

BOLESŁAW NOWACZYK, ANNA PAZDUR, MIECZYŚLAW F. PAZDUR,
ROMUALD AWSIUŁ

STRATYGRAFIA I WARUNKI ROZWOJU WYDMY W POMORSKU KOŁO SULECHOWA W ŚWIETLE NOWYCH BADAŃ

ZARYS TREŚCI

Wydma w Pomorsku koło Sulechowa była już przedmiotem licznych opracowań, wykonanych przez specjalistów z kilku dziedzin nauk przyrodniczych. Przeprowadzone nowe badania terenowe pozwalają na dokonanie korekt w przekroju geologicznym, a analizy radiowęglowe na dokładniejsze określenie wieku poszczególnych serii eolicznych i osadów biogenicznych. Na podstawie badań geologicznych, malakologicznych oraz datowań palinologicznych, archeologicznych i metodą ^{14}C , przedstawiono etapy i warunki rozwoju wydmy oraz sąsiadującej z nią rynny glacialnej w Pomorsku.

STAN DOTYCHCZASOWYCH BADAŃ WYDMY W POMORSKU

W zachodniej części Pradoliny Warszawsko-Berlińskiej (odcinek Cigacicko-Krośnieński), w okolicy Pomorska leży wydma poprzeczna, która usytuowana jest na krawędzi między III i I poziomem terasowym (rys. 1). Stanowiła ona przedmiot badań specjalistów z kilku dziedzin nauk przyrodniczych. Morfologię, budowę geologiczną i etapy rozwoju wydmy oraz sąsiadującej z nią rynny glacialnej przedstawił B. Nowaczyk (1968, 1974a, 1974b, 1976). Wiek kredy jeziornej na podstawie analizy palinologicznej ustalił K. Tobolski (B. Nowaczyk 1974b, 1976). Natomiast artefakty znalezione na stoku proksymalnym i wierzchołku wydmy opracował typologicznie i stratygraficznie M. Kobusiewicz (B. Nowaczyk 1976). Zaś A. Kowalkowski (1977a, 1977b) podał typy i genezę gleb kopalnych występujących w obrębie stoku dystalnego wydmy.

Eksploatacja kredy jeziornej w kopalni Pomorsko (Brzezie) i związane z nią zcerpywanie wody z wyrobiska, spowodowały obniżenie poziomu wód podziemnych na terenach do niego przylegających. Konsekwencją tego działania była możliwość bezpośredniego dotarcia do głębiej zalegających poziomów biogenicznych i rozdzielających je utworów mineralnych. Otworzyły się więc nowe możliwości badawcze, a w dal-

szej kolejności interpretacyjne, pozwalające spojrzeć na wydmnę w Pomorsku w nieco innym ujęciu.

W pierwszym etapie tych nowych badań dotyczących chronologii osadów organicznych, wykonano jedno datowanie metodą ^{14}C fragmentu pnia sosny, znalezionej w stropie kredy jeziornej (A. Pazdur, M. F. Pazdur, A. Zastawny 1979). Otrzymany wynik datowania 11380 ± 275 lat B. P. (Gd — 378), w połączeniu z pomiarami nachylenia warstwy kredy jeziornej w brzeżnej strefie zbiornika wykazał, że inaczej należy wykonać przekrój geologiczny (B. Nowaczyk 1979, B. Nowaczyk, K. Tobolski 1979, 1981). W dalszej kolejności wydatowano szyszki i fragmenty drewna zebrane z warstwy piasku spoczywającej na kredzie jeziornej, określając tym samym zakończenie akumulacji tego osadu, w części zbiornika sąsiadującej z wydmną. Szczegółowa analiza malakofauny z dwóch profili wiertniczych i wyrobiska kopalni kredy jeziornej pozwoliła zrekonstruować warunki depozycji utworów biogenicznych i mineralnych (S. W. Alexandrowicz 1980, S. W. Alexandrowicz, B. Nowaczyk 1982).

W dotychczasowych badaniach wydmy w Pomorsku brak jest bardziej precyzyjnego określenia wieku występujących w niej gleb kopalnych. Pewne sugestie odnośnie do tej kwestii wysnuwano na podstawie chronologii zespołów kulturowych rozpoznanych na stanowisku zajmującym dość znaczną powierzchnię na stoku proksymalnym i wierzchołku tej formy (B. Nowaczyk 1976). Datowanie gleb kopalnych metodą ^{14}C było do niedawna niemożliwe, ze względu na śladowe występowanie w nich węgla drzewnych, stanowiących najodpowiedniejszy do tego celu materiał. Ostatnie badania wykazały (B. Nowaczyk, M. F. Pazdur 1982), że do datowań nadają się również poziomy próchniczne pozbawione węgla drzewnych. W związku z tym podjęto próbę wydatowania czterech gleb kopalnych znajdujących się w interesującym autorów stanowisku. Na podstawie bogatego materiału dowodowego, zebranego w czasie kilkunastoletnich badań terenowych i laboratoryjnych, przy zastosowaniu różnych dostępnych metod, można przedstawić w nieco zmodyfikowanej i pełniejszej formie etapy i warunki rozwoju badanej wydmy.

BUDOWA GEOLOGICZNA

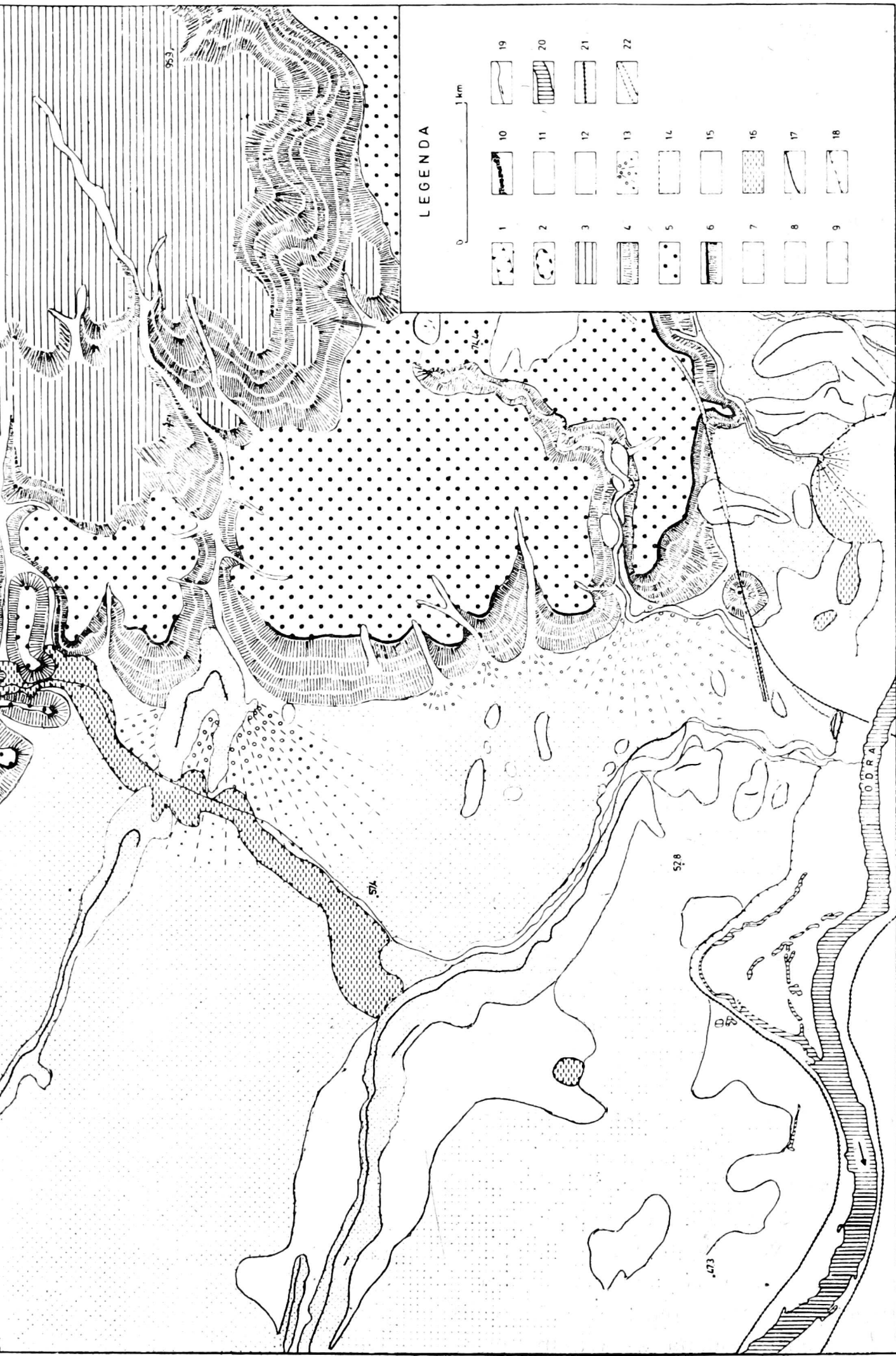
Wydma poprzeczna w Pomorsku na odcinku około 300 m graniczy z równiną akumulacji biogenicznej (rys. 1), zajmującą rynną glacialną, prawie niewidoczną w rzeźbie terenu. Strefa graniczna między wydmną i zbiornikiem akumulacji biogenicznej (rys. 2A) zawiera bogaty zapis zdarzeń geologicznych i stanowi klucz do odtworzenia rozwoju omawianych form. Budowa geologiczna tej strefy w świetle nowych badań przedstawia się następująco:

Na dnie rynny glacialnej, zbudowanym z piasków średnio- i drobnoziarnistych, spoczywa warstwa mułków wapnisto-piaszczystych o zmiennej miąższości (20 - 120 cm). Zawierają one nieliczne skorupki mięczaków (S. W. Alexandrowicz, B. Nowaczyk 1982) (rys. 3). Mułki ku górze przechodzą w warstwę kredy jeziornej o zróżnicowanej w pionie zawartości węglanu wapnia, wahającej się w granicach 20 - 95⁰/. Licznie występują w niej skorupki mięczaków wodnych.

W kilku dotychczasowych opracowaniach (B. Nowaczyk 1974a, 1974b, 1976, A. Kowalkowski 1977a, 1977b) poziom kredy jeziornej był rozdzielany na dwie części. Dolną, leżącą poziomo na dnie rynny na wysokości 49 m n.p.m. i górną zalegającą również horyzontalnie, ale na wysokości około 54 m n.p.m. na piaskach eolicznych starszej serii wydmowej (B. Nowaczyk 1976, rys. 17 poz. 2 i 6). Pierwsza z wymienionych warstw była datowana palinologicznie przez K. Tobolskiego (B. Nowaczyk 1974a, 1976) na fazę sosnową Allerødu (rys. 2C), druga zaś ze względu na brak datowań zaliczona została do holocenu. Wykonane później prace ziemne umożliwiły dotarcie do górnego poziomu kredy jeziornej. Stwierdzono, że na nim w strefie brzeżnej leżał pień sosny o średnicy około 20 cm, z którego zewnętrznych słoii pobrano próbkę do oznaczenia wieku metodą ¹⁴C. Analiza radiowęglowa dała wynik 11380 ± 275 lat B. P., a więc kreda jeziorna omawianego poziomu posiada ten sam wiek co niżej leżąca część pozioma, datowana palinologicznie na Allerød. Zatem stanowią one jeden ciągły horyzont zalegający na południowym zamknięciu rynny glacialnej Niekarzyn—Pomorsko (rys. 2B). Początkowo kreda jeziorna spoczywa tu na stromym zboczu rynny, zapadając ku północy pod kątem około 25°, a następnie zalega już poziomo, wyklinowując się w odległości zaledwie kilkunastu metrów od dolnego załomu zbocza rynny (rys. 2A i 2B). Tak zaznaczano ten poziom w późniejszych opracowaniach na przekroju geologicznym (B. Nowaczyk 1978a, B. Nowaczyk, K. Tobolski 1979, 1981, S. W. Alexandrowicz, B. Nowaczyk 1982). Allerødzka kreda jeziorna w całym przekroju spoczywa na piaskach średnio- i drobnoziarnistych oraz mułkach wapnisto-piaszczystych pochodzenia fluwialnego lub glacifluwialnego i limnicznego.

