

# **Skład mineralno-litologiczny jako podstawa do określenia źródła i wskaźnik stopnia eolizacji osadów wydmych\***

Andrzej Barczuk

Instytut Geochemii, Mineralogii i Petrologii  
Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski  
e-mail: a.barczuk@uw.edu.pl

Maciej Dłużewski

Instytut Nauk Fizycznogeograficznych  
Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Uniwersytet Warszawski  
e-mail: dluzewski@uw.edu.pl

Analiza składu mineralno-litologicznego jest bardzo pomocna w określaniu źródła osadów wydmych, charakteru środowiska sedymentacji oraz czasu trwania procesów eolicznych. Wiąże się to ze specyfiką transportu materiału wydmych, który podlega najsilniejszej abrazji w wyniku procesów eolicznych (Kuenen, Perdok 1960), prowadzących jednocześnie do zróżnicowania składu mineralno-litologicznego osadów wydmych. Charakterystyczne dla środowiska eolicznego zmiany składu mineralno-litologicznego pozwalają na interpretację badanych procesów. W osadach podlegających procesom eolicznym wyraźnie zaznacza się, w miarę trwania procesu, przewaga minerałów odpornych na abrazję mechaniczną nad minerałami nie odpornymi (Mycielska-Dowgiałło 1995, Racinowski 1995).

Badania osadów wydmych i osadów podłoża na obszarze Coude du Dra (ryc. II) prowadzono analizując skład mineralno-litologiczny, wyróżniając w nim do odrębnej analizy grupę minerałów ciężkich.

## **Metody badań**

Podstawową metodą badań osadów omawianego obszaru, mającą na celu określenie ich składu mineralno-litologicznego (w tym składu minerałów ciężkich), była analiza mikroskopowa tzw. preparatów proszkowych. Metoda ta jest powszechnie stosowana w petrologii skał osadowych (Barczuk 1992, Berendsen, Barczuk 1993, Barczuk, Tatur 1999, Barczuk, Wyrwicki 1999, Kosmowska-Ceranowicz, Buchmann 1982), a szczególnie szerokie zastosowanie znajduje przy badaniach osadów, które podlegały procesom eolicznym (Chlebowski, Lindner 1975, 1976, 1992, Chlebowski i in. 2002, Mycielska-Dowgiałło 1995, 2001).

Skład mineralno-litologiczny analizowany był na próbkach frakcji piaszczystej nie rozdzielonych na poszczególne frakcje ze względu na duże zróżnicowanie frakcjonalne poszczególnych składników badanych osadów. Skład minerałów ciężkich badany był natomiast we frakcji 0,2 mm – 0,1 mm ( $2,32 \Phi - 3,32 \Phi$ ) (Mycielska-Dowgiałło 1980), po rozdzieleniu osadu w bromoformie, płynie o gęstości równej 2,88 g/cm<sup>3</sup>.

Próbki materiału pobranego do analiz laboratoryjnych były wstępnie, przed wykonaniem z nich preparatów proszkowych, przeanalizowane pod lupą binokularną w celu oznaczenia składu mineralno-litologicznego frakcji zwirowej, zawierającej znacznie większe ziarna od pozostałych.

Preparaty proszkowe wykonano umieszczając próbki na mikroskopowym szkiełku podstawowym, a następnie zatapiając je w balsamie kanadyjskim. Preparat zabezpieczano szkiełkiem nakrywkowym. Kilka próbek zawierających fazy mineralne trudne do rozpoznania mikroskopowego w świetle spolaryzowanym

