w zakresie od 68,0 do 285,7 m²/g, a dla amorficznych tlenków od 111,5 do 818,7 m²/g. Nie stwierdzono zmian powierzchni właściwej tlenków żelaza w morfologicznie wyodrębnionych poziomach cambic, w porównaniu do innych partii profilu.

Na podstawie dotychczasowych poglądów reprezentowanych w literaturze można przyjąć, że związki żelaza powiązane z materią organiczną występują w madach głównie w formie trwałych kompleksów koordynacyjnych. Skład tych

połączeń jest zróżnicowany, o czym świadczy zmieniający się stosunek Fe/C. Wyjaśnienie zachodzących związków między budową kompleksów Fe z próchnicą a procesami glebowymi w madach wymaga jednak dalszych szczegółowych studiów.

Przeprowadzone badania właściwości powierzchni oraz rozkładu ładunków powierzchniowych pozwalają na stwierdzenie, że o pojemności wymiennej mad decydują ładunki stałe, przy istotnym udziale ładunków zmiennych, zależnych od pH. Wyniki potwierdzają także tezę innych autorów, że na krawędziach minerałów ilastych występują ładunki zależne od pH. Jednocześnie przebieg miareczkowania potencjometrycznego naturalnych oraz pozbawionych tlenków żelaza próbek dowodzi istotnej ich roli w rozkładzie ładunków powierzchniowych, mimo że zawartość tych składników nie przekracza kilku procent masy gleby.

Suma ładunków elektrycznych w badanych madach nie stanowi jednak wielkości addytywnej, wynikającej z zawartości próchnicy, minerałów ilastych i tlenków żelaza. Usunięcie bowiem substancji organicznej powoduje stosunkowo niewielkie obniżenie pojemności wymiennej mad. Przemawia to za występowaniem połączeń kompleksowych próchnica - minerały ilaste, w których część naładowanych centrów aktywnych jest zablokowana, przez co nie bierze udziału w wymianie jonowej.

Równania regresji opisujące zależność między kationową pojemnością wymienną a składem gleby pozwalają na obliczenie szacunkowej wielkości pojemności wymiennej mad w oparciu o wyznaczoną doświadczalnie zawartość węgla organicznego oraz ilość tlenków amorficznych i zawartość frakcji o $d < 0,2 \mu\text{m}$.

Z punktu widzenia rozważań typologicznych, odnoszących się do mad tego regionu, stwierdzić należy występowanie mad właściwych oraz mad z cechami brunatnienia. Proces brunatnienia można rozpatrywać w następujących aspektach:

- a) homogenizacji prowadzącej do zaniku warstw i warstewek, efektem czego jest jednolitość morfologiczna składu chemicznego w profilu mady,
- b) wzrostu zawartości wolnych tlenków żelaza (Fe_d) w poziomie B_{br} w stosunku do całego profilu, co ma odbicie w barwie brunatnej,
- c) akumulacji żelaza całkowitego (Fe_c) we frakcji ilastej poziomu B_{br} ,
- d) niewielkiego wzbogacenia poziomu B_{br} w żelazo występujące w połączeniach kompleksowych z substancją organiczną.

Zachodzące w madach procesy wietrzenia różnicują materiał głównie poprzez transformację związków żelaza, uwalniających się w postaci wolnych tlenków, o czym świadczy wzrost stopnia uruchomienia żelaza Fe_d/Fe_c w poziomach B_{br} mad brunatnych. Należy jednak mieć na uwadze fakt, że różnice w składzie mineralogicznym są słabo uwidocznione, co wynika z wieku gleb, ich genezy i zbliżonych warunków siedliskowych.

Można zatem wyróżnić w niektórych madach obszaru Doliny Dolnej Wisły poziom cambic. Zasadniczą cechą tego poziomu są intensywne przemiany fizyczne oraz chemiczne materiału glebowego, wyrażone morfologicznie jednolitą barwą i większym nasyceniem tej barwy (chroma) w porównaniu do pozio-

mów niżej położonych. Zatem wyodrębniony morfologicznie poziom spełnia jedno z kryteriów opisujących poziom diagnostyczny cambic [141, 152]. Jednocześnie poziom B_{br} badanych gleb aluwialnych charakteryzuje się doskonałą strukturą gruzełkową, co jest również typową cechą. Nie wiąże się z tym jednak wzrost zawartości frakcji ilastej, jak to stwierdzono w glebach brunatnych oraz czarnoziemnych, wytworzonych z glin zwałowych [31, 33]. Zatem poziom cambic w madach ma inny charakter, odmienne cechy i inne znaczenie genetyczne, aniżeli poziom B_{br} gleb pochodzenia niealuwialnego.

Należy podkreślić, że różne systemy klasyfikacji gleb aluwialnych, w tym klasyfikacja FAO, taksonomia amerykańska, jak również podział gleb stosowany w ZSRR oraz we Francji, nie wyodrębniają gleb aluwialnych z cechami brunatnienia. Systematyka gleb Polski, która uwzględnia obok mad właściwych mady brunatne, ma swoje uzasadnienie zwyczajowe, a także jest poparta kryteriami morfologicznymi. Przeprowadzone w niniejszej pracy studia potwierdziły zasadność takiego podziału również w aspekcie właściwości fizykochemicznych, w tym głównie zawartości wolnych tlenków żelaza.



