

Witold Plichta

Gleby Kaffiøyry, Spitsbergen

Szkic monograficzny

Spis treści

1. Wstęp
2. Położenie
3. Charakterystyka ważniejszych czynników glebotwórczych
 - 3.1. Rzeźba i litologia
 - 3.2. Klimat i strefy geobotaniczno-glebowe
 - 3.3. Czynnik biotyczny
 - 3.4. Dopływ pierwiastków z aerozolu morskiego
4. Główne procesy pedogeniczne
 - 4.1. Akumulacja materiału organicznego
 - 4.2. Proces brunatnienia
 - 4.3. Proces glejowy
 - 4.4. Proces dekarbonatyzacji
5. Wpływ procesów kriogenicznych na gleby
6. Główne jednostki taksonomiczne gleb
 - 6.1. Gelic Regosols
 - 6.2. Gelic Cambisols
 - 6.2.1. Geneza i właściwości
 - 6.2.2. Zróżnicowania profilowe zawartości pierwiastków metalicznych
 - 6.2.3. Niekrzemianowe formy żelaza
 - 6.3. Gelic Gleysols
 - 6.4. Inne jednostki glebowe
7. Zawartość metali ciężkich w glebach Kaffiøyry
8. Zagadnienie stadium klimaksowego gleb tundrowych
9. Załącznik: metody badań
10. Literatura
11. Summary
12. Fotografie
13. Tabele
14. Spis rysunków

1. Wstęp

W literaturze dotyczącej gleb arktycznych jest stosunkowo wiele publikacji poświęconych glebom Spitsbergenu. Według Tedrowa (1977) pionierskie badania gleboznawcze na tym obszarze prowadzili Blanck (1912), Björlykke (1928) i Meinardus (1930). W ostatnich latach glebami Spitsbergenu zajmowali się między innymi Smith (1956), Fedoroff (1966) i Vliet-Lanoë (1983) oraz Forman i Miller (1984). Polskie badania gleboznawcze Spitsbergenu zostały zapoczątkowane w rejonie Hornsundu i większość publikacji dotyczy gleb tego terenu (Kowaliński i Szerszeń, 1962; Szerszeń, 1968, 1974; Boratyński i in. 1968; Plichta, 1977; Krzyszowska, 1985; Szerszeń i Chodak, 1985; Fischer i Bieńkowski, 1987; Bieńkowski, 1990; Fischer, 1990). Na obszarze Calypsostrandy w rejonie Belsundu prowadzili badania Melke i Uziak (1988).

W latach 80-tych podjęto różnokierunkowe badania gleb Kaffiøyry. Mapę rozmieszczenia podstawowych jednostek glebowych według klasyfikacji FAO (1974) oraz skał macierzystych sporządzili Sinkiewicz i Plichta (1987). Morfoskopią powierzchni ziarna kwarcowego zwietrzelin i gleb zajmowali się Kowalkowski i in. (1987). Badania zawartości metali w glebach Kaffiøyry, w tym głównie metali ciężkich w Gelic Cambisols prowadzili Plichta i Kuczyńska (1991) oraz Plichta i inni (1991). Rolę sinic w genezie poziomów organicznych Gelic Gleysols, Gelic Cambisols oraz w inicjalnych stadiach rozwoju gleby przedstawili Plichta i Luścińska (1988). Badania nad rozkładem szczątków organicznych prowadziła Dziadowiec (1983, 1992).

Przedmiotem opracowania są gleby Kaffiøyry. Ogólna ich charakterystyka na tle środowiska glebotwórczego została oparta w głównej mierze na wynikach własnych badań terenowych i laboratoryjnych. W opracowaniu wykorzystano również stosunkowo bogatą literaturę dotyczącą środowiska i gleb Spitsbergenu oraz regionów polarnych.

2. Położenie

Kaffiøyra (78°35'N, 78°41'N, 11°50'E, 12°20'E) stanowi nizinę nadmorską położoną w północno-zachodniej części Spitsbergenu na Ziemi Oskara II. Rozciąga się ona na przestrzeni 13 km pomiędzy lodowcami Aavatsmarka na północy i Dahla na południu. Od wschodu Kaffiøyra przylega do masywu górskiego i w kierunku zachodnim obniża się do cieśniny Forland.

3. Charakterystyka ważniejszych czynników glebotwórczych

3.1. Rzeźba i litologia

Kaffiøyra utworzona jest z szeregu teras akumulacji morskiej oraz teras abrazyjnych wyniesionych izostatycznie do 65 m npm (fot. 1). Z dawnych form brzegowych zachowały się plaże, wały brzegowe i laguny. Współczesnymi elementami rzeźby są równiny sandrowe i doliny wód roztopowych.

Podłoże stanowią trzeciorzędowe łupki ilaste, mułowce, piaskowce i zlepieńce oraz łupki, dolomity, fyllity i marmury prekambryjsko-kambryjskiej formacji Hecla Hoek. Na powierzchni występują czwartorzędowe utwory kamieniste, żwiry i piaski szkieletowe, gliny i utwory pyłowe. Pod względem genezy są to piaski i żwiry akumulacji morskiej, gliny

marinoglacjalne oraz współczesne osady fluwioglacjalne (fot. 2). W niektórych miejscach teras abrazyjnych spotyka się zwietrzeliny skał formacji Hecla Hoek oraz piaskowców i zlepieńców paleogeńskich (Klimaszewski, 1960; Niewiarowski, 1982).

Jednym z ważniejszych czynników glebotwórczych w strefie arktycznej jest rzeźba terenu. Wpływa ona na całość procesów pedogenicznych i kriogenicznych poprzez kształtowanie stosunków wodnych i termicznych. Przy płytko zalegającej zmarzlinie, nawet niewielkie deniwelacje powodują znaczną zmienność wilgotności gleb. Bardzo częstym zjawiskiem jest stagnowanie wody na powierzchni. Z bogatą rzeźbą powierzchni Kaffiøyry i silnym uwilgotnieniem gleb wiążą się stosunkowo intensywne procesy erozji, spłukiwania i soliflukcji. Właściwości gleb w katenie uwarunkowanej stopniem nachylenia stoków w rejonie Adventdalen na Spitsbergenie podaje Smith (1956). Szczegółowe badania nad związkami pomiędzy rzeźbą terenu a glebami Spitsbergenu prowadzili Fedoroff (1966) i Vliet-Lanoë (1983).

3.2. Klimat i strefy geobotaniczno-glebowe

Warunki klimatyczne ilustruje diagram (rys. 1) wykonany na podstawie pomiarów stacji meteorologicznej Isfjord Radio (78°04'N, 13°38'E). Klimat tego rejonu charakteryzuje się niską średnią temperaturą roczną wynoszącą -4,7°C i stosunkowo wysoką jak dla Arktyki średnią roczną sumą opadów 435 mm (Steffensen, 1982). Obliczony wskaźnik wilgotności klimatu (Ivanov, 1958, za Bednarek i Prusinkiewicz, 1980), będący stosunkiem rocznej sumy opadów do potencjalnego parowania rocznego wynosi 2,86 i jest bliski klimatu ekstrahumidowego (wartość wskaźnika 3).

Konsekwencjami specyficznych warunków klimatycznych są: obecność w glebie wieloletniej zmarzliny, intensywne procesy kriogeniczne, przewaga procesów wietrzenia fizycznego nad chemicznym oraz powolne procesy mineralizacji materiału organicznego. Z przewagą opadów nad parowaniem związany jest przemysłowy typ gospodarki wodnej w glebach utworzonych z materiału gruboziarnistego.

Dla Arktyki stosowane są różne podziały na strefy i podstrefy klimatyczno-roślinno-glebowe. Według regionalizacji geobotanicznej Aleksandrovej (1977) Arktykę dzieli się na strefę pustyń polarnych i strefę tundry arktycznej. Natomiast według podziału Tedrowa (1973) interesujący nas obszar leży w strefie pustyń subpolarnych (środkowa Arktyka) stanowiących strefę przejściową pomiędzy pustyniami polarnymi (wysoka Arktyka) i tundrą.

3.3. Czynniki biotyczny

Czynniki kształtującymi zawartość próchnicy w glebie są ilość szczątków organicznych dopływających do gleby oraz tempo ich mineralizacji. Ilość dopływających szczątków limitowana jest wielkością produkcji pierwotnej zbiorowisk roślinnych. Na terenie Kaffiøyry występują następujące zbiorowiska: sucha tundra mszysta, świeża tundra mszysta, tundra porostowa, tundra wyleżysk śniegowych i tundra deflacyjna (Gugnacka-Fiedor i Noryśkiewicz, 1982). Zbiorowiska te odznaczają się niską produktywnością. Według Tiškova (1985) produkcja pierwotna tundry dębikowo-mszystej (=sucha tundra mszysta) na utworach żwirowych zachodniego wybrzeża Spitsbergenu wynosi 0,6 t.ha⁻¹.rok⁻¹. Brattbakk i Rønnig (za Tiškovem, 1985) podają zakres produkcji ekosystemu Spitsbergenu w granicach od 0,5 do 1,4 t.ha⁻¹.rok⁻¹.

W rejonie Hornsundu wg Klekowskiego i Opalińskiego (1984) mieści się on w przedziale 0,02-2,7 t.ha⁻¹.rok⁻¹.

Obecnie na Kaffiøyrze, dopływ szczątków roślin do gleby, mimo małej produkcji pierwotnej jest znaczny, ze względu na brak roślinożerców w łańcuchu troficznym tundry.

Intensywność mineralizacji materiału organicznego w glebie zależy głównie od warunków hydrotermicznych. Z badań Douglasa i Tedrowa (1959) wynika, że w temperaturze 7°C jest ona siedmiokrotnie niższa niż w temperaturze 19,5°C. Miarą intensywności mineralizacji materiału organicznego jest między innymi ilość wydzielającego się CO₂ z gleby. Według badań Dziadowiec (1983) wynosi ona w ciągu okresu wegetacyjnego w różnych zbiorowiskach tundrowych Kaffiøry od 28 do 74g CO₂.m⁻². Są to wartości wielokrotnie niższe niż w glebach strefy umiarkowanej. Czynnikiem hamującym procesy mineralizacji jest również nadmierna wilgotność gleb.

Czynnikiem mającym znaczny wpływ na zasobność w składniki troficzne gleb arktycznych w strefie nadmorskiej, są kolonie lęgowe ptaków. Liczne gatunki żerujące na morzu wnoszą do gleb położonych w pobliżu miejsc lęgowych znaczne ilości odchodów, bogatych szczególnie w związki azotu i fosforany (Klekowski i Opaliński, 1984; Krzyszowska, 1985). Na Kaffiørze wzbogacenie gleb w składniki troficzne na tej drodze odgrywa podrzędną rolę, ze względu na brak większych kolonii ptaków.

Duży wpływ na przebieg procesów biotycznych posiada głębokość odmarzania gleby w okresie wegetacyjnym. Na Kaffiørze miąższość warstwy czynnej wynosi od 80 do 140 cm (Marciniak i Szczepanik, 1983). Są to wartości maksymalne. Na ogół jest ona znacznie mniejsza i dlatego głębokość występowania systemów korzeniowych jest niewielka. Mała miąższość warstwy czynnej warunkuje także niską aktywność biologiczną i powolny obieg pierwiastków w systemie roślina-gleba.

3.4. Dopływ pierwiastków z aerozolu morskiego

Niemalý wpływ na właściwości gleb równin nadmorskich, szczególnie w strefie arktycznej posiada aerozol emitowany z morza podczas sztormu oraz sole wytrącające się z wody morskiej podczas zamarzania a następnie wywiewane z powierzchni lodu. Zjawiska te powodują wzrost zawartości kationów Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ i K⁺, oraz anionów Cl⁻, SO₄²⁻ (Bieroński, 1977; Marks, 1978; Pastor i Bockheim, 1980; Cambell i Claridge, 1987).

Sporadycznie na terenie Kaffiøry spotyka się wykwit tenardytu (Na₂SO₄) pochodzącego ze zamarzającej wody morskiej. Obecność wykwitów tenardytu na Spitsbergenie stwierdził również Smith (1956).

4. Główne procesy pedogeniczne

Głównymi procesami pedogenicznymi w glebach Kaffiøry są akumulacja próchnicy, brunatnienie, glejenie i dekarbonatyzacja. Rys. 2 ilustruje schematycznie gradienty pedogeniczne wg Tedrowa (1977) w różnych strefach Arktyki. Jeżeli przyjąć za Tedrowem (1968), że środkowy Spitsbergen, w tym Kaffiøra, położony jest w strefie subpolarnych pustyń, przedstawiony schemat wymaga korekty. Procesy akumulacji materiału organicznego i dekarbonatyzacji w glebach Kaffiøry są silniej wyrażone niż wynikałoby to ze schematu. Ilustracja Tedrowa jest generalizacją przedstawionych zjawisk. Lokalnie zależą one także od takich warunków jak ekspozycja czy położenie w stosunku do oddziaływań morza.

4.1. Akumulacja materiału organicznego

Jak już wcześniej wspomniano zasoby (Z) próchnicy w glebach zależą od ilości dopływających szczątków organicznych (D) i tempa ich mineralizacji (a). Wzór opisujący tę zależność w glebach będących w stanie równowagi z warunkami klimatyczno-roślinnymi posiada postać:

$$Z = D (1-a)/a \text{ [t.ha}^{-1}\text{]} \quad (\text{Plichta 1981}).$$

Pomimo niskiej produkcji pierwotnej tundry arktycznej, a tym samym niewielkiego dopływu szczątków organicznych, zasobność gleb Kaffiøry w próchnicę jest znaczna. Spowodowana jest ona powolnym przebiegiem procesu mineralizacji próchnicy. Obliczone przybliżone zasoby próchnicy w glebach mineralnych Kaffiøry wynoszą od 30 do 150 t.ha⁻¹.

Znaczną rolę w procesie akumulacji próchnicy w glebach tundrowych odgrywają sinice (Plichta i Luścińska, 1988). Są to organizmy autotroficzne, które żyją w szerokim zakresie warunków siedliskowych i jednocześnie mają zdolność do wiązania azotu atmosferycznego. Organizmy te odgrywają szczególną rolę w inicjalnych stadiach rozwoju gleb arktycznych (Gelic Regosols), ponieważ są głównym źródłem próchnicy i azotu. W glebach inicjalnych współczesnych moren oraz powierzchni akumulacji fluwioglacjalnej i morskiej próchnica jest częściowo allochtoniczna i pochodzi z materiału organicznego nawiewanego przez wiatr z tundry.

