

# ARYTMETYKA W DIAGRAMACH PYŁKOWYCH

## Arithmetics involved in pollen diagrams

Dorota NALEPKA, Adam WALANUS

**Summary.** Eight different diagrams obtained from one pollen table is presented. Starting from percentage diagrams, calculated according to the different sums, through the concentration of pollen in mass, volume etc. up to correction factors application and the principal components analysis. Calculations and diagram printing is easy task, today, for palynologist familiar with the computer. New technique should widen interpretations of pollen table by considering many possible diagrams.

**Key words:** data handling, pollen analysis, concentration of pollen.

*Dr Dorota Nalepka, Instytut Botaniki im. Władysława Szafera, Polska Akademia Nauk, ul. Lubicz 46, 31–512 Kraków*  
*Dr Adam Walanus, Instytut Fizyki, Politechnika Śląska, ul. Bolesława Krzywoustego 2, 44–100 Gliwice*

### WSTĘP

Wszelka "matematyzacja" botaniki kojarzy się obecnie z techniką komputerową. Należy więc odnieść tematykę niniejszej pracy do procesu komputeryzacji. Otóż wydaje się, że można zaobserwować tu już pewną stabilizację. Czas więc, po okresie emocji, na drugie spojrzenie na nowe narzędzie pracy. Dotyczyć ono może jednej z najbardziej elementarnych funkcji komputera czyli wykonywania obliczeń. W tym przypadku chodzi o najprostsze obliczenia. Nawiązanie do analiz wykonywanych z wykorzystaniem skomplikowanych metod numerycznych, ma na celu jedynie podkreślenie naturalnej kolejności postępowania. Najpierw warto opanować i wykorzystać możliwości najprostsze, by potem przejść do bardziej złożonych.

Tytułowa arytmetyka to cztery działania: dodawanie, odejmowanie, mnożenie i dzielenie. Działania te wykonuje się na liczbach, które są wynikiem pracy palinologa. Końcowy wynik obliczeń arytmetycznych przedstawiany jest

graficznie w formie diagramu [7, 8]. Arytmetyka towarzyszy palinologii od początku. Jednak w obecnej fazie komputeryzacji powstaje nowa jakość związana z radykalnym ułatwieniem obliczeń i łatwością otrzymywania wydruków diagramów. Realnie pojawia się możliwość pełnego wykorzystania danych obserwacyjnych. Spojrzenie na diagram pyłkowy, po zastosowaniu rozmaitych przeliczeń, uwypukla niektóre tendencje, podkreśla pewne cechy krzywych, zwraca uwagę na pewne szczegóły, które mogą mieć wpływ na interpretację obrazu roślinności. Prostim przykładem może być nadreprezentacja lokalnego czynnika, czy nadreprezentacja spowodowana obecnością pylnika, który mógł dostać się do osadu. Wtedy pomaga wyłączenie z sumy podstawowej „podejrzanego”, bo o bardzo wysokim procentowym udziale, taksonu. Ewentualnie można zastosować przeliczenia z sum cząstkowych, na przykład sumy drzew i krzewów jako 100% ( $\sum AP=100\%$ , patrz rozdział pt. Diagram krzywych). Takie i inne przeliczenia mające wspomóc weryfikację różnych

hipotez stosowane były od dawna [8], praktycznie jednak, ze względu na pracochłonność obliczeń, dopiero komputer z dobrym programem zachęca do szerszego spojrzenia na posiadane tabele pyłkowe.

Celem tej pracy jest pokazanie na konkretnym przykładzie zależności krzywych diagramu pyłkowego od sposobu ich obliczenia. Wiele przedstawionych wersji diagramów jest efektem nowej techniki. W tej pracy jest ona zamierzona, w ogólności jednak nie można zalecać „nadprodukcji” diagramów wynikającej jedynie z opanowania techniki komputerowej.

Uprowadzając zarzut zachęcania do manipulacji danymi, trzeba wyraźnie stwierdzić, że poszukiwanie innych niż podstawowe sposobów przeliczania diagramów zwiększa subiektywny wkład palinologa w końcowy wynik pracy. Niekoniecznie jednak musi to być efekt negatywny, o ile wszystkie działania są wykonywane świadomie i mają uzasadnienie lub co najmniej sensowną interpretację.

Przegląd sprzętu komputerowego i oprogramowania nie jest celem tej pracy. Konieczne jest jednak wyjaśnienie, że używano programu POLPAL, napisanego przez współautorkę pracy na zamówienie i pod opieką merytoryczną od strony botanicznej Prof. M. Ralskiej-Jasiewiczowej [19, 24]. Wydaje się, że korzystanie z własnych programów jest typowe dla większych laboratoriów [5, 9, 12, 15, 18, 23]. Nie powoduje to, wbrew pozorom, istotnych kłopotów w wymianie danych, a daje większą elastyczność korzystania z komputera i pozwala pełniej go wykorzystać. Pewnym symptomem wejścia komputerów do powszechnego użytku w palinologii może być fakt zorganizowania na VIII Międzynarodowym Kongresie Palinologicznym w 1992 r. specjalnego sympozjum nt. „Computer and Palynology”.

#### WYJŚCIOWE DANE LICZBOWE

Omawiając przetwarzanie danych, przeliczanie liczb, trzeba mieć pełną jasność, które liczby są pierwotne. Znaczenie danych oryginalnych, surowych (raw data) wynika z szacunku dla pomiaru czy obserwacji, w których informa-

cja jest generowana w bezpośrednim kontakcie z badaną rzeczywistością. Nie można też pominąć dużych kosztów i pracochłonności uzyskania danych pierwotnych w porównaniu z łatwością przeliczeń komputerowych.

Uznając, że niniejsza praca tkwi całkowicie w duchu postępującej kwantyfikacji nauk przyrodniczych, warto być może zwrócić uwagę na pojęcie pomiaru. Czynności palinologa zliczającego sporomorfy za pomocą mikroskopu, ołówka i kartki papieru nie nazywa się raczej pomiarem. Jednak zgodnie z definicją pomiaru, w której podkreśla się dwa konieczne jego składniki: porównywanie i zliczanie, trzeba przyznać, że zanotowana w protokole liczba ziarn pyłku danego taksonu jest wynikiem pomiaru. Pomiar jest ilościowym ujęciem obserwowanej rzeczywistości. Nie zawsze jest to możliwe, ze względu na trudności z identyfikacją taksonu (czynnik porównywania). Inne wątpliwości nasuwa częsty przypadek zliczenia w próbce zaledwie jednego ziarna danego taksonu (czynnik zliczania). Takie pojedyncze ziarno może mieć duże znaczenie interpretacyjne, jednak jego zaobserwowanie stwarza dopiero pewną jakość – istnienia taksonu, którego ilość można by ocenić gdyby przejrzeć większą ilość materiału.

Wyjściowe dane palinologiczne to tabela liczb, z których każda jest liczbą zaobserwowanych sporomorf jednego z oznaczonych taksonów, w jednej z badanych próbek. Tabela profilu Stanisławice [16], służąca jako przykład w tej pracy zawiera 40 próbek i 116 taksonów. Większość taksonów występuje jednak tylko sporadycznie, tzn. istnieją pojedyncze próbki, w których zliczono pojedyncze sporomorfy danego taksonu. Jest zaledwie 28 takich taksonów, które w całym profilu są reprezentowane przez co najmniej 100 sporomorf.

Ilości zliczeń wszystkich taksonów w danej próbce tworzą tzw. spektrum pyłkowe próbki. Każde spektrum zawiera mniej więcej stałą liczbę wszystkich zliczonych sporomorf, choć obowiązują tu różne reguły. W profilu Stanisławice sumaryczna liczba ziarn pyłku drzew i roślin zielnych jest rzędu tysiąca. Spektrum pyłkowe próbki nie daje informacji o liczebności pyłku w osadzie. Pod mikroskopem przegląda się pewną

ilość materiału, której nie można odnieść do jednostki objętości czy masy osadu, gdyż nie wiadomo jaką część pobranego materiału przejrzano. Aby otrzymać bezwzględną koncentrację sporomorf w materiale stosuje się najczęściej technikę wskaźnika egzotycznego [21]. Spektrum pyłkowe zawiera wtedy, poza zliczeniami taksonów obecnych w osadzie, liczbę sporomorf dodanego egzotycznego wskaźnika (w profilu Stanisławice jest to *Lycopodium clavatum*).