V. WNIOSKI

Przeprowadzone badania nad obszaru Doliny Dolnej Wisły pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Gleby aluwialne Doliny Dolnej Wisły mają swoją specyfikę, która wynika zarówno z warunków tworzenia, jak i przekształceń masy glebowej. Decyduje o tym między innymi występowanie próchnicy w całym miąższu osadu aluwialnego, co jest cechą wyróżniającą te gleby w porównaniu do gleb wytworzonych z materiałów zwałowych, w których główna masa substancji organicznej skoncentrowana jest w poziomie A.
2. Mimo zachodzących procesów homogenizacji, prowadzących do zaniku pierwotnych cech materiału, zachowuje się zróżnicowanie uziarnienia wynikające z warstwowania osadu sedymentacyjnego. Są jednak profile, w których proces homogenizacji doprowadził do zaniku warstw i ujednoczenia składu granulometrycznego.
3. Mady o jednorodnym uziarnieniu mają dość wyrównany skład chemiczny masy glebowej i frakcji ilastej, czego odbiciem są mało zróżnicowane stosunki SiO_2/Al_2O_3 i SiO_2/Fe_2O_3 w obrębie profilu. Natomiast mady o niejednorodnym składzie granulometrycznym, wynikającym z warstwowania, wykazują analogiczne zróżnicowanie składu chemicznego.
4. We frakcji ilastej mad stwierdza się znaczący udział minerałów pęczniejących: smektytu i struktur mieszanopakietowych illit - smektyt obok zasobnego w żelazo illitu. Obecne są także kaolinit, chloryt oraz wermikulit.
5. Wolne tlenki żelaza występują w badanych madach głównie w postaci amorficznej i dominują nad krystalicznymi formami tych połączeń, a wskaźnik krystaliczności Fe_a/Fe_d jest zbliżony do jedności.
6. Obecność wolnych tlenków żelaza ma istotne znaczenie nie tylko z punktu widzenia morfologicznego, lecz także właściwości mad. Wpływają one na wielkość całkowitej powierzchni właściwej oraz rozkład ładunków powierzchniowych.
7. Połączenia niekrzemianowe żelaza, w tym ilość wolnych tlenków oraz stopień uruchomienia żelaza Fe_d/Fe_c , mogą stanowić kryterium diagnostyczne procesu brunatnienia mad.
8. Morfologiczne cechy brunatnienia, wyrażające się w intensywności barwy brunatnej, można uznać za podstawę do wyróżnienia poziomu cambic (brunatnienia), chociaż nie towarzyszy temu wzbogacenie we frakcję ilastą.





L I T E R A T U R A

- [1] Adams W.A., Kassim J.K., 1984: Iron oxyhydroxides in soils developed from Lower Paleozoic sedimentary rocks in mid-Wales and implications for some pedogenic processes. *J. Soil Sci.*, 35, 117-126
- [2] Anderson M.A., Rubin A.J., 1981: Adsorption of inorganics at solid-liquid interface. *Abor Science, Michigan*
- [3] Arduino E., Barberis E., Corrado F., Forno M.G., 1974: Estimating relative age from iron-oxide/total iron ratios of soils in the western Po Valley Italy. *Geoderma*, 32, 39-52
- [4] Atkinson R.J., Posner A.M., Quirk J.P., 1967: Adsorption of potential determining ions at the ferric-oxide-aqueous electrolyte interface. *J. Phys. Chem.*, 71, 550-558
- [5] Augustowski B., 1982: Dolina Dolnej Wisły. Gdańskie Towarzystwo Naukowe, Ossolineum
- [6] Avery B.W., 1980: Soil Classification for England and Wales. Harpenden Technical Monograph of Soil Survey, No 14
- [7] Barshad J., 1957: Factors affecting the interlayer expansion of vermiculite and montmorillonite with organic substances. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 16, 1, 176-182
- [8] Barshad J., 1964: Chemistry of soil development, in: Chemistry of the soil. Ed. by F. E. Bear, Reinhold Comp. New York
- [9] Bascomb C.L., 1968: Distribution of pyrophosphate-extractable iron and organic carbon in soils of various groups. *J. Soil Sci.*, 19, 2, 251-268
- [10] Beutelspacher H., Van der Marel H.W., 1968: Atlas of Electron Microscopy of Clay Minerals and Their Admixture. Elsevier Publ. New York
- [11] Bigham J.M., Golden D.C., Buol S.W., Weed S.B., Bowen L.H., 1978: Iron oxide mineralogy of well-drained Ultisols and Oxisols, II. Influence on colour, surface area and phosphate retention. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42, 825-828
- [12] Black C.A., 1982: Soil chemical analysis. Soil Sci. Soc. Am. Publ., Madison, WI
- [13] Blok I., De Bruyn P.I., 1970: The ionic double layer at the ZnO/solution interface. The experimental point of zero charge. *J. Colloid Inter. Sol.*, 32, 518-525

- [14] Bloom P.R., 1979: Titration behaviour of aluminium-organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43, 815-817
- [15] Blume H.P., Schwertmann U., 1969: Genetic evaluation of profile distribution of Al, Fe, Mn oxides. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 3, 438-440
- [16] Boratyński K., Witek T., 1961: Skład frakcji próchnicy w niektórych madach okolic Wrocławia. *Rocz. Glebozn.*, 10, 645-647
- [17] Borggaard O.K., 1982: The influence of iron oxides on the surface area of soil. *J. Soil Sci.*, 33, 443-449
- [18] Bowden J.W., Posner A.M., Quirk J.P., 1977: Ionic adsorption on variable charge mineral surfaces. Theoretical charge development and titration curves. *Aust. J. Soil Res.*, 15, 121-136
- [19] Breeuwsma A., Lyklema J., 1971: Interfacial electrochemistry of $-Fe_2O_3$. *Disc. Faraday Soc.*, 52, 324-333
- [20] Breeuwsma A., 1973: Adsorption of ions on hematite ($\alpha-Fe_2O_3$). *Med. Landbouwhoggeschool. Wageningen*, 1-73
- [21] Brogowski Z., Mazurek A., 1986: Skład mineralny frakcji mniejszych od 0,02 mm gleby aluwialnej. *Rocz. Glebozn.*, 37, 4, 9-22
- [22] Brogowski Z., Dobrzański B., Kocot J., 1978: Application of scanning microscopy in studies of the morphology of mechanical fractions of soils. *Polish J. Soil Science*, 1, XI, 73-76
- [23] Brown G., 1961: The x-ray identification and crystal structures of clay minerals. *The Mineralogical Society, London*
- [24] Bruckert S., Metché M., 1972: *Bull. Ec. Nat. Sin. Agron. Ind. Aliment.*, 14, 263-275, in: N. Bonneau, B. Souchier: *Constituents and properties of soils*. Academic Press, 1982
- [25] Canada Soil Survey Committee, 1978: *The system of soil classification for Canada*. Can. Dep. Agr. Ottawa, Ontario
- [26] Carlson L., 1981: Natural ferrihydrites in surface deposits from Finland and their association with silica. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 45, 421-429
- [27] Cavallaro N., Mc Bride M.B., 1984: Effect of selective dissolution on charge and surface properties of an acid soil clay. *Clays Clay Miner.*, 32, 7, 283-290
- [28] Chen Y., Barah Ph., 1982: Iron nutrition of plants in calcareous soils. *Adv. in Agronomy*, Academic Press
- [29] Chesworth W., 1973: The parent rock effect in the genesis of soil. *Geoderma*, 10, 215-225
- [30] Chesworth W., 1973: The residua system of chemical weathering; a model for the chemical breakdown of silicate rock at the surface of the earth. *J. Soil Sci.*, 24, 523-536