W Gelic Gleysols na powierzchniach pozbawionych roślin naczyniowych i zarodnikowych między innymi ze względu na intensywne ruchy materiału glebowego wywołane procesami mrozowymi, glony odgrywają istotną rolę w akumulacji próchnicy i tworzeniu się poziomów powierzchniowych. Campbell i Claridge (1969) w glebach Arktyki wyróżniają poziom "storfiatych glonów".

4.2. Proces brunatnienia

Uwolnione tlenki żelaza podczas wietrzenia chemicznego krzemianów i glinokrzemianów oraz mineralizacji szczątków organicznych nadają brunatną barwę poziomowi cambic w Cambisols (Duchaufour i Souchier, 1978). W wyniku tego procesu może również zachodzić nieznaczny wzrost zawartości frakcji drobnoziarnistej. Jednak w Gelic Cambisols na Kaffiørze, ze względu na powolne tempo wietrzenia chemicznego, ilości tworzącego się iłu koloidalnego są nieuchwytnie standardową metodą analizy granulometrycznej.

4.3 Proces glejowy

Proces ten zachodzi w glebach o słabym drenażu i związany jest ze stałym lub okresowym stagnowaniem wody. Woda wypełniająca przestrzenie międzycząsteczkowe hamuje dostęp powietrza i zawartego w nim tlenu. Powstają w ten sposób warunki sprzyjające procesom redukcyjnym. Przy udziale mikroorganizmów redukujących, brunatne trójwartościowe związki żelaza przechodzą w dwuwartościowe, nadając glebie szarą lub niebieskawą barwę. Procesowi redukcji ulegają także związki manganu.

W silnie wilgotnych, słabo drenowanych glebach Kaffiøry morfologiczne cechy oglejenia zaznaczają się jednak stosunkowo słabo. Związane jest to prawdopodobnie z obecnością węglanów i wysokimi wartościami pH. W takich warunkach liczebność bakterii redukujących żelazo jest niższa niż w glebach kwaśnych (Nepomilujev i Kozyrev, 1970).

4.4. Proces dekarbonatyzacji

Procesowi dekarbonatyzacji sprzyja niska temperatura i związana z nią duża rozpuszczalność CO₂ w wodzie. Powstający w glebie kwas węglowy tworzy z węglanem wapniowym dobrze rozpuszczalny wodorowęglan wapniowy. Intensywność procesu dekarbonatyzacji jest znaczna, szczególnie w glebach gruboziarnistych.

Poziomy powierzchniowe gleb utworzonych z piasków i żwirów na Kaffiørze są na ogół pozbawione węglanu wapniowego. Na dolnej stronie kamieni znajdujących się w głębi

profilu glebowych, na wyższych terasach akumulacji morskiej obserwuje się kilkumilimetrowe wytrącenia kalcytu postaci "tarkowatej" (fot. 3). W glebach rejonów polarnych często spotyka się podobne wytrącenia (Hill i Tedrow, 1961; Campbell i Claridge, 1987).

W profilu gleb ciężkich nie obserwuje się wyraźnego zróżnicowania zawartości węglanów. Wiąże się to ze słabą infiltracją wody w głąb gleby oraz intensywnymi procesami kriogenicznymi powodującymi pionowe i poziome ruchy materiału glebowego i wody.

5. Wpływ procesów kriogenicznych na gleby

W glebach strefy arktycznej równoległe z procesami pedogenicznymi zachodzą procesy kriogeniczne. Kształtują one stosunki wodne, a przede wszystkim charakterystyczne dla tej strefy różne postacie mikrorzeźby powierzchni gleby.

Procesy kriogeniczne, szczególnie multigelacja, prowadzą do segregacji materiału, wymarzania na powierzchnię części szkieletowych oraz do tworzenia się takich form jak wieloboki, sieci, wieńce i innych. Wszystkie te formy mogą być sortowane i niesortowane w odniesieniu do części szkieletowych (Washburn, 1979). Spadki temperatury poniżej -20°C powodują tworzenie się wieloboków szczelinowych.

Wieloletnia zmarzlina jest jednym z głównych czynników decydujących o dużej wilgotności gleb drobnoziarnistych. Nadmierne uwilgotnienie w przypadku obecności tak zwanych układów niestatecznie warstwowanych sprzyja powstawaniu różnych deformacji w profilu (Cegła i Dżułyński, 1970; Wójcik, 1981). Z dużą wilgotnością związane jest również często występujące w strefie polarnej zjawisko tiksotropowości, polegające na upłynnieniu, pod wpływem bodźca mechanicznego, silnie uwodnionego drobnoziarnistego materiału glebowego o strukturze żelu.

Procesy kriogeniczne sprzyjają także zjawisku soliflukcji na stokach o nachyleniu powyżej 4° (Smith, 1956). Duża wilgotność oraz płytko zalegająca zmarzlina są przyczyną różnych postaci erozji gleb (fot. 4).

Wymienione zjawiska i postacie kriogenicznej mikrorzeźby powierzchni glebowej występują również na Kaffiøyrze (fot. 5, 6). Ocena aktualnej intensywności procesów kriogenicznych jest trudna. Z obserwacji terenowych zdaje się wynikać, że są one obecnie w znacznym stopniu spowolnione. Świadczy o tym całkowite pokrycie roślinnością wielu różnych form mikrorzeźby (fot. 7, 8). Niektóre z nich podlegają obecnie procesom degradacji (fot. 9).

Szczegółowy opis form mikrorzeźby powierzchni gleb Spitsbergenu podają FitzPatrick (1956) i Dudkiewicz (1967). Powiązania między jednostkami taksonomicznymi gleb arktycznych i formami mikrorzeźby kriogenicznej opisuje w swoich pracach Tedrow (Tedrow i Cantlon, 1958; Drew i Tedrow, 1962; Tedrow, 1977).

6. Główne jednostki taksonomiczne gleb

Do współczesnych klasyfikacji obejmujących również gleby arktyczne (polarne) należą: amerykańska (Soil Taxonomy, 1975), kanadyjska (Canadian System of Soil Classification, 1978), rosyjska (Ivanova, 1976) oraz FAO (1974). Wcześniej często była stosowana klasyfikacja gleb arktycznych Tedrowa (1973).

W przedstawionym opracowaniu przyjęto stosunkowo prostą klasyfikację FAO, w której podstawowe jednostki taksonomiczne odpowiadają w przybliżeniu tradycyjnym typom glebowym.

Duże zróżnicowanie przestrzenne skał na Kaffiøyrze, różna głębokość występowania zmarzliny, różnorodność uwilgotnienia, powodują znaczną zmienność intensywności procesów glebowych i kriogenicznych, a zatem dużą liczbę jednostek taksonomicznych oraz mozaikowość ich występowania, różny stopień wykształcenia profilu morfologicznego jak również mikrorzeźby powierzchni glebowej.

Na terenie Kaffiøry wyróżniono następujące jednostki taksonomiczne: Lithosols (gleby inicjalne skaliste¹), Rankers (gleby słabo wykształcone kwarcowo-krzemianowe), Gelic Regosols (gleby inicjalne luźne), Gelic Gleysols (gleby glejowe), Gelic Cambisols (gleby brunatne) i Gelic Histosols (gleby torfowe). Pierwszy człon w nazwie jednostki - Gelic - oznacza, że zmarzlina występuje na głębokości mniejszej niż 200 cm.

Rozmieszczenie jednostek glebowych na Kaffiøyrze ilustruje mapa (rys. 3). Oddzielnym konturem zaznaczono na mapie utwory nieglebowe. Jako podstawę ich wydzielenia przyjęto brak roślinności na powierzchni i próchnicy w profilu. Są to współczesne strefy marginalne lodowców oraz powierzchnie aktualnej akumulacji fluwioglacjalnej i morskiej. Wewnątrz tego konturu sporadycznie występują niewielkie powierzchnie Gelic Regosols.

6.1. Gelic Regosols

W obrębie stref marginalnych lodowców oraz w miejscach niszczonych przez procesy denudacyjne występują Gelic Regosols. Utworzone są one głównie ze szkieletowych piasków i glin. Na powierzchni tych gleb występują pojedynczo rośliny naczyniowe. Sporadycznie spotyka się niewielkie płaty mchów i porostów.

Budowa morfologiczna Gelic Regosols związana z procesami pedogenicznymi jest słabo wyrażona. W części powierzchniowej profilu występuje nieciągły inicjalny poziom organiczny (O)² kilkumilimetrowej miąższości, utworzony głównie z sinic (Plichta i Luścińska, 1988). Poziom próchniczny Ah zaznacza się bardzo słabo i jego miąższość nie przekracza 5 cm. Występująca w poziomach powierzchniowych próchnica jest częściowo allochtoniczna i pochodzi z materiału organicznego nawiewanego przez wiatr z tundry.

Podstawowe właściwości fizyczne i chemiczne Gelic Regosols są w dużym stopniu zbliżone do właściwości skały macierzystej (tab. 1, 2, 3).

6.2. Gelic Cambisols

6.2.1. Geneza i właściwości

Gelic Cambisols (= gleby brunatne arktyczne, Tedrow i Hill, 1955; Tedrow, 1973) występują głównie w miejscach o dobrym drenażu a więc na grzbietach dawnych wyniesionych akumulacyjnych formach brzegowych, w pobliżu krawędzi dolin rzecznych oraz w sąsiedztwie klifów morskich. Skałami macierzystymi tych gleb są żwiry, piaski luźne i słabogliniaste. Charakterystycznymi zbiorowiskami roślinnymi dla Gelic Cambisols są: tundra porostowa, sucha tundra mszysta i tundra deflacyjna.

Gelic Cambisols na Kaffiøyrze posiadają na ogół wyraźnie ukształtowany profil z pełnym zróżnicowaniem na poziomy genetyczne:

/O/ - Ah - B - Ci

¹ W nawiasach podano odpowiadające w przybliżeniu typy glebowe według *Systematyki Gleb Polski* (1989)

² Poziomy: O-organiczny; /O/-organiczny słabo ukształtowany; Ah-próchniczny; B-cambic; Ci-skała macierzysta ze zmarzliną

Charakterystycznym dla tych gleb jest proces brunatnienia. Ze względu na niską wilgotność procesy kriogeniczne w Gelic Cambisols nie odgrywają większej roli (Tedrow i Hill, 1955; Bockheim, 1980), nie zacierają one cech morfologicznych i chemicznych związanych z procesami pedogenicznymi (fot. 10).

Na powierzchni często występuje słabo rozwinięty poziom organiczny /O/, utworzony głównie z rozłożonych porostów, mchów i glonów. Jego miąższość wynosi 1-2 cm. Poziom próchniczny Ah jest barwy brunatnoszarej (10YR3/2) o miąższości 8-15 cm. Niżej występuje poziom cambic B o barwie ciemnobrunatnej (10YR4/3) pochodzącej od związków żelaza. Miąższość tego poziomu waha się w szerokich granicach od 20 do 40 cm. Skała macierzysta Ci ze zmarzliną występującą na głębokości około 1 m odznacza się dużą zawartością CaCO_3 , pochodzącego z poziomów wyżej położonych.

Charakterystyczną postacią kriomikrorzeźby powierzchni Gelic Cambisols są niesortowane wieloboki szczelinowe. Wieloboki te zdają się być obecnie nieaktywne, na co wskazuje ich całkowite pokrycie roślinnością.

Zawartość węgla organicznego w poziomie /O/ wynosi 7-10%, a C/N mieści się w przedziale 16-21. W poziomie Ah zawartość C_{org} jest silnie zróżnicowana i wynosi od 0,5 do 2,4%. Węgiel organiczny występuje także w pozostałych poziomach glebowych, nie przekraczając 1% (poza prof. 7). C/N w mineralnej części profilu kształtuje się w granicach 10-15 (tab. 2).

W składzie frakcyjnym C bituminów stanowi 3-10% węgla ogółem. Stosunek kwasów huminowych do fulwowych wynoszący 0,4-0,7 oraz stopień humifikacji nie wykazują istotnych różnic pomiędzy poziomem organicznym i pozostałymi w profilu (tab. 3).

Odczyn Gelic Cambisols zależy od dopływu pierwiastków alkalicznych z aerozolem morskim, zawartości CaCO_3 oraz intensywności wymywania. Ten ostatni czynnik powoduje, że w większości analizowanych profili odczyn poziomów Ah jest kwaśny do obojętnego i wynosi 4,8-6,8.pH (w H_2O). W głębszych poziomach zawierających CaCO_3 odczyn jest lekko zasadowy i mieści się w przedziale pH 7,0-8,5. Pojemność wymienna kationów (PWK) w całym profilu jest niska i rzadko przekracza 5 mmol(+)/100 g gleby.

6.2.2. Zróżnicowanie profilowe zawartości pierwiastków metalicznych³

Charakterystyczną cechą Gelic Cambisols Kaffiøry jest wzbogacenie poziomów powierzchniowych w Na i K oraz zubożenie w Ca i w mniejszym stopniu w Mg, w stosunku do skały macierzystej (tab. 1, rys. 4). Większość analizowanych metali ciężkich takich jak Fe, Mn, Co, Cu i Ni wykazuje tendencję do wzrostu w głąb profilu. Jedynie większą koncentrację w poziomie powierzchniowym wykazują Pb i Cd.

Skład chemiczny gleb jest kształtowany przez skałę macierzystą, procesy pedogeniczne oraz dopływ substancji z zewnątrz. Prawie powszechnym zjawiskiem w strefach przybrzeżnych jest znaczne wzbogacenie poziomów powierzchniowych gleby w Na i K pochodzących z emitowanego podczas sztormów aerozolu morskiego (Marks, 1978; Bockheim, 1980; Everett i in., 1981; Campbell i Claridge, 1987). Z tego samego źródła pochodzą także pewne ilości Ca i Mg. Powoduje to, że zawartość stosunkowo łatwo wymywanego się z gleby Mg jest wyższa w poziomach powierzchniowych w porównaniu ze skałą macierzystą. Dopływ Ca jest natomiast maskowany w profilu znaczną zawartością CaCO_3 w utworach macierzystych.

Rozmieszczenie metali ciężkich w Gelic Cambisols Kaffiøry związane jest przede wszystkim z pedogenicznym procesem ich migracji w głąb profilu. Migracji tej sprzyja mała zawartość iłu koloidalnego, obecność próchnicy i stosunkowo niski odczyn (Alekseev, 1987).

³ Rozdział ten opracowano na podstawie pracy Plichty, Kuczyńskiej i Sapka (1991).