Z paleoekologicznego punktu widzenia celem może być przeliczenie koncentracji sporomorf nie tylko na jednostkę objętości, ale także, na przykład, na jednostkę świeżej masy, suchej masy czy masy organicznej. Aby przeliczyć odpowiednio koncentrację, trzeba dysponować danymi o objętości próbek i ich różnych masach. W omawianym przykładzie do zestawu danych wyjściowych poza tabelą zliczeń sporomorf, wchodzi:

1. Objętość próbki.
2. Masa świeżej próbki.
3. Masa próbki po wysuszeniu w 105°C, „sucha masa”.
4. Masa próbki po wyprażeniu w 550°C, „popielność”.
5. Naważka materiału suchego wzięta do analizy pyłkowej.
6. Liczba spor *Lycopodium* wskaźnikowego dodana do materiału z pkt. 5.

### PROFIL STANISŁAWICE

Dane liczbowe wykorzystane w tej pracy do zilustrowania zagadnień metodycznych pocho-

Tabela 1. Profil Stanisławice.

Table 1. Stanisławice profile.

Głębokość [cm]	opis osadu
0–5	ściółka
5–13	torf
13–29	mursz z obecnością piasku zwiększającą się ku dołowi
29–37	piasek szarobrunatny z substancją humusową
37–51	piasek popielato – beżowy
51–62	piasek brunatno – rdzawy, marmurkowy

dzą ze stanowiska w Stanisławicach w Puszczy Niepołomickiej. Jest to profil glebowy o głębokości ok. 60 cm [16], jego krótka charakterystyka zawarta jest w Tabeli 1.

Materiał z poziomów piaszczystych pobierano co 2–3 cm wprost ze ściany odkrywki. Materiał zwięzły, z większą ilością substancji organicznej, pobrano w całości w formie monolitu o rozmiarach ok. 30x30x30 cm i zamrożono. Dalej stosowano preparatykę specjalną dla materiałów z profili glebowych [1]. Zamrożony monolit cięto na plastry o grubości 1 cm. Z plastrów wycinano kostkę o objętości ok. 1 cm<sup>3</sup>, którą mierzone suwmiarką w celu dokładniejszego wyznaczenia objętości. Otrzymany materiał suszono i prażono dla wyznaczenia suchej masy i popielności. Podobną ilość materiału pobierano osobno do plastikowych probówek i po zamrożeniu w próżni poddawano chemicznej maceracji naważkę od 0.05 do 2.0 g materiału, w celu przygotowania go do mikroskopowych analiz paleobotanicznych.

Zamrożenie próżniowe zamiast suszenia zabezpiecza sporomorfy przed zmięciem i uszkodzeniem w trakcie usuwania wody. Pobranie znanej naważki suchego materiału oraz dodanie określonej liczby sporomorf wskaźnika (1–5 tabletek *Lycopodium clavatum*) umożliwiała obliczenie koncentracji sporomorf.

### DIAGRAMY

Celem tej pracy jest zwrócenie uwagi na łatwość przeliczania danych i otrzymywania różnych postaci krzywych w diagramie, osiąganą

za pomocą komputera. Korzystanie z istniejących technik powinno rozszerzyć możliwości interpretacyjne. Nie wolno oczywiście zagubić botanicznego sensu wykonywanych przeliczeń. Niżej przedstawiony jest szereg diagramów profilu Stanisławice. Są to nietypowe diagramy; większość taksonów występuje tu wielokrotnie w różnych wersjach. Poza krzywymi pojedynczych taksonów, występują w diagramach krzywe sum taksonów i krzywe otrzymane przez kombinację liniową taksonów [14].

Należy tu podkreślić, że najważniejszy pozostaje diagram podstawowy, rozumiany przez wszystkich odbiorców. Wszystkie inne diagramy są raczej uzupełnieniem interpretacyjnym. Komputeryzacja, wbrew pozorom, niekoniecznie musi sprzyjać intersubiektywnej komunikowalności [10], łatwość otrzymywania różnorodnych wersji diagramów nie powinna być przyczyną zagubienia podstawowego obrazu ekologicznego zawartego w tabeli pyłkowej.

#### DIAGRAM PODSTAWOWY (TOTALNY)

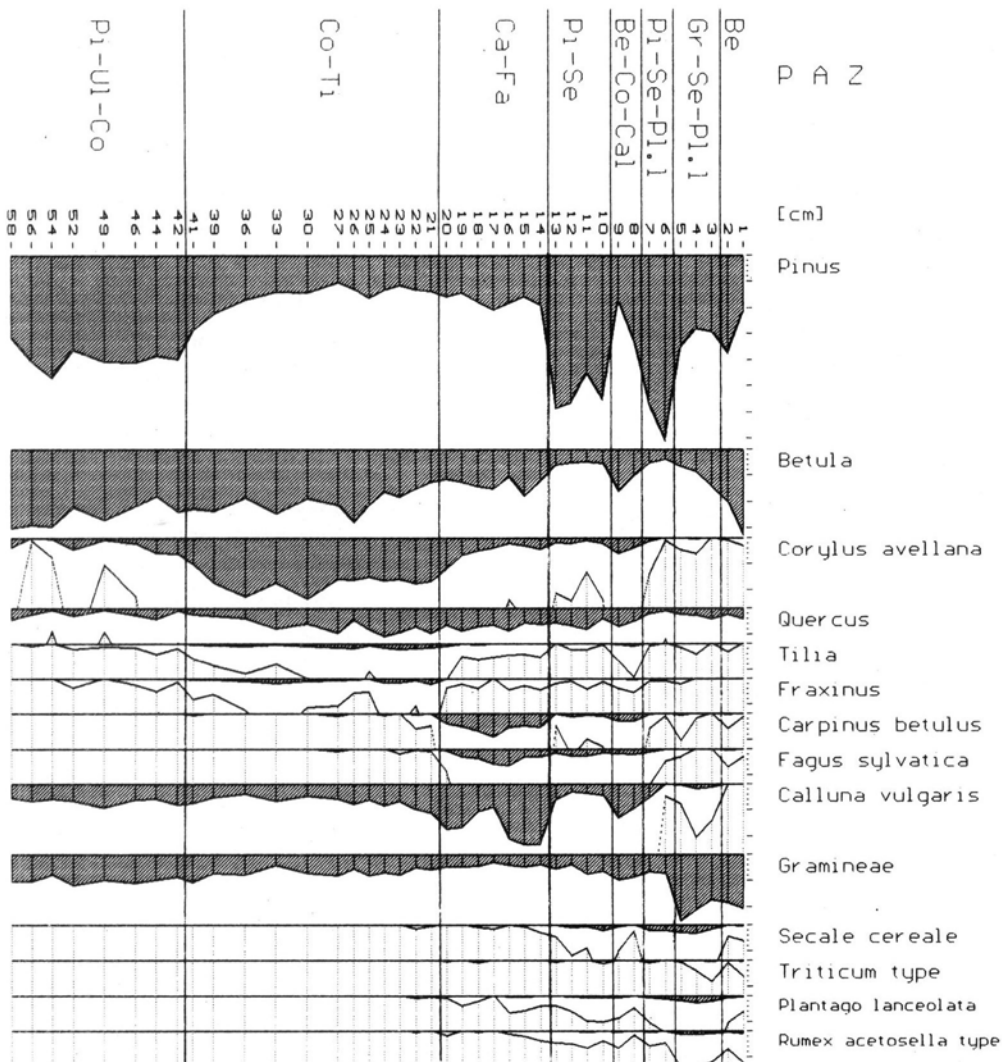
Na taką nazwę zasługuje diagram względnych (procentowych) ilości sporomorf obliczany przy założeniu, że suma ziarn pyłku drzew i krzewów (AP) oraz roślin zielnych (NAP) stanowi 100%. Przedstawiony w tym rozdziale podstawowy diagram pyłkowy (Ryc. 1) zawiera 14 najistotniejszych ekologicznie taksonów. Diagram ten jest podstawą podziału profilu na zony pyłkowe (PAZ-pollen assemblage zones) [6, 25]. Podział ten będzie dalej służył przy opisach diagramów.