- [31] Cieśla W., 1961: Właściwości chemiczne czarnych ziem na tle środowiska geograficznego. Pozn. Tow. Przyj. Nauk, t. 8, z. 4, Poznań
- [32] Cieśla W., 1965: Adaptacja metody Jacksona przygotowania próbek gleby do celów analizy chemicznej i innych badań glebowych. PTG, Warszawa
- [33] Cieśla W., 1968: Geneza i właściwości gleb uprawnych wytworzonych z gliny zwałowej na Wysoczyźnie Kujawskiej. Roczn. WSR, z. 18, Poznań
- [34] Cole W.F., 1955: DTA of mixed-layer minerals. Nature, London, Agronomy, Madison, WI, 175, 384-385
- [35] Coleman N.T., Thomas G.W., 1967: The basic chemistry of soil acidity, in: R.W. Pearson ed. Agronomy, 12, 1-41, Am. Soc. Agronomy, Madison, WI
- [36] Collins J.F., Larney F., 1981: Micromorphological changes with advancing pedogenesis in some Irish alluvial soils, in: Soil Micromorphology. Ed. P. Bullock, C.P. Murphy, vol. 1, Academic Publishers
- [37] Cornell R.M., Schwertmann U., 1979: The influence of organic anions on the crystallization of ferrihydrite. Clays Clay Miner., 27, 402-410
- [38] Curtin O., Smilie G.W., 1979: Origin of the pH-dependent cation exchange capacities of Irish soil clay. Geoderma, 22, 213-224
- [39] Czarnowska K., 1975: Dynamics of soluble forms of manganese and copper in alluvial soils with NPK fertilization. Pol. Ecol. Stud., 1, 27-36
- [40] Davis J.A., Leckie J.C., 1978: Surface ionization and complexation at the oxide-water interface. Surface properties of amorphous iron oxyhydroxide and adsorption of metal ions. J. Colloid Inter. Sci., 67, 90-107
- [41] Dąbkowska-Naskręt H., 1986: Zastosowanie metody atomowej spektroskopii emisyjnej w plazmie argonowej do oznaczenia pierwiastków podstawowych i śladowych w glebie. Roczn. Glebozn., 37, 35-45
- [42] Desphande T.L., Greenland D.J., Quirk J.P., 1968: Changes in soil properties associated with the removal of iron and aluminium oxides. J. Soil Sci., 19, 1, 108-122
- [43] Dixon J.B., 1966: Quantitative analysis of kaolinite and gibbsite in soils by DTA and selective dissolution methods. Clays Clay Miner., 14, 83-89
- [44] Dobrzański B., Nipanicz A., 1950: Mady w dolinie Wisłoki. Annales Universitatis M.C.S., B-4
- [45] Dobrzański B., Dechnik I., Stawiński J., 1972: Correlation between the soil surface area and humus compounds in the soil. Polish J. Soil Science, V, 2, 99-102
- [46] Dobrzański B., Dechnik I., Gliński J., Pondel H., Stawiński J., 1977: Powierzchnia właściwa gleb Polski. Roczn. Nauk Roln., D, 1-161