Zróznicowanie składu chemicznego wynikające z przemieszczania metali w głąb gleby nie jest zacierane przez akumulację biologiczną, która w glebach arktycznych jest bardzo słaba. Przyczyną słabej akumulacji biologicznej metali jest niska produkcja pierwotna i płytkie przerastanie gleby przez korzenie roślin (Aleksandrova, 1969; Dennis, 1977), związane z występującą w profilu wieloletnią zmarzliną.

W związku z niewielkim znaczeniem akumulacji biologicznej pierwiastków w powierzchniowej części gleby, znacznie większe zawartości Pb i Cd w poziomie organicznym w porównaniu ze skałą macierzystą, zdają się wskazywać na ich pochodzenie z zanieczyszczeń antropogenicznych dalekiego transportu atmosferycznego. Współczynnik wzbogacenia tego poziomu w Pb wynosi 1,30 i w Cd 1,60. Na pochodzenie Pb i Cd z zewnątrz wskazuje pośrednio brak akumulacji biologicznej innych pierwiastków w poziomach powierzchniowych.

6.2.3. Niekrzemianowe formy żelaza

Zawartość i rozmieszczenie w profilu niekrzemianowych form żelaza (Fe_d) związane jest głównie z rodzajem skały macierzystej i intensywnością procesów wietrzeniowych. Uwolnione podczas wietrzenia minerałów bezpostaciowe tlenki żelaza (Fe_d) w miarę upływu czasu ulegają krystalizacji. Tempo tego procesu zależy w znacznej mierze od warunków klimatyczno-glebowych.

Tlenki żelaza w Gelic Cambisols stanowią 4-12% żelaza ogółem (Fe_t) (tab. 5). Są to wartości niewielkie i potwierdzają słabą intensywność wietrzenia chemicznego w glebach tundry arktycznej (Hill i Tedrow, 1961; Szerszeń, 1974; Szerszeń i Chodak, 1983). Rozmieszczenie Fe_d w profilu nie wykazuje powiązania z budową morfologiczną gleby.

Charakterystyczną cechą analizowanych gleb jest duży udział bezpostaciowych form żelaza (Fe_o) w obrębie (Fe_d). Wielkość $(Fe_o:Fe_d)100$ jest uzależniona od warunków klimatyczno-glebowych (Ananko i Sokołow, 1978; Skiba, 1985). Według Ananko i Sokołowa w glebach klimatu suchego wartość ta nie przekracza 20. W glebach klimatu humidowego Kaffiøryry dochodzi ona do 80.

Dobrym wskaźnikiem wieku względnego gleby jest udział tlenków żelaza w postaci krystalicznej ($Fe_d:Fe_o$) w stosunku do żelaza ogółem (Fe_t) (Arduino i in., 1984). Wskaźnik ten wykorzystano do określenia w jakim stopniu wysokość nad poziom morza dawnych izostatycznie wyniesionych form brzegowych i występujących na nich Gelic Cambisols może być odzwierciedleniem ich wieku względnego. Zależność pomiędzy obliczonymi wartościami tego wskaźnika dla próbek z poziomu Ah i położeniem profili nad poziomem morza w przedziale 4-65 m, na przeważającej powierzchni Kaffiøryry jest prawie prostoliniowa a współczynnik korelacji jest wysoki ($r = 0,77$; rys. 5).

Obserwuje się również pewną zależność pomiędzy wiekiem względnym gleby (położeniem nad poziom morza) a zawartością Fe_d . W profilach 1 do 5 w poziomie Ah wartość stosunku $Fe_d:Fe_t$ jest tym większa im wyżej położony jest profil nad poziom morza. W pozostałych profilach powiązanie to jest mniej wyraźne.

6.3. Gelic Gleysols

Występujące na Kaffiørze Gelic Gleysols utworzone są głównie z silnie szkieletowych glin lekkich i średnich, piasków gliniastych i utworów pyłowych (tab. 1). Odnaczają się one dużą wilgotnością, często stagnowaniem wody w obrębie profilu glebowego. Na Gelic Gleysols spotyka się przeważnie zbiorowiska świeżej tundry mszystej i tundry wyleżysk śniegowych.

Na powierzchni Gelic Gleysols występują różne odmiany mikrorzeźby powierzchni jak sieci, wieńce, pierścienie kamieniste i pasy soliflukcyjne. Niekiedy powierzchnia uformowana jest w drobne kępy z jądrem ziemistym. Ich średnica wynosi od kilkunastu do kilkudziesięciu centymetrów.

W wyniku intensywnych procesów mrozowych powodujących ruchy materiału glebowego i wody, profil w glebach arktycznych bywa słabo wyrażony, lub nie wykazuje zróżnicowania na poziomy genetyczne (Rieger, 1983). Karavayeva (1974) wśród gleb glejowych tundry wyróżnia gleby o niezróżnicowanym morfologicznie i chemicznie profilu. Gleby takie spotyka się również na terenie Kaffiøry.

W Gelic Gleysols (fot. 11) poziom organiczny /O/, jeżeli występuje, jest barwy czarnej i posiada miąższość 2 - 3 cm. Poziom ten jest często silnie pomarszczony (fot. 12). Dużą rolę w genezie poziomu /O/ odgrywają sinice (Plichta i Luścińska, 1988). Poziom próchniczny Ah nie przekracza na ogół kilkunastu centymetrów. Procesy redukcyjne w morfologii profilu zaznaczają się bardzo słabo.

Zawartość węgla organicznego w poziomie /O/ wynosi około 10% (tab. 2). W poziomie próchnicznym Ah zawartość węgla mieści się w szerokich granicach od 1 - 5%. Stosunek C/N w całym profilu wynosi 15-20. Węgiel bituminów stanowi 4-7% węgla ogółem (tab. 3). W próchnicy przeważają kwasy fulwowe nad huminowymi. Stopień humifikacji wg Springera jest wysoki przy czym brak jest istotnych różnic pomiędzy poziomami /O/ i Ah.

Odczyn Gelic Gleysols jest obojętny do alkalicznego. Jedynie w Gelic Gleysols utworzonych z piasków i pozbawionych w wierzchnich poziomach CaCO_3 odczyn jest lekko kwaśny. Pojemność wymienna kationów jest niska i zależy głównie od zawartości próchnicy.

6.4. Inne jednostki glebowe

Poza opisanymi jednostkami glebowymi na Kaffiørze występują Lithosols, Rankers i Gelic Histosols.

Lithosols występują na stokach zbudowanych ze skał formacji Hecla Hoek, na terasach abrazyjnych i ich załomach zbudowanych z utworów paleogeńskich. Wytworzone są one z płytkich, nie przekraczających 10 cm zwietrzelin.

W sąsiedztwie tych gleb, na niewielkich skalistych powierzchniach występują Rankers. W odróżnieniu od Lithosols mają płytki wyraźnie ukształtowany poziom Ah.

W południowej części Kaffiøry w pobliżu przylądka Tjørnnes, na wysokości około 10 m n.p.m. występują Gelic Histosols. Spotyka się je w strefie zarastającego dużego jeziora. Miąższość Gelic Histosols na Kaffiørze jest niewielka i na ogół nie przekracza 40 cm.

Na powierzchni Kaffiøry występują liczne pagórki organiczno-mineralne (Niewiarowski i Sinkiewicz 1987, 1988), które nadają charakterystyczny wygląd tundrze. Są to pagórki, których wysokość dochodzi do 50 cm a średnica do 3 m. Ich geneza jest związana między innymi z przebywającymi na tundrze ptakami. Są to miejsca, na których one odpoczywają lub zakładają gniazda. Pozostawiane przez ptaki odchody powodują eutrofizację gleby a tym samym silniejszy rozwój roślinności - różnych gatunków mchów, wątrobowców, porostów, traw i roślin zielnych (Gugnacka-Fiedor i Noryśkiewicz 1982). Pokrycie roślinnością tych pagórków wynosi 100%. Z dużą produkcją pierwotną związany jest znaczny dopływ szczątków organicznych do gleby. Tworzący się z nich poziom organiczny posiada miąższość dochodzącą do 30 cm. Pod wpływem tego poziomu zachodzi zmiana reżimu hydrotermicznego i pęcznienie mrozowe niżej występującego materiału mineralnego, powodujące wyniesienie pagórka w stosunku do otoczenia. Organiczne pagórki ornitogenne występują także na litych skałach.

Na tundrze spotyka się także pojedyncze małe pagórki organiczne na resztkach zhumifikowanych kości i porożach reniferów.

7. Zawartość metali ciężkich w glebach Kaffiøyry

Koncentracja metali ciężkich w glebach Kaffiøyry zależy głównie od ich zawartości w skale macierzystej. Dopływ metali w postaci zanieczyszczeń z atmosfery jest niewielki, ze względu na duże odległości od centrów przemysłowych i stosunkowo niskie opady. Obserwuje się jedynie imisję Pb i Cd. Wskazuje na nią rozmieszczenie profilowe obu metali w Gelic Cambisols (tab. 4).

W analizowanych glebach Kaffiøyry zawartość poszczególnych metali mieści się w bardzo szerokim przedziale, szczególnie Cu, Co i Cd (tab. 6). Związane jest to z dużą różnorodnością skał macierzystych. Jednak średnie zawartości są zbliżone do wartości podawanych z innych regionów świata (tab. 7). W porównaniu z glebami Polski utworzonymi z materiałów polodowcowych, nieco większe średnie ilości stwierdzono dla Zn, Cu, Ni i Co.

Przedstawione zawartości metali ciężkich mogą stanowić tak zwane tło geochemiczne dla przyszłych badań porównawczych nad stopniem zanieczyszczenia gleb przez czynniki antropogeniczne.

8. Zagadnienie stadium klimaksowego gleb tundrowych

Przyjmuje się, że gleba jest w stadium klimaksu (dojrzałym, stacjonarnym) wtedy, gdy w swoim rozwoju osiągnie stan równowagi z czynnikami środowiska (Kubiena, 1953; Fiedler i Reissig, 1964). W stadium dojrzałym gleba posiada ukształtowany profil morfologiczny (genetyczny), charakterystyczny dla danego środowiska glebotwórczego.

W większości gleb trudno, lub wręcz niemożliwe jest określenie stadium dojrzałego dla mineralnej części gleby. Trudno określić np. stadium równowagi dla poziomów B lub głębokości dekarbonatyzacji. Wobec tego podstawowym kryterium określającym gleby klimaksowe powinna być równowaga pomiędzy profilem próchnicznym a klimatem i fitocenozą. Profil próchniczny jest najbardziej labilną częścią gleby i najszybciej osiągającą stan stacjonarny w przeciwieństwie do względnie stabilnej mineralnej części gleby. Ponadto profil próchniczny jest ważną składową, decydującą o wielu podstawowych właściwościach gleby. Dlatego za dojrzałą (klimaksową) należy przyjąć taką glebę, która występuje w zbiorowiskach roślinnych znajdujących się w stadium końcowym sukcesji i w której profil próchniczny jest w stanie zrównoważonego bilansu pomiędzy dopływem szczątków organicznych a ich mineralizacją. Czas osiągnięcia przez glebę tundrową tak sformułowanego stadium dojrzałego jest w przybliżeniu równy temu, jaki jest potrzebny zbiorowiskom roślinności tundrowej na osiągnięcie stanu końcowego sukcesji. W stadium tym zbiorowiska roślinne charakteryzują się względnie stałą produkcją pierwotną, będącą źródłem dopływającego do gleby materiału organicznego. Glebami klimaksowymi są więc te gleby, których wiek bezwzględny przekracza czas sukcesji pierwotnej.

Przebieg sukcesji pierwotnej tundry arktycznej jest bardzo powolny. Według Tiškova (1985) zbiorowiska tundrowe na dawnych wałach brzegowych, ukształtowanych z utworów lekkich osiągają stadium końcowe w czasie 3000-3500 lat. Na utworach morenowych sukcesja pierwotna przebiega szybciej i osiąga to stadium po upływie 1000-1500 lat.

Z przedstawionych rozważań wynika, że pomimo słabo wykształconych pod względem morfologicznym poziomów mineralnych większość gleb Kaffiøyry, starszych niż 3500 lat, znajduje się w stadium klimaksu.

9. Załącznik: metody badań

Terenowe badania gleboznawcze przeprowadzono podczas Toruńskiej Wyprawy Polarnej w roku 1985. Mapę gleb wykonano wspólnie z M. Sinkiewiczem na podstawie badań terenowych oraz analizy panchromatycznych zdjęć lotniczych w skali 1:20000 (Sinkiewicz i Plichta, 1987).

W badaniach laboratoryjnych do charakterystyki podstawowych właściwości materiału glebowego korzystano z powszechnie stosowanych w gleboznawstwie metod: uziarnienie metodą sitową i areometryczną, węgiel organiczny metodą Tiurina, azot metodą Kjeldahla, skład frakcyjny metodą Kononowej i Bielczikowej, stopień humifikacji metodą Springera, niekrzemianowe formy żelaza metodami Tamma oraz Mehra i Jacksona, CaCO_3 metodą Scheiblera, pojemność wymienną kationów metodą Bascomba. Pierwiastki metaliczne oznaczono w frakcji <1 mm. Roztwarzanie próbek przeprowadzono w kwasie nadchlorowym. Poszczególne pierwiastki oznaczono przy pomocy spektrometru absorpcji atomowej.