Na przekroju zamieszczonym we wcześniejszych opracowaniach (B. Nowaczyk 1974 b, 1976) granica rynny glacialnej byłaznaczona kilkaset metrów dalej na południe od granicy obecnej (rys. 2 A). Wynikało to stąd, iż przyjmowano wówczas poziome zaleganie kredy jeziornej i znacznie większy zasięg jeziora. Pewne przesłanki do takiego wykonania przekroju dawała analiza diagramów uziarnienia piasków. Posiadany obecnie wiarygodny materiał dowodowy wyraźnie wskazuje na o wiele bardziej ograniczony zasięg rynny glacialnej i jednocześnie mniejsze rozprzestrzenienie piasków eolicznych.

Allerødzką kredę jeziorną we fragmencie zalegającym poziomo przykrywają mułki wapnisto-piaszczyste o miąższości 20 - 40 cm. W części



Rys. 1. Mapa geomorfologiczna okolic Pomorska (B. Nowaczyk 1979)

1 — rynnny glacialne, 2 — wytopiska po zagrzebanyh lodzie, 3 — wysoczyzna dennomorenowa piaska, 4 — zbocza wysoczyzny, 5 — sandr sulechowski, młodszy od fazy leszczyńskiej, 6 — zbocza pradolin, 7 — pierwsza terasa pradolinna — faza poznańska, 8 — trzecia terasa pradolinna, 9 — czwarta terasa — dno doliny Odry, 10 — zbocza dolinek erozyjno-denuwacyjnych, 11 — terasa w obrębie dolinek erozyjno-denuwacyjnych, 12 — dna dolinek erozyjno-denuwacyjnych, 13 — stożki napływowe, 14 — wydmy, 15 — eoliczne piaski pokrywowe, 16 — równiny akumulacji biogenicznej, 17 — podcięcia erozyjne o wysokości skarpy przekraczającej 5 m, 18 — podcięcia erozyjne o wysokości skarpy 2-3 m, 19 — małe ciekły, 20 — rzeki i starorzecza wypełnione wodą, 21 — wały antropogeniczne, 22 — wkopy antropogeniczne, A — usytuowanie przekroju geologicznego

północnej rozpatrywanej strefy leżą one również bezpośrednio na osadach, w których wyerodowana została rynna glacialna (rys. 2 B poz. 5). Mułki wapnisto-piaszczyste zawierają małe ilości CaCO_3 . Nielicznie występuje w nich malakofauna. Ku południowi mułki wapnisto-piaszczyste przechodzą w piaski eoliczne drobno- i średnioziarniste. Przykrywają one początkowo kredę allerødzką spoczywającą na zboczu rynny glacialnej, a następnie piaski budujące I i III poziom terasowy (rys. 2 B). Strop piasków terasowych w pobliżu rynny znajduje się na wysokości około 56 m n.p.m. i obniża się ku południowi do około 54 m n.p.m. Wspomniane piaski eoliczne stanowią podstawową serię budującą wydmy w okolicy Pomorska, osiągającą w niektórych miejscach ponad 10 m miąższości.

Opisaną wyżej serię osadów eolicznych i eoliczno-limnicznych przykrywa kreda jeziorna o zawartości węgla wapnia przekraczającej z reguły 80% (B. Nowaczyk, 1979, B. Nowaczyk, K. Tobolski 1981). Miąższość jej, rozpoznana dzięki licznym wierceniom osiąga w osiowej części zbiornika ponad 14 m, a w strefie brzeżnej sąsiadującej z wydumą zmniejsza się do około 6 m (rys. 2 A). Kreda jeziorna zawiera liczne szczątki malakofauny, a szczególnie duże nagromadzenie skorupki ślimaków stwierdzono w jej stropie, odsłoniętym w kopalni w Pomorsku (S. W. Alexandrowicz 1980, S. W. Alexandrowicz, B. Nowaczyk 1982). Akumulacja tej serii kredy jeziornej rozpoczęła się zdaniem K. Tobolskiego (B. Nowaczyk 1976) w schyłkowej części młodszego dryasu, a zakończyła około 7095 ± 50 lat B. P. (Gd-1043), a zatem w początkowej części okresu atlantyckiego. Tę ostatnią datę wyznaczono na podstawie analizy radiowęglowej szyszek sosny i modrzewia (*Pinus*, *Larix*), które znaleziono w spągu cienkiej warstewki piasków eolicznych spoczywających na kredzie jeziornej (rys. 2 D). W tej samej warstwie występowały również kawałki drewna, datowane oddzielnie. Otrzymano dla nich datę $10200 \pm \pm 120$ lat B. P. (Gd-643). Jest to więc data bardzo różniąca się od daty dla szyszek. Tak dużą różnicę wieku można wytłumaczyć jedynie akumulacją w tej samej warstwie szczątków roślinnych pochodzących z rozmoczenia starszych osadów strefy brzegowej i spadających szyszek z rosnących w pobliżu brzegu drzew. Przyjęcie daty dla szyszek, za wyznaczającą koniec akumulacji kredy jeziornej w południowej części zbiornika, uzasadnia dużą jej miąższość. Osadzenie w ciągu zaledwie kilkuset lat warstwy o miąższości osiągającej kilka metrów grubości jest mało prawdopodobne.

Utwory węglanowe przykryte są warstwą torfu (rys. 2 A, 2 B) o miąższości 20 cm w części centralnej równiny akumulacji biogenicznej, a w sąsiedztwie wydmy zwiększa się ona do 100 cm. Tutaj warstwa torfu rozdziela się i stopniowo przechodzi w cztery poziomy humusowe, hydromorficznych gleb kopalnych (A. Kowalkowski 1977 a, 1977 b), rozdzielone piaskami eolicznymi. W poziomach próchnicznych sporadycznie

występują bardzo małe okruchy węgielków drzewnych. Zaznaczyć należy, że kopalne poziomy humusowe ograniczone są przestrzennie tylko do stoku dystalnego wydmy. Każdy starszy horyzont posiada mniejszy zasięg.

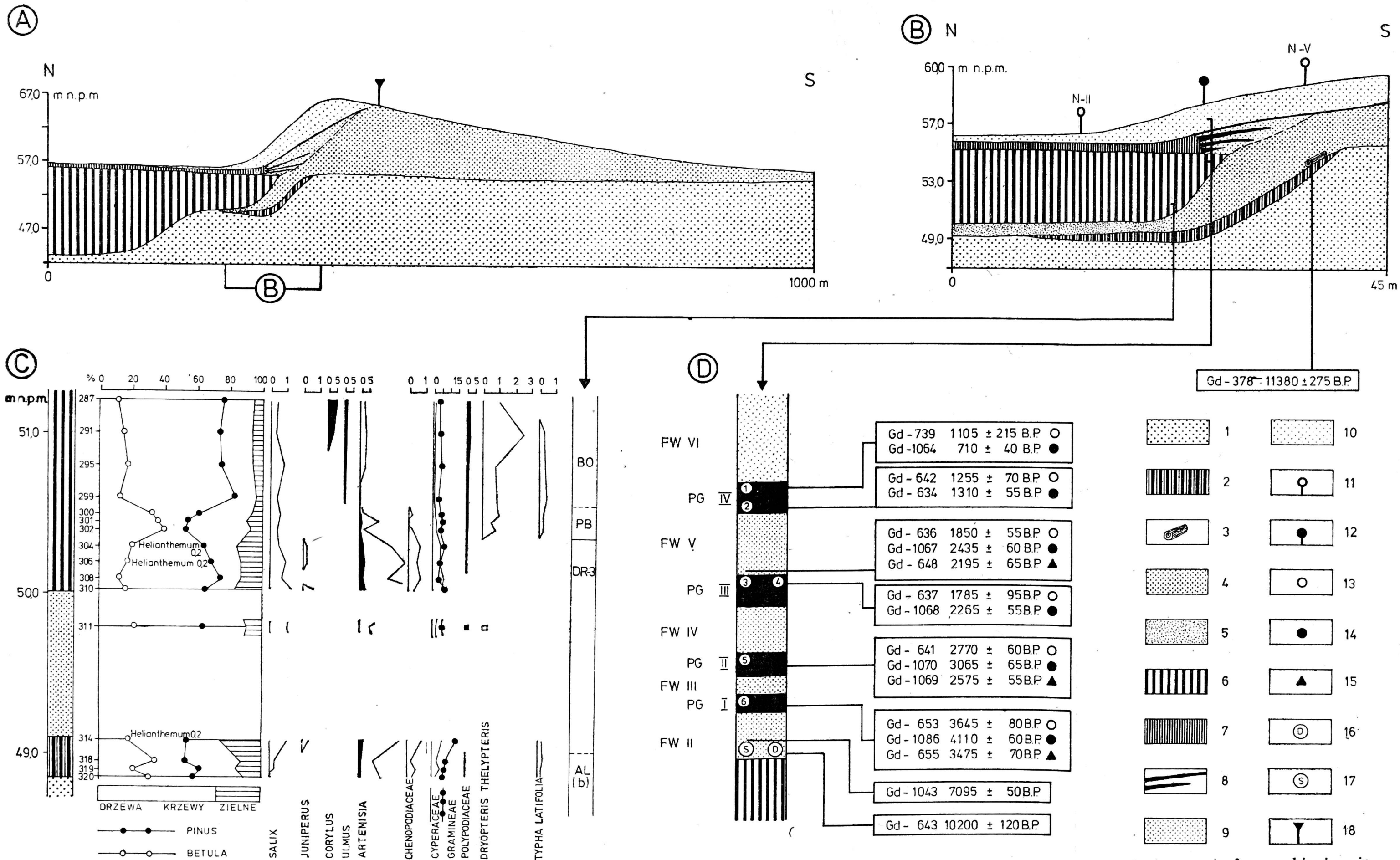
Najmłodszym elementem wydmy w Pomorsku jest seria piasków eolicznych o zróżnicowanej miąższości, spoczywająca na najmłodszym kopalnym horyzoncie humusowym i torfie. Ciągnie się ona cienką warstwą, aż na odległość około 50 m na północ od podnóża współczesnej wydmy.

Zachęceni rezultatami datowań gleb kopalnych z wydmy w Troszynie (B. Nowaczyk, M. F. Pazdur 1982), autorzy pobrali z czterech kopalnych poziomów humusowych w Pomorsku, sześć próbek do datowań radiowęglowych (rys. 2 D). Z najmłodszego poziomu pobrano próbki ze stropu i ze spągu. Z drugiego od góry horyzontu humusowego pobrano również dwie próbki, ale tylko ze stropu. Jedna z nich pochodzi z części zawierającej dużo substancji torfowej, druga zaś z fragmentu, w którym występuje humus. Z pozostałych dwóch starszych poziomów pobrano po jednej próbce.