W diagramie podstawowym (Ryc. 1) w zonie Pi-Ul-Co dominują krzywe *Pinus* i *Betula*. W zonie Co-Ti dominuje krzywa *Corylus*, wzrasta udział *Quercus*, *Tilia* i *Fraxinus*, natomiast *Betula* utrzymuje się na niezmiennym poziomie, bardzo spada udział pyłku *Pinus*. W górnej części tej zony pojawiają się pierwsze ziarna pyłku roślin antropogenicznych. W zonie Ca-Fa dominują krzywe *Carpinus*, *Fagus* i *Calluna*, na niezmiennym poziomie utrzymuje się krzywa *Quercus*. Krzywe pozostałych drzew spadają. W zonie Pi-Se pierwszą kulminację osiągają krzywe *Pinus* i wskaźników antropogenicznych. Udział pozostałych taksonów, z wyjątkiem

*Quercus*, spada. W zonie Be-Co-Cal wzrostem charakteryzują się prawie wszystkie taksony z wyjątkiem *Pinus* i wskaźników antropogenicznych, które wykazują tu wartości minimalne. W zonie Pi-Se-Pl.I ponownie kulminuje krzywa sosny i rozpoczyna ponowny wzrost krzywa wskaźników antropogenicznych. W zonie Gr-Se-Pl.I zmniejsza się udział pyłku sosny, wzrasta brzozy, kulminują wskaźniki antropogeniczne i *Gramineae*. W zonie Be nadal wzrasta udział *Betula*, a *Pinus* i *Gramineae* utrzymują się na poprzednim poziomie.

#### DIAGRAM SUMARYCZNY

Przedstawienie w postaci jednej krzywej zsumowanych wartości procentowych kilku taksonów, np. o podobnych wymaganiach ekologicznych i zestawienie jej z następnymi krzywymi sumującymi taksony o innych wymaganiach ekologicznych, daje możliwość szybkiej oceny diagramu i wydarzeń w nim zapisanych. Diagram taki (Ryc. 2) podkreśla tendencje, kondensuje obraz i umożliwia skrótowe przedstawienie interpretacji. Najczęściej jest konstruowany po to, aby podkreślić pewne cechy diagramu podstawowego, abstrahować od rzeczy nieistotnych. Na przykład krzywa sumaryczna Pi+Be zasadniczo powtarza przebieg krzywej *Pinus*, podobnie krzywa sumaryczna Co+Qu+Ti+Fr powtarza przebieg krzywej *Corylus*. Krzywe sumaryczne powiększyły się, nie zmieniając charakterystycznego przebiegu najliczniejszego taksonu. Zakładając, że sosna i brzoza reprezentują tu jedno zbiorowisko, można stwierdzić, że krzywa sumaryczna Pi+Be podkreśla wyraźniej jego zachowanie polegające na utracie w miarę upływu czasu zajmowanych stanowisk. Jednak należy zwrócić uwagę, że w tej sumarycznej krzywej, powtarzającej przebieg krzywej sosny, maskowany jest prawie niezmienny udział pyłku brzozy. Podobnie maskujący efekt daje sumaryczna krzywa Co+Qu+Ti+Fr w stosunku do krzywej *Quercus*. W diagramie podstawowym widać, że pomimo zmieniającego się udziału pyłku drzew, zarówno ilościowego jak jakościowego, krzywa dębu pozostaje na niezmiennym poziomie w zonach centralnej części diagramu. Można stąd wnosić, że włączenie

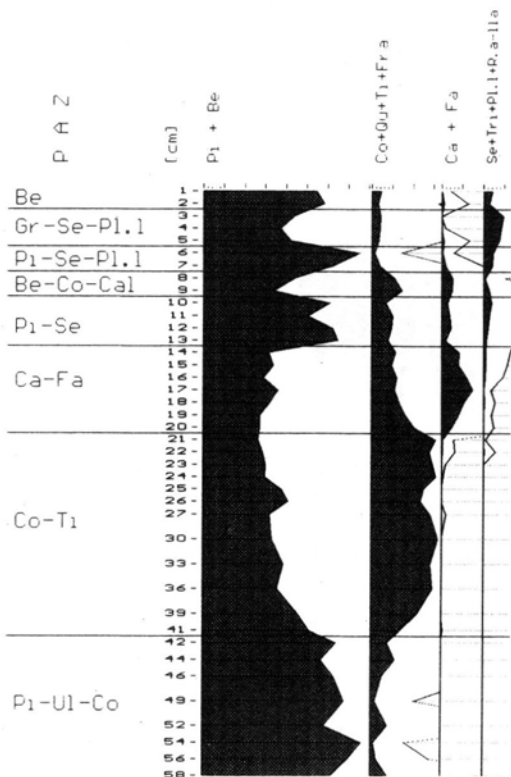


Ryc. 1. Podstawowy procentowy diagram pyłkowy, względne (%) udziały ilości sporomorf wybranych taksonów (AP+NAP=100%).

Fig. 1. Percentage pollen diagram, percentage amount of sporomorphs of chosen taxa (AP+NAP=100%)..

tej indywidualnej krzywej do krzywej sumarycznej Co+Qu+Ti+Fr maskuje fakt, że dąb nie reagował w przeszłości na zmiany środowiska w równie mocnym stopniu jak pozostałe drzewa. Można zastanawiać się, czy to, że krzywa *Quercus* nie zmienia się pomimo wzrostu krzywych *Carpinus* i *Fagus* nie dowodzi, że te dwa ostatnie drzewa zajmowały siedliska *Corylus*, *Tilia* i

*Fraxinus*, ale nie *Quercus*. Z kolei krzywa Se+Tr+Pl.l+R.a-lla uwypukla obecność taksonów składowych w diagramie przy spadku drzew liściastych oraz przejściowym wzroście sosny w zonach Pi-Se i Pi-Se-Pl.l. Ta sumaryczna krzywa zwraca uwagę na istotność wskaźników antropogenicznych.



Ryc. 2. Procentowy diagram sum taksonów (AP+NAP = 100%).

Fig. 2. Percentage pollen diagram of sum of taxa (AP+NAP = 100%)

- Generalnie interpretację obu przedstawionych dotąd diagramów można ująć następująco:
- zona Pi-Ul-Co; las sosnowy z dużym udziałem brzozy (okres borealny),
  - zona Co-Ti; las liściasty z niewielką domieszką drzew szpilkowych (okres atlantycki),
  - zona Ca-Fa; las z dużym udziałem grabu i buka, które wyparły w dużym stopniu dotychczasowe lasy liściaste. Początek wpływu człowieka na szatę roślinną (okres subborealny),
  - zony Pi-Se, Pi-Se-Pl.i., Gr-Se-Pl.i., Be; zwiększający się udział zbiorowisk antropogenicznych w szacie roślinnej, postępujący zanik lasów liściastych, ponowne rozszerzenie się lasów sosnowych,
  - zona Be-Co-Cal; krótkotrwała regeneracja

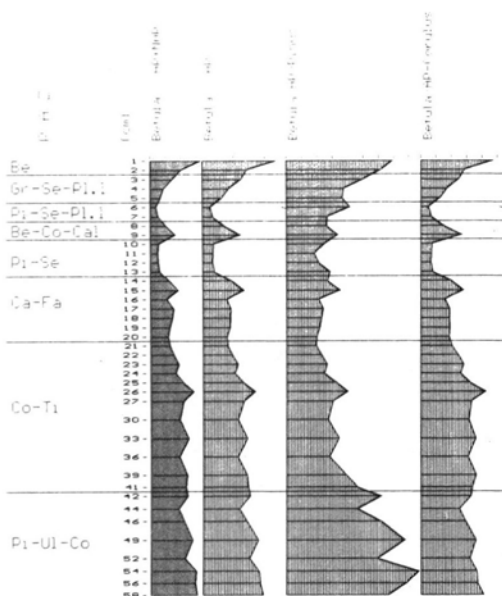
lasów liściastych, mniejsza presja człowieka na roślinność.