10. Literatura

- Aleksandrova V.D., 1969. Nadziemna i podziemna masa roślin poljarnoj pustyni ostrova Zemlja Aleksandry (Zemlja Franza-Josifa). *Problemy Botaniki*, 11: 47-60.
- Aleksandrova V.D., 1977. Geobotaničeskoe rajonirovanie Arktiki i Antarktyki. Nauka, Leningrad.
- Alekseev Ju.M., 1987. Tjażelyje metally v počwach i roślinach. *Agroproizdat*, Leningrad.
- Ananko T.W., Sokolov I.O., 1978. O vlijanii klimata na sootnoszenije niesilikatnych form železa v počwach. *Počvovedenije*, 5: 42-47.
- Arduino E., Barberis E., Carraro F., Forno M.G., 1984. Estimating relative ages from iron-oxide/total-iron ratios of soils in the Western Po Valley, Italy. *Geoderma*, 33: 39-52.
- Aubert H., Pinta M., 1977. Trace elements in soil. *Developments in Soil Science* 7, Elsevier Sci. Publ. Comp. Amsterdam, Oxford, New York.
- Bednarek R., Prusinkiewicz Z., 1980. *Geografia gleb*. PWN, Warszawa.
- Bieńkowski Piotr., 1990. The rate of cellulose decomposition in soils of Spitsbergen tundra. *Pol. Polar Res.* 11, 1-2: 39-45.
- Bieroński J., 1977. Właściwości chemiczne wód okolic Hornsundu. *Mat. z Sympozjum Spitsbergeńskiego*: 39-43, Wrocław.
- Bliss, O.W. Heal, J.J. Moore. *The Intern. Biol. Programme*, 25: 139-179.
- Bockheim J.G., 1980. Properties and classification of some desert soils in coarse-textured glacial drift in the Arctic and Antarctic. *Geoderma*, 24: 45-49.
- Boratyński K., Kowaliński S., Szerszeń L., Wilk K., 1968. Preliminary research on the fractional composition of soil humus from the Hornsund area, Vestspitsbergen. *Polish Spitsbergen Expedition 1957-1960*. Ed. K. Birkenmajer: 229-237.
- Campbell I.B., Claridge G.G.G., 1969. A classification of frigid soils - the zonal soils of the Antarctic continent. *Soils Sci.*, 107: 75-85.
- Campbell I.B., Claridge G.G.G., 1987. *Antarctica: soils, weathering processes and environment*. *Developments in soil science* 16. Elsevier Sci. Publ. Comp., Amsterdam, Oxford, New York.
- Canadian System of Soil Classification, 1978. Canada Soil Survey Committee, Subcommittee on Soil Classification. Can. Dept. Agr. Pub. 1646. Ottawa.
- Cegła J., Dzułyński S., 1970. Układy niestatecznie warstwowe i ich występowanie w środowisku peryglacjalnym. *Acta Univ. Wratisl.*, 124: 17-42.
- Czarnowska K., Gworek B., 1987. Metale ciężkie w niektórych glebach środkowej i północnej Polski. *Rocz. Glebozn.*, 38, 3: 41-57.
- Dennis J.G., 1977. Distribution patterns of belowground standing crop in Arctica tundra at Barrow, Alaska. *Arctic and Alpine Research*, 9, 2: 113-127.
- Douglas L.A., Tedrow J.C.F., 1959. Organic matter decomposition rates in Arctic Soils. *Soil Sci.*, 88, 6: 305-312.
- Drew J.V., Tedrow J.C.F., 1962. Arctic soil classification and patterned ground. *Arctic*, 15, 2: 109-116.
- Duchaufour Ph., Sochiers B., 1978. Role of iron and clay in genesis of acid soils. *Soil Sci.*, 88, 6: 305-312.

- Dziadowiec H., 1983. Preliminary studies on carbon dioxide evolution from tundra soils of Spitsbergen (Kaffiøya, Oscar II Land, NW Spitsbergen). *Acta Univ. N. Copernici, Geograf.*, 18, 56: 159-167.
- Dziadowiec H., 1992. Decomposition of *Saxifraga oppositifolia* L. shoots and *Deschampsia alpina* (L.) R. et S. leaves under conditions of Spitsbergen tundra. *Landscape, Life World and Man in High Arctic*: 177-183.
- Everett K.R., Vassilevskaya V.D., Brown J., Walker B.D., 1981. *Tundra ecosystems: a comparative analysis*. Ed. L.C.
- FAO-UNESCO, 1974. *Soil Map of the World. Vol. 1, Legend*, Paris.
- Fedoroff N., 1966. Les sols du Spitzberg occidental. Presqu'île du Brøgger et vallées de l'Avent et de la Sassen, Spitzberg 1964 et première observations 1965, Audin, éditeur, Lyon: 111-128.
- Fiedler J.J., Reissig H., 1964. *Lehrbuch der Bodenkunde*. VEB G. Fischer Verlag, Jena.
- Fischer Z., 1990. The influence of humidity and temperature upon the rate of soil metabolism in the area of Hornsund (Spitsbergen). *Pol. Polar Res.*, 11, 1-2: 17-24.
- Fischer Z., Bieńkowski P., 1987. The effect of temperature on oxygen consumption. *Ekol. pol.*, 35, 1: 159-171.
- FitzPatrick E.A., 1956. Uwagi o mikrorzeźbie Zachodniego Spitzbergenu. *Biuletyn Peryglacjalny*, 3-4: 49-54.
- Forman S.L., Miller G.H., 1984. Time-dependent soil morphology and pedogenic processes on raised beaches, Brøggerhalvøya, Spitsbergen, Svalbard Archipelago. *Arctic and Alpine Research*, 16: 381-394.
- Gugnacka-Fiedor W., Noryskiewicz B., 1982. The vegetation of Kaffiøya, Oscar II Land, NW Spitsbergen. *Acta Univ. N. Copernici, Geograf. XVI*, 51: 203-238.
- Hill D.E., Tedrow J.C.F., 1961. Weathering and soil formation in the Arctic environment. *Am. Sci.*, 239: 84-101.
- Ivanova E.N., 1976. *Klassifikacija počv SSSR*. Izd. Nauka.
- Kabata-Pendias A., 1981. Zawartość metali ciężkich w glebach uprawnych Polski. *Pamiętnik Puławski*, 74: 101-111.
- Karavayewa N.A., 1974. Major kinds of gley soils of the tundra and the northern taiga regions in the Soviet Union. *Geoderma*, 12: 91-99.
- Klekowski R.Z., Opaliński K.W., 1984. Przepływ materii i energii w tundrze Spitzbergenu. *Wiad. ekol.*, 30: 143-166.
- Klimaszewski M., 1960. Geomorphological studies of the western part of Spitsbergen between Kongsfjord and Eidembukta. *Zesz. Nauk. U.J. 32, Przegl. geograf.* 1: 91-179.
- Kowaliński S., Szerszeń L., 1962. Niektóre właściwości fizyczne i chemiczne gleb Spitzbergenu w rejonie północnego obrzeża fiordu Hornsundu. *Zesz. Nauk. Wyż. Szk. Roln. we Wrocławiu, Roln. XVI*, 49: 37-44.
- Kowalkowski A., Kocoń J., Plichta W., 1987. Badania cech morfoskopowych ziarn piasku kwarcowego zwietrzelin i osadów przedpół lodowców na NW-Spitsbergenie. *Sprawozdania z badań naukowych Kom. Badań Czwartorzędu PAN, VII*: 86-89.
- Krzyszowska A., 1985. Chemistry of the fresh water of the Fugleberget drainage basin. *Pol. Polar Res.* 6: 341-347.
- Kubiena W., 1953. *Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas*. F. Enke Verlag, Stuttgart.
- Marciniak K., Szczepanik W., 1983. Results of investigations over the summer ground thawing in the Kaffiøya (NW Spitsbergen).
- Marks R., 1978. O emisji i przenoszeniu aerozolu w rejonie fiordu Hornsund na Spitsbergenie. V *Symposium Polarne, Gdańsk-Gdynia*, 2: 60-69.
- Melke J., Uziak S., 1988. Dynamika wilgotności, potencjału oksydo-redukcyjnego i natlenienia wybranych gleb Calypsostrandy (Spitsbergen). *Symposium Polarne, XV, Wrocław*: 276-278.
- Nepomilujev V.F., Kozyrev M.A., 1970. Gleevyj process počvoobrazowanija i učastie v nem mikroorganizmov. *Počvovedenije*, 10: 56-59.
- Niewiarowski W., 1982. Morphology of the forefield of the Aavatsmark Glacier (Oscar II Land, NW Spitsbergen) and phases of its formation. *Acta Univ. N. Copernici, Geograf. VII*, 51: 15-43.
- Niewiarowski W., Sinkiewicz M., 1987. Przydatność zdjęć lotniczych do rozpoznawania pagórków mrozowych na przykładzie Kaffiøry, NW Spitsbergen. *Fotointerpretacja w badaniach polarnych. Ogólnopolskie seminarium, UMK, Toruń*: 27-39.
- Niewiarowski W., Sinkiewicz M., 1988. Frost mounds in Kaffiøya and Hermansenøya, NW Spitsbergen and their origin. *Permafrost, Fifth. Inter. Conf. Proc.*, 1: 824-828.
- Pastor I., Bockheim I.G., 1980. Soil development on moraines of Taylor Glacier, Lower Taylor Valley, Antarctica. *Soil Sci. Am. J.*, 44: 341-348.
- Plichta W., 1977. Systematics of soil of the Hornsund region. *Acta Univ. N. Copernic, Geograf. XIII*, 43: 175-180.
- Plichta W., 1981. Zagadnienia genezy, właściwości i klasyfikacji próchnicy mor. UMK, Toruń.
- Plichta W., Kuczyńska I., 1991. Metal contents in soils of Kaffiøya, Spitsbergen. *Polish Polar Research*, 12: 183-193.

- Plichta W., Kuczyńska I., Sapek A., 1991. Profile distribution of metals in Gelic Cambisols of Kaffiøyra, Spitsbergen. *Polish Polar Research*, 12: 195-201.
- Plichta W., Luścińska M., 1988. Blue-green algae and their influence on development of tundra soils in Kaffiøyra, Oscar II Land, Spitsbergen. *Polish Polar Research*, 9: 475-484.
- Rieger S., 1983. The genesis and classification of cold soils. Academic Press.
- Sinkiewicz M., Plichta W., 1987. Możliwość wykorzystania panchromatycznych zdjęć lotniczych w kartowaniu gleb arktycznych na przykładzie pokrywy glebowej Kaffiøry - NW Spitsbergen. *Fotointerpretacja w badaniach polarnych. Ogólnopolskie seminarium, UMK, Toruń*: 46-52.
- Skiba S., 1985. Rola klimatu i roślinności w genezie gleb górskich z Tatr i z gór Mongolii. *Zesz. Nauk. Ak. Roln. w Krakowie*, 99.
- Smith J., 1956. Some moving soils in Spitsbergen. *J. Soil Sci.*, 7, 1: 10-21.
- Soil Taxonomy, 1975. Soil Survey Staff. U.S. Dept. Agr. Handbook 436, Washington D.C.
- Steffensen E., 1982. The climate of norwegian Arctic Station. *Klima*, 5: 1-18.
- Systematyka Gleb Polski, 1989. *Rocz. Glebozn.*, XL, 3/4: 1-150.
- Szerszeń L., 1968. Preliminary investigations of soil cover in the region Hornsund, Westspitsbergen. *Polish Spitsbergen Expedition 1957-1960*: 217-227.
- Szerszeń L., 1974. Wpływ czynników bioklimatycznych na procesy zachodzące w glebach Sudetów i Spitsbergenu. *Rocz. Glebozn.*, XXV, 2: 53-99.
- Szerszeń L., Chodak T., 1983. Clay minerals in soils of the arctic climatic zone exemplified by south-west Spitsbergen. 5th meeting of the european clay groups, Prague: 445-451.
- Tedrow J.C.F., 1968. Pedogenic gradients of the polar regions. *J. Soil Sci.*, 19, 1: 197-204.
- Tedrow J.C.F., 1973. Polar soil classification and the periglacial problem. *Biuletyn Peryglacjalny*, 22: 285-294.
- Tedrow J.C.F., 1977. *Soils of the Polar Landscapes*. Rutgers Univ. Press, New Brunswick, New Jersey.
- Tedrow J.C.F., Cantlon J.E., 1958. Concepts of soil formation and classification in Arctic regions. *Arctic*, 11, 3: 166-179.
- Tedrow J.C.F., Hill D.E., 1955. Arctic brown soil. *Soil Sci.*, 80: 265-275.
- Tiškova A.A., 1985. Piervičnyje sukcesii arktičeskich tundr zapadnogo pobiereża Spitsbergena (Svalbard) *Izv. Akademii Nauk SSSR, ser. geograf.*, 3: 99-105.
- Vliet-Lanoë B. Van, 1983. Etudes crypedologiques and sud du Kongsjord - Svalbard. Rapport de la mission Spitsberg 1982. *Centr de Geomorphologie du CNRS, Caen*.
- Washburn A.L., 1979. *Geocryology*. E. Arnold, London.
- Wójcik Cz., 1981. Deformations of unstatically layered gravel-clay system on a chosen example from the Kaffiøyra Lowland (Oscar II Land, Spitsbergen). *Polish Polar Research*, 2, 1-2: 63-72.

11. Summary

The soils of Kafføyra, Spitsbergen

On the seaside plain of Kaffiøyra (Photo 1) the following soil units, acc. To FAO classification, have been distinguished: Lithosols (initial rocky soils), Gelic Regosols (initial loose soils), Rankers (poorly developed quartz-silicate soils), Gelic Gleysols (gley soils, Photo 10, 11), Gelic Cambisols (brown soils, Photo 9) and Gelic Histosols (peaty soils). The mineral soils have evolved from marine accumulation sands and gravels, marinoglacial loams and co recent fluvioglacial deposits. Sporadically occur soils evolved from weathered material from rocks of Hecla Hoek formations, sandstone and Paleogene conglomerate (Fig. 3, Photo 2).

The main pedogenic processes are: accumulation of organic material, brunification, gleying and decarbonation. In spite of the very low primary production and, consequently, a low influx of organic remains to the soil, humus content is considerable (Table 2). This accounted for by the slow rate of mineralization due to unfavorable hydrothermal conditions. Brunification, reflected in the very distinctly developed cambic horizon in Gelic Cambisols, proceeds comparatively intensively. Surface horizons of soils evolved from coarse-grained material are generally devoid of carbonates.

The chemical composition of soils in Kaffiøyra depends on the parent rocks, pedogenic processes and the influx of substances from outside – from marine aerosol. A clear profile differentiation of metals, resulting from pedogenic processes, is observed in Gelic Cambisols. The contents of such metals as Fe, Mn, Cu, Ni and Co increase down the profile (Table 4, Fig. 4). Higher Pb and Cd content the surface horizons than in the remaining ones is due to the inflow of pollutants by distant atmospheric transport. The distribution of Na, Ca and Mg in the profile depends, among other things, on the inflow of marine aerosol and migration processes linked to water movement.

Some of the physical and chemical properties of the more important soil units of Kaffiøyra are illustrated in Tables 1, 2 and 3. Heavy metals contents have been presented in Tables 6 and 7. Non-silicate iron forms in Gelic Cambisols are shown in Table 5.

An essential part in the genesis of soils in Kaffiøyra is played by cryogenic processes overlapping pedogenic ones. In Gelic Gleysols, vertical and horizontal cryogenic movements of soil material and water obliterate the morphological characteristics linked with pedogenesis. Cryogenic processes form a characteristic micro relief of the soil surface (Photo 4,5,6,7,8). The close-to-surface permafrost causes considerable wetness or stagnation of water on the soil surface. Excessive wetness linked with multigelation is conducive to solifluction.