---

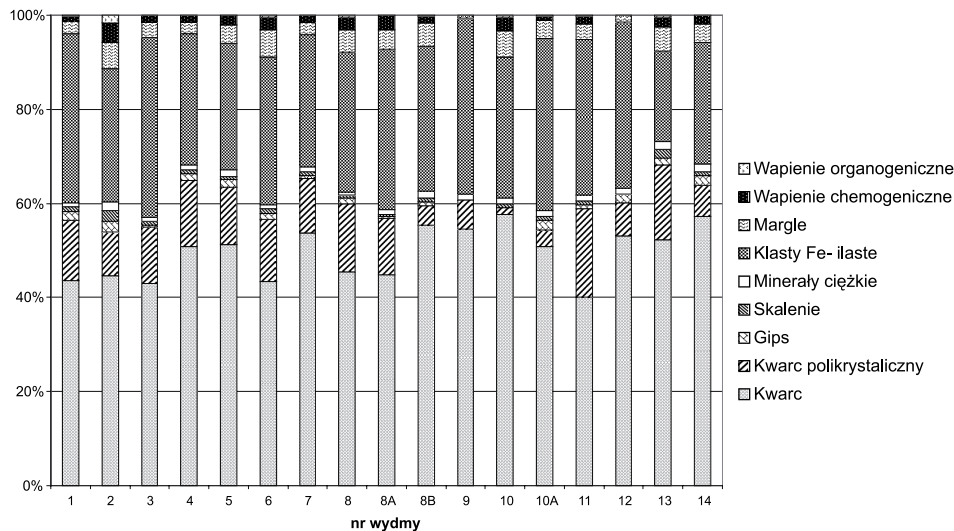
\* Artykuł publikowany w książce pt.: Współczesna ewolucja środowiska przyrodniczego regionu Coude du Dra (Maroko) i jej wpływ na warunki życia ludności pod redakcją Macieja Dłużewskiego, Wydawnictwo Akademickie Dialog, Warszawa 2003, s. 103–119.

zatopiono w żywicy epoksydowej. Spolimeryzowany preparat szlifowano do grubości około 0,03 mm i polerowano bardzo drobnymi pastami polerskimi. Tak wykonane próbki poddano analizie mikroskopowej w świetle odbitym.

Preparaty proszkowe wykonane z pobranych próbek przeanalizowano pod kątem struktury, tekstury i składu mineralnego przy zastosowaniu różnorodnych technik mikroskopii polaryzacyjnej i skaningowej, opisanych m.in. przez Borkowską i Smulikowskiego (1973). W celu uzyskania pełnej identyfikacji litoklastów oraz poszczególnych minerałów analizowano takie cechy optyczne minerałów jak: pokrój, łupliwość, barwę własną, pleochroizm, współczynniki załamania światła, dwójłomność, kąt wygaszania światła, osiowość, znak optyczny itp. W celu określenia środowiska transportu i sedymentacji materiału detrytycznego badano także stopień obtoczenia i wysortowania ziaren oraz charakter ich powierzchni.

### Analiza wyników badań składu mineralno-litologicznego

W badanych osadach wyróżniono szereg składników mineralnych (kwarc, gips, skalenie i minerały ciężkie) i składników litycznych, czyli litoklastów (różnorodne wapienie, margle i klasty żelazisto-ilaste) (ryc. 1).



Ryc. 1. Skład mineralno-litologiczny osadów wybranych form wydmych (frakcja piaszczysta).

### Składniki mineralne

#### Kwarc

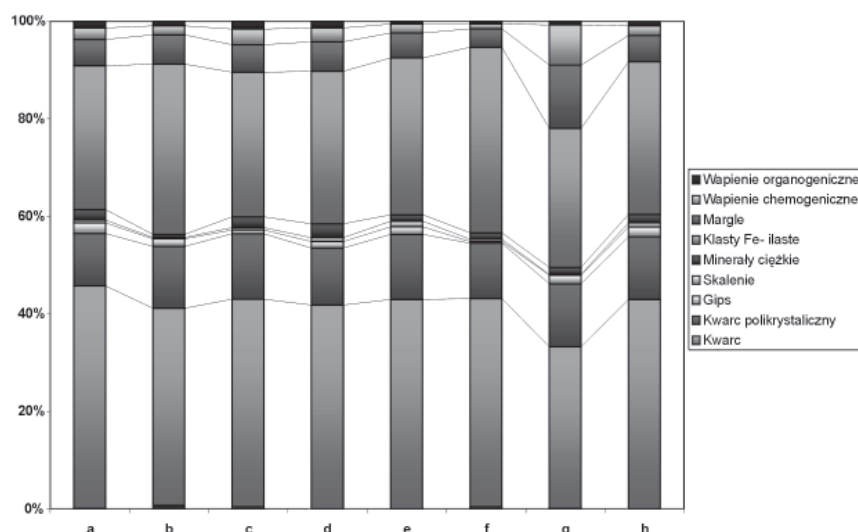
Podstawowe znaczenie dla wnioskowania o stopniu eolizacji osadów wydmych ma analiza udziału procentowego ziaren kwarcu, który wzrasta w miarę trwania procesu eolicznego, w związku z dużą odpornością kwarcu na proces abrazyj mechanicznej. W kilkusetletnich formach wydmych występujących na obszarze Sahary stwierdzono ponad 90%, a często prawie 100%, udział kwarcu (Coque 1962, Pietrow 1976). Ponadto, zmienność procentowej zawartości kwarcu jest dobrym wskaźnikiem odległości osadów wydmych od ich źródła. Spadek procentowego udziału kwarcu w miarę przemieszczania się wydmy wskazuje na miejscowe źródło materiału wydmych (Barczuk, Dłużewski 2001).