Diagram sumaryczny podkreśla tendencje przekształceń w środowisku naturalnym, związane zarówno ze zmianą klimatu (zony Pi-Ul-Co i Co-Ti) jak i zwiększającym się wpływem człowieka na roślinność (od zony Ca-Fa, do stropowej Be).

#### DIAGRAM KRZYWYCH PROCENTOWYCH OBLICZANYCH WEDŁUG RÓŻNYCH SUM

Czasami uzasadnione może być podejrzenie o nadreprezentację pyłku lokalnego, wynikającą na przykład z obecności pylnika w osadzie lub obecności obficie pyłących kęp turzyc, paproci czy korony drzewa tuż nad miejscem pobrania profilu. Gdy sporomorfy taksonu obecnego, ale nie dominującego w otoczeniu badanego stanowiska wydają się zbyt liczne, stosuje się wyłączenie go z sumy używanej do obliczania procentów. W takich przypadkach pomocna jest oczywiście analiza krzywych koncentracji sporomorf, jednak to zagadnienie będzie rozpatrzone osobno w następnym punkcie. Obliczanie udziałów pyłku względem sum różnych taksonów może oczywiście mieć inne uzasadnienia niż tylko chęć eliminacji czynnika nadreprezentowanego. Przykładem efektów zastosowania różnych sum jest w tej pracy krzywa procentowa pyłku *Betula* (Ryc. 3).

Po przeliczeniu procentowego udziału pyłku brzozy w stosunku do sumy obejmującej tylko pyłek drzew i krzewów ( $\Sigma AP=100\%$ ), tendencje w przebiegu krzywej *Betula* nie uległy zmianie (Ryc. 3, krzywa *Betula/AP*). Jednak pamiętając, że udział pyłku *Pinus* bardzo wpłynął na przebieg sumarycznej krzywej Pi+Be (Ryc. 2), można wyłączyć z sumy pyłek *Pinus*. I tak po jego wyłączeniu z sumy AP ( $\Sigma AP-Pinus=100\%$ ) krzywa *Betula* zmienia swój przebieg w kilku poziomach. W dolnej części zony Co-Ti udział brzozy spada szybciej niż wskazują na to poprzednie wykresy. W zonie Pi-Se spadek wartości procentowych pyłku brzozy jest mniejszy i mniej gwałtowny niż na poprzednich wykresach. Może to wskazywać na większy rzeczywisty udział brzozy w drzewostanie w przeszłości, który to obraz jest zaciemniany w podstawo-



Ryc. 3. Procentowy diagram wybranego taksonu (*Betula*), którego udział obliczony jest względem różnych sum pyłku.

Fig. 3. Percentage diagram of one particular taxon (*Betula*). Its percentage amount has been calculated according to different sums of pollen.

wym diagramie (Ryc. 1) przez pyłek sosny. Podobnie w zonach Pi-Se-Pl.I. i Gr-Se-Pl.I. udział brzozy jest znacznie większy, niż by to wynikało z diagramu podstawowego.

Tak więc gwałtowne i ostre kulminacje *Pinus* w diagramie podstawowym należy rozpatrywać ze szczególną uwagą, gdyż mogą one być przyczyną zaciemnienia otrzymanego obrazu roślinności. Przebieg krzywej *Betula* po wyłączeniu pyłku *Corylus* z sumy ( $\Sigma AP-Corylus=100\%$ ) jest w zasadzie zbliżony do przebiegu krzywej z podstawowego diagramu, choć w zonie Co-Ti udział pyłku brzozy jest nieco większy.

Numerycznie wynika to z większej ilości pyłku *Corylus* w tej zonie, a zinterpretowane może być jako pomniejszenie rzeczywistego udziału brzozy w obrazie roślinności odtwarzanym z diagramu podstawowego.

#### DIAGRAMY KONCENTRACJI SPOROMORF

Diagramy koncentracji pokazują bezwzględna liczbę sporomorf danego taksonu, jaka zna-

lazła się w określonej ilości badanego materiału. W torfach i osadach jeziornych, gdzie akumulacja i sedymentacja zachodziły w przybliżeniu jednostajnie, koncentrację oblicza się w stosunku do jednostki objętości ( $1 \text{ cm}^3$ ). Stosuje się w tym celu metodę egzotycznego wskaźnika, dodanego w znanej ilości do pobranego  $1 \text{ cm}^3$  materiału. Koncentrację oblicza się z wzoru [8, 21]:

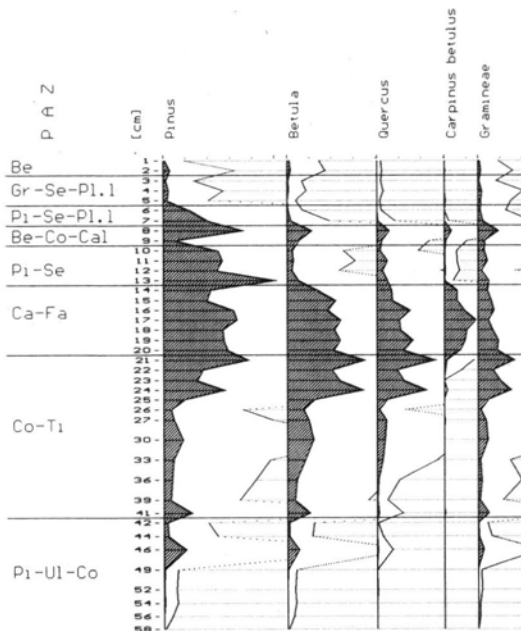
$$\text{koncentracja w objętości osadu} = (\text{liczba sporomorf taksonu} / \text{liczba sporomorf wskaźnika}) \times (\text{liczba sporomorf wskaźnika} / \text{dodanego do próbki} / \text{objętość próbki})$$

co można też zapisać:

$$K = \frac{\text{stax} \times \text{sdod}}{\text{swsk} \times \text{obj}}$$

Wymiarem otrzymanej liczby jest: [sporomorf/ $\text{cm}^3$ ]. Objętość próbki zazwyczaj wynosi  $1 \text{ cm}^3$ .

Najczęstszym celem obliczania koncentracji jest chęć wyznaczenia rocznego opadu pyłku, tj. liczby pyłku na rok na  $\text{cm}^2$ . Konieczna jest wte-



Ryc. 4. Diagram koncentracji sporomorf w objętości osadu. Jedna mała działka oznacza 2 tys. sporomorf/ $\text{cm}^3$ .

Fig. 4. Pollen diagram of concentration sporomorphs in volume. One division equals 2 thousands sporomorphs/ $\text{cm}^3$ .

dy znajomość tempa sedymentacji (cm/rok). Obliczenia takie najłatwiejsze są dla osadów późnoglacialnych i holocenów gdzie „działa” metoda chronometrii bezwzględnej  $^{14}\text{C}$ . Przykłady można znaleźć w pracach Latałowej i Nalepki [11], Tobolskiego [22], Noryskiewicz [17].

Z diagramów absolutnej frekwencji [8] odczytać więc można nie tylko stosunki ilościowe poszczególnych roślin (jak w diagramie %), ale i zmiany wielkości rocznego opadu pyłku [8]. Datowanie radiowęglowe nie zawsze jest możliwe. Silne zróżnicowanie litologii nakazuje odrzucenie założenia o stałości tempa sedymentacji pomiędzy datowanymi próbkami. Przebieg krzywej koncentracji może w takiej sytuacji wskazać na zmiany zachodzące w osadzie, koncentracja nie będzie więc wtedy odzwierciedlała zmian roślinności. W takich materiałach niecelowe, a często wręcz niemożliwe, jest pobieranie materiału o określonej objętości. Zwraca się wtedy raczej uwagę na jednorodność litologiczną próbek. Wyznacza się ich suchą masę i popielność. Pozwala to na obliczenie koncentracji sporomorf nie tylko w  $1\text{ cm}^3$  osadu ale np. w  $1\text{ g}$  suchej masy czy w  $1\text{ g}$  substancji organicznej.