- [47] Dousma J., De Bruyn P.L., 1976: Hydrolysis-precipitation studies of iron solutions. *J. Colloid Inter. Sci.*, 56, 3, 527-539
- [48] Draper N.R., Smith H., 1973: Analiza regresji stosowana. PWN, Warszawa
- [49] Drozdowski E., 1974: Geneza Basenu Grudziądzkiego w świetle osadów i form glacialnych. *Prace geograficzne PAN*, 104
- [50] Drozdowski E., Berglund B.E., 1976: Development and chronology of the Lower Vistula valley, North Poland. *Boreas*, 5, 95-107
- [51] Duchaufour Ph., 1977: *Pedologie. Pedogenese et classification*. Masson, Paris, 209-325
- [52] Dudal R., 1969: About the legend of the FAO-UNESCO Soil Map of the World. *Bull. ISSS*
- [53] Earl B.A., 1974: Fe extractable in relation to soil age on terrasses. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 38, 121-124
- [54] Evans L.J., Wilson W.G., 1985: Extractable Fe, Al, Si and C in B horizons of podzolic and brunisolic soils from Ontario. *Can. J. Soil Sci.*, 65, 489-496
- [55] Fischer W.R., Schwertmann U., 1975: The formation of hematite from amorphous iron hydroxide. *Clays Clay Miner.*, 23, 33-37
- [56] Flaig W., Beutelspacher H., Rietz E., 1975: Chemical composition and physical properties of humic substances; p. 1-211, in: J.E. Gieseking /ed/. *Soil Components vol. 1*, New York, Springer Verlag
- [57] Gallez A., Juo A.S.R., Herbillon A.J., 1976: Surface and charge characteristics of selected soils in the tropics. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 40, 601-608
- [58] Garreles R.M., Christ C.I., 1965: Solutions, minerals and equilibria, p. 113-120, Harper-Row, New York
- [59] Gast R.G., 1977: Surface and colloid chemistry, p. 27-73, in: J.B. Dixon and S. B. Weed /ed/. *Minerals in soil environments*. Amer. Soc. of Agron., Madison, WI
- [60] Gillman G.P., Bell L.C., 1976: Surface charge characteristics of six weathered soils from tropical North Queensland. *Aust. J. Soil Res.*, 14, 351-360
- [61] Gomez K.A., Gomez A.A., 1984: Statistical procedures for agricultural research. J. Wiley, New York
- [62] Gorbunow N.I., 1967: Glebowe minerały wysokodispersyjne i metody ich badania. PWRiL, Warszawa
- [63] Gorbunow N.I., Dziadewicz G.D., Tunik B.M., 1961: Metody określenia niesilikatnych amorfnych i krystalicznych połączonych tlenków w porach i glinach. *Poczwow*, 11, 103-111

- [64] Grabowska-Olszewska B., Osipov V., Sokolov V., 1984: Atlas of the microstructure of clay soils. PWN, Warszawa
- [65] Gradusow B.O., 1981: Rentgenostrukturnyje metody izuczenija smieszanoskoistych mineralow. Poczwow, 2, 105-119
- [66] Greenland D.J., Oades J.M., 1968: Iron hydroxides and clay surfaces. Trans. 9th Int. Congr. Sci. Soc., Adelaide, 1, 657-668
- [67] Greenland D.J., Wilkinson G.K., 1969: Uses of electron microscopy of carbon replicas and selective dissolution analysis in the study of the surface morphology of clay particles from soils. Proc. Int. Clay Conf. Tokyo, 1, 861-870
- [68] Greenland D.J., Mott C.J.B., 1978: Surfaces of soil particles, p. 321-352, in: The chemistry of soil constituents. J. Wiley, Chichester
- [69] Hendershot W.H., Singleton G.A., Lavkulich L.M., 1979: Variation in surface charge characteristics in a soil chronosequence. Soil Sci. Soc. Am. J., 43, 387-389
- [70] Hendershot W.L., Lavkulich L.M., 1983: Effect of sesquioxide coatings on surface charge of standard mineral and soil samples. Soil Sci. Soc. Am. J., 43, 1245-1253
- [71] Herbillon A.J., Tran Vinh An H., 1968: Heterogeneity of silicon-iron mixed hydroxides. J. Soil Sci., 20, 223-235
- [72] Hingston F.J., Atkinson R.J., Posner A.M., Quirk J.P., 1966: Specific adsorption of anions on goethite. Mat.: 9th Intern. Congress of Soil Science, vol. I, 65, 669-677
- [73] Ibanga J., Buol S.W., Weed S.B., Bowen L.N., 1983: Iron oxides in petroferrous materials. Soil Sci. Soc. Am. J., 47, 1240-1246
- [74] Jackson M.L., 1964: Soil Clay Mineralogical analysis, in: C. J. Rich /ed/. Soil Clay Mineralogy. The University of North Carolina Press, p. 245-254
- [75] Jackson M.L., 1956: Soil chemical analysis-advanced course. Madison, WI
- [76] Kassim J.K., Gafoor S.H., Adams W.A., 1984: Ferrihydrite in pyrophosphate extract of podzol B horizons. Clay Miner., 19, 99-106
- [77] Klages M.G., Hopper R.W., 1982: Clay minerals as measured by x-ray diffraction. Soil Sci. Soc. Am. J., 46, 415-419
- [78] Kodama H., Brydon J., 1966: Interstratified montmorillonite-mica clays from subsoils of the Proize Provinces, western Canada. Int. Series of Monographs on Earth Science, vol. 26, Clays Clay Miner., Oxford
- [79] Kodama H., Schnitzer M., 1977: Effect of fulvic acids on the crystallization of Fe/III/ oxides. Geoderma, 19, 279-291