WYNIKI POMIARÓW WIEKU

Zebrane w terenie próbki osadów przeznaczone do datowań przygotowano zgodnie z przyjętymi w tym zakresie zasadami. Proces preparatyki wstępnej, polegający na wydzielaniu frakcji rozpuszczalnych i nierozpuszczalnych w gorących roztworach kwasu solnego i zasady sodowej przeprowadzono w sposób opisany w opracowaniu poświęconym datowaniu gleb kopalnych z wydmy w Troszynie koło Wolina (B. Nowaczyk, M. F. Pazdur 1982). Próbki drewna i szyszek poddano standardowej preparatyce wstępnej, opracowanej dla materiału drzewnego i stosowanej w większości pomiarów chronometrycznych (A. Pazdur, M. F. Pazdur 1979). Proces spalania próbek i oczyszczania CO_2 przeprowadzono w sposób przedstawiony przez M. F. Pazdura, R. Awsiuka, A. Bluszcza, S. Hałasa, A. Pazurową, A. Walanusa, A. Zastawnego (1979). Pomiar radioaktywności izotopu ^{14}C wykonano przy pomocy liczników proporcjonalnych wypełnionych czystym CO_2 . Pomiar wieku każdej z próbek składał się z 20 - 30 stuminutowych pomiarów cząstkowych. Wyniki pomiarów cząstkowych poddawane były analizie statystycznej na maszynie cyfrowej ODRA — 1325 (M. F. Pazdur, A. Walanus 1979). Wartości wieku podawane są w tzw. konwencjonalnej skali radiowęglowej (M. Stuiver, H. A. Polach 1977).

Przy datowaniu próbek gleby zrezygnowano z wykonania pomiarów wieku dla całości substancji humusu (frakcja A). Spośród wydzielonych,



Rys. 2 A. Schematyczny przekrój geologiczny przez wydmy i południową część rynny glacialnej w Pomorsku. B. Szczegółowy przekrój geologiczny strefy zazębienia się osadów eolicznych z biogenicznymi. C. Uproszczony diagram pyłkowy osadów biogenicznych wypełniających dno rynny glacialnej (według K. Tobolskiego 1972 — materiały niepublikowane). D. Profil geologiczny poziomów próchnicznych, piasków eolicznych i stropu kredy jeziornej. Zaznaczono miejsca poboru próbek do datowań metodą ^{14}C oraz wyniki pomiarów wieku

1 — piaski terasowe, 2 — kreda jeziorna — allerødzka, 3 — pień sosny datowany metodą ^{14}C , 4 — piaski eoliczne starszej serii — początek młodszego dryasu, 5 — mułki wapienno-piaszczyste — początek młodszego dryasu, 6 — kreda jeziorna — schyłek młodszego dryasu — początek okresu atlantyckiego, 7 — torf — okres subborealny i subatlantycki, 8 — poziomy próchnicze gleb kopalnych — okres subborealny i subatlantycki, 9 — piaski eoliczne — okres atlantycki — subatlantyckiego, 10 — najmłodsze piaski eoliczne — okres subatlantycki, 11 — miejsca poboru profili do analiz malakologicznych, 12 — miejsce poboru profilu do analizy pedologicznej, 13 — frakcja B — rozpuszczalna w HCl (kwasy flawowe), 14 — frakcja C — rozpuszczalna w NaOH, nierozpuszczalna w HCl (kwasy huminowe i huminy), 15 — frakcja D — nierozpuszczalna w NaOH i HCl (huminy), 16 — drewno, 17 — szyszki sosny i modrzewia, 18 — lokalizacja wyeksplorowanej krzemienicy, FW — faza wydymowa, PG — poziom glebowy

metodami chemicznymi, frakcji humusu jedynie frakcją C (rozpuszczalną w HCl) otrzymano dla wszystkich próbek w ilości pozwalającej na wykonanie pomiarów w warunkach standardowych. Ze względu na małą ilość materiału zrezygnowano z datowań frakcji D dla próbek 1 i 2.

Daty radiowęglowe dla każdej z frakcji wykazują prawidłową tendencję. Ich wartość wzrasta z głębokością, co w szczególności widoczne jest dla frakcji C wydzielonej z próbek humusu, oznaczonych symbolami 1 i 2, pochodzących odpowiednio ze stropu i spągu najmłodszej gleby kopalnej (rys. 2 D). Drugi od góry poziom gleby kopalnej (III na rys. 2 D i 4) został datowany na podstawie dwóch próbek humusu, oznaczonych symbolami 3 i 4. Próbkę te pobrano w odległości około 2 m od siebie. Daty dla frakcji B praktycznie pokrywają się ze sobą w granicach błędu (rys. 2 D), natomiast różnica dat otrzymanych dla frakcji C jest nieco większa, nie może być jednak uznana za znaczącą w porównaniu z błędami, jakimi są obarczone obie daty.

Dla wszystkich datowanych próbek humusu otrzymano największe wartości wieku dla frakcji C, przy czym tylko dla próbki 2 różnica między datami dla frakcji B i C nie przekracza błędu pomiarowego.

W celu łatwiejszego porównania dat otrzymanych dla różnych frakcji humusu w tabeli 1 zestawiono różnice dat, przyjmując za punkt odniesienia wiek wyznaczony dla frakcji C. Obserwowane odmłodzenie dla frakcji B wynosi (za wyjątkiem próbki 2) od 10 do 25%, zaś dla frakcji D od 10 do 15%. Wartości bezwzględne różnic zawierają się w przedziale od 240 lat (dla próbki 3) do 635 lat dla próbki 6. Otrzymanie dla frakcji D, złożonej z huminów, dat młodszych niż dla frakcji C, a nawet B (dla próbek 5 i 6) pokrywa się z obserwacjami H. W. Scharpenseela (1971, str. 80, tab. 1) dla gleb kopalnych o genezie hydromorficznej. W cytowanej tabeli H. W. Scharpenseel przytacza wyniki datowań dla dwóch próbek hydromorficznych gleb kopalnych, wykazujących znaczne odmłodzenie dat dla kwasów fulwowych (frakcja B w niniejszej pracy) oraz huminów (frakcja D) względem dat otrzymanych dla brunatnych kwasów huminowych. Odmłodzenie kwasów fulwowych wynosi w jednym przypadku około 1100 lat, a w drugim około 3000 lat, zaś odmłodzenie huminów z obu gleb jest zbliżone do 2000 lat.

Zastosowana w opracowaniu autorów metodyka ekstrakcji, polegająca na traktowaniu gorącym roztworem NaOH powoduje, że frakcja C składa się, oprócz kwasów huminowych, także z części huminów. Konsekwencją tego jest pewne zaniżenie różnic wieku między datami dla frakcji C i D oraz B i C, a także niemożność bezpośredniego porównania wyników otrzymanych w niniejszej pracy z cytowanymi datowaniami H. W. Scharpenseela (1971) dla brunatnych kwasów huminowych. Ze względu na metodykę ekstrakcji możliwe jest natomiast porównanie dat dla frakcji B i D, tzn. kwasów fulwowych i huminów. Pomiar H. W. Scharpenseela dają dla huminów w jednym przypadku wiek młodszy,

Tabela 1 – Table 1

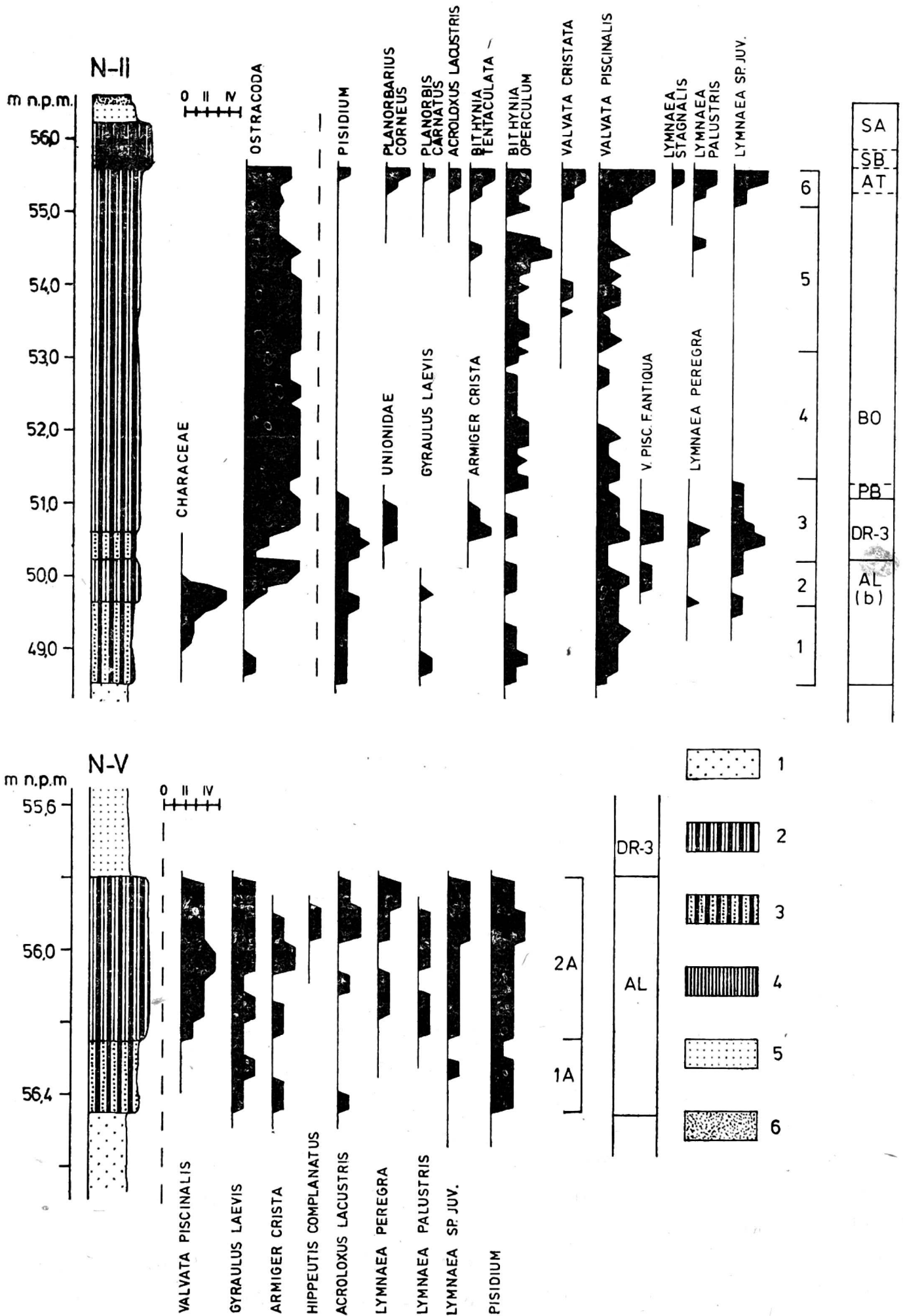
Różnice dat radiowęglowych otrzymanych dla poszczególnych frakcji humusu, wartości procentowe obliczono względem dat dla frakcji C
Differences of radiocarbon dates obtained for the particular humus fractions, per cent values calculated in reference to the dates of fraction C

Numer datowanej próbki Number of dated sample	Różnica wieku frakcji C i B Difference of fraction age C and B		Różnica wieku frakcji C i D Difference of fraction age C and D	
	$T_C - T_B$	[%]	$T_C - T_D$	[%]
	1	–	–	–
2	55	4,2	–	–
3	585	24,0	240	9,9
4	480	21,2	–	–
5	295	9,6	490	16,0
6	465	11,3	635	15,5

a w drugim starszy niż dla kwasów fulwowych, przy czym różnice wynoszą odpowiednio 800 i 1100 lat.