Zakładając stałą szybkość przyrastania np. suchej masy osadu, a nie jego objętości, koncentrację należy obliczać na jednostkę suchej masy:

$$\text{koncentracja w suchej masie} = (\text{liczba sporomorf taksonu} / \text{liczba sporomorf wskaźnika}) \times (\text{liczba sporomorf wskaźnika dodanego do próbki} / \text{masa próbki})$$

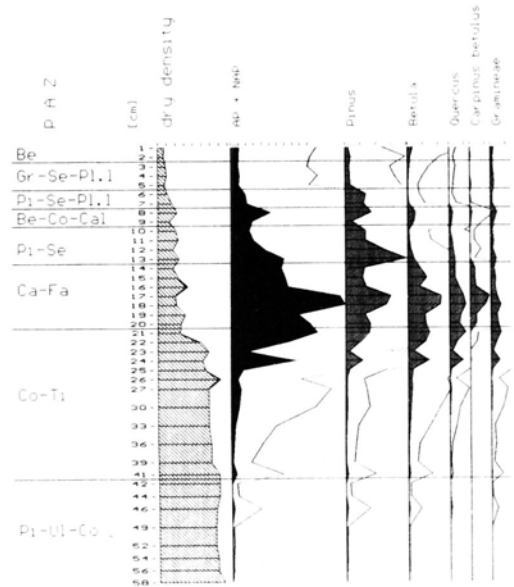
lub:

$$K = \frac{\text{stax} \times \text{sdod}}{\text{swsk} \times \text{masa}}$$

Wymiarem wyniku jest: [sporomorf/g].

W celu wyeliminowania wpływu zawartości substancji mineralnej w osadzie, można obliczyć koncentrację sporomorf w samej materii organicznej. W powyższym wzorze należy wtedy w miejsce masy próbki wstawić masę substancji organicznej w próbce, a więc różnicę masy suchej i masy popiołu.

Przebieg krzywych koncentracji sporomorf we wszystkich diagramach (Ryc. 4–6) różni się



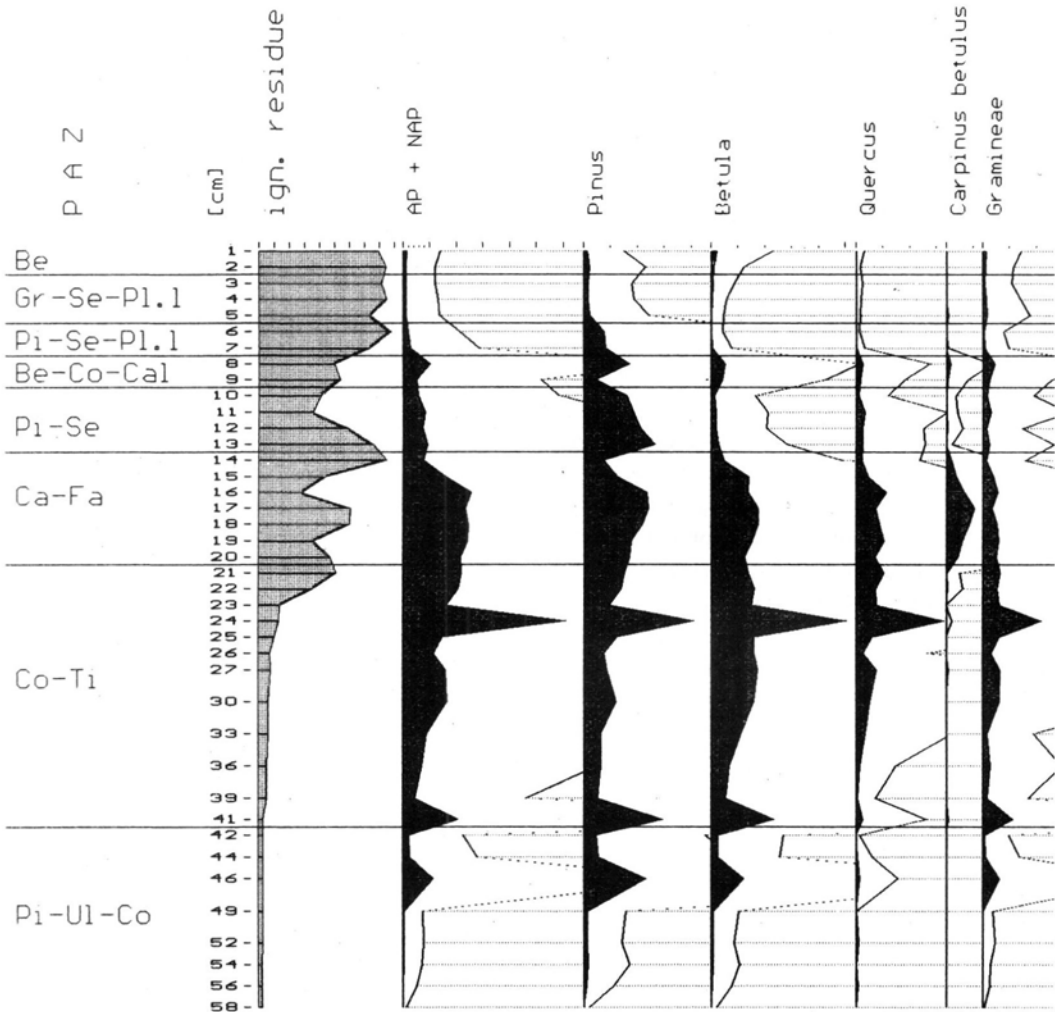
Ryc. 5. Diagram koncentracji sporomorf w suchej masie osadu. Jedna działka oznacza 10 tys. sporomorf/g. Na pierwszej pozycji wykreślona jest sucha masa osadu.

Fig. 5. Pollen diagram of concentration sporomorphs in dry density. One division equals 10 thousands sporomorphs/g. Dry mass of sediment are drawn on the first position in the diagram.

wyraźnie od przebiegu krzywych w diagramach procentowych (Ryc. 1–3) co powoduje, że granice między próbkami o zróżnicowanej koncentracji nie pokrywają się z granicami wyróżniającymi strefy pyłkowe. Ich przebieg zbliżony jest raczej do granic między poziomami genetycznymi opisanymi w badanym profilu glebowym. Jest to naturalne, gdyż koncentracje są zależne od litologii, w przeciwieństwie do wartości procentowych. Ze zbieżności zmian pyłkowych krzywych koncentracji z charakterem osadu nie można wyciągać zbyt daleko idących wniosków.

Przy interpretacji koncentracji sporomorf w profilu glebowym należy zwrócić uwagę na fakt, że wzrost koncentracji sporomorf może wiązać się ze zwiększonym pyleniem roślin lub ze zmniejszeniem tempa sedymentacji, albo też z rozkładem substancji organicznej (innej niż odporne sporomorfy). Na przykład w profilu





Ryc. 6. Diagram koncentracji sporomorf w materii organicznej. Jedna mała działka oznacza 2 tys. sporomorf/g. Na pierwszej pozycji wykreślone są straty prażenia.

Fig. 6. Pollen diagram of concentration spore morphs in organic matter. One division equals 2 thousands of spore morphs/g. Loss of ignition are drawn on the first position in the diagram.

glebowym w wyniku rozkładu materii organicznej w niektórych poziomach może zmniejszać się miąższość warstw, dając pozornie większą koncentrację sporomorf [1].