- [80] Konecka-Betley K., 1968: Zagadnienie żelaza w procesie glebotwórczym. Roczn. Glebozn., 19, 1, 51-97
- [81] Kowda W.A., Rozanow B., 1968: Poczwoiedzenie. Moskwa
- [82] Kuźnicki F., Skłodowski P., 1970: Zawartość w glebie wolnego żelaza, glinu i SiO_2 jako kryterium typologiczne. Roczn. Glebozn., 21, 1, 3-19
- [83] Langier-Kuźniarowa A., 1967: Termogramy minerałów ilastych. Wyd. Geologiczne, Warszawa
- [84] Langier-Kuźniarowa A., 1973: Nomenklatura w zakresie analizy termicznej. Przegląd Geodezyjny nr 1, Warszawa
- [85] Laskowski S., 1952: Żuławy w świetle rolniczych badań naukowych. Roczn. Nauk Roln., t. LXVI, D. 1-251
- [86] Laskowski S., Szerszeń L., Chodak T., Bogda A., 1975: Skład minerałów ilastych gleb aluwialnych z rejonu środkowej Odry. Materiały Konferencji: Minerale ilaste gleb, 18-21, Puławy
- [87] Laskowski S., Szerszeń L., Roszyk E., 1976: Zawartość siarki i niektórych mikroelementów w madach odrzańskich. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 179, 427-438
- [88] Laskowski S., Szozda B., 1985: Niektóre właściwości chemiczne mad odrzańskich rejonu Przychowej. Roczn. Glebozn., 34, 3, 27-40
- [89] Laverdiere M.R., Weaver R.M., 1977: Charge characteristics of spodic horizons. Soil Sci. Soc. Am. J., 41, 505-510
- [90] Liberoth J., 1982: Bodenkunde. VEB Deutcher Wirtschaft, Berlin
- [91] Lutwick L.E., 1973: Fe-status of brunisolic soils. Can. J. Soil Sci., 185-197
- [92] Mackenzie R.C., 1957: The differential thermal investigation of clays. Mineralogical Society, London
- [93] Mackenzie R.C., Mitchell B.D., 1972: Differential thermal analysis. Vol. 2, Applications. Academic Press, London
- [94] Mackenzie R.C., Caillere S., 1975: The thermal characteristics of soil minerals and the use of these characteristics in the qualitative determination of clay minerals in soils, in: J. E. Gieseking /ed/. Soil Components vol. I, 540-572
- [95] Madrid L., Diaz E., Cabrera F., 1984: Charge properties of minerals with variable and constant surface charge. J. Soil Sci., 32, 373-380
- [96] Maszner P., 1979: Zawartość i profilowe rozmieszczenie siarki w madach dolnego biegu Wisły. Roczn. AR Poznań, 109, 85-94
- [97] Maszner P., 1979: Zmiany zasobności mad doliny Wisły w Grabowie po 20 latach użytkowania rolniczego. Roczn. AR Poznań, 109, 95-104
- [98] Mazurski K., 1976: Niektóre cechy mad sudeckich. Roczn. Glebozn., t. 27, 4, 93-105

- [99] Mc Keague J.A., 1967: An evaluation of 0,1 M pyrophosphate and pyrophosphate-ditionite in comparison with oxalate as extractants of the accumulation products in podzols and some other soils. *Can. J. Soil Sci.*, 47, 95-99
- [100] Mc Keague J.A., 1968: Humic acids ratio, Al, Fe and C in pyrophosphate extracts as criteria of A and B horizons. *Can. J. Soil Sci.*, 58, 27-35
- [101] Mc Keague J.A., Brydon J.E., Miles N.M., 1971: Differentiation of forms of extractable iron and aluminium in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 35, 33-38
- [102] Mc Kenzie R.M., 1975: An electron microprobe study of the relationships between heavy metals and manganese and iron oxides in soils. *Aust. J. Soil Res.*, 13, 177-188
- [103] Mehlich A., 1960: Charge characterization of soils. *Trans. Int. Congr. Soil Sci.*, 7th, Madison, WI, 292-311
- [104] Mehra O.P., Jackson M.L., 1960: Iron oxide removal from soils and clays by dithionite-citrate system, buffered with sodium bicarbonate. *Clays Clay Miner.*, 7, 317-327
- [105] Meyer B., Kalk E., Folster H., 1962: Parabraunerde aus carbonathaltigen Würrn Lass in Niedersachsen. Profilbilanz der ersten Flöge bodengenetischer Teilprozesse: Enkaltung, Verbrauung, Mineralverwitterung. *Z. Pflanzern-ahr. Düng. Ek.* 92, 37-54
- [106] Mitchell B., Farmer W.C., Mc Hardy W.J., 1964: Amorphous inorganic materials in soil. *Adv. in Agron.*, 327-383
- [107] Motowicka-Terelak T., 1971: Rozmieszczenie żelaza w glebach i skład chemiczny ważniejszych wytrąceń żelazistych. *Pam. Puławski*, 48, 95-133
- [108] Myślińska E., Hoffmann E., 1982: Zróźnicowanie litologiczne mad w wybranych odcinkach doliny Wisły. *Przegląd Geologiczny*, 2, 479-479
- [109] Nowak J., Nipanicz A., 1967: Odczyn i zasobność gleb Żuław Wiślańnych. *Rocz. Glebozn.*, t. XVIII, 1, 247-265
- [110] Okamura K., Wada K., 1983: Electric charge characteristics of /B/ horizons of Ando and Red-Yellow soils and weathered pumices. *J. Soil Sci.*, 34, 287-295
- [111] Olson K.R., Olson G.W., 1985: Total potassium analysis as a predictor of illitic mineralogy class. *Soil Science*, 140, 4, 243-250
- [112] Olszewski Z., Borkowski T., Rusiecka D., Skłodowski P., 1966: Mady okolic Wilanowa. *Rocz. Nauk Roln.*, 91-A, 57-95