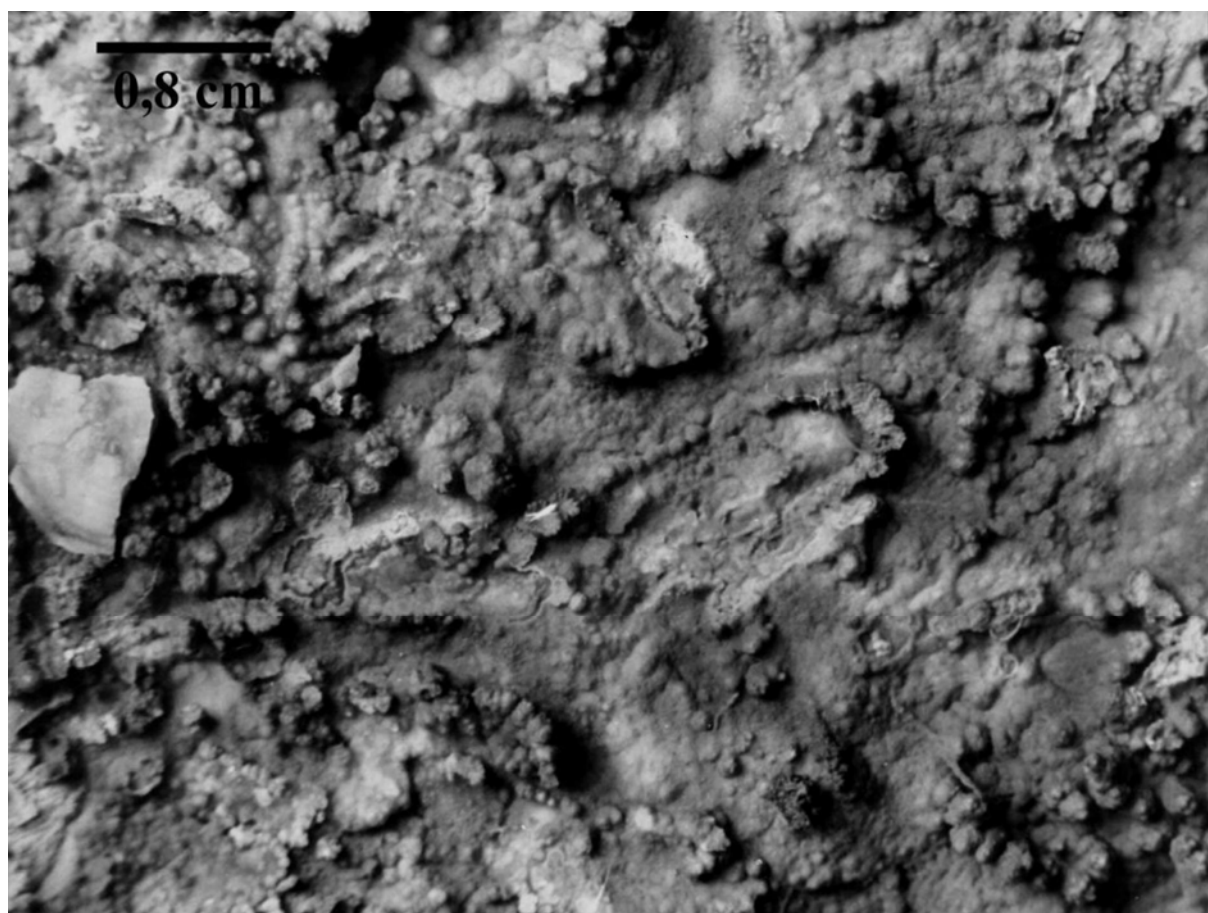
12. Fotografie



Fot. 1. Widok ogólny niziny nadmorskiej Kaffiøyry
Photo 1. General view of seaside plain Kaffiøyry



Fot. 2. W klifie widoczna budowa geologiczna – na paleogeńskich zlepieńcach występują czwartorzędowe piaski i żwiry akumulacji morskiej
Photo 2. Geological structure can be seen in the cliff – on Paleogene conglomerates occur Quaternary sands and gravels of marine accumulation



Fot. 3. Wytrącenia kalcytu na dolnej stronie kamienia w profilu Gelic Cambisol
Photo 3. Calcite precipitations on lower side of stone in Gelic Cambisol profile



Fot. 4. Często występująca erozja wodna gleby
Photo 4. Frequently occurring water erosion of soil



a



b

Fot. 5. Postacie kriomikrorzeźby powierzchni gleby, a - nieregularne wieloboki kamieniste, b – forma sieciowa niesortowana

Photo 5. Forms of cryomicrorelief of soil surface, a – irregular stony polygons, b – unsorted network form



Fig. 6. Przekrój przez wał kamienisty
Photo 6. Section through stone ridge

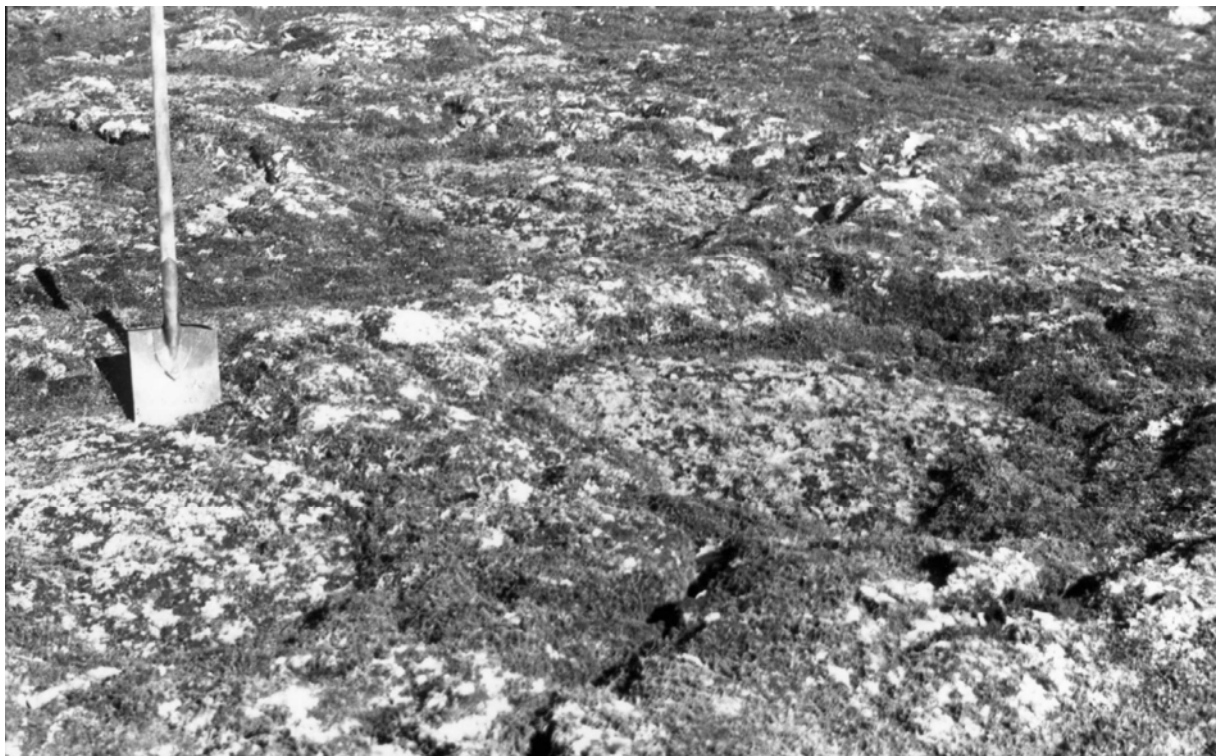


Fig. 7. Sieć kamienista pokryta roślinnością
Photo 7. Stone network covered with vegetation



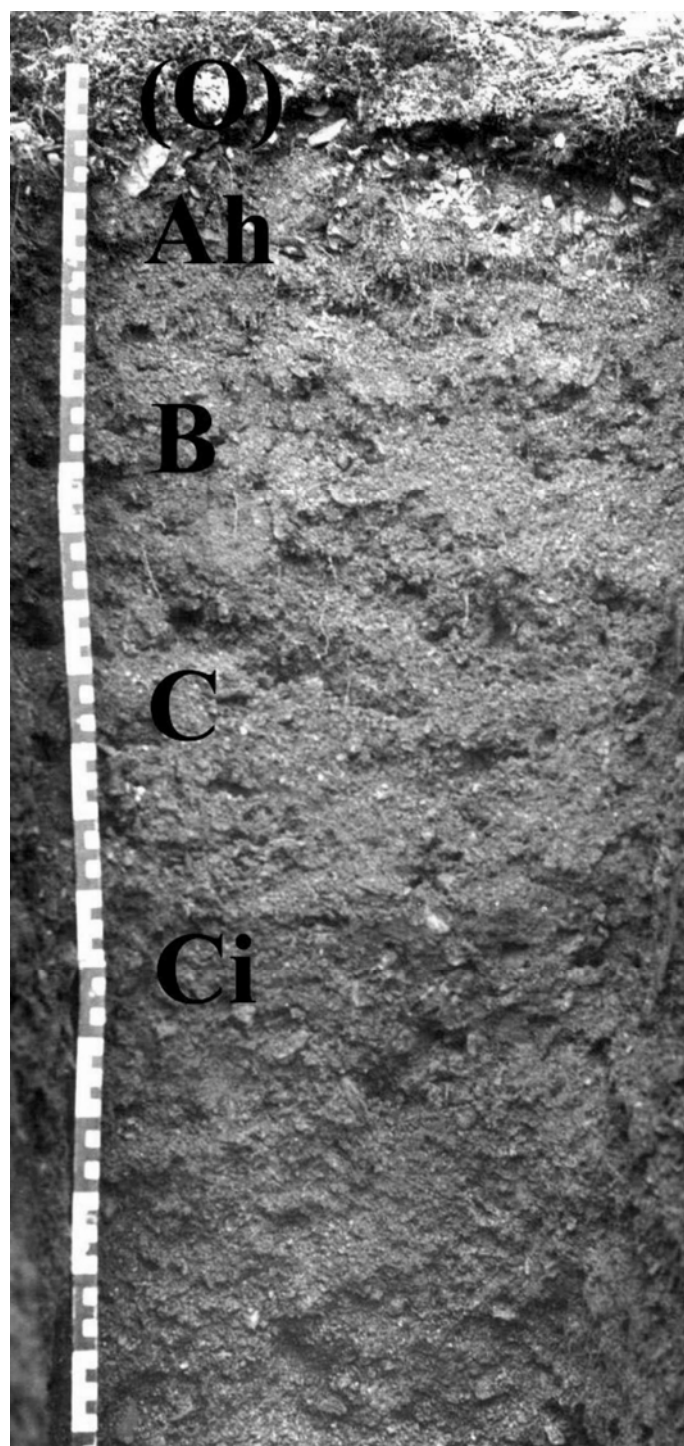
Fig. 8. Tundra mszysto-porostowa na powierzchni Gelic Cambisols z fragmentem wieloboku szczelin mrozowych

Photo 8. Moss-lichen tundra on the surface Gelic Cambisols with fragment of frost fissure polygon