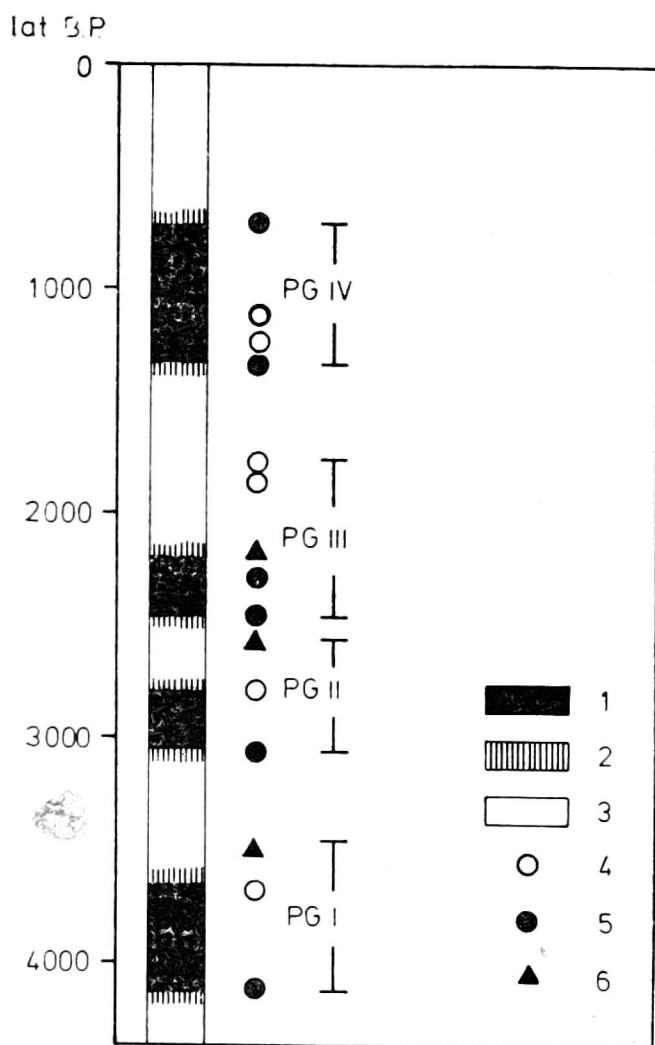
Datowania wykonane dla próbek gleb kopalnych z wydmy w Pomorsku dają możliwość porównania trzech par dat. W jednym przypadku (próbka 3) wiek huminów jest starszy niż wiek kwasów fulwowych o 345 lat, w dwóch pozostałych (próbki 5 i 6) stwierdzono, że kwasy fulwowe są starsze od huminów, a różnice wieku, wynoszące odpowiednio 195 i 170 lat, tylko nieznacznie przekraczają dokładność datowania. Liczby te, wraz z zestawieniem różnic wieku z tabeli 1, pozwalają przypuszczać, że w przypadku gleb kopalnych występujących w wydmie w Pomorsku mamy do czynienia jedynie z nieznacznym odmłodzeniem otrzymanych dat w porównaniu z rzeczywistym wiekiem poszczególnych poziomów humusowych, przy czym najbardziej zbliżone do rzeczywistego wieku są daty otrzymane dla frakcji C.

Trzy daty cytowane wyżej wyznaczają granice czasowe akumulacji kredy jeziornej. Jedna z nich (11380 ± 275 lat B. P.) wskazuje początek sedymentacji podstawowej serii eolicznej, druga natomiast (7095 ± 50 lat B. P.) wyznacza początek drugiej fazy wydmy. Piętnaście pozostałych dat radiowęglowych (rys. 2 D) odnosi się do czterech poziomów holocenijskich gleb kopalnych. Otrzymane wyniki przedstawiono graficznie na rys. 4, zaznaczając jednocześnie najbardziej prawdopodobne okresy sprzyjające rozwojowi gleb. Przy wyznaczaniu przedziałów czasowych dla trzech najstarszych poziomów gleb kopalnych przyjęto, że dolne granice wieku określane są przez daty otrzymane dla frakcji C humusu, zaś górne granice przez daty dla frakcji B (kwasów fulwowych). Za granice wieku dla najmłodszej gleby kopalnej przyjęto natomiast tylko daty otrzymane dla frakcji C. Jest to uzasadnione tym, że dla tej gleby



Rys. 3. Diagram malakologiczny dla kredy jeziornej pobranej z profilów N — II i N — V w Pomorsku wg S. W. Alexandrowicza (S. W. Alexandrowicz, B. Nowaczyk 1982), 0 — V częstotliwość występowania fauny

1 — piaski terasowe, 2 — kreda jeziorna, 3 — mulki wapienno-piaszczyste, 4 — torf, 5 — piaski eoliczne, 6 — współczesny poziom próchniczny



Rys. 4. Chronologia faz glebotwórczych w Pomorsku

1 — okresy rozwoju gleb, 2 — okresy przejściowe, 3 — fazy wzmożonej działalności eolicznej, 4 — frakcja B (kwasy fulwowe), 5 — frakcja C (kwasy huminowe i huminy), 6 — frakcja D (huminy)

wykonano datowania frakcji C dwóch próbek humusu, pobranych ze stropu i spągu warstwy organicznej.

Ze względu na to, że dla żadnej z czterech gleb kopalnych nie ma wiarygodnego punktu odniesienia, jakim mogłyby być daty radiowęglowe dla drewna lub węgla drzewnych należy liczyć się z możliwością pewnego odmłodzenia wszystkich dat przedstawionych na rys. 2 D i 4. Ponadto, ponieważ datowane próbki humusu pobierane były z warstw o znacznej miąższości (dla trzech starszych gleb próbki pobierano praktycznie z całego poziomu próchnicznego, dla gleby najmłodszej z dwóch nieznacznie oddzielonych poziomów) należy liczyć się z tym, że dolne granice wieku, wyznaczone przez daty dla frakcji C, nawet przy braku jakiegokolwiek odmłodzenia, określają nie początek akumulacji odpowiedniej warstwy organicznej, lecz raczej jej wiek średni. Fakt ten zaznaczono na rysunku 4 w postaci obszarów zakreskowanych o bliżej nie określonym początku.

Przedstawione w niniejszej pracy wyniki datowania stanowią pierwszą w Polsce próbę systematycznego podejścia do problemu datowania gleb kopalnych nie zawierających węgla drzewnych ani innych szczątków organicznych, które mogłyby być uznane za układ zamknięty ze względu na obieg węgla w przyrodzie, a tym samym byłyby wiarygodnym punktem odniesienia dla dat otrzymanych dla różnych chemicznych frakcji humusu. Hydromorficzny charakter datowanych gleb utrudnia po-

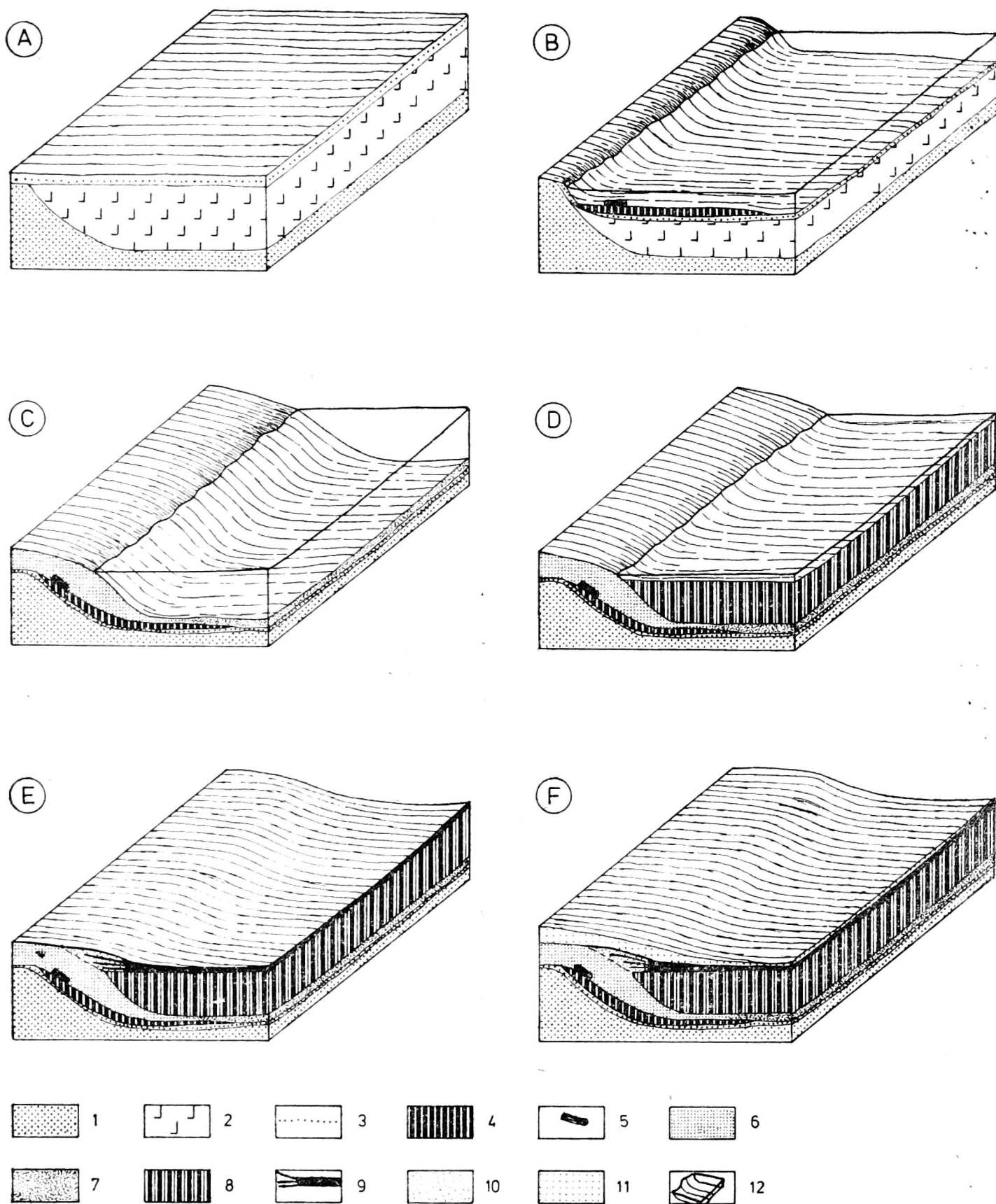
równanie wyników otrzymanych w niniejszej pracy z wcześniejszymi datowaniami humusu z gleb kopalnych występujących w wydmy w Tro-szynie (B. Nowaczyk, M. F. Pazdur 1982). Przedstawiony na rysunku 4 schemat chronologiczny ma charakter hipotezy roboczej, opartej na założeniu o nieznacznym odmłodzeniu wyników datowań. Za przyjęciem takiego założenia przemawiają niewielkie różnice wieku poszczególnych datowanych frakcji humusu.

Ponieważ fakt praktycznie identycznego odmłodzenia różnych pod względem chemicznym frakcji gleby wydaje się mało prawdopodobny, można przyjąć, że ewentualne odmłodzenie jest tego samego rzędu, co obserwowane różnice wieku poszczególnych datowanych frakcji humusu.