- [113] Parker J.C., Żelazny L.W., Sampath S., Harris W.G., 1979: Critical evaluation of the ZPC. Theory to soil system. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43, 668-674
- [114] Partiff R.L., Fraser A.R., Farmer V.C., 1977: Adsorption on hydrous oxides. Fulvic acid and humic acid on goethite, gibbsite and imogolite. *J. Soil Sci.*, 28, 289-296
- [115] Pena F., Torrent J., 1984: Relationship between phosphate sorption and iron oxides in Alfisols from a river terrace sequence of mediterranean Spain. *Geoderma*, 33, 283-296
- [116] Ponder H., 1963: Fizykochemiczne właściwości gleb brunatnych i bielicowych utworzonych z gliny zwalowej Pojezierza Kaszubskiego. *Pam. Puławski*, 2, 53-97
- [117] Pyman M.A., Posner A.M., 1978: The surface areas of amorphous mixed oxides and their relation to potentiometric titration. *J. Colloid Inter. Sci.*, 66, 85-94
- [118] Rengasany P., Oades T., 1977: Interaction of monomeric and polymeric species of metal ions with clay surface. Changes in surface properties of clays after addition of iron /III/. *Aust. J. Soil Res.*, 15, 235-242
- [119] Reimann B., Kociałkowski Z., Michałek K., 1975: Available and exchangeable microelements in Żuławy alluvial soils. *Polish J. Soil Science*, 8, 27-35
- [120] Reimann B., Borowicz A., 1962: Mangan i miedź w niektórych madach. *Rocz. WSR Poznań*, 12, 119-127
- [121] Reimann B., Cieśla W., 1961: Gleby fluwiogeniczne Doliny Wisły w Grabowie. *Rocz. Nauk Roln.*, 82-A, 3, 325-354
- [122] Rice T.J., Weed S.B., Buol S.W., 1985: Soil - saprolite profiles from mafic rocks in the North Carolina. Association of free iron oxides with soils and clays. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49, 1, 178-186
- [123] Roszko L., 1968: Z historii rozwoju Doliny Dolnej Wisły. *Folia Quatern.*, 22, 97-108
- [124] Sawhney B.L., Frink C.R., Hill D.E., 1987: Components of pH-dependent cation exchange capacity. *Soil Sci.*, 109, 5, 272-278
- [125] Schnitzer M., Gupta V.C., 1964: Chemical characteristics of the organic matter extracted from A and B₂ horizons. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 28, 374-377
- [126] Schuffelen A.C., Van Marel W.H., 1955: Potassium fixation in soils. *Potassium Symp. Ann. Meeting Int. Potash Inst.*, 157-201
- [127] Schultze D., 1974: Termiczna analiza różnicowa. PWN, Warszawa

- [128] Schwertmann U., 1964: Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. Z. Pfl. Ernähr. Düng. Bodenk., 102, 194-202
- [129] Schwertmann U., Taylor R.M., 1977: Iron oxides, 167-179, in: Minerals in soil environment. Ed. J. B. Dixon, S. B. Weed, Madison, WI
- [130] Schwertmann U., 1979: Non crystalline and accessory minerals, in: Development in sedimentology. Ed. M. M. Mortland, Elsevier, 419-499
- [131] Schwertmann U., 1981: Iron oxide and pedogenic environments. Agronomy Abstr., Washington, p. 222
- [132] Schwertmann U., 1984: The effect of pedogenic environments on iron oxide minerals. Adv. Soil Sci., 1, 172-200
- [133] Schwertmann U., 1981: Ferrihydrite - a high surface area iron oxide in soils. Abstracts: Conference on soils with variable charge, Massey Univ. Palmerston, New Zealand, p. 31
- [134] Schwertmann U., Murad E., Schulze G.D., 1982: Is there holocene reddening /hematite formation/ in soils of axeric temperate areas? Geoderma, 27, 209-224
- [135] Schwertmann U., Kodama H., Fischer W.R., 1986: Mutual interactions between organics and iron oxides, in: Interactions of soil minerals with natural organics and microbes. SSSA Spec. Publ., 17, Madison, WI
- [136] Service Key to Soil Units for the Soil Map of the World. 1970, Land and Water Development Division. FAO, Roma
- [137] Siuta J., 1960: Wstępne badania procesów glejowych w madach żuławskich. Roczn. Nauk Roln., t.82-A-1, 45-72
- [138] Siuta J., Nożyński A., 1961: Charakterystyka gleb wsi Długie Pole na terenie Żuław Gdańskich. Pam. Puławski, 3, 189-193
- [139] Siuta J., 1963: Wpływ procesu glejowego na kształtowanie się cech morfologicznych i właściwości chemicznych profilu glebowego. Mady Żuławskie. Pam. Puławski, 2, 99-121
- [140] Siuta J., 1963: Charakterystyka mad żuławskich na tle analizy kationów wymiennych i składników rozpuszczalnych w wodzie. Pam. Puławski, 2, 275-292
- [141] Soil Taxonomy, 1975: Soil Survey Staff. Agric. Handbook, Washington D.C., U.S. Govt. Print. Office
- [142] Sposito G., 1984: The surface chemistry of soils. Oxford University Press
- [143] Stefanovits P., 1971: Brown forest soils of Hungary. Akademiai Kiado, Budapest

- [144] Stevenson F.J., 1982: Contribution of organic matter to the cation exchange capacity, 325-330, in: Humus chemistry. Ed. J. Wiley, New York
- [145] Stoch L., 1957: Niektóre zagadnienia analizy termicznej różnicowej minerałów. *Archiwum Miner.*, 21, 184-222
- [146] Stoch L., 1974: *Minerały ilaste*. Wyd. Geologiczne, Warszawa
- [147] Stonehouse H.B., Arnaud R.J., 1971: Distribution of iron, clay and extractable aluminium in some Saskatchewan soils. *Can. J. Soil Sci.*, 51, 283-292
- [148] Strzemiński M., 1955: Typologia mąd polskich. *Rocz. Glebozn.*, 4, 130-191
- [149] Sumner M.E., 1963: Effect of iron oxides on positive and negative charges in clays and soils. *Clay Miner. Bull.*, 2, 218-226
- [150] Süsser P., Schwertmann U., 1983: Iron oxide mineralogy of ochrous deposits in drain pipes and ditches. *Z. Kulturtech. Flurbereing*, 24, 389-395
- [151] *Systematyka gleb Polski*, 1970: PTG, Komisja Genezy, Klasyfikacji i Kartografii Gleb, Warszawa
- [152] *Systematyka gleb Polski*. Wyd. II, 1989: *Rocz. Glebozn.*, 40, 3, 1-222
- [153] Tan K.H., Dowling P.S., 1984: Effect of organic matter on CEC due to permanent and variable charges in selected temperate region soils. *Geoderma*, 32, 89-101
- [154] Theis T.L., Singer P.C., 1974: Complexation of iron /II/ by organic matter and its effect on iron /II/ oxygenation. *Environ Sci. Technol.*, 8, 569-573
- [155] Tipping E., Cooke D., 1982: The effect of adsorbed humic substance on the surface charge of goethite /FeOOH/. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46, 75-80
- [156] Turner R.C., Nicol W.E., 1962: A study of lime potential. *J. Soil Sci.*, 92, 374-382
- [157] Uehara G., Gillman G.P., 1980: Charge characteristics of soils with variable and permanent charge minerals. I. Theory. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44, 250-256
- [158] Van Raij B., Peech M., 1972: Electrochemical properties of some Oxisols and Alfisols of the tropics. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 36, 587-593
- [159] Wada K., Higashi T., 1976: The categories of aluminium and iron-humus complexes in andosols determined by selective dissolution. *J. Soil Sci.*, 27, 357-359