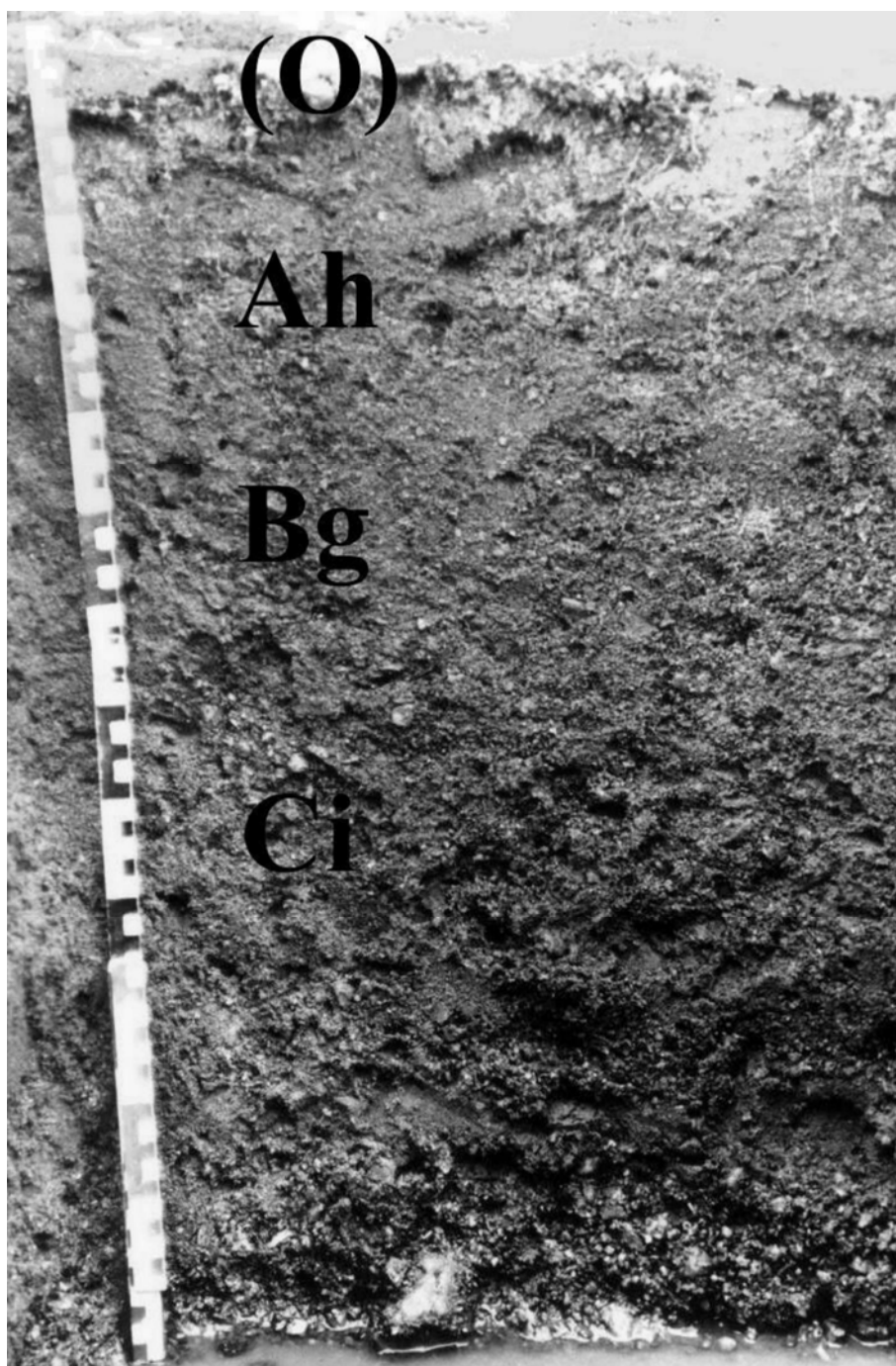


Fot. 9. Zdegradowana forma pierścieniowa

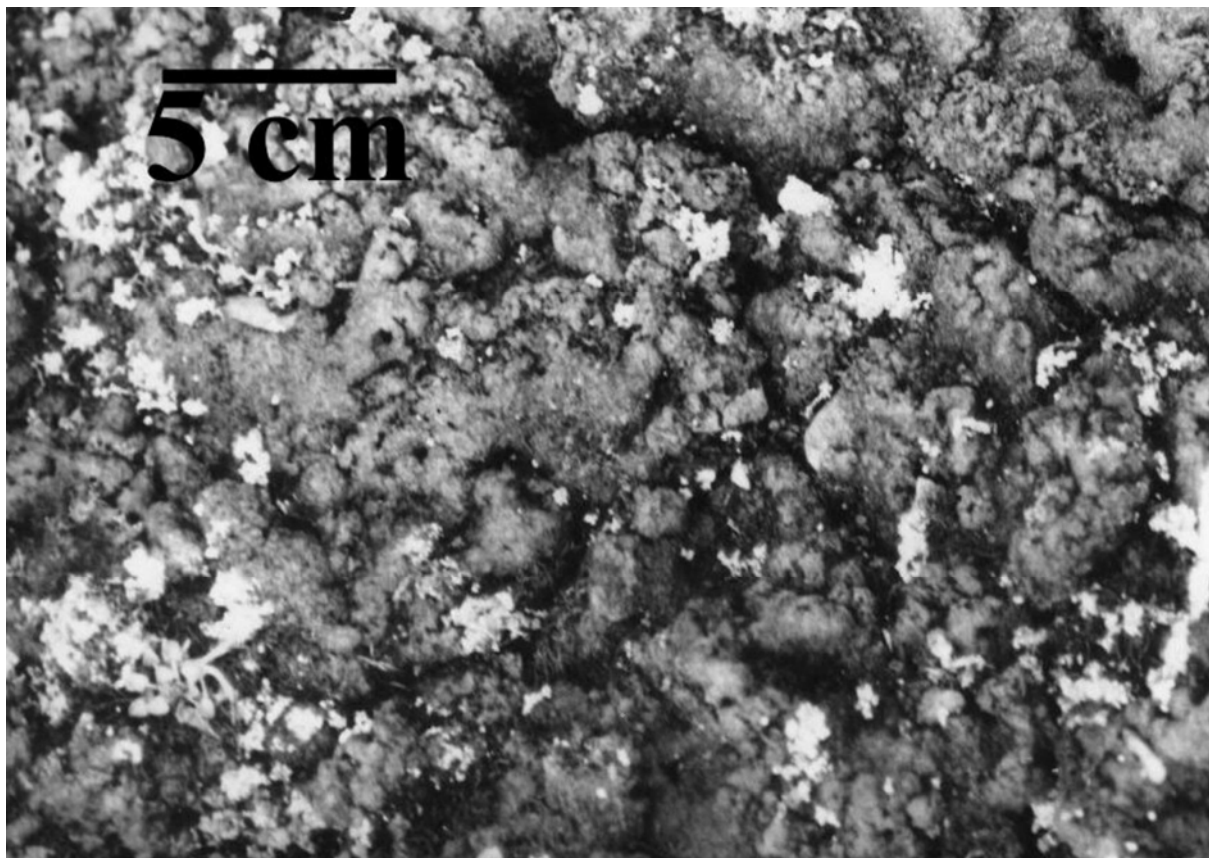
Photo 9. Degraded ring form



Fot. 10. Profil Gelic Cambisol
Photo 10. Gelic Cambisol profile



Fot. 11. Profil Gelic Gleysol
Photo 11. Gelic Gleysol profile



Fot. 12. Silnie pomarszczony, czarny poziom organiczny w Gelic Gleysol
Photo 12. Strongly folded black organic horizon in Gelic Gleysol

13. Tabele

Tabela 1. Uziarnienie gleb Kaffiøyry

Table 1. Soil texture in Kaffiøyra

Profil Poziom	Głębokość pobrania w cm	Barwy wg Munsela (próbka sucha) Colour acc. to Munsell (dry sample)	Procentowa zawartość frakcji (Ø w mm) Percentage content of grain size (Ø in mm)								
Profile Horizon	Sampling depth in cm		> 1,0*	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,02	0,02-0,006	0,006-0,002	<0,002
Gelic Regosol											
1 Ah	0-5	5Y 4/1	46	1	11	25	10	15	17	8	15
C	24-38	5Y 4/1	41	1	12	26	10	11	16	8	12
2 Ah	0-5	5Y 6/1	44	2	14	28	17	18	15	3	1
C	15-20	5Y 7/1	30	1	6	20	15	19	28	5	4
Af	23-30	5Y 6/1	73	2	22	29	8	10	13	5	9
Gelic Cambisol											
3 Ah	0-10	10YR 4/1	37	2	33	47	4	4	5	1	1
B	20-30	10YR 4/4	45	1	22	52	10	9	2	1	1
C	100-120	2,5 6/2	40	1	7	26	15	14	17	7	10
4 Ah	0-10	10YR 5/3	41	1	29	63	2	1	1	1	1
B	15-27	10YR 5/4	41	1	28	62	2	1	1	1	1
BC	40-50	10YR 5/4	44	1	24	56	5	4	5	1	1
Cg	60-65	10YR 6/4	84	3	25	58	4	4	2	1	2
5 Ah	0-10	10YR 5/2	29	2	41	36	9	6	4	0	1
B	15-25	10YR 5/3	61	3	42	27	7	7	7	2	3
BC	35-40	10YR 5/3	59	3	40	37	6	3	7	2	1
C	55-70	10YR 6/4	82	5	52	21	3	8	6	3	2
6 Ah	0-8	10YR 4/3	59	2	36	40	5	6	5	2	1
B	25-30	10YR 5/4	51	2	31	53	4	4	4	1	1
C	78-80	10YR 5/4	63	2	30	50	4	5	4	1	1
7 Ah	0-6	10YR 5/2	63	3	33	33	9	10	9	2	1
B	10-20	10YR 5/4	82	2	48	26	5	6	6	4	2
C	50-70	10YR 5/4	78	2	50	27	5	6	7	1	1
8 Ah	0-9	10YR 5/2	38	2	40	32	9	8	5	1	1

Profil Poziom	Głębokość pobrania w cm	Barwy wg Munsela (próbka sucha) Colour acc. to Munsell (dry sample)	Procentowa zawartość frakcji (Ø w mm) Percentage content of grain size (Ø in mm)								
			> 1,0*	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,02	0,02-0,006	0,006-0,002	<0,002
B	20-30	10YR 5/4	72	3	48	30	5	5	5	1	2
BC	40-50	10YR 5/4	80	3	63	25	3	1	2	1	2
C	50-70	10YR 5/4	82	5	67	19	3	1	1	2	1
9 Ah	5-13	10YR 5/4	68	2	41	48	3	3	1	0	1
B	25-35	10YR 5/4	57	2	36	43	5	4	4	1	2
C	65-75	2,5YR 6/4	64	3	25	34	15	9	9	3	2
10 Ah	0-8	10YR 4/4	60	3	29	47	10	4	3	2	1
B	15-25	10YR 5/4	79	6	48	23	5	7	7	1	1
C	50-60	10YR 6/4	74	4	38	51	3	1	1	1	1
Gelic Gleysols											
11 Ah	0-6	10YR 4/2	96	1	19	28	12	25	11	1	1
AC	16-28	10YR 5/3	67	1	37	35	8	7	8	1	1
Cg	60-70	10YR 5/4	87	3	55	31	3	2	3	1	1
12 Ah	0-4	2,5Y 5/2	44	1	15	21	10	16	16	10	8
C	20-30	2,5Y 6/2	59	1	14	21	9	13	15	11	13
Cg	50-55	2,5Y 6/2	49	1	15	22	10	13	17	10	11
13 Ah	0-9	10YR 3/2	20	1	6	28	24	31	6	1	1
AC	18-28	10YR 3/2	30	2	40	28	8	9	6	3	3
Cg	48-60	2,5Y 5/4	57	2	54	31	4	3	3	1	1
14 Ah	2-16	2,5YR 6/4	17	2	10	21	24	23	11	2	5
B	20-28	5Y 4/4	0	0	2	9	43	26	9	2	6
Cg	47-57	5Y 6/2	0	0	0	8	35	28	15	2	9

Frakcja > 1mm nie obejmuje kamieni większych od około 30 mm

Grain size >1 mm does not include stones larger than about 30 mm

Tabela 2. Niektóre właściwości chemiczne gleb Kafføyry
Table 2. Some chemical properties of soil in Kafføyra

Profil Poziom	Głębokość pobrania w cm	C _t	N _t	C/N	P _t	C/P	pH		PWK CEC	CaCO ₃
Profile Horizon	Sampling depth in cm	%	%		%		H ₂ O	1M KCl	mmol (+).100g ⁻¹	%
Gelic Regosols										
1 Ah	0-5	0,31	0,032	9,7	0,038	8,2	8,0	7,7	10,1	17,6
C	24-38	0,25	0,029	8,6	0,075	3,3	7,9	7,6	8,2	15,2
2 Ah	0-5	1,44	0,114	12,6	0,064	22,5	7,7	7,1	2,3	6,8
C	15-20	0,28	0,024	11,7	0,076	3,7	7,9	7,4	5,2	11,6
Af	23-30	0,31	0,027	11,5	0,066	4,7	8,0	7,7	3,6	10,6
Bf	45-55	0,61	0,051	12,0	0,074	8,2	8,3	7,6	7,0	5,3
Gelic Cambisols										
3 (O)	3-0	7,96	0,490	16,2	0,078	102,1	6,4	5,9	-	-
Ah	0-10	2,09	0,187	11,2	0,061	34,3	6,7	6,4	5,8	0,0
B	20-30	0,75	0,065	11,5	0,067	11,2	7,4	6,5	0,8	0,0
C	100-120	0,61	0,040	15,3	0,097	6,3	7,8	7,2	9,8	5,5
4 (O)	2,5-0	8,87	0,334	26,6	0,045	197,1	4,8	4,1	-	-
Ah	0-10	2,45	0,070	10,3	0,043	57,0	5,4	4,8	1,1	0,0
B	15-27	1,26	0,023	12,6	0,046	27,4	6,7	6,5	1,0	0,0
BC	40-50	1,23	0,018	12,8	0,060	20,5	7,9	6,8	0,7	0,0
Cg	60-65	1,72	0,011	13,6	0,047	36,6	7,9	7,2	0,7	7,6
5 (O)	1-0	9,05	0,554	16,3	0,038	238,2	6,0	5,7	-	-
Ah	0-10	0,53	0,039	13,6	0,077	6,9	6,8	6,4	1,7	0,0
B	15-25	0,34	0,026	13,1	0,083	4,1	7,8	7,1	2,8	0,6
BC	35-40	0,21	0,018	11,7	0,076	2,8	8,1	7,3	2,6	8,7
C	55-70	0,17	0,013	13,1	0,068	2,5	8,1	7,3	6,7	13,6
6 Ah	0-8	1,29	0,106	12,2	0,069	18,7	7,1	6,7	5,7	0,3
B	25-30	0,45	0,031	14,5	0,055	8,2	7,0	6,0	1,0	0,3
C	70-80	0,28	0,020	14,0	0,054	5,2	7,5	6,5	0,8	0,3
7 (O)	0,5-0	7,93	0,563	14,1	0,120	66,1	5,6	4,7	-	-
Ah	0-6	2,42	0,190	12,7	0,091	26,6	5,3	4,8	11,9	0,0
B	10-20	0,60	0,049	12,2	0,074	8,1	6,1	5,7	2,8	0,0
C	50-70	0,31	0,021	14,8	0,081	3,8	7,3	6,5	1,1	0,0
8 (O)	0,4-0	6,84	0,375	18,2	0,118	58,0	6,5	6,1	-	-

Profil Poziom Profile Horizon	Głębokość pobrania w cm Sampling depth in cm	C _t %	N _t %	C/N	P _t %	C/P	pH		PWK CEC mmol (+).100g ⁻¹	CaCO ₃ %
							H ₂ O	1M KCl		
Ah	0-9	1,46	0,104	14,0	0,087	16,8	6,4	5,7	5,9	0,0
B	20-30	0,78	0,049	15,9	0,096	8,1	6,3	5,8	1,4	0,0
BC	40-50	0,37	-	-	0,090	4,1	6,4	5,8	3,2	0,0
C	50-70	0,29	-	-	0,100	2,9	-	-	0,7	0,0
9 (O)	1-0	10,00	0,466	21,5	0,082	122,0	5,7	5,5	-	-
Ah	9-13	0,85	0,077	11,0	0,060	14,2	7,8	6,8	1,9	0,0
B	25-35	0,37	0,032	11,2	0,059	6,3	7,9	7,3	0,9	10,8
C	65-75	0,07	-	-	0,037	-	8,4	7,8	0,4	2,6
10 Ah	0-8	0,53	0,058	9,1	0,053	10,0	6,9	6,3	1,6	0,0
B	15-25	0,60	0,045	13,3	0,044	13,6	8,5	7,4	3,3	1,5
C	50-60	0,07	-	-	0,037	-	8,4	7,8	0,4	2,6
Gelic Gleysols										
11 (O)	2,5-0	9,48	0,634	15,0	0,094	100,9	5,5	5,2	-	-
Ah	0-6	4,61	0,368	12,5	0,119	38,7	6,1	5,6	16,9	0,0
AC	16-28	0,81	0,57	14,2	0,085	9,5	7,6	7,1	2,2	0,0
Cg	60-70	0,18	-	-	0,070	2,3	8,0	7,4	1,1	11,5
12 (O)	1-0	8,56	0,541	15,8	0,128	66,9	7,2	6,9	-	-
Ah	0-4	1,09	0,104	10,5	0,101	10,8	7,7	7,1	5,8	1,5
C	20-30	0,70	0,071	10,0	0,095	7,4	7,9	7,2	4,4	3,6
Cg	50-55	0,72	0,082	8,8	0,107	6,7	7,9	6,9	4,7	2,1
13 (O)	1-0	9,22	0,478	19,3	0,118	78,1	7,3	6,8	-	-
Ah	0-9	3,93	0,279	14,1	0,118	33,3	7,3	6,6	15,1	0,0
AC	18-28	0,97	0,070	13,9	0,088	11,0	7,4	6,6	7,9	0,0
Cg	48-60	0,15	-	-	0,068	-	8,2	7,0	4,5	8,3
14 (O)	1-0	12,54	0,607	20,7	-	-	7,1	6,7	-	-
Ah	2-16	0,80	0,066	12,1	-	-	7,9	7,7	7,3	7,3
B	20-28	0,24	-	-	-	-	8,3	8,1	7,1	22,5
Cg	47-57	0,26	-	-	-	-	8,4	8,1	8,7	21,7