Diagram (Ryc. 5) przedstawia koncentrację wybranych sporomorf w suchej masie osadu. Zestawiony jest on z wykresem gęstości suchej masy (wyrażonej w  $[g/cm^3]$ ). Diagram (Ryc. 4) przedstawia koncentrację tych samych sporomorf w objętości suchej masy. W obydwu dia-

gramach koncentracja sporomorf jest niska w dolnej części profilu, gdzie sucha masa stanowi powyżej 50% osadu. Koncentracja wzrasta, gdy zmniejsza się zawartość suchej masy. Można stąd wnosić, że górna część profilu narastała wolniej (zakładając stałość opadu pyłku) niż dolna, albo jest w niej po prostu przewaga składników organicznych.

Wątpliwość tę pozwala wyjaśnić diagram koncentracji sporomorf w masie substancji or-

ganicznej. Diagram ten, przedstawiony jest na rysunku 6 wraz z krzywą strat prażenia, która pokazuje, że w dolnej części profilu istotnie więcej było substancji mineralnej. Wydaje się więc, że właśnie ten ostatni diagram przedstawiać może najlepiej koncentrację sporomorf. Pamiętać tu jednak należy o możliwości rozkładu substancji organicznej bez rozkładu sporomorf.

W omawianym diagramie zwraca uwagę próba z głębokości 24 cm (zona Co-Ti). Tak wysoka koncentracja sporomorf wszystkich występujących tu taksonów tylko w jednej próbie nasuwa przypuszczenie, że pozostały w tym poziomie głównie sporomorfy, a materiał organiczny uległ rozkładowi prawie w całości. Wnioskować z tego można, że próbka ta obejmuje dłuższy czas w stosunku do poziomów sąsiednich (ok. trzykrotnie dłuższy, przy założeniu stałego opadu pyłku).

Szczególne różnice pomiędzy różnymi przeliczeniami koncentracji widoczne są w przebiegu krzywych *Betula* i *Quercus*, a także w mniejszym stopniu *Gramineae*. Krzywe koncentracji pyłku *Betula* i *Quercus* w diagramie na Ryc. 5 w stropie zony Co-Ti wzrastają, a w części centralnej zony Ca-Fa kulminują, po czym spadają do poprzedniego poziomu. W diagramie na Ryc. 4 w stropie zony Co-Ti te same krzywe kulminują, a w zonie Ca-Fa po niewielkim spadku, utrzymują się na mniej więcej niezmiennym poziomie.

W diagramie podstawowym (procentowym, Ryc. 1) krzywa *Betula* w stropie zony Co-Ti i w zonie Ca-Fa spada; w diagramach koncentracji wzrasta i następnie utrzymuje się na podobnym poziomie (Ryc. 5 i 6) lub nieznacznie spada (Ryc. 4). Podobnie zachowują się krzywe *Quercus*. Wydaje się, że taki ich przebieg wskazuje na większe, niż wynikałoby to z diagramu podstawowego, znaczenie tych sporomorf w deszczu pyłkowym w opisywanych okresach.

Słabiej zaznaczony, ale podobny jest przebieg krzywych koncentracji *Gramineae*. Wzrost krzywej koncentracji *Gramineae* od zony Co-Ti prawdopodobnie wskazuje na większe znaczenie traw od tego okresu. Natomiast wydaje się, że w zonach Gr-Se-Pl.I. i Be krzywa procentowa (Ryc. 1) *Gramineae* jest sztucznie zawyżona, a

pylenie traw nie wzrosło w stosunku do poprzednich okresów. Większy udział procentowy traw jest wynikiem prostych przeliczeń; gdy zmalała ilość pyłku drzew (spadek krzywych koncentracji) na skutek postępującego odlesienia, w diagramie procentowym automatycznie wzrósł udział pyłku traw (roślin zielnych).

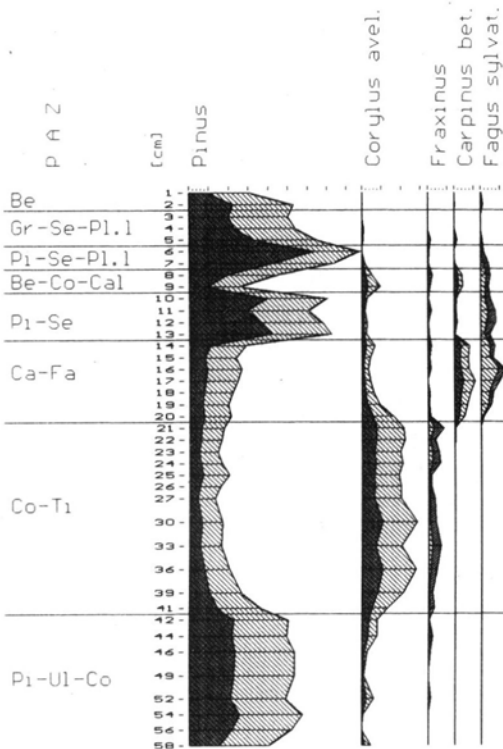
We wszystkich diagramach koncentracyjnych w zonie Be-Co-Cal widoczny jest identyczny przebieg wszystkich analizowanych krzywych. Podobnie zachowują się też krzywe w tej zonie we wszystkich przedstawionych kombinacjach diagramów procentowych (Ryc. 1-3). Wskazuje to na możliwość jednoznacznej interpretacji tego fragmentu profilu. Można tu odczytać krótkotrwałą regenerację lasów liściastych na badanym terenie i zaniechanie uprawy roli w okresie wędrówek ludów.

Malejące krzywe koncentracji pyłku w stropach analizowanych diagramów wiążą się z charakterem badanego osadu, a nie z rzeczywistym zmniejszeniem koncentracji sporomorf w deszczu pyłkowym. Stropowe próby pochodzą z torfu (Pi-Se, Be-Co-Cal i Pi-Se-Pl.I.) i ściółki (Gr-Se-Pl.I. i Be), gdzie rozkład materii organicznej jest stosunkowo wolny a przyrost osadu, szczególnie ściółki, szybki, zatem koncentracja pyłku we współczesnych, najmłodszych próbkach w profilu glebowym będzie malała [1].

#### DIAGRAMY Z ZASTOSOWANIEM WSPÓLCZYNNIKÓW KOREKCJI PYLENIA DRZEW

Ziarna pyłku drzew dostają się do osadu w ilościach zmienionych w stosunku do rzeczywistego pylenia. Na przykład liczba pyłku sosny czy leszczyny jest czterokrotnie zawyżona, a lipty dwukrotnie zaniżona [2, 3, 4]. Efekt ten można uwzględnić w obliczeniach, stosując współczynniki korekcji pylenia (Tabela 2). Polega to na pomnożeniu liczby ziarn pyłku każdego drzewa przez odpowiedni czynnik (mniejszy lub większy od 1).

Współczynniki korekcyjne otrzymane są z kalibracji, czyli porównania współczesnego opadu pyłku z aktualnym składem lasu. Wartości podane w tabeli 2 zostały obliczone dla drzew rosnących w lesie mieszanym strefy umiarkowanej Europy Środkowej [2-4].



Ryc. 7. Diagram względnego udziału (%) drzew w budowie lasu. Gęsto zakreskowane zostały krzywe skorygowane wg czynników z Tabeli 2. Krzywe liczone są względem sum odpowiednio:  $AP=100\%$  i  $AP_{\text{corr}}=100\%$ .

Fig. 7. Percentage pollen diagram of relative amount of trees in the forest. Dence shraf shows curves after correction according to correction factors in Table 2. Curves are calculated according to sums:  $AP=100\%$  and  $AP_{\text{corr}}=100\%$

Umożliwiają one uzyskanie obrazu dokładniej pokazującego skład lasu [1]. Tutaj zastosowano je do profilu glebowego Stanisławice, leżącego w lesie sosnowym, obecnie zdegenerowanym. Jak wynika z analizy pyłkowej, wcześniej rósł tu mieszany las liściasty.