- [160] Wakatsuki T., Furukawa H., Kyuma K., 1977: Geochemical study of the redistribution of elements in soil - evaluation of degrees of weathering of transported soil materials by distribution of major elements among particle size fraction and soil extract. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 41, 891-902
- [161] Walker G.F., 1958: Reactions of expanding lattice minerals with glycerol and ethylene glycol. *Clay Miner. Bull.*, 3, 302-313
- [162] Weaver C.E., 1973: The chemistry of clay minerals. Elsevier Sci. Publ., Amsterdam
- [163] Whitting L.D., 1964: X-ray diffraction techniques for minerals identification and mineralogical composition, 671-696, in: C. A. Black, *Methods of soil analysis*, Madison, WI
- [164] Wilding L.P., Smek N.E., Hall G.A., 1983: Pedogenesis and soil taxonomy. I. Concepts and Interactions. Elsevier Sci. Publ.
- [165] Witek T., 1961: Wstępne badania nad ewolucją Żuław Wiślanych. *Rocz. Nauk Roln.*, 82-A, 3, 659-688
- [166] Witek T., Siuta J., Pondel H., 1961: Mady obszaru Żuław Kwidzyńskich. *Pam. Puławski*, 3, 131-163
- [167] Witek T., 1965: Gleby Żuław Wiślanych. *Pam. Puławski*, 18, 157-266
- [168] Wondrausch A., 1953: Mady okolic Niska i Rudnika nad Sanem. *Rocz. Nauk Roln.*, A-3, 67, 132-133
- [169] Zawadzki S., Guz T., 1961: Charakterystyka niektórych gleb Doliny Wisły w rejonie Kujaw. *Rocz. Glebozn. dod. 10*, 606-607, Mat. Zjazdu PTG, Warszawa
- [170] Zimont H., 1971: Rola substancji organicznej w kształtowaniu mady Żuławskich. *Rozprawy naukowe, WSR Szczecin*
- [171] Zonn S.W., 1982: Żelezo w poczwach. *Izd. Nauka, Moskwa*

SKŁAD I WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOCHEMICZNE
WYBRANYCH GLEB ALUWIALNYCH DOLINY DOLNEJ WISŁY
Z UWZGLĘDNIENIEM ICH CECH DIAGNOSTYCZNYCH

Streszczenie

Zbadano właściwości fizykochemiczne oraz skład chemiczny, mineralogiczny i uziarnienie gleb aluwialnych Doliny Dolnej Wisły. W oparciu o uzyskane wyniki dokonano próby wyodrębnienia cech diagnostycznych, pomocnych w klasyfikacji mad.

Badania przeprowadzono na wybranych profilach, położonych na prawym i lewym brzegu Wisły oraz na obszarze Żuław Przejściowych. Dla porównania analizowano również gleby różniące się wiekiem i genezą od młodych mad wiślanych. Studia dotyczyły właściwości powierzchniowych: zdolności sorpcyjnych, wielkości powierzchni właściwej, rozkładu ładunków elektrycznych oraz wpływu poszczególnych składników gleby (w tym wolnych tlenków żelaza i próchnicy) na te właściwości. Stwierdzono, że na rozkład ładunków powierzchniowych istotny wpływ mają wolne tlenki żelaza, które w madach występują głównie w postaci amorficznej i charakteryzują się dużą powierzchnią właściwą. W madach obecne są również znaczące ilości organicznych połączeń żelaza, przede wszystkim w formie trwałych kompleksów koordynacyjnych o różnym składzie.

Wyznaczono kationową pojemność wymienną gleb aluwialnych, związaną ze stałymi oraz zmiennymi, zależnymi od pH, ładunkami powierzchniowymi. Stwierdzono przeważający udział ładunków stałych w pojemności wymiennej mad.

Badane gleby aluwialne to mady średnie, ciężkie lub bardzo ciężkie, bezszkieletowe, silnie pylaste. W składzie frakcji ilu koloidalnego ($d < 2 \mu\text{m}$) dominuje podfrakcja gruba ($d 2-0,5 \mu\text{m}$) i drobna ($d < 0,2 \mu\text{m}$).

Analiza składu chemicznego masy glebowej oraz frakcji ilastej wykazała, że na badanym obszarze występują mady o stosunkowo jednolitym składzie w obrębie profilu, jak też gleby o zróżnicowanej zawartości składników. Zróżnicowanie składu chemicznego jest związane z procesami aluwialnymi i warstwowaniem osadu, podczas gdy jednolita zawartość składników to wynik większej jednorodności geologicznej materiału oraz jego homogenizacji spowodowanej procesami glebotwórczymi.

Na podstawie wyników analizy rentgenograficznej, derywatograficznej i chemicznej frakcji ilastej mad, zasobną w potas i żelazo, zaliczono do klasy illitowej, ze znaczącym udziałem minerałów późniejszych: smektytu i struktur mieszanopakietowych typu illit-smektyt. Stwierdzono także obecność kaolinitu, chlorytu, a w niektórych próbkach wernikulitu.