Tabela 3. Skład frakcyjny próchnicy
Table 3. Fraction composition of humus

Profil Poziom Profile Horizon	Zawartość C w % * % C content *				C KH C KF	Stopień humifikacji wg Sprigera Humification degree acc. to Springer
	Bituminy Bitumens	Kwasy huminowe (KH) Humic acids	Kwasy fulwowe (KF) Fulvic acids	Pozostałość poekstrakcyjna Postextraction residue		
Gelic Regosol						
1 Ah	<u>0,24</u> 4,82	<u>0,39</u> 7,83	<u>0,21</u> 4,22	<u>4,14</u> 83,13	0,54	-
2 Ah	<u>0,06</u> 4,16	<u>0,13</u> 9,03	<u>0,04</u> 2,78	<u>1,21</u> 84,03	0,31	10,1
Gelic Cambisol						
3 (O)	<u>0,40</u> 5,03	<u>0,82</u> 10,30	<u>0,36</u> 4,52	<u>6,38</u> 80,15	0,44	34,9
Ah	<u>0,07</u> 3,35	<u>0,36</u> 17,22	<u>0,08</u> 3,82	<u>1,58</u> 75,60	0,22	36,9
4 (O)	<u>1,30</u> 14,66	<u>1,40</u> 15,78	<u>0,26</u> 2,93	<u>5,91</u> 66,63	0,19	50,0
Ah	<u>0,07</u> 9,72	<u>0,24</u> 33,33	<u>0,06</u> 8,33	<u>0,35</u> 48,86	0,25	20,1
5 (O)	<u>0,61</u> 6,74	<u>1,01</u> 11,16	<u>0,35</u> 3,87	<u>7,08</u> 78,23	0,35	37,0
Ah	<u>0,04</u> 7,55	<u>0,07</u> 13,21	<u>0,05</u> 9,43	<u>0,37</u> 69,81	0,71	23,2
6 Ah	<u>0,08</u> 6,20	<u>0,20</u> 15,50	<u>0,15</u> 11,63	<u>0,86</u> 66,67	0,75	46,8
7 (O)	<u>0,42</u> 5,30	<u>1,34</u> 16,90	<u>0,45</u> 5,67	<u>5,72</u> 72,13	0,34	67,2
Ah	<u>0,19</u> 7,85	<u>0,47</u> 19,42	<u>0,30</u> 12,40	<u>1,44</u> 60,33	0,64	40,0
8 (O)	<u>0,38</u> 5,56	<u>0,80</u> 11,70	<u>0,18</u> 2,63	<u>5,48</u> 80,12	0,23	44,9
Ah	<u>0,12</u> 10,74	<u>0,23</u> 15,75	<u>0,07</u> 4,79	<u>1,04</u> 71,23	0,30	25,8

Profil Poziom Profile Horizon	Zawartość C w % * % C content *				C KH C KF	Stopień humifikacji wg Sprigera Humification degree acc. to Springer
	Bituminy Bitumens	Kwasy huminowe (KH) Humic acids	Kwasy fulwowe (KF) Fulvic acids	Pozostałość poekstrakcyjna Postextraction residue		
9 (O)	<u>0,61</u>	<u>1,06</u>	<u>0,42</u>	<u>7,91</u>	0,40	44,0
	6,10	10,60	4,20	79,10		
Ah	<u>0,08</u>	<u>0,10</u>	<u>0,05</u>	<u>0,62</u>	0,50	30,1
	9,41	11,76	5,88	72,94		
10 Ah	<u>0,04</u>	<u>0,09</u>	<u>0,05</u>	<u>0,35</u>	0,56	48,4
	7,55	16,98	9,43	66,60		
Gelic Gleysols						
11 (O)	<u>0,72</u>	<u>1,04</u>	<u>0,86</u>	<u>6,86</u>	0,82	67,2
	7,59	10,97	9,07	72,36		
Ah	<u>0,24</u>	<u>0,63</u>	<u>0,44</u>	<u>3,30</u>	0,70	43,9
	5,20	13,67	9,54	71,16		
12 (O)	<u>0,33</u>	<u>0,90</u>	<u>0,27</u>	<u>7,06</u>	0,30	18,9
	3,86	10,51	3,15	82,48		
Ah	<u>0,05</u>	<u>0,09</u>	<u>0,05</u>	<u>0,88</u>	0,23	17,0
	4,59	8,26	4,59	80,73		
13 (O)	<u>0,39</u>	<u>0,92</u>	<u>0,35</u>	<u>7,56</u>	0,38	34,0
	4,23	9,98	3,80	82,00		
Ah	<u>0,28</u>	<u>0,39</u>	<u>0,26</u>	<u>3,00</u>	0,30	35,9
	7,12	9,92	6,62	76,33		
14 (O)	<u>0,69</u>	<u>1,14</u>	<u>0,45</u>	<u>10,26</u>	0,39	23,1
	5,50	9,09	3,59	81,82		
Ah	<u>0,08</u>	<u>0,10</u>	<u>0,04</u>	<u>0,50</u>	0,40	23,2
	10,00	12,50	5,00	62,50		

W liczniku procent C w stosunku do materiału glebowego, w mianowniku procent C w stosunku do węgla organicznego ogółem (C_t)
The numerator is the C percentage relatively to soil material, the denominator is the C percentage relatively to total organic carbon (C_t)

Tabela 4. Zawartość pierwiastków metalicznych w profilu Gelic Cambisols (n = 8)
Table 4. Content of metal elements in Gelic Cambisols profile (n = 8)

Pierwiastek Element	Poziom Horizon	Zakres zawartości	Średnia Mean	Odchylenie standardowe Standard deviation	Zawartość w poziomie Content in horizon
					Zawartość w skale macierzystej Content in parent rock
Na %	O	0,03-0,42	0,15	0,16	1,67
	A	0,08-0,20	0,12	0,05	1,33
	B	0,09-0,14	0,12	0,02	1,33
	C	0,05-0,11	0,09	0,02	1,00
K %	O	0,55-2,25	1,43	0,56	1,70
	A	0,53-2,05	0,97	0,57	1,15
	B	0,48-1,52	0,80	0,36	0,95
	C	0,46-1,84	0,84	0,51	1,00
Ca %	O	0,18-0,90	0,53	0,25	0,18
	A	0,10-2,83	0,60	0,95	0,21
	B	0,08-3,26	0,83	1,06	0,28
	C	0,34-5,65	2,92	1,86	1,00
Mg %	O	0,44-0,92	0,79	0,18	0,83
	A	0,51-1,35	0,69	0,28	0,72
	B	0,48-1,29	0,75	0,26	0,78
	C	0,50-1,94	0,96	0,49	1,00
Fe %	O	1,28-3,03	2,21	0,56	0,65
	A	2,04-5,14	3,14	0,92	0,92
	B	1,85-5,17	3,24	1,16	0,95
	C	1,78-6,18	3,41	1,55	1,00
Mn ppm	O	97-552	272	160	0,60
	A	194-635	375	149	0,82
	B	228-645	427	134	0,96
	C	326-679	456	128	1,00
Zn ppm	O	46-99	77	19	0,99
	A	38-152	82	33	1,05
	B	39-106	75	20	0,96
	C	52-105	78	20	1,00
Cu ppm	O	7,3-22,4	16,2	15,4	0,58
	A	4,4-54,9	23,7	15,1	0,86

Pierwiastek Element	Poziom Horizon	Zakres zawartości	Średnia Mean	Odchylenie standardowe Standard deviation	Zawartość w poziomie Content in horizon Zawartość w skale macierzystej Content in parent rock
	B	5,6-75,0	28,0	20,7	1,01
	C	9,9-43,7	27,7	13,4	1,00
Co ppm	O	2,5-9,0	5,9	2,7	0,63
	A	5,0-13,0	7,9	3,4	0,84
	B	3,4-20,4	8,9	5,2	0,95
	C	3,3-19,9	9,4	5,6	1,00
Ni ppm	O	12,3-23,0	20,3	4,1	0,79
	A	15,3-32,8	25,1	6,8	0,98
	B	13,7-38,9	24,9	8,6	0,97
	C	13,6-41,8	25,6	10,9	1,00
Pb ppm	O	13,1-20,0	16,1	3,1	1,30
	A	7,2-21,9	11,8	4,6	0,95
	B	6,5-25,3	12,7	6,0	1,02
	C	8,5-24,2	12,4	5,6	1,00
Cd ppm	O	0,09-0,40	0,24	0,11	1,60
	A	0,05-0,21	0,13	0,05	0,87
	B	0,05-0,19	0,15	0,04	1,00
	C	0,09-0,21	0,15	0,05	1,00

Tabela 5. Niekrzemianowe formy żelaza w Gelic Cambisols
Table 5. Non-silicate forms of iron in Gelic Cambisols

Profil Profile	Poziom Horizon	Fe _t [*]	Fe _d ^{**}	Fe _o ^{***}	$\frac{Fe_d \cdot 100}{Fe_t}$	$\frac{Fe_o \cdot 100}{Fe_t}$	$\frac{Fe_o \cdot 100}{Fe_d}$	$\frac{(Fe_d - Fe_o) \cdot 100}{Fe_t}$
Wysokość npm Height asl		%	%	%				
1								
3	Ah	2,60	0,22	0,18	8,5	6,9	81,8	1,5
4 m	B	2,70	0,33	0,16	12,2	5,9	48,5	6,3
	C	3,70	0,35	0,14	9,5	3,8	40,0	5,7
4	Ah	2,04	0,21	0,17	10,3	8,3	81,0	2,0
12 m	B	1,85	0,21	0,17	11,4	9,2	81,0	2,2
	C	1,78	0,19	0,13	10,7	7,3	68,4	3,4
5	Ah	3,04	0,35	0,21	11,5	6,9	60,0	4,6
16 m	B	3,09	0,33	0,19	10,7	6,1	57,6	4,5
	C	2,96	0,25	0,14	8,4	4,7	56,0	3,7
6	Ah	2,94	0,35	0,27	11,9	9,2	77,3	2,7
27 m	B	2,45	0,30	0,20	12,2	8,2	66,7	4,1
	C	2,44	0,30	0,23	12,3	9,4	76,7	2,9
7	Ah	3,55	0,46	0,34	13,0	9,6	73,9	3,4
33 m	B	4,76	0,60	0,43	12,6	9,0	71,7	3,6
	C	4,25	0,52	0,42	12,2	9,9	80,8	2,4
8	Ah	5,14	0,33	0,22	6,4	4,3	66,7	1,9
37 m	B	5,17	0,32	0,22	6,2	4,3	68,8	1,9
	C	6,18	0,22	0,17	3,6	2,8	77,3	0,8
9	Ah	2,84	0,30	0,18	10,6	6,3	60,0	4,2
43 m	B	3,21	0,38	0,18	11,8	5,6	47,4	6,2
	C	4,00	0,52	0,38	13,0	9,5	73,1	3,5
10	Ah	2,76	0,34	0,16	12,3	5,8	47,1	6,5
63 m	B	2,22	0,26	0,10	11,7	4,5	38,5	7,2
	C	1,78	0,20	0,05	11,2	2,8	25,0	8,4

* żelazo ogółem – total iron

** żelazo w wyciągu ditionitowym – iron in dithionite extract

*** żelazo w wyciągu szczawianowym – iron in oxalate extract

Tabela 6. Zawartość metali ciężkich w glebach Kafføry
Table 6. Heavy metals content in Kafføra

Pierwiastek Element	Zakres zawartości Content range	Średnie Means	Odchylenie standardowe Standard deviation
Fe %	1,28-6,18	2,90	0,93
Mn ppm	97-679	392	120
Zn ppm	38-152	75	19
Cu ppm	4,4-102,0	23,4	14,5
Co ppm	2,5-24,1	7,4	3,7
Ni ppm	12,3-42,5	24,1	7,4
Pb ppm	6,1-25,3	12,5	4,2
Cd ppm	0,05-0,40	0,14	0,06

Tabela 7. Średnie zawartości metali ciężkich w glebach Kaffiøry, Polski i świata
Table 7. Mean contents of heavy metals in the soils of Kaffiøra, Poland and the world

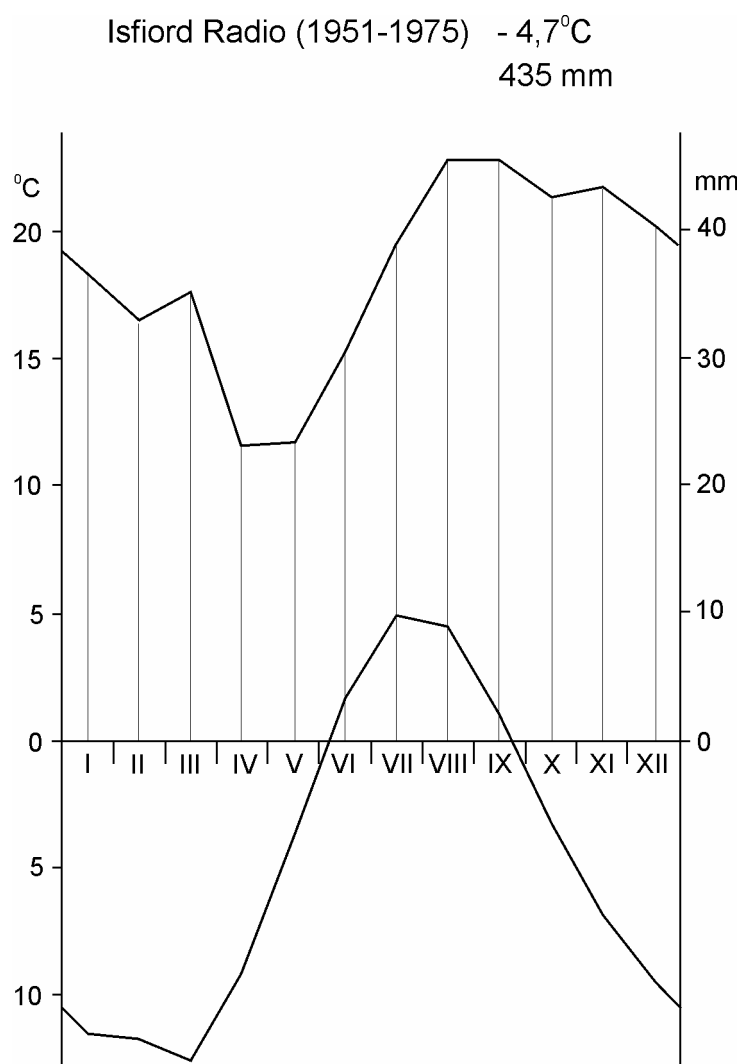
Pierwiastek Element	Kaffiöyra	Polska 1* 2** Poland		Świat *** the world
Fe %	2,9	1,83	1,35	-
Mn ppm	392	465	322	500-1000
Zn ppm	75	46	36	50-100
Cu ppm	23,4	12	8,8	15-40
Ni ppm	24,1	-	12,7	20-30
Co ppm	7,4	-	4,7	10-15
Pb ppm	12,5	19	19,3	15-25
Cd ppm	0,15	0,17	0,27	-