Przedstawiony na rycinie 7 diagram obejmuje wybrane taksony obliczone względem sumy drzew ( $\sum AP=100\%$ ). Krzywe podstawowe są rzadziej, a te z korekcją gęściej zaczerkowane. Należy podkreślić, że mnożenie przez czynniki korekcyjne wykonuje się przed obliczeniem procentów, tak więc suma pyłku ulega zmianie ( $\sum AP \neq \sum AP_{\text{corr}}$ ). W konsekwencji zmienia się

Tabela 2. Współczynniki korekcyjne pylenia wybranych drzew.

Table 2. Pollen corrector factors of chosen trees.

<i>Pinus</i>	<i>Corylus</i>	<i>Fraxinus</i>	<i>Carpinus</i>	<i>Fagus</i>
1/4	1/4	2	1/3	1

nie tylko wielkość krzywych (ich skala) ale również kształt, choć zazwyczaj w minimalnym stopniu. Na skorygowanym diagramie widoczny jest znacznie mniejszy udział *Pinus* w budowie lasu, a większy np. *Fraxinus*, niż wynikałoby to ze zwykłego diagramu procentowego. Być może diagram skorygowany nie wnosi tutaj wiele nowego w porównaniu z diagramem podstawowym (Ryc. 1). Wydaje się jednak, że warto zobaczyć jak wyglądają skorygowane, a więc bliższe prawdy, udziały drzew opisywanego lasu w przeszłości.

#### KOMBINACJA LINIOWA I ANALIZA SKŁADOWYCH GŁÓWNYCH

Kombinacja liniowa jest pojęciem z matematyki wyższej, sprowadza się ona jednak tylko do mnożenia i dodawania. Stosując kombinację liniową taksonów można utworzyć nowy *quasi-takson* [13], czyli nową zmienną, która może odzwierciedlać pewne warunki ekologiczne. Otrzymanie nowej zmiennej polega na wykonaniu przez komputer, dla każdej próbki, następującej operacji arytmetycznej:

$$X = a_1N_1 + a_2N_2 + a_3N_3 + \dots + a_tN_t$$

$X$  oznacza nową zmienną,  $N_1, N_2$  itd. to procentowe ilości lub koncentracje sporomorf kolejnych taksonów, czynniki  $a_1, a_2, \dots, a_t$  są liczbami, których dobór decyduje o tym czym jest nowy *quasi-takson*. Jeżeli niektóre z czynników  $a_i$  są równe 1, natomiast pozostałe są zerami, to zmienna  $X$  jest po prostu sumą pewnych taksonów. Czynniki  $a_i$  mogą być liczbami ułamkowymi. Liczby z tabeli 3 są tu dobrym przykładem, gdyby przyjąć podane tam wartości,  $X$  określałoby zalesienie. W najogólniejszym przypadku czynniki  $a_i$  mogą być również ujemne. Pewne taksony mogą się wtedy odejmować, redukować

wzajemnie swoje znaczenie. W taki sposób można otrzymać zmienną X reprezentującą na przykład temperaturę, wystarczy z plusem wziąć rośliny ciepłolubne, a z minusem rośliny znoszące niższe temperatury. Można też ilościowo rozróżnić taksony o zdecydowanych cechach od mniej jednoznacznych.

Analiza składowych głównych (Principal Components Analysis – PCA) jest metodą matematyczną wykraczającą zdecydowanie poza arytmetykę. Dlatego jedynie jej wynik końcowy zostanie tu krótko omówiony, na zasadzie wskazania kierunku rozszerzenia udziału metod matematycznych w analizie diagramów. Wynikiem zastosowania PCA jest powstanie kilku (np. trzech) quasi-taksonów uszeregowanych pod względem ważności (wagi statystycznej). Taksony te tworzone są jako kombinacja liniowa taksonów wyjściowych. I tak, na przykład krzywa „I” w diagramie na rysunku 8 jest następującą kombinacją procentowych udziałów taksonów:

$$X_{PCA1} = 0.21 \cdot N_{Be} + 0.03 \cdot N_{Ca} - 0.03 \cdot N_{Fa} + \dots - 0.05 \cdot N_{Tr}$$

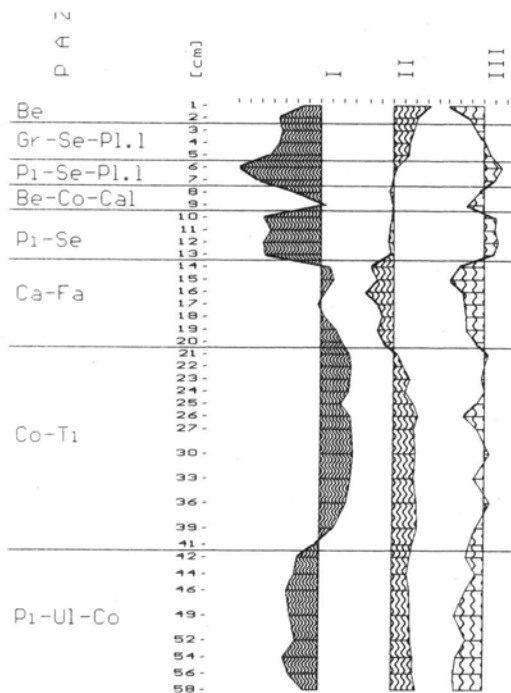
Dobór czynników liczbowych jest dokonywany w PCA według następującej zasady: pierwsza składowa główna zawierać powinna jak największą część informacji zawartej we wszystkich taksonach, druga i kolejne składowe główne powinny również zawierać maksymalną ilość informacji, jednak przy zachowaniu dodatkowego warunku niezależności (nieskorelowania) od wcześniej obliczonych składowych. W podanym przykładzie trzy kolejne składowe główne zawierają odpowiednio 49%, 25% i 10% informacji (zmienności = wariacji) zawartej we wszystkich taksonach, które zostały wykorzystane w analizie PCA.

Sens botaniczny składowych głównych wynika z czynników  $a_i$ , wkładów jakie wnoszą do nich poszczególne taksony. I tak, pierwsza składowa, w której największy udział ma *Corylus*, a podobny udział lecz z przeciwnym znakiem ma

Tabela 3. Czynniki  $a_i$ ; wkłady taksonów do trzech składowych głównych. Pierwsza i druga składowa przedstawione są również semigraficznie.

Table 3. Factors  $a_i$ ; loading of taxa to the three principal components. The first and the second component are shown semi-graphical too.

	I	II	III	-   +	-   +
<i>Betula</i>	0.21	0.38	-0.61	**	**
<i>Carpinus betulus</i>	0.03	-0.54	-0.13		***
<i>Fagus sylvatica</i>	-0.03	-0.49	-0.04		***
<i>Fraxinus</i>	0.16	0.01	0.22	*	
<i>Pinus</i>	-0.52	-0.01	0.14	***	¥
<i>Quercus</i>	0.20	-0.17	0.21	**	*
<i>Tilia</i>	0.18	-0.01	0.15	*	
<i>Corylus avellana</i>	0.61	0.14	0.50	***	*
<i>Calluna vulgaris</i>	0.32	-0.43	-0.35	**	***
<i>Gramineae</i>	-0.16	0.25	0.02	*	**
<i>Plantago lanceolata</i>	-0.15	-0.12	0.15	*	*
<i>Rumex acetosella</i>	-0.12	-0.06	0.11	*	
<i>Secale cereale</i>	-0.19	-0.09	0.26	*	
<i>Triticum type</i>	-0.05	0.01	0.02		



Ryc. 8. Diagram kombinacji liniowych taksonów otrzymanych w analizie składowych głównych. Współczynniki wkładów taksonów do I, II i III składowej podane są w tabeli 3. Składowe zawierają odpowiednio 49%, 25% i 10% informacji zawartej we wszystkich uwzględnionych w analizie taksonach.

Fig. 8. Diagram of linear combination of taxa obtained by PCA. Loadings of taxa to the I, II, III component are given in Table 3. Components comprise 49%, 25% and 10% variance respectively.