Wykazano, że mady jako gleby utworzone z redeponowanych osadów, mają budowę warstwową profilu, która ulega przekształceniu w wyniku homogenizacji materiału, a następnie dyferencjacji na skutek zachodzących procesów glebotwórczych, w tym brunatnienia. Proces brunatnienia prowadzi do wy-

kształcenia poziomu cambic, który charakteryzuje się strukturą gruzelkową, jednolitą barwą brunatną oraz wzbogaceniem w wolne tlenki żelaza i wyższym stopniem uruchomienia żelaza (Fe_d/Fe_o) w porównaniu do poziomów przyległych. Parametry te mogą stanowić kryterium diagnostyczne poziomu cambic w madach.

COMPOSITION AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES
OF SELECTED ALLUVIAL SOILS FROM LOWER WISŁA VALLEY
WITH REGARD TO THEIR DIAGNOSTIC FEATURES

Summary

Physico-chemical properties, as well as chemical, mineralogical composition and texture of alluvial soils from Lower Wisła Valley have been investigated. On the base of the results diagnostic features, helpful in classification of alluvial soils, have been individuated.

The studies have been carried out on selected profiles, occurring on the left and right riverside of Wisła and Żuławy Mean area. For comparison soils differing in age and genesis from young alluvial soils have been examined, too. Studies were concerned with surface properties: sorption capacity, specific surface area, surface charge distribution and the influence of individual soil components (including free iron oxides and organic matter) on these properties. It was found that free iron oxides, which occur mainly in amorphous form and have large specific surface area, essentially influence on surface charge distribution. Organic compounds of iron are present in remarkably large amounts in alluvial soils, mainly in stable coordination complexes with various composition, too.

Cation exchange capacities due to permanent and variable charge have been determined. The contribution of permanent charges is predominant.

Investigated alluvial soils represent mean, heavy or very heavy soils, nonskeletal, very fine sandy. Coarse (ϕ 2 - 0,5 μ m) and fine (ϕ < 0,2 μ m) fraction predominate in clay fraction.

Analysis of chemical composition of soils and clay fraction pointed out that there are both soils with uniform composition within the profile and soils with differential content of components. Differentiation is connected with alluvial processes and stratification of sediment, while homogeneous content of components is the result of geologic similarity of the material as well as its homogenization during soil forming processes.

On the base of x-ray spectroscopy, thermal and chemical analysis, the clay fraction, potassium and iron-rich, was classified to illitic group, with significant amounts of expandable minerals: smectite and intermediate structures like illite-smectite. Kaolinite, chlorite and vermiculite (in some samples) is present too.

It was found that alluvial soils, developed from redeposits, are stratified within the profile, which changes during transformation due to homogenization of the material and then differentiation in consequence of soil forming processes, including brownification. Brownification process leads to development of cambic horizon. This horizon is characterized by crumb structure, solid brown colour, enrichment in free iron oxides and higher content of mobile iron (Fe_d/Fe_c) in comparison to adjacent horizons. These parameters could be decisive as a diagnostic criteria of cambic horizon in alluvial soils.

СОСТАВ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВ ДОЛИНЫ ДОЛЬНОЙ ВИСЛЫ С УЧЁТОМ ИХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ЧЕРТ

Резюме

Исследовали свойства и состав аллювиальных почв Долины Дольной Вислы. На базе полученных результатов совершили попытку выделить диагностические черты, полезные в классификации аллювиальных почв.

Исследования проводились на избранных разрезах на левом и правом берегах реки Вислы, а также на территории Переходных Жулав. Для сравнения взяты были почвы, отличающиеся веком происхождения и происхождением от молодых аллювиальных почв. Исследования относились к свойствам поверхности: способности к сорбции, величине поверхности, распределению электрических зарядов и влиянию компонентов почвы /включая окиси железа и гумус/ на эти свойства. Установлено, что на распределение поверхностных зарядов значительно влияют окиси железа, выступающие в пойменной почве в аморфной форме и имеющие большую поверхность. В аллювиальных почвах имеется тоже значительное количество органических соединений железа, прежде всего в виде прочных координационных комплексов с разным составом.

Определили катионную обменную ёмкость аллювиальных почв, связанную с постоянными и изменчивыми поверхностными зарядами, зависящими от pH. Доказали, что удел постоянных зарядов доминирует в катионной ёмкости.

Исследованные почвы это глинистые пойменные, бесскелетные, пылеватые почвы. В составе илистой фракции / $\phi < 2_{\mu\text{л}}$ / доминируют крупная / $\phi 2 - 0,5_{\mu\text{л}}$ / и мелкая / $\phi < 0,2_{\mu\text{л}}$ / подфракции.

Анализ химического состава почвы и илистой фракции показал, что в исследованном районе выступают аллювиальные почвы с относительно однородным составом в разрезе, как и почвы с разным количеством компонентов. Дифференциация химического состава связана с аллювиальными процессами и наслоением осадка, зато однородность состава это результат геологической однородности материала и его гомогенизации во время почвообразовательных процессов.

На основании рентгенографического, химического и термического анализа илистую фракцию, богатую калием и железом, причислили к иллитовой группе, со значительным участием разбухающих минералов: смектита и смешанослоистых минералов типа иллит-смектит. Обнаружили тоже наличие каолинита, хлорита, а в некоторых образцах также везикулита.

Показали, что в аллювиальных почвах, возникших из депонированных осадков, имеется слоистая структура разреза. Она преобразуется в результате гомогенизации, а затем дифференциации, связанной с почвообразовательными процессами /в том числе буроземообразования/. Буроземообразование ведёт к образованию горизонта "камбик" /Cambic/, характеризующегося комковатой структурой, однородным бурым цветом, обогащением окисями железа и высоким количеством мобильного железа / Fe_3/Fe_c / по сравнению с соседними горизонтами. Эти параметры могут быть диагностическими критериями горизонта "камбик" в аллювиальных почвах.



**Biblioteka Główna ATR
w Bydgoszczy**

75439

ISSN 0209-0597