ETAPY ROZWOJU WYDMY W POMORSKU

Pierwsze rysy widocznej obecnie w okolicach Pomorska rzeźby terenu powstały w czasie postępu lodolodu bałtyckiego na linii moren czołowych maksymalnego zasięgu, zaliczanych do fazy leszczyńskiej (B. Krygowski 1961), lub nieco później, gdy na rozpatrywanym obszarze zalegały płyty lodu pasywnego. Wody roztopowe krążące wtedy w tunelach subglacjalnych wyerodowały znaczną ilość rynien glacialnych, a wśród nich rynnę ciągnącą się od Niekarzyna po okolice Pomorska, nazywaną przez S. Żynde (1968) rynną Niekarzyńsko-Kijewską. Następnie formy erozyjne wypełnione zostały bryłami lodu pochodzącymi z oberwania się stropu tunelu lodowcowego. Bryły te z kolei przykryły osady morenowe oraz fluwioglacialne, chroniące lód przed wytopieniem (rys. 5 A). Zagrzebane bryły lodu, przez cały czas kształtowania się znacznej części systemu terasowego w Pradolinie Warszawsko-Berlińskiej konserwowały rynnę glacialną. W okresie tym panowały surowe warunki klimatyczne, o czym świadczą wieloboki syngenetycznych szczelin mrozowych stwierdzone w odległości kilkuset metrów od badanego stanowiska w osadach budujących I poziom terasowy i w stożku napływowym koło Szablisk (B. Nowaczyk 1978 b). Średnie roczne temperatury powietrza w regionie dolnej Warty i dolnej Odry wynosiły w schyłku pełnego Würmu i w zimnych okresach późnego Würmu, a przynajmniej w najstarszym dryasie, zdaniem S. Kozarskiego (1971) od -6 do -9°C . Przy tak niskich temperaturach nie zachodziło wytopianie brył lodu leżących nawet pod niezbyt grubą serią osadów mineralnych. Natomiast w pewnych okresach (starszy dryas) rozwijały się procesy eoliczne, czego dowody znaleziono w okolicy Szablisk (B. Nowaczyk 1976, 1978 b).

Wykonane przez wielu autorów badania (S. Kozarski 1963, J. Stasiak 1963, K. Więckowski 1966, K. Tobolski 1977, B. Nowaczyk, K. Tobolski 1979, 1981 i inni) wykazały, że wytopianie brył zagrzebanego lodu było powszechne na terenie Polski w Allerødzie. Wiązało się ono z po-



Rys. 5. Etapy rozwoju wydmy i rynny glacialnej w Pomorsku

A. Stadium rynny glacialnej z bryłami lodu przykrytego osadami morenowymi i fluwialnymi (okres przedallerødski), B. Początek wytapiania brył zagrzebanego lodu i powstanie płytkiego zbiornika wodnego z przebiegającą w nim akumulacją kredy jeziornej (faza sosnowa Allerødu), C. Akumulacja piasków eolicznych — I faza wydmowa (początek młodszego dryasu), D. Akumulacja mięszszego kompleksu kredy jeziornej (schyłek młodszego dryasu — początek okresu atlantyckiego), E. Fazy wydmowe II-V, sedimentacja torfu w brzeżnej części zbiornika, F. Ostatnia faza wydmowa (VI)

1 — piaski budujące dno rynny i podłoże wydmy, 2 — bryły lodu, 3 — osady morenowe i fluwialne, 4 — kreda jeziorna (Allerød), 5 — pień sosny (11380±275 B.P.), 6 — piaski eoliczne (początek młodszego dryasu), 7 — mułki wapienno-piaszczyste (początek młodszego dryasu), 8 — kreda jeziorna (schyłek młodszego dryasu — początek okresu atlantyckiego), 9 — torf i kopalne poziomy próchniczne, 10 — piaski eoliczne faz wydmowych II-V, 11 — piaski eoliczne VI fazy wydmowej, 12 — woda

prawą warunków klimatycznych w tym okresie, stwierdzoną przez K. Wasylikową (1964). Autorka ta uważa, że średnia temperatura lipca w Polsce środkowej wynosiła wtedy co najmniej $+16^{\circ}\text{C}$. Również na zachodzie Europy zauważono w Allerødzie ocieplenie, przejawiające się w zaniku trwałej zmarzliny (T. van der Hammen, G. C. Maarleveld 1952).

Osadzanie kredy jeziornej, stwierdzonej w spągu zbiornika, jak to wykazała analiza palinologiczna (rys. 2 C), wykonana przez K. Tobolskiego (B. Nowaczyk 1974 a, 1976) odbywało się w czasie fazy sosnowej Allerødu. Wśród roślin wodnych, rozpoznanych na podstawie makroszczątków znajdujących się w kredzie jeziornej, występowały wówczas *Nuphar*, *Typha latifolia*, *Menyanthes*, *Equisetum*. Natomiast na terasie I w strefie przybrzeżnej rósł najprawdopodobniej las sosnowo-brzozowy. Jedno z drzew sosnowych przewróciło się wpadając do jeziora i leży do dziś na kredzie jeziornej przysypane piaskami eolicznymi. Datowanie jego metodą ^{14}C dowiodło, że akumulacja omawianego utworu zakończyła się 11380 ± 275 lat B. P. Tak więc w sprzyjających warunkach klimatycznych Allerødu w obrębie I poziomu terasowego w rejonie Pomorska i Szablisk powstało płytkie zagłębienie wypełnione wodą, w którym początkowo przebiegała akumulacja mułków wapnisto-piaszczystych, a następnie kredy jeziornej (rys. 5 B). O płytkości tego zbiornika świadczy malakofauna. W mułkach wapnisto-piaszczystych jest ona reprezentowana przez ubogi zespół mięczaków (*Planorbidae*), charakterystycznych dla strefy brzeżnej, silnie zarastających płytkich zalewów oraz skorupki *Valvata piscinalis* i wieczka zagrzebek (*Bithynia-Operculum*) gromadzone nieco dalej od brzegu. W kredzie jeziornej w strefie przybrzeżnej (rys. 3 — 2A) zbiornika stwierdzono zapis świadczący o tym, że wśród dość bujnej roślinności rozwijał się bogaty i różnicowany zespół mięczaków z *Valvata piscinalis*, *Planorbidae* i *Lymnaeidae* (S. W. Alexandrowicz, B. Nowaczyk 1982). Zaś w pewnej odległości od brzegu ilość taksonów ulega zmniejszeniu, a w składzie zespołu zaznacza się przewaga *Valvata piscinalis* (Müller) (rys. 3 - 2).

Analiza malakofauny wykazała więc, że allerødzkie zespoły mięczaków rozwijały się w płytkim zbiorniku wodnym, obecnie zaś warstwa kredy jeziornej tego wieku, w której one występują, leży na znacznej głębokości. Fakt ten można wytłumaczyć jedynie obecnością brył lodu w czasie akumulacji mułków wapnisto-piaszczystych i kredy jeziornej. Bryły te jednak do końca Allerødu uległy całkowitemu wytopieniu. Stwierdzenie to udokumentowane zostanie poniżej. W trakcie wytapiania brył zagrzebanego lodu warstwa zakumulowanych na nich utworów morenowych, fluwioglacjalnych, fluwialnych, mułków wapnisto-piaszczystych i kredy jeziornej, powoli osiadała na mineralnym zboczu południowego zamknięcia rynny glacialnej.

Ochłodzenie i kontynentalizacja klimatu przypadające na młodszy

dryas (K. Wasylińska 1964, K. Tobolski 1966), przyczyniły się do znacznego przerzedzenia szaty roślinnej w Polsce, a nawet jej zaniku w niektórych miejscach. Konsekwencją zaniku szaty roślinnej, przy obecności materiału podatnego na transport eoliczny był rozwój procesów eolicznych. Doprowadziły one do powstania okazałej wydmy poprzecznej ciągnącej się od Bródek do stacji kolejowej Pomorsko. Na odcinku graniczącym z rynną glacialną, piaski eoliczne akumulowane były bezpośrednio na allerødskiej kredzie jeziornej (rys. 5C). Piaski staczały się tutaj grawitacyjnie po stromym stoku dystalnym do głębokiego (około 6 m) już w tym czasie jeziora. Na kredzie jeziornej w odcinku zalegającym poziomo, odbywało się też osadzanie materiału najdrobniejszego niesionego wiatrem w zawieszeniu, który po zdeponowaniu wszedł w skład mułków wapnisto-piaszczystych z malakofauną (facja wodna osadów eolicznych B. Nowaczyk 1976). Skład zespołu mięczaków, w porównaniu z niżej leżącymi warstwami nie uległ zasadniczej zmianie. Pojawiły się jednak jeziorne formy gatunku *Valvata piscinalis* (*Valvata piscinalis* f. *antiqua* Sowerby) oraz ułamki gruboskorupowych małżów z rodziny *Unionidae*. Obecność ich sugeruje, że w tym czasie zbiornik mógł osiągnąć większą głębokość (S. W. Alexandrowicz, B. Nowaczyk 1982).

Na schyłek młodszego dryasu przypada początek akumulacji kolejnej serii kredy jeziornej, datowanej palinologicznie (rys. 2C) przez K. Tobolskiego (B. Nowaczyk 1974b, 1976). Zatem omówione wyżej procesy eoliczne przebiegały w pierwszej połowie młodszego dryasu, a część osadów eolicznych akumulowana była w głębokim już wówczas zbiorniku jeziornym. Znalazło więc uzasadnienie wcześniej wysunięte stwierdzenie o całkowitym wytopieniu brył zagrzebanego lodu w Allerødzie.

Podstawowa seria piasków eolicznych wchodzących w skład wydmy w Pomorsku akumulowana była w surowych warunkach klimatycznych pierwszej połowy młodszego dryasu. Procesy eoliczne były wówczas powszechne między innymi na terenie Polski, Holandii, Belgii, Niemiec (A. Dücker, G. C. Maarleveld 1957, S. Kozarski 1962, M. Chmielewska, W. Chmielewski 1960, K. Wasylińska 1964, A. Dylikowa 1967, C. Hamming, M. Knibbe, G. C. Maarleveld 1965, T. v. der Hammen, G. C. Maarleveld, J. C. Vogel, W. H. Zagwijn 1967, S. Kozarski, B. Nowaczyk, K. Rotnicki, K. Tobolski 1969, B. Manikowska 1970, 1977, K. Rotnicki 1970, K. Krajewski 1977, S. Kozarski, A. Mocek, B. Nowaczyk, K. Tobolski 1982 i inni).

Na wydmie w Pomorsku w połowie młodszego dryasu pojawiły się grupy ludzkie, pozostawiając po sobie w obrębie kopalnej gleby rdzawej (A. Kowalkowski 1977a, 1977b) duże ilości narzędzi krzemiennych, które na podstawie typologii M. Kobusiewicz (B. Nowaczyk 1976) zalicza do kultury świderskiej. Grupy ludzkie tej kultury to łowcy, dla których białko pochodzenia zwierzęcego stanowiło podstawę wyżywienia.

Archeolodzy na podstawie analizy zawartości późnopaleolitycznych stanowisk dochodzą do wniosku, że łowcy przybywali w określone miejsca na krótki okres we wczesnej jesieni, na łowy zwierzyny, rozpoczynającej wtedy migracje na leża zimowe (R. Schild 1975). Nie jest wykluczone wielokrotne przybywanie w te same rejony. Wydaje się, że pobyt grup ludzkich nie wpłynął wówczas na przemodelowywanie wydmy w Pomorsku, a jeżeli wpłynął, to nie zaznaczył się w budowie geologicznej w postaci odrębnej serii.

Rozpoczęta w schyłku młodszego dryasu akumulacja mięszej serii kredy jeziornej, w części przylegającej do południowej granicy rynny trwała do początku okresu atlantyckiego (7095 ± 50 lat B. P.), zaś w innych fragmentach rynny, a szczególnie środkowym, najprawdopodobniej znacznie dłużej. Panujące w rozpatrywanym czasie w zbiorniku jeziornym warunki nie sprzyjały rozwojowi bogatej i zróżnicowanej fauny mięczaków (rys. 3).