*Pinus* może mieć następującą interpretację. Obydwa taksony wskazują na przeciwstawne warunki, które umożliwiają rozwój lasów liściastych z leszczyną (dębem, lipą, jesionem i brzoza) albo rozwój lasów sosnowych. Drugą składową, w której największe znaczenie mają *Carpinus* i *Fagus*, a z przeciwnym znakiem *Betula* i *Gramineae*, można wiązać z postępującą sukcesją lasów grabowych i bukowych na teryny zajęte dotychczas przez łąki i zarośla (lasy) brzozowe. Trzecia składowa główna, która statystycznie ma już dość małą wagę, mogłaby mieć następujące wyjaśnienie. Przeciwność *Betula* i *Corylus* może wynikać z tego, że w zo-

nie Pi-Ul-Co lasy budowały głównie sosna i brzoza, a leszczyna dopiero zaczynała wchodzić w ich skład. Natomiast w zonie Be jedynie brzoza mogła pozostać na badanym stanowisku po ustąpieniu pozostałych drzew.

Diagram składowych głównych (Ryc. 8) wskazuje jednocześnie na granice, gdzie zaszły istotne zmiany w zachowaniu *quasi*-taksonów potwierdzając podział diagramów wykonany na podstawie analizy ekologicznych wymagań taksonów oznaczonych w profilu.

Zasadniczą cechą analizy składowych głównych jest kompresja informacji. W powyższym przykładzie prawie połowa informacji zawartej w 14 taksonach została zmieszczona w jednym *quasi*-taksonie. Fakt, że dało się utworzyć kombinację liniową zawierającą tak dużą część informacji świadczy o dość dużej tzw. redundancji danych wyjściowych, czyli o powtarzaniu się tej samej informacji w wielu taksonach. Co oczywiście nie jest niczym zaskakującym.

## ZAKOŃCZENIE

Istotą niniejszej pracy jest zachęcenie palinologów do rysowania wielu różnych diagramów, właśnie teraz, gdy za sprawą komputerów stało się to o wiele mniej skomplikowane i pracochłonne.

Nie wszystkie wydrukowane lub nawet tylko wyświetlone na ekranie diagramy, muszą być wykorzystane w publikacji. Warto jednak, by autor zobaczył różne możliwości i dopiero później dokonał selekcji.

## PODZIĘKOWANIE:

Autorzy dziękują prof. dr hab. Magdalenie Ralskiej-Jasiewiczowej za stymulację rozwoju metod komputerowych w Instytucie Botaniki PAN, którego jednym ze skutków jest powstanie tej pracy oraz prof. dr hab. Krystynie Wasylikowej za zachęcenie do napisania artykułu i krytyczne przeczytanie tekstu, za co również dziękujemy mgr Ewie Madeyskiej.

## LITERATURA

- [1] AABY B. 1983 Forest development, soil genesis and human activity illustrated by pollen and hypha analysis of two neighbouring podzols in Draved Forest, Denmark. *Geol. Surv. of Denm., II*, **114**: 3–116.
- [2] ANDERSEN S. Th. 1970 The relative pollen productivi-

- ty and pollen representation of North European trees. *Danm. Geol. Unders. II*, **96**: 1–99.
- [3] ANDERSEN S. Th. 1973 The differential pollen productivity of trees and its significance for the interpretation of a pollen diagram from a forested region. W: H. J.B. BIRKS and R. W. WEST (red.), *Quaternary plant ecology. 14th symp. Brit. Ecol. Soc., Univ. of Cambridge* **1**: 103–115.
- [4] ANDERSEN S. Th. 1980 The relative pollen productivity of the common forest trees in the early Holocen in Denmark, *Danm. Geolog. Undersog., Arbog* 1979: 5–19.
- [5] BENNETT K. D. 1990 Pollen counting on a pocket computer. *New Phytol.* **114**: 275–280.
- [6] BIRKS H. J.B. 1986 Numerical zonation, comparison and correlation of Quaternary pollen – stratigraphical data: 743–774 W: B. BERGLUND (red.) *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. Wiley & Sons, Chichester – New York – Brisbane – Toronto – Singapore, ss. 869.
- [7] DYAKOWSKA J. 1959 Podręcznik palynologii, metody i problemy. Wyd. Geol., Warszawa, ss. 325.
- [8] FAEGRI K., IVERSEN J. 1989 Textbook of Pollen Analysis, 4th Edition by K. FAEGRI, P. E. KALAND and K. KRZYWIŃSKI. Wiley & Sons, Chichester – New York – Brisbane – Toronto – Singapore, ss. 328.
- [9] GOERY C. 1992 GPAL3, a program for pollen data management including displaying and correlation. 8th Intern. Palyn. Congress, Aix-en-Provence, Sept. 6–12, 1992, *Program and Abstracts*: 53.
- [10] KRAJEWSKI WŁ. 1993 Postulat racjonalności w nauce i filozofii. *Problemy* **2**: 11–13.
- [11] LATAŁOWA M., NALEPKA D. 1987 A study of the Late-Glacial and Holocene vegetational history of the Wolbrom area. (Silesian-Cracovian Upland – S. Poland). *Acta Palaeobot.* **27**(1): 75–115.
- [12] MAHER L. J. 1993 Material available by ANONYMOUS FTP from GEOLOGY. WISC. EDU. INQUA-Commission for the Study of the Holocene, Working group on Data-Handling Methods, *Newsletter* **9**: 18–19.
- [13] MAKOHONIENKO M., WALANUS A. 1991 Analizy numeryczne wyników badań palinologicznych osadów Jeziora Lednickiego. W: K. Tobolski (red.) *Wstęp do Paleokologii Lednickiego Parku Krajobrazowego*, Wyd. Nauk. UAM, Poznań: 71–79.
- [14] MORRISON D. F. 1990 Wielowymiarowa analiza statystyczna, PWN.
- [15] NALEPKA D., WALANUS A., 1989, Amstrad microcomputer as a counter for pollen and spores in pollen analysis. *Zesz. Nauk. Pol. Śląskiej, Ser. Mat.-Fiz., Geochronometria* **58**: 87–90.
- [16] NALEPKA D. 1992 Terrestrial pollen profile from Niepołomice Forest, South Poland. 8th Intern. Palyn. Congress, Aix-en-Provence, Sept. 6–12, 1992, *Program and Abstracts*: 106.
- [17] NORYSKIEWICZ B., 1987 History of vegetation during the Late-Glacial and Holocene in the Brodnica Lake District in the light of pollen analysis of Lake Strażym deposits. *Acta Palaeobot.* **27**(1): 283–304.
- [18] PRENTICE I. C. 1986 Forest-composition calibration of pollen data. W: B. BERGLUND (red.) *Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*, 39: 799–816, Wiley & Sons, Chichester – New York, Brisbane, Toronto, Singapore, ss. 869.
- [19] RALSKA-JASIEWICZOWA M., WALANUS A., 1989, Projekt palinologicznej bazy danych. *Zesz. Nauk. Pol. Śląskiej, Ser. Mat.-Fiz., 61, Geochronometria* **6**: 189–192.
- [20] RALSKA-JASIEWICZOWA M., WALANUS A., 1991, Polish palynological database (POLPAL) in course of building. INQUA-Commission for the Study of the Holocene, Working Group on Data-Handling Methods, *Newsletter* **5**.
- [21] STOCKMARR J. 1971 Tablets with spores used in absolute pollen analysis. *Pollen et Spores*, **13**(4): 615–621.
- [22] TOBOLSKI K., 1987 Holocene vegetational development based on the Kluki reference site in the Gardno-Łeba plain. *Acta Palaeobot.* **27**(1): 179–222.
- [23] WALANUS A., 1989, Saving computer memory in storing tables of pollen counts, *Pollen et Spores*, **31**(1–2): 161–164.
- [24] WALANUS A., 1989, Komputerowa baza danych tabel zliczeń ziarn pyłku roślin lub innych szczątków. *Wiad. Bot.* **39**(3/4) (w druku).
- [25] Zasady polskiej klasyfikacji, terminologii i nomenklatury stratygraficznej czwartorzędu. 1988. Instrukcje i metody badań geologicznych, 47, Warszawa, Wyd. Geol., ss. 64.