* Kabata-Pendias (1981)

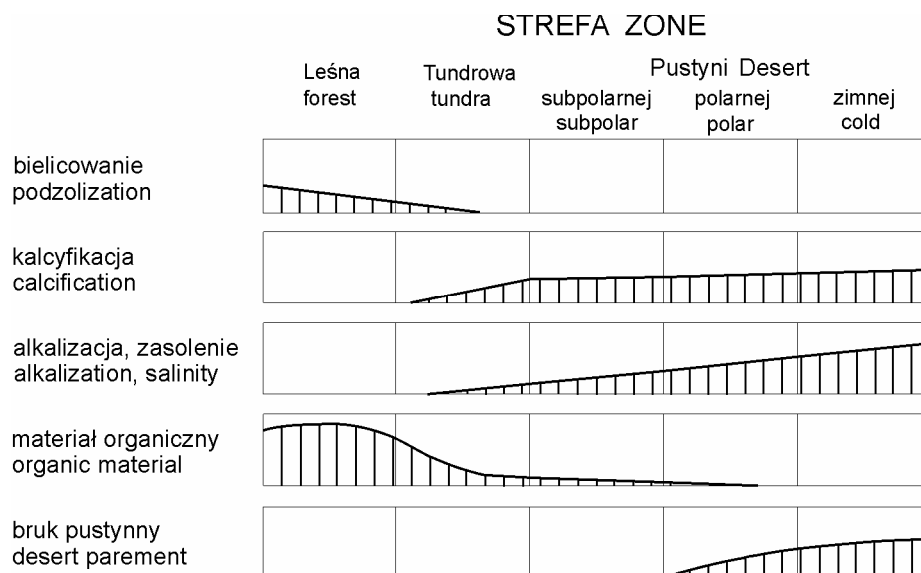
** Gleby utworzone z glin zwałowych i utworów pyłowych (Czarnowska i Gworek, 1987) – soils developed on loam and silty sediments.

*** Aubert and Pinta (1977)

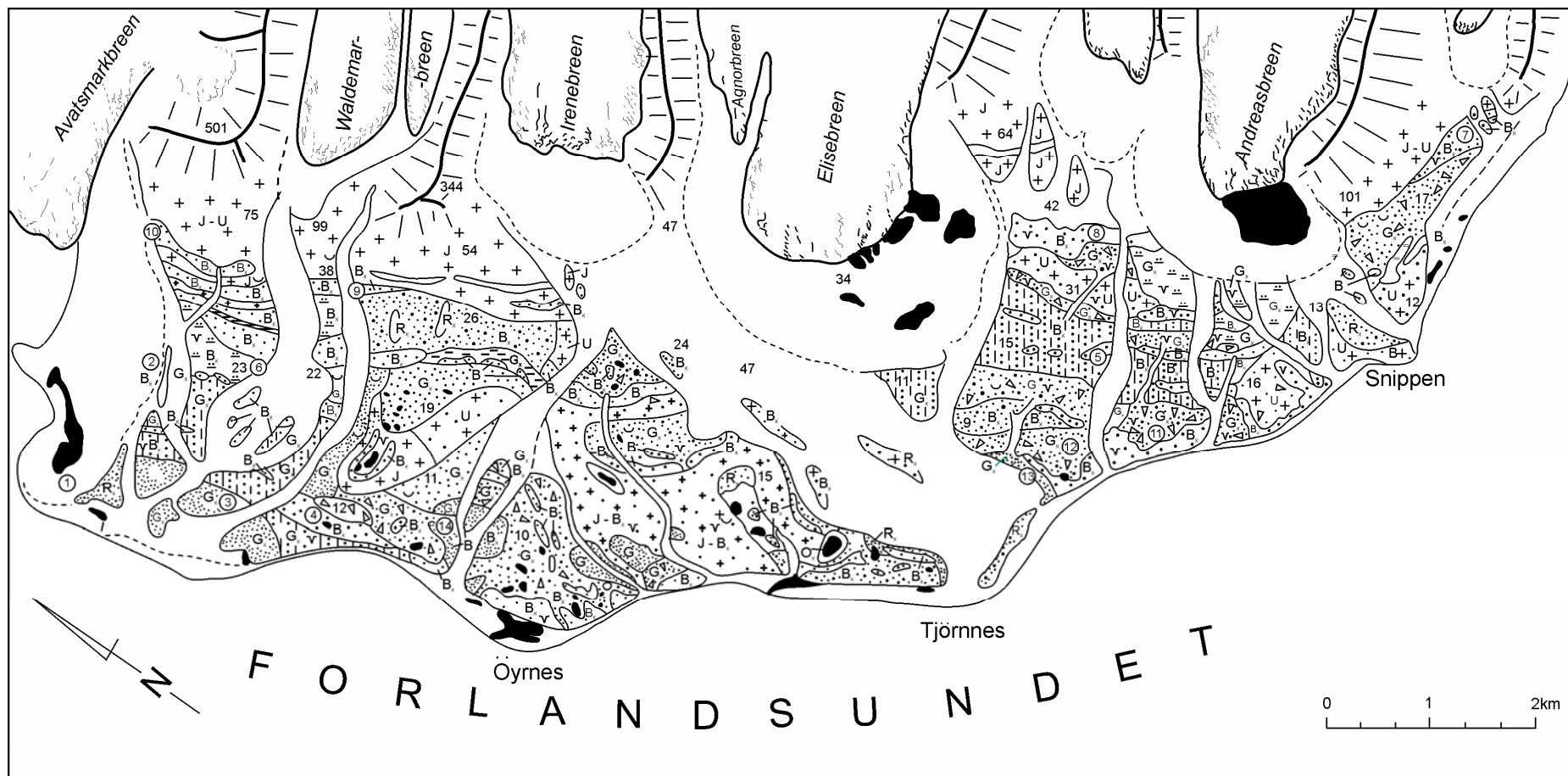
14. Rysunki



Rys. 1. Diagram klimatyczny – Isfjord Radio wg danych Steffensena (1982)
Fig. 1. Climate diagram – Isfjord Radio acc. To Steffensen's data (1982)



Rys. 2. Gradienty pedogeniczne w różnych strefach Arktyki wg Tedrowa (1977)
 Fig. 2. Pedogenic gradients in different zones of the Arctic acc. to Tedrow (1977)



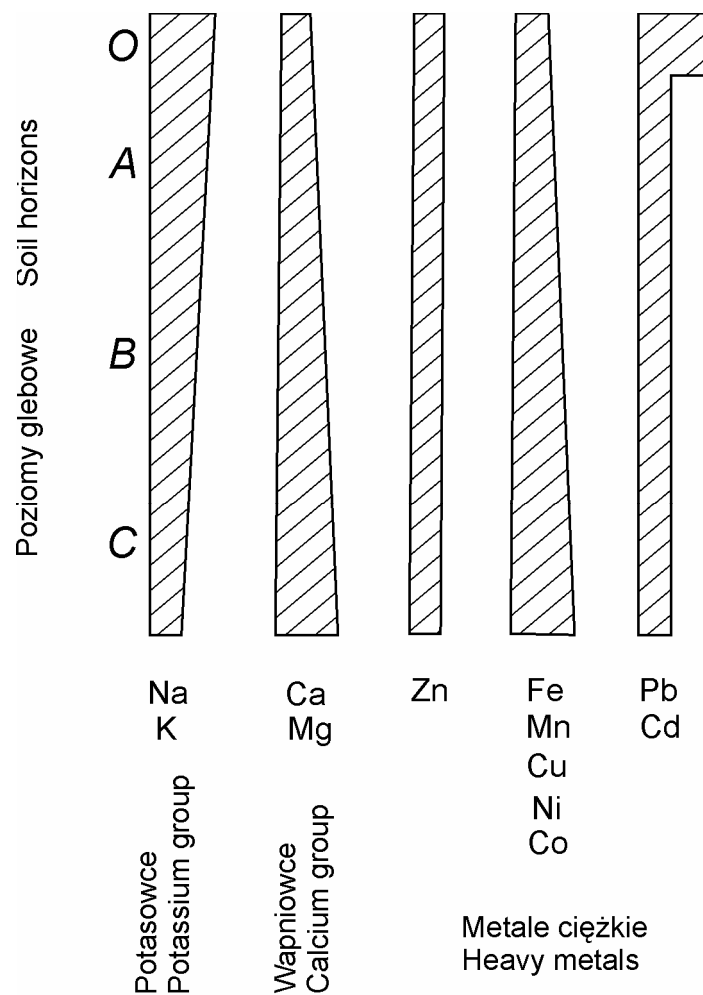
- | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------|---------|------|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 J, R, U, B, J-B, G, O | 2 + + | 3 + + + | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| 18 | 19 | 20 8 | 21 ② | | | | | | | | | | | | | |

Rys. 3. Mapa gleb Kaffiøyry (Sinkiewicz i Plichta, 1987)

1 - jednostki glebowe: I - Lithosols, Rx - Gelic Regosols, U - Rankers, Bx - Gelic Cambisols, I-Bx – kompleks Lithosols i Gelic Cambisols, Ox - Gelic Histosols; 2 - skały lite formacji Hecla Hoek (dolomity, łupki, fyllity, marmury); 3 - paleogeńskie skały lite i silnie zwięzłe (zlepieńce, piaskowce, łupki ilaste, mułowce); 4 - kamienie, rumosz skalny; 5 - żwiry i piaski gruboziarniste; 6 - skały lite formacji Hecla Hoek przykryte utworami piaszczysto-żwirowymi; 7 - skały silnie zwięzłe (trzeciorzędowe) przykryte utworami piaszczysto-żwirowymi; 8 - gliny przykryte utworami piaszczysto-żwirowymi; 9 - żwiry; 10 - piaski drobnoziarniste; 11 – piaski drobnoziarniste i pyły; 12 - gliny; 13 - torfy; 14 - utwory nieglebowe w obrębie młodych form polodowcowych, sandrów, współczesnych plaż; 15 - różne odmiany kriogenicznej mikrorzeźby powierzchni gleby; 16 - formy soliflukcyjne; 17 - pasma górskie; 18 - a. czoła lodowców, b. maksymalny zasięg stref marginalnych z końca XIX w.; 19 - większe jeziora; 20 - wysokości bezwzględne; 21 - lokalizacja analizowanych odkrywek glebowych.

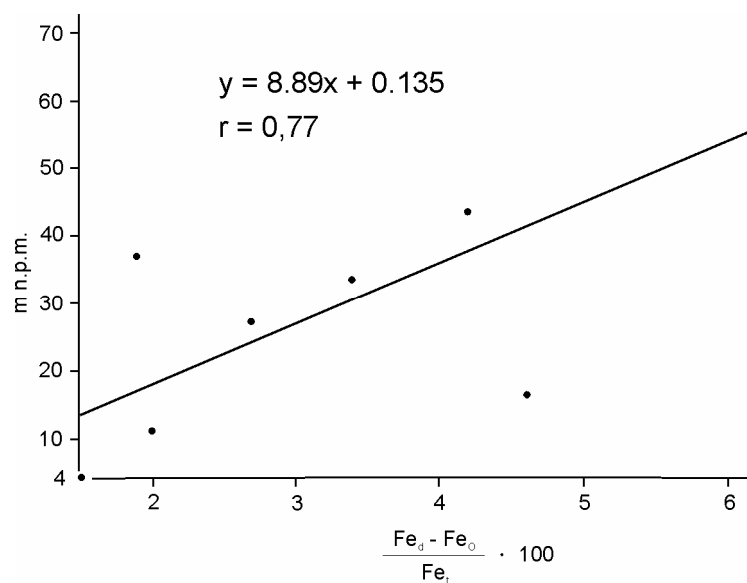
Fig. 3. Soil map of Kaffiøyra (Sinkiewicz and Plichta, 1987)

1 – soil units; I – Lithosols, Rx – Gelic Regosols, U – Rankers, Bx - Gelic Cambisols, I-Bx – Lithosols and Gelic Cambisols complex, Ox – Gelic Histosols; 2 – solid rocks of the Hecla Hoek formation (dolomites, schists phyllites, marbles); 3 – Paleogene solid and strongly compact rocks (conglomerates, sandstones, clayey schists siltstones); 4 – stones, rock detritus; 5 – coarse-grained sands and gravels; 6 – solid rocks of the Hecla Hoek formation overlain by sandy-gravelly deposits; 7 – strongly compact (Tertiary) rocks overlain by sandy-gravelly deposits; 8 – loams overlain by gravelly deposits, 9 – gravels; 10 – fine-grained sands; 11 – fine-grained sands and silts; 12 – loams; 13. peats; 14 – non-soil deposits inside specimens young postglacial forms, outwash plains, contemporary beaches; 15 – various specimens of cryogenic microrelief of soil surface; 16 – solifluction forms; 17 – mountain chains; 18 – a. glacier front, b. maximum extent of marginal zones at the end of 19th c; 19 – sizable lake; 20 absolute heights; 21 – localization of soil outcrops analyzed



Rys. 4. Schematyczne diagramy rozmieszczenia pierwiastków w profilu Gelic Cambisols (Plichta, Kuczyńska i Sapek, 1991)

Fig. 4. Diagrams showing distribution of elements in Gelic Cambisols profile (Pichta, Kuczyńska and Sapek, 1991)



Rys. 5. Regresja prostoliniowa między wskaźnikiem $(Fe_d - Fe_o) : Fe_t$ w poziomie Ah i położeniem profilu nad poziom morza

Fig. 5. Linear regression between index $(Fe_d - Fe_o) : Fe_t$ in horizon Ah and the situation of the profile above sea level