Sedymentacja kredy jeziornej w brzeżnej, południowej części zbiornika przerwana została przez sukcesję roślinności torfotwórczej i procesy eoliczne. Te ostatnie odpowiedzialne są za złożenie drugiej z kolei serii eolicznej, spoczywającej na kredzie jeziornej i piaskach eolicznych starszej serii wydmowej. Granica między tymi seriami jest niewyraźna. Procesy eoliczne drugiej fazy wydmowej wywołane były działalnością człowieka. Dowody świadczące o obecności w tym czasie człowieka na badanej wydmy znajdujemy na jej wierzchołku i stoku proksymalnym. W eksplorowanej krzemienicy stwierdzono liczne okazy, które na podstawie typologii zaliczono do mezolitycznej kultury komornickiej (M. Kobusiewicz w: B. Nowaczyk 1976). Artefakty znalezione w tym stanowisku można pośrednio wydatować metodą ^{14}C . Podstawę do takiego postępowania daje rozpowszechniony szeroko pogląd o uruchamianiu procesów eolicznych przez człowieka w momencie jego pojawienia się na wydmach (M. Chmielewska, W. Chmielewski 1960, S. Kozarski 1961, 1962, S. Kozarski, K. Tobolski 1963, 1968, B. Nowaczyk, K. Tobolski 1968, B. Nowaczyk 1976, T. Szczypek 1976, R. K. Borówka, K. Tobolski 1979, B. Nowaczyk, M. F. Pazdur 1982 i inni) i w związku z tym możliwości wiązania serii pochodzących z tego okresu z datowanymi poziomami. Narzędzia krzemienne mezolitycznej kultury komornickiej w Pomorsku należy korelować z piaskami eolicznymi drugiej fazy wydmowej, której akumulacja rozpoczęła się około 7095 ± 50 lat B. P. Wynika to dodatkowo stąd, że jest to druga kultura w tym stanowisku, a poprzednia wiązana była z pierwszym, uwarunkowanym klimatem okresem wydmowym.

Dokładne ustalenie chronologii tej kultury dla obszaru Polski na podstawie datowań przyrodniczych jest trudne. Wykonano zaledwie kilka datowań metodą ^{14}C , które umożliwiają umieszczenie kultury komornickiej w przedziale czasowym od 9250 ± 55 do 6660 ± 480 lat B. P. Natomiast datowania palinologiczne lokują ją od okresu preborealnego do

wczesnego atlantyku (S. K. Kozłowski 1972, H. Więckowska 1975). Przyjmując podane wyżej ramy czasowe dla kultury komornickiej z kilku zaledwie stanowisk w Polsce, możemy stwierdzić, że zebrane w Pomorsku okazy narzędzi krzemiennych pochodzą najprawdopodobniej z późnej fazy kultury komornickiej, a więc z początku okresu atlantyckiego. Przedwczesne zatem okazały się datowania pierwszej fazy holocenijskich procesów eolicznych na okres borealny (B. Nowaczyk 1974a, 1974b; 1976, A. Kowalkowski 1977a, 1977b), oparte tylko na chronologii archeologicznej, dające bardzo duży przedział czasowy kulturze komornickiej.

Pierwszą przerwę w rozwoju holocenijskich procesów eolicznych znaczy hydromorficzna gleba kopalna o bardzo małym rozprzestrzenieniu (rys. 5E). A. Kowalkowski (1977a, 1977b) na przekroju geologicznym poziom ten określił jako torf niski wzbogacony w liczne ziarna kwarcu. Natomiast prezentowany tutaj (rys. 2D) schematyczny profil gleb kopalnych pochodzi z punktu leżącego około 2 m na południe od wyżej wspomnianego przekroju i stąd pewne różnice. Pierwsza to ta, że między kredą jeziorną a glebą hydromorficzną pojawia się cienka warstewka piasków eolicznych, w spągu których znajdowały się szyszki i kawałki drewna. Druga zaś dotyczy przejścia torfu w poziom próchniczny ze znaczną domieszką substancji torfowej. Poziom próchniczny był datowany metodą ^{14}C . Biorąc pod uwagę wszystkie zastrzeżenia odnośnie do datowań gleb w Pomorsku, możemy ze znacznym prawdopodobieństwem przyjąć, że wymieniona wyżej gleba zaczęła się tworzyć 4110 ± 60 lat B. P. (Gd — 1086), a rozwój jej przerywają około 3645 ± 80 lat B. P. (Gd — 653) procesy eoliczne następnej fazy wydmowej. I w tym przypadku człowiek był odpowiedzialny za uruchomienie piasków. W krzemienicy znaleziono bowiem narzędzia krzemienne zawierające elementy typowe dla młodszego mezolitu. Inwentarz tego rodzaju niektórzy badacze nazywają kulturą janisławicką (S. K. Kozłowski 1972), lub cyklem przemysłów wiślańskich (H. Więckowska 1975). Pozycja stratygraficzna tej kultury nie jest dokładnie określona. Dość powszechnie umieszcza się ją w okresie atlantyckim (S. K. Kozłowski 1972, H. Więckowska 1975). Ich zdaniem jest ona młodszą od 6660 ± 480 lat B. P.

Narzędzia krzemienne z Pomorska typologicznie najbliższe kulturze janisławickiej na podstawie wyżej przedstawionych przesłanek, zdaniem autorów odpowiadają wiekowo trzeciej serii piasków eolicznych, a zatem są młodsze od 3645 ± 80 lat B. P. Data ta znacznie odbiega nie tylko od podawanej przez S. K. Kozłowskiego (1972) i H. Więckowską (1975), ale również od granicy okresu atlantyckiego (5100 lat B. P.) przyjmowanej przez L. Starkla (1977). Na obecnym etapie badań kwestia tej niezgodności jest niemożliwa do rozstrzygnięcia. Wydaje się, iż pomocną może okazać się analiza palinologiczna.

Rozwój drugiego hydromorficznego poziomu próchnicznego znaczy następny okres zaniku działalności eolicznej (rys. 5E), rozpoczynający

się około 3065 ± 65 lat B. P. (Gd — 1070). Gleba ta kształtuje się przez około 300 lat, a więc do około 2770 ± 60 lat B. P. (Gd — 641). Procesy glebotwórcze przerwane zostały w momencie, gdy na wydmie ponownie zamieszkał człowiek, który podobnie jak w czasie swych poprzednich pobytów w tych okolicach zniszczył szatę roślinną, powodując ruszenie piasków eolicznych. W obrębie wymienianej wyżej kilkakrotnie krzemienicy znaleziono nieliczne już artefakty, zaliczane przez M. Kobusiewicza (B. Nowaczyk 1976) do kultury łużyckiej*. S. Kurnatowski (1968) twierdzi, że w tym czasie omawiany obszar był strefą częstej penetracji człowieka. Wydmy zaś stanowiły miejsca „gdzie chętnie zakładano nocne obozowiska dla bydła i owiec, niszcząc przez to tamtejszą słabą pokrywę roślinną i glebową”.

Przedział czasowy wyznaczony przez zakończenie rozwoju drugiej licząc od dołu gleby kopalnej, a więc 2770 ± 60 lat B. P. i początek tworzenia się następnego III poziomu próchnicznego wyznaczonego dwoma datami: 2265 ± 55 lat B. P. (Gd — 1068) i 2435 ± 60 lat B. P. (Gd — 1068) odpowiada przyjmowanym przez archeologów (A. Gardawski, Z. Woźniak 1979) ramom czasowym dla kultury łużyckiej (2800 - 2300 lat B.P.).

Trzeci poziom próchniczny o dość dużym zasięgu akumulowany był przez kilkaset lat. Zakończenie tej akumulacji wyznaczają daty 1785 ± 95 lat B. P. (Gd — 637) i 1850 ± 55 lat B. P. (Gd — 636). Daty te wyznaczają jednocześnie początek sedymentacji czwartej serii wydymowej. Z czasu trwania czwartej fazy wydymowej nie stwierdzono śladów pobytu człowieka na badanej wydmy. S. Kurnatowski (1968) przyjmuje na okres rzymski (200 lat p.n.e do 450 lat n.e.) intensywną eksploatację lasów na terenie Wielkopolski Zachodniej. Istnieje duże prawdopodobieństwo, iż w końcowej fazie okresu rzymskiego na wydmy w Pomorsku lub w jej sąsiedztwie działał człowiek, lecz nie pozostawił po sobie bezpośrednich śladów w postaci artefaktów. Efektem tej działalności znajdującym zapis jedynie w budowie geologicznej jest seria piasków eolicznych, których akumulacja zakończyła się około 1310 ± 55 lat B. P. (Gd — 634), a zatem w momencie gdy zaczęła się na nich tworzyć czwarta gleba kopalna (rys. 5E), zaliczana przez A. Kowalkowskiego (1977a, 1977b) do gleb murszowatych. Posiada ona największy z dotychczas wymienionych gleb zasięg. Występuje na stoku dystalnym od wierzchołka wydmy do jej podnóża. Spąg gleby wydatowany został metodą ^{14}C . Ten poziom próchniczny rozwijał się przez około 600 lat, co dokumentuje druga data z próbki pobranej ze stropu humusu, a wiek jej wynosi 710 ± 40 lat B. P. (Gd — 1064).

Akumulację czwartego poziomu próchnicznego przerywają procesy eoliczne odpowiedzialne za sedymentację ostatniej holocenijskiej serii pia-

* Koledze Doc. dr. habil. M. Kobusiewiczowi serdecznie dziękuję za dyskusję przedstawionej w artykule problematyki archeologicznej.

sków wydmowych (rys. 5F). Intensywność działalności eolicznej była w porównaniu z poprzednio opisanymi fazami wyjątkowo duża. Świadczy o tym seria piasków o miąższości dochodzącej do 2 metrów i dużym rozprzestrzenieniu. Piaski nawiane zostały na torf na odległość około 50 m od podstawy wydmy. Nie był to efekt długotrwałej działalności wiatru, lecz wiatrów o dużej prędkości, posiadających zdaniem R. K. Borówki (1980) ogromną rolę morfotwórczą. Przyczyny uruchomienia piasków należy szukać w intensywnej gospodarczej działalności człowieka, która w tym czasie obejmowała już duże powierzchnie (S. Kurnatowski 1968). Człowiek karczował lasy, a drewno wykorzystywał w smolarniach. Za tym sposobem spożytkowania drewna przemawiają dość duże ilości węgla drzewnych, niejednokrotnie znacznych rozmiarów (średnica do 4 cm) znajduwane w stropie krzemienicy w Pomorsku. Określenie czasu zakończenia procesów eolicznych tej fazy nie jest możliwe, ponieważ datowanie współczesnego poziomu próchnicznego byłoby obarczone wielkim błędem.

Procesy eoliczne, które doprowadziły do akumulacji pięciu holocenickich serii piasków wydmowych w Pomorsku, wywołane były niewątpliwie działalnością człowieka, stwierdzaną bezpośrednio na wydmie (M. Kobusiewicz w B. Nowaczyk 1976), lub w najbliższej okolicy (S. Kurnatowski 1968). Te pięć faz wydmowych wchodzi w skład drugiego okresu wydmowego.

PODSUMOWANIE WYNIKÓW

Wydma w Pomorsku powstała w czasie dwóch okresów wydmowych. Rozwój procesów eolicznych w pierwszym z nich uwarunkowany był surowym klimatem o znacznym stopniu kontynentalizacji. W pierwszej połowie młodszego dryasu na krawędzi między III i I poziomem terasowym, pokrytych wyspowo skąpą szatą roślinną powstała wydma poprzeczna, którą w schyłkowej części młodszego dryasu zasiedliły grupy łowców, zaliczane na podstawie zabytków krzemiennych do późnopaleolitycznej kultury świderskiej.