Kwarc może być transportowany na bardzo duże odległości, przez co jest bardzo dobrym wskaźnikiem tzw. dojrzałości mineralogicznej osadów. Bardzo duża zawartość kwarcu w osadzie, w połączeniu z charakterystycznym składem minerałów ciężkich oraz innymi cechami teksturalnymi, może świadczyć o wielokrotnej redepozycji materiału detrytycznego. Materiał o takich cechach mógł przejść nawet kilka cykli sedymentacyjno-diastraficznych. Wynika to m. in. z faktu, że wszystkie składniki mało odporne zostają w tych procesach usunięte z osadu, przez co następuje względne wzbogacenie osadu w składniki

najbardziej odporne, a zwłaszcza w kwarc. Natomiast, ze względu na bardzo jednorodny charakter mineralogiczno-geochemiczny, kwarc nie jest dobrym wskaźnikiem pochodzenia materiału detrytycznego.

Kwarc jest najpospolitszym składnikiem mineralnym większości badanych próbek. Jego ziarna cechuje duża zmienność rozmiarów i stopnia obtoczenia. Przeważają ziarna o frakcji piaszczystej i pyłowej, ale w wielu próbkach występują też ziarna frakcji iłowej. Charakterystyczną cechą piasków jest fakt, że nielicznie występujące większe ziarna kwarcu są z reguły, z uwagi na transport w procesie saltacji, dobrze obtoczone, podczas gdy ziarna frakcji pyłowej są przeważnie ostrokrawędziste, z uwagi na transport w zawieszynie. Ziarna kwarcu są na ogół czyste, bez wrostków i zanieczyszczeń. Tylko niektóre zawierają inkluzje ciekło-gazowe lub wrostki związków żelaza czy minerałów ilastych.

Zawartość kwarcu w osadach wydmowych wynosi około 50%, zarówno na całym obszarze objętym badaniami (ryc. 1), jak i w szczególności, w profilu podłużnym najwyższych form wydmowych (ryc. 2). Udział procentowy kwarcu jest więc stosunkowo mały w porównaniu z występującym w dojrzałych saharijskich formach wydmowych. Świadczy to o krótkotrwałości procesów eolicznych, którym podlegał materiał budujący formy wydmore.



Ryc. 2. Skład mineralno-litologiczny osadów wydmowych pobranych z profilu podłużnego – wydma nr 8 (frakcja piaszczysta); a – reg (strona dowietrzna), b – podstawa stoku dowietrznego, c – środek stoku dowietrznego, d – wierzchołowa, e – góra stoku zawietrznego, f – środek stoku zawietrznego, g – dół stoku zawietrznego, h – reg (strona zawietrzna).

Osady podłoża są znacznie bardziej zróżnicowane pod względem zawartości kwarcu. Wydaje się, że zmienność ta wiąże się z lokalną różnorodnością procesów akumulacyjnych materiału budującego podłoża. Na obszarze dna jeziora epizodycznego zawartość kwarcu w podłożu wynosi tylko 1,9% (wkop nr 1), natomiast na obszarze den koryt epizodycznych wzrasta do 68,2% (wkop nr 12). Znaczną jednorodność osadów wydmowych w stosunku do osadów podłoża można tłumaczyć dużą dynamiką procesu sortowania osadu, jakiemu osady wydmore mogły podlegać wyłącznie w wyniku działania procesów eolicznych.

#### Kwarc polikrystaliczny

Kwarc polikrystaliczny stanowi wyodrębniającą się grupę klastów o frakcji od piaszczystej do żwirowej, charakteryzującą się mozaikową budową poszczególnych ziaren. Obecność kwarcu polikrystalicznego w osadzie ma podobne znaczenie, gdy chodzi o rozważania genetyczno-środowiskowe, jak obecność kwarcu monokrystalicznego. Obydwe te odmiany kwarcu cechuje podobna odporność na niszczące czynniki transportu i wietrzenia. Jedynie niektóre typy kwarcu polikrystalicznego są nieco mniej odporne niż kwarc monokrystaliczny, ale różnica jest niewielka. Ustalenie obszaru alimentacyjnego tego składnika jest możliwe jedynie w przypadku prawidłowego zidentyfikowania jego genezy, tzn. odróżnienia kwarcu metamorficznego od żyłowego (hydrotermalnego).

Udział procentowy kwarcu polikrystalicznego w osadach wydmowych wynosi od 1,5% do 14%, natomiast w osadach podłoża jest zdecydowanie niższy, śladowy lub sięgający najwyżej kilku procent.

To duże zróżnicowanie w osadach wydmych i osadach podłoża jest związane z genezą tego rodzaju kwarcu. Duży udział procentowy kwarcu polikrystalicznego może być skutkiem występowania lokalnych wychodni kwarcytów lub kwarcu żyłowego. Chociaż składnik ten cechuje porównywalna z kwarcem odporność na abrazję mechaniczną, to jego udział procentowy w badanych osadach nie może być elementem wskaźnikowym czasu trwania procesów eolicznych, ze względu na wspomniane wyżej duże zróżnicowanie występowania kwarcu polikrystalicznego w osadach źródłowych.

### Gips

Gips jest typowym minerałem ewaporatowym. Tworzy się w okresowych, często wysychających, a więc wysoko zasolonych, zbiornikach wodnych. Jest bardzo podatny na czynniki fizyczne i chemiczne wietrzenia i transportu, przez co jest dobrym wskaźnikiem bliskości obszarów alimentacyjnych. Jego obecność wskazuje na erodowanie blisko położonych, specyficznych utworów ewaporatowych, które musiały powstać w niezbyt odległej przeszłości. Występowanie gipsu w osadach wydmych świadczy o ich stosunkowo młodym wieku.

W znacznej części badanych osadów wydmych zawartość gipsu nie przekracza kilku procent, co wiąże się z jego nietrwałością i małą odpornością na abrazję mechaniczną oraz wietrzenie chemiczne. Ze względu na mały udział procentowy gipsu w osadach wydmych, trudno jest przyjmować ten minerał za wskaźnikowy dla środowiska badanego obszaru.

### Skalenie

Skalenie są dość podatne na niszczące czynniki transportu, przez co uważa się je za wskaźniki niezbyt odległych obszarów alimentacyjnych, jednak podobnie jak gipsy, występują one w badanych osadach wydmych w niewielkiej ilości. Najczęściej reprezentowane są przez mikroklin, rzadziej pertyty ortoklazowe, a bardzo rzadko – kwaśny plagioklaz. Skalenie są zwykle lekko zmienione (kaolinityzacja i serycytyzacja), chociaż w badanych osadach wystąpiły również ziarna zupełnie świeże.

### Składniki lityczne

#### Klasy żelazisto-ilaste

Najbardziej prawdopodobnym źródłem tych utworów są niewielkie efemeryczne zbiorniki wodne, powstające epizodycznie w wyniku występujących bardzo rzadko, ale za to nagłych i obfitych opadów deszczu. Wody spływające do lokalnych zagłębień terenu nanoszą do nich drobny materiał detrytyczny, zabarwiony na czerwono od rozproszonych związków żelaza, występujących pospolicie w silnie utleniających warunkach pustynnych. Powstające w taki sposób klasy żelazisto-ilaste są bardzo dobrymi wskaźnikami, zarówno środowiska panującego w miejscach ich powstawania jak i, z powodu bardzo małej odporności na proces abrazji mechanicznej, wskaźnikami krótkiego transportu jakiego podlegał dany osad.

Klasy żelazisto-ilaste występują w badanych osadach w postaci brunatnych agregatów, wykazujących często równoległą, łupkową teksturę lub rzadziej – bezkierunkową. Większość tych klastów można określić jako zażelazone łupki ilaste, a pozostałą część stanowią żelaziste ilowce. W nielicznych klastach można zaobserwować cechy wskazujące, że mogą być one produktami bardzo silnego wietrzenia i rozkładu glaukonitu lub biotyty.

Średni udział klastów żelazisto-ilastych w badanych osadach wydmych wynosi około 30%. Mniejszą zawartością odznaczają się osady wydmy położone w północnej części badanego obszaru, czyli w rejonie podgórskim (wydma 4 – 27,9%, wydma 5 – 26,9% i wydma 13 – 19,3%). Większą zawartością klastów żelazisto-ilastych cechują się natomiast osady wydmy znajdujące się na obszarach den jezior epizodycznych oraz na obszarach starorzeczy występujących w dnach dolin rzek epizodycznych (wydma 1 – 35,9%, wydma 3 – 38,2%, wydma 9 – 37,2%, wydma 10A – 36,6% i wydma 12 – 35,3%). Tak duża zawartość bardzo nietrwałych klastów żelazisto-ilastych w osadach wydmych świadczy o bardzo krótkim transporcie materiału.

Szczególnie bogate w klasy żelazisto-ilaste są utwory podłoża, gdzie ich zawartość dochodzi do 97% (wkop nr 1 – dno jeziora Iriqui).

Jak zaznaczono, klasy żelazisto-ilaste mają bardzo małą odporność na czynniki niszczące, a ich wysoki udział procentowy w osadach wydmych wskazuje, że muszą one pochodzić z pobliskich obszarów alimentacyjnych. Co więcej, charakter tego składnika, właściwy dla osadów podłoża powstających

w wyniku akumulacji w środowisku jeziornym lub fluwialnym, pozwala na stwierdzenie, że źródłem przeważającej części badanych osadów wydmowych jest obszar Coude du Dra.

### Margle

Margle cechują się bardzo małą odpornością mechaniczną i chemiczną. Pochodzą one prawdopodobnie z wapiennych formacji występujących w bezpośrednim sąsiedztwie badanego obszaru, a mianowicie w jego północnym obrzeżeniu. Niewykluczone jednak, że niektóre mniejsze okruchy, a więc i najlżejsze z nich, mogły zostać przyniesione z terenów położonych w nieco większej odległości.

Margle występujące w badanych osadach tworzą urozmaiconą grupę litoklastów. Przeważają wśród nich dość dobrze obtoczone okruchy frakcji piaszczystej o zabarwieniu szarym i szarobrunatnym, składające się z mieszaniny drobnokrystalicznych lub mikrytowych węglanów i minerałów ilastych. Proporcje między wymienionymi składnikami są trudne do ustalenia na podstawie analizy mikroskopowej. Większość klastów ma wyraźnie równoległą, łupkową teksturę, przez co można je określić jako łupki margliste. Pozostałe to typowe margle o bezkierunkowej teksturze.

Udział procentowy margli w osadach wydmowych cechuje duże zróżnicowanie, przy maksymalnej wartości wynoszącej 6% (wydma nr 8).

Znaczne wzbogacenie w margle (do 13%) występuje jedynie u podstawy stoku zawietrznego najwyższych form wydmowych (ryc. 2). Wydaje się, że jest ono związane z charakterem transportu jakiego podlegają tego typu okruchy o niewielkiej masie. W przeciwieństwie do ziaren o większej masie objętościowej i innej budowie, np. ziaren kwarcu, są one transportowane w procesie unoszenia, a przy nieznacznym prędkościach wiatru – w procesie toczenia lub wleczenia. Nie podlegają natomiast, ze względu na budowę i małą masę, procesowi saltacji. Po zawietrznej stronie wydmy następuje gwałtowny spadek prędkości wiatru, a w związku z tym siły nośnej, co powoduje opadanie okruchów margli bezpośrednio za górną krawędzią wydmy i następnie ich osypywanie po stoku zawietrznym ku podstawie.

W osadach podłoża występuje jeszcze większe zróżnicowanie procentowego udziału margli (od 0% do 11,6%) związane z dostawą tego składnika poprzez epizodyczny transport fluwialny.

Klasy wszystkich odmian margli stanowią niewątpliwie materiał lokalny, gdyż są bardzo mało odporne na niszczące czynniki transportu. Wyniki badań potwierdzają, również w tym przypadku, wcześniejsze wnioski o krótkotrwałości transportu materiału wydmowego.

### Wapienie chemogeniczne

Wapienie chemogeniczne reprezentowane są przez piaszczyste lub rzadziej – żwirowe okruchy, zbudowane z hipautomorficznego lub ksenomorficznego, sparytowego kalcytu. Niekiedy spotyka się też pojedyncze, automorficzne lub quasi-okrągłe ziarna bezbarwnego kalcytu. Rzadziej w piaskach wydmowych występują litoklasty wapieni mikrytowych, a zupełnie sporadycznie – charakterystyczne, automorficzne romboedry o pasowej budowie, składające się z kalcytowego jądra i cienkiej, dolomitowej obwódki.

Udział procentowy wapieni chemogenicznych w badanych osadach wydmowych wynosi do 4,2% (wydma nr 2). Podobnie jak w przypadku margli, udział ten wzrasta (do 8,3%) u podstawy stoku zawietrznego najwyższej wydmy (wydma nr 8) (ryc. 2). Specyficzna budowa i mała masa objętościowa wapieni chemogenicznych wskazuje, że ten relatywny wzrost udziału jest skutkiem podobnego mechanizmu, jaki został opisany w przypadku margli.

Niska zawartość okruchów wapieni chemogenicznych, mało odpornych na czynniki niszczące transportu, stanowi kolejne potwierdzenie tezy o niewielkiej odległości źródła materiału budującego badane formy wydmore.

### Wapienie organogeniczne

Wapienie organogeniczne występują w ilościach śladowych lub nie występują wcale; są reprezentowane przez niezbyt liczną i mało urozmaiconą grupę mikrytowych lub drobnosparytowych litoklastów, zawierających mniej lub bardziej zrekrystalizowane szczątki różnych organizmów wapiennych. Większość z nich jest niezwykle trudna do identyfikacji z powodu złego stanu zachowania i silnego pokruszenia. Wśród nielicznych form, które udało się rozpoznać, można wymienić źle zachowane otwornice i ślimaki a ponadto, wydłużone struktury organiczne przypominające szczątki muszli mięczaków. Niestety, z powodu silnej rekrystalizacji trudno jest ustalić ich dokładniejszą pozycję klasyfikacyjną. Pojedyncze okruchy

innych skał węglanowych są zapewne fragmentami zrekrytalizowanych wapieni algowych. Kolejna, dość duża grupa bioklastów jest tak silnie zmieniona, że ich identyfikacja jest niemożliwa.

#### Inne składniki

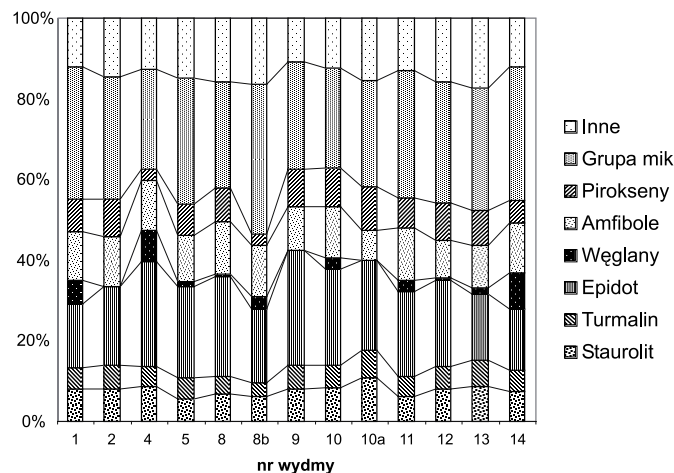
Do innych składników zaliczono pojedyncze okruchy skał, znajdujące w poszczególnych próbkach pobranych z najwyższej wydmy (wydma nr 8). Należą do nich: łupek kwarcowo-grafitowy, chalcedon oraz agat o charakterystycznej, pasiastej teksturze, zbudowany z cienkich, naprzemianległych warstw chalcedonu, zabarwionego zmienną ilością pigmentu żelazistego.

#### Minerały ciężkie

Do grupy minerałów ciężkich zalicza się minerały o gęstości większej