W czasie drugiego okresu wydmowego, procesy eoliczne wywoływane były ingerencją człowieka w naturalne środowisko obszarów wydmowych. Wyróżniono 5 faz wydmowych, datowanych metodą ^{14}C i znaleziskami archeologicznymi. Datowania metodą ^{14}C stanowią pierwszą w Polsce próbę systematycznego podejścia do problemu określenia wieku gleb kopalnych nie zawierających węgla drzewnych, które mogłyby być uznane za układ zamknięty ze względu na obieg węgla w przyrodzie, a tym samym byłyby wiarygodnym punktem odniesienia dla dat otrzymywanych dla różnych chemicznych frakcji humusu. Przedstawio-

na chronologia ma charakter hipotezy roboczej, opartej na założeniu o nieznacznym odmłodzeniu wyników datowań. Wiek poszczególnych faz wydmy jest następujący:

Faza II — 7095 ± 50 do 4110 ± 60 lat B. P., artefakty z późnej fazy kultury komornickiej

Faza III — 3645 ± 80 do 3065 ± 65 lat B. P., artefakty typologicznie najbliższe kulturze janisławickiej

Faza IV — 2770 ± 60 do 2265 ± 55 i 2435 ± 60 lat B. P., artefakty kultury łużyckiej

Faza V — 1785 ± 95 i 1850 ± 55 do 1310 ± 55 lat B. P., brak artefaktów na wydmy, intensywna eksploatacja terenu przez człowieka

Faza VI — 710 ± 40 lat B. P., brak daty zakończenia procesów eolicznych. Tereny te były intensywnie eksploatowane przez człowieka.

Instytut Geografii
Uniwersytetu im. A. Mickiewicza w Poznaniu
Instytut Fizyki
Politechniki Śląskiej w Gliwicach

LITERATURA

- Alexandrowicz S. W., 1980: Zespoły malakofauny w kredach jeziornych Ziemi Lubuskiej. Kreda jeziorna i gytie — Materiały pozjazdowe, Pol. Tow. Przyj. Nauk o Ziemi.
- Alexandrowicz S. W., Nowaczyk B., 1982: Late-Glacial and Holocene lacustrine deposits at Pomorsko near Sulechów. *Quaestiones Geographicae* 8.
- Borówka R. K., 1980: Współczesne procesy transportu i sedymentacji piasków eolicznych oraz ich uwarunkowania i skutki na obszarze wydmy nadmorskiej. (Sum.: Present-day transport and sedimentation processes of eolian sands—controlling them factors and resulting phenomena on a coastal dune area), *Prace Kom. Geogr.-Geol., Pozn. Tow. Przyj. Nauk*, t. XX, Warszawa—Poznań.
- Borówka R. K., Tobolski K., 1979: Nowe znaleziska archeologiczne na Mierzei Łebskiej i ich znaczenie dla paleogeografii tego obszaru. (Sum.: New archaeological sites on the Łeba Bar and their significance for paleogeography of this area), *Bad. Fizjogr. nad Polską Zach.*, t. XXXII, ser. A, geogr. fiz., Warszawa—Poznań.
- Chmielewska M., Chmielewski W., 1960: Stratigraphie at chronologie de la dune de Witów, distr. de Łęczyca, *Biul. Perygl.* nr 8, Łódź.
- Dücker A., Maarleveld G. C., 1957: Hoch und Spätglaziale äolische Sande in Nordwestdeutschland und in den Niederlanden. *Geol. Jb.*, Bd. 73.
- Dylikowa A., 1967: Wydmy środkowopolskie i ich znaczenie dla stratygrafii schyłkowego plejstocenu. (w) *Studium zbiorowym* pod red. R. Galona i J. Dylika pt. *Czwartorzęd Polski*, Warszawa.
- Gardawski A., Woźniak Z., 1979: Podstawy chronologii. (w) *Pracy zbiorowej*

- pod red. J. Dąbrowskiego i Z. Rajewskiego pt.: Od środkowej epoki brązu do środkowego okresu lateńskiego.
- Hammen T. van der, Maarleveld G. C., 1952: Genesis and dating of the periglacial deposits at the Eastern fringe of the Veluwe. *Geol. en Mijnbouw*, Nw Serie nr 2, 14 e Jaargang.
- Hammen T. van der, Maarleveld G. C., Vogel J. C., Zagwijn W. H., 1967: Stratigraphy, climatic succession and radiocarbon dating of the last glacial in the Netherlands. *Geol. en Mijnbouw*, 46 e Jaargang.
- Hamming C., Knibbe M., Maarleveld G. C., 1965: Afzettingen van de Ijssel, Nabij Zwolle. Boor en Spade, 14.
- Kowalkowski A., 1977a: Dynamika rozwoju późnoplejstocęńskich i holocęńskich gleb z piasków wydmy w Pomorsku. (Sum.: Development dynamics of late Pleistocene and Holocene soils from dune sands at Pomorsko), *Rocz. Glebozn.*, t. XXVIII, Nr 3 - 4.
- 1977b: A paleopedological investigation of dunes at Pomorsko (West Poland). *Quaestiones Geographicae* 4, Poznań.
- Kozarski S., 1961: Age of the dunes occurring within the Noteć Pradolina near Czarnków. The Great Poland Lowland, INQUA VI Congress, Guide-Book of Excursion A, Poland.
- 1962: Wydmy w Pradolinie Noteci koło Czarnkowa. (Sum.: Dunes in the Noteć ice-marginal valley near Czarnków). *Bad. Fizjogr. nad Polską Zach.*, t. IX, ser. A, Poznań.
- 1963: O późnoglacialnym zaniku martwego lodu w Wielkopolsce zachodniej. (Sum.: Late-glacial disappearance of dead ice in Western Great Poland). *Bad. Fizjogr. nad Polską Zach.*, t. XI, ser. A, Poznań.
- 1971: Ślady działalności późnowürmskich procesów peryglacialnych w regionie dolnej Odry i dolnej Warty. (Sum.: Traces of the activity of Late-Würm periglacial processes in the lower Odra and lower Warta Region). *Bad. Fizjogr. nad Polską Zach.*, t. XXIV, ser. A, geogr. fiz., Poznań.
- Kozarski S., Mocek A., Nowaczyk B., Tobolski K., 1982: Etapy i warunki rozwoju wydmy w Budzynie w świetle analizy radiowęglowej, paleobotanicznej i pedologicznej. *Roczn. Glebozn.* t. 33, z. 3 - 4.
- Kozarski S., Nowaczyk B., Rotnicki K., Tobolski K., 1969: The eolian phenomena in West-Central Poland with special reference to the chronology of phases of eolian activity. *Geographia Polonica* 17, Warszawa.
- Kozarski S., Tobolski K., 1963: Wiek gleby kopalnej w wydmach w Pradolinie Noteci koło Czarnkowa. (Sum.: Age of fossil soil in dunes of the Noteć ice-marginal valley near Czarnków). *Bad. Fizjogr. nad Polską Zach.*, t. XI, ser. A, Poznań.
- 1968: Holocęńskie przeobrażenia wydmy śródlądowych w Wielkopolsce w świetle badań geomorfologicznych i palynologicznych. (Sum.: Holocene transformations of inland dunes in Wielkopolska in the light of geomorphological and palynological investigations). *Folia Quaternaria* 29, Kraków.
- Kozłowski S. K., 1972: Pradzieje ziem polskich od IX do V tysiąclecia p.n.e. PWN Warszawa.
- Krajewski K., 1977: Późnoplejstocęńskie i holocęńskie procesy wydmytwórcze w Pradolinie Warszawsko-Berlińskiej w widłach Warty i Neru. (Sum.: Late-Pleistocene and Holocene dune forming processes in the Warsaw—Berlin Pradolina). *Acta Geogr. Lodz.*, nr 39, Łódź.
- Krygowski B., 1961: Geografia fizyczna Niziny Wielkopolskiej cz. I Geomor-

- fologia. (Sum.: Physical geography of the Great Poland Lowland, part I, Geomorphology). Kom. Fizjogr. Pozn. Tow. Przyj. Nauk, Poznań.
- Kurnatowski S., 1968: Osadnictwo i jego rola w kształtowaniu krajobrazu. (Sum.: Settlement and its role in the development of landscape). Folia Quaternaria 29. Kraków.
- Manikowska B., 1970: Późnoplejstocenne gleby kopalne w wydmi koło Annopola nad Wisłą. (Réş.: Les sols fossiles, traglaciaires dans la dune près d'Annopol sur la Vistule). (w) Problemy czwartorzędu, praca zbior., Acta Geogr. Lodz. 24, Łódź.
- 1977: The development of the soil cover in the Late Pleistocene and the Holocene in the light of fossil soils from dunes in Central Poland. Quaestiones Geographicae 4, Poznań.
- Nowaczyk B., 1968: Wyniki wstępnych badań nad wydumą w Pomorsku — „Piekło” koło Sulechowa. Sprawozdania Pozn. Tow. Przyj. Nauk za II półr. 1968 nr 81. Poznań.
- 1974a: Stratygrafia wydym śródlądowych w środkowej i zachodniej części Pradoliny Warszawsko-Berlińskiej. Krajowe Sympozjum „Rozwój den dolinnych... etc.” Wrocław—Poznań 1974, Streszczenia referatów i komunikatów.
- 1974b: Geneza i rozwój wydmy poprzecznej w Pomorsku. Krajowe Sympozjum „Rozwój den dolinnych... etc.” Wrocław—Poznań 1974, Przewodnik wycieczki.
- 1976: Geneza i rozwój wydym śródlądowych w zachodniej części Pradoliny Warszawsko-Berlińskiej w świetle badań struktury, uziarnienia i stratygrafii budujących je osadów. (Sum.: The genesis and development of inland dunes in the Western part of the Warsaw—Berlin Pradolina in the light of examinations of the structure, granulation and stratigraphy of the deposits which built them). Prace Kom. Geogr.-Geol., Pozn. Tow. Przyj. Nauk, t. XVI, Warszawa—Poznań.
- 1978a: Rola człowieka w modelowaniu wydmy w Pomorsku koło Sulechowa. Przewodnik części terenowej Zjazdu 60-lecia PTG, Poznań.
- 1978b: Stratygrafia dolinki erozyjno-denudacyjnej i stożka napływowego w Szabliskach koło Sulechowa. Przewodnik części terenowej Zjazdu 60-lecia PTG, Poznań.
- 1979: Perspektywy powiększenia zasobów kredy jeziornej i gytii wapiennej na obszarze między Pomorskiem a Kijami. „Kreda jeziorna i gytie”, Materiały konferencji naukowo-technicznej, Pol. Tow. Przyj. Nauk o Ziemi, Lubniewice—Gorzów.
- Nowaczyk B., Pazdur M. F., 1982: Próba datowania metodą ^{14}C gleb kopalnych z wydmy w Troszynie koło Wolina. Roczn. Glebozn. t. 33, z. 3-4.
- Nowaczyk B., Tobolski K., 1968: Wiek wydmy w Popowie Kościelnym koło Skoków w świetle analizy pyłkowej i znalezisk archeologicznych. (Sum.: Age of dune at Popowo Kościelne near Skoki, in the light of pollen analysis and archeological findings). Bad. Fizjogr. nad Polską Zach., t. XXI, ser. A, Poznań.
- 1979: Geneza i wiek rynien glacialnych i wypełniających je osadów w Wilczu i Pomorsku. „Kreda jeziorna i gytie”, Materiały konferencji naukowo-technicznej, Pol. Tow. Przyj. Nauk o Ziemi, Lubniewice—Gorzów.
- 1981: W sprawie późnoglacialnych osadów wapiennych akumulowanych w środowisku wodnym. (Sum.: Remarks on Late-Glacial limnic sediments accumulated in the water environment). Bad. Fizjogr. nad Polską Zach., t. XXXIII, ser. A, geogr. fiz., Warszawa—Poznań.

- Pazdur M. F., Awsiuk R., Bluszcz A., Hałas S., Pazdur A., Walanus A., Zastawny A., 1979: Preliminary results of the study of isotopic fractionation during chemical purification of carbon dioxide for radiocarbon dating. *Radiochemical Radioanalytical Letters*, v. 39.
- Pazdur A., Pazdur M. F., 1979: Methods of sample pretreatment in Gliwice Radiocarbon Laboratory. *Prace i Materiały Muzeum Archeol. i Etnogr. Łódź*, (w druku).
- Pazdur A., Pazdur M. F., Zastawny A., 1979: Gliwice radiocarbon dates V. *Radiocarbon*, v. 21.
- Pazdur M. F., Walanus A., 1979: Age calculation and statistical analysis of data in Gliwice Radiocarbon Laboratory. *Prace i Materiały Muzeum Archeol. i Etnogr., Łódź*, (w druku).
- Rotnicki K., 1970: Główne problemy wydm śródlądowych w Polsce w świetle badań wydmy w Węglewicach. (Sum.: Main problems of inland dunes in Poland based on investigations of the dune at Węglewice-. *Prace Kom. Geogr.-Geol., Pozn. Tow. Przyj. Nauk*, t. XI, z. 2, Poznań.
- Scharpenseel H. W., 1971: Radiocarbon dating of soils problems, troubles, hopes. (w) D. H. Yaalon red., *Paleopedology Origin, Nature and Dating of Paleosols*.
- Schild R., 1975: Późny paleolit. (w) *Pracy zbior. pod red. W. Chmielewskiego i W. Hensla pt. Paleolit i mezolit. IHKM PAN*.
- Stasiak J., 1963: Historia jeziora Kruklin w świetle osadów strefy litoralnej. (Sum.: History of Kruklin lake as revealed by the deposits of its littoral zone). *Prace Geogr.*, nr 42, Inst. Geogr. PAN, Warszawa.
- Starkel L., 1977: *Paleogeografia holocenu*. PWN, Warszawa.
- Stuiver M., Polach H. A., 1977: Reporting of ^{14}C data. *Radiocarbon*, v. 19.
- Szczypek T., 1976: Wydmy okolic Zaniemyśla. (Sum.: Dunes in the vicinity of Zaniemyśl). *Studia et Dissertationes t. 1*, Katowice.
- Tobolski K., 1966: Późnoglacialna i holocenska historia roślinności na obszarze wydmowym w dolinie środkowej Proсны. (Sum.: The late-glacial and holocene history of vegetation in the dune area of the middle Proсна valley). *Prace Kom. Biol. Pozn. Tow. Przyj. Nauk*, t. XXXII, z. 1, Poznań.
- 1977: Materiały do późnoglacialnej historii roślinności Polski północno-zachodniej (część II). (Sum.: Materials to the late-glacial history of flora from north-western Poland. Part II). *Bad. Fizjogr. nad Polską Zach.*, t. XXX, ser. A, geogr. fiz., Poznań.
- Wasylikowa K., 1964: Roślinność i klimat późnego glacjału w środkowej Polsce na podstawie badań w Witowie koło Łęczycy. (Sum.: Vegetation and climate of the late-glacial in Central Poland based on investigations made at Witów near Łęczycy). *Biul. Perygl.* 13, Łódź.
- Więckowska H., 1975: Społeczności łowiecko-rybackie wczesnego holocenu. (w) *Pracy zbior. pod red. W. Chmielewskiego i W. Hensla pt. Paleolit i mezolit. IHKM PAN*.
- Więckowski K., 1966: Osady denne jeziora Mikołajskiego. (Sum.: Bottom deposits of lake Mikołajki). *Prace Geogr.* nr 57, Inst. Geogr. PAN, Warszawa.
- Żynda S., 1968: Geomorfologia przedpola moreny czołowej stadiału poznańskiego na obszarze Wysoczyzny Lubuskiej. (Sum.: The geomorphology of the foreland of the End moraine from the Poznań stage in the area of Lubusz Pleistocene Plateau). *Prace Kom. Geogr.-Geol. Pozn. Tow. Przyj. Nauk*, t. VIII, z. 1, Poznań.

STRATIGRAPHY AND CONDITIONS OF DUNE DEVELOPMENT AT
POMORSKO NEAR SULECHÓW — NEW STUDIES

Summary

A transverse dune has developed in the western portion of the Warsaw—Berlin pradolina in the vicinity of Pomorsko. It lies on the scarp between terraces III and I (Fig. 1). Studies of that dune absorbed the attention of specialists from several branches of natural sciences. Most of their results have already been published.

New field studies and C-14 dates have provided data that give a somewhat different insight into characteristics of the dune at Pomorsko. In view of geologic structure, particular attention should be given to exact dates for lake chalk deposits overlying sandy calcareous silts and terrace sands (Fig. 2A, 2B: 2). Palynological dates indicate that the same date can be assigned to both chalk covering the basin bottom and a pine trunk lying over the chalk found at the southern end of a tunnel valley. Their deposition took place during the pine phase of the Allerød. This is additionally evidenced by the C-14 date of $11\,380 \pm 275$ years BP. During the first half of the Younger Dryas the main series of eolian sands making up the dune at Pomorsko was deposited over Allerød lake chalk and sands building up terraces I and III. At the close of that period a thick series of lake chalk, 6-14 m, began accumulating; the deposition in the nearshore zone lasted till the beginning of the Atlantic Period, i.e. 7095 ± 50 years BP (Fig. 2D). The deposition of lake chalk was interrupted by eolian processes that operated intermittently from 7095 ± 50 years BP till the Middle Ages. Periods of breaks in the operation of eolian processes are marked by hydromorphic fossil soils, the last of which formed between 1310 ± 55 and 710 ± 40 years BP. The final eolian series overlies it.

Hydromorphic fossil soils show only traces of charcoals. This is the reason why attempts were made at dating a variety of fractions of humus that had been obtained by extraction involving treating the humus with a hot solution of NaOH and HCl. In consequence of this, three fractions, i.e. fraction B (fulvic acids), fraction C (humic acids and humins) and fraction D (humins), were obtained. The dating results (Fig. 2D, 4) represent the first systematic approach to the dating of fossil soils with no charcoal. Charcoals could be recognized as a closed system because of the circulation of this element in nature and thus would prove a reliable reference point for dates available for different humus fractions. Schematic chronology (Fig. 4) is a tentative hypothesis based on slightly later dates.

The dune at Pomorsko developed during two dune-forming phases. The development of eolian processes in the first phase was conditioned by severe climate of great continentality. During the first half of the Younger Dryas a transverse dune was heaped up on the scarp between terraces III and I covered with patches of scarce vegetation. Eolian sands were also deposited on lake chalk in a deep water basin in the zone adjoining the glacial tunnel valley (Fig. 5C). Malacofauna comprising lacustrine forms of *Valvata piscinalis* f. *antiqua* Sowerby and bits of thick-shelled mollusks of the family Unionidae (Fig. 3) is indicative of such a character of the basin. At the close of the Younger Dryas the dune was inhabited by a community of hunters thought to be of the Late Paleolithic Świder culture because of flint artifacts. Their stay there did not affect dune modification.

In the second dune-forming phase eolian processes were due to human interference in the natural environment of regions of dunes. Five dune-forming phases dated by C-14 dates and archaeological finds have been recognized. The age of particular dune-forming phases is as follows:

Phase II: 7095 ± 50 till 4110 ± 60 years BP, artifacts of the late phase of Komornica culture,

Phase III: 3645 ± 80 till 3065 ± 65 years BP, artifacts likely to be of Janisławice culture,

Phase IV: 2770 ± 60 till 2265 ± 55 and 2435 ± 60 years BP, artifacts of Luzyce culture,

Phase V: 1785 ± 95 and 1850 ± 55 till 1310 ± 55 years BP, no artifacts on the dune, intense exploitation of the terrain by man,

Phase VI: 710 ± 40 years BP, no date available for the cessation of eolian processes. The terrain was intensely exploited by man.

Institute of Geography
Adam Mickiewicz University in Poznań
Institute of Physics
Silesian Technical University in Gliwice

LIST OF FIGURES

Fig. 1. Geomorphological map showing the environs of Pomorsko (Nowaczyk 1979)

1: glacial tunnel valleys, 2: buried-ice melt-out hollows, 3: flat ground morainic plateau, 4: plateau slopes, 5: the Sulechów outwash plain younger than the Leszno Phase, 6: pradolina slopes, 7: first pradolina terrace of the Poznań Phase, 8: third pradolina terrace, 9: fourth terrace — the Odra valley floor, 10: slopes of erosional-denudational valleys, 11: terrace within erosional-denudational valleys, 12: erosional-denudational valley floors, 13: alluvial cones, 14: dunes, 15: eolian sand covers, 16: plains of biogenic accumulation, 17: erosional undercuts with a scarp over 5 m high, 18: erosional undercuts with a scarp 2-3 m high, 19: rivulets, 20: rivers and oxbow lakes, 21: man-made dikes, 22: man-made dug holes, A: location of geologic section.

Fig. 2. A. Schematic geologic section through the dune and the southern portion of the glacial tunnel valley at Pomorsko.

B. Detailed geologic section of the zone of intertonguing eolian and biogenic sediments.

C. Simplified pollen diagram of biogenic sedimentary fill of the glacial tunnel valley floor (after Tobolski 1972 — unpublished).

D. Geologic profile of humus layers, eolian sands and the top of lake chalk. Sampling sites to be radiometrically dated and results of age determination are shown.

1: terrace sands, 2: Allerød lake chalk, 3: radiometrically dated pine trunk, 4: eolian sands of the older series — Younger Dryas onset, 5: sandy calcareous silts — Younger Dryas onset, 6: lake chalk — Younger Dryas close and Atlantic Period onset, 7: peat — sub-Boreal and sub-Atlantic periods, 8: humus layers of fossil soils — sub-Boreal and sub-Atlantic periods, 9: eolian sands — Atlantic and sub-Atlantic periods, 10: youngest eolian sands — sub-Atlantic Period, 11: sampling sites for malacological

analyses, 12: sampling sites for pedological analysis, 13: fraction B soluble in HCl (fulvic acids), 14: fraction C soluble in NaOH and insoluble in HCl (humic acids and humins), 15: fraction D insoluble in NaOH and HCl (humins), 16: wood, 17: pine and larch cones, 18: location of flint artifact sites, FW: dune-forming phase, PG: soil horizon.

Fig. 3. Malacological diagram showing lake chalk sampled from profiles N-II and N-V at Pomorsko (after Alexandrowicz in: Alexandrowicz, Nowaczyk 1982). O-V: frequency occurrence of fauna.

1: terrace sands, 2: lake chalk, 3: sandy calcareous silts, 4: peat, 5: eolian sands, 6: present-day humus layer.

Fig. 4. Chronology of soil-forming phases at Pomorsko.

1: periods of soil development, 2: periods of transition, 3: phases of amplified eolian action, 4: fraction B (fulvic acids), 5: fraction C (humic acids and humins), 6: fraction D (humins).

Fig. 5. Stages of development of the dune and glacial tunnel valley at Pomorsko.

A: stage of the glacial tunnel valley with ice blocks covered by morainic and fluvial sediments (pre-Allerød period), B: the onset of melting out of buried ice blocks and formation of a shallow water basin where deposition of lake chalk took place (Allerød pine phase), C: deposition of eolian sands — dune-forming phase I (Younger Dryas onset), D: deposition of a thick sequence of lake chalk (Younger Dryas close — Atlantic Period onset), E: dune-forming phases II-V, peat accumulation in the nearshore zone of the basin, F: final dune-forming phase VI. 1: sands making up the tunnel valley floor and dune base, 2: ice blocks, 3: morainic and fluvial sediments, 4: Allerød lake chalk, 5: pine trunk (11380±275 yrs BP), 6: eolian sands (Younger Dryas onset), 7: sandy calcareous silts (Younger Dryas onset), 8: lake chalk (Younger Dryas close — Atlantic Period onset), 9: peat and fossil humus layers, 10: eolian sands of dune-forming phases II-V, 11: eolian sands of dune-forming phase VI, 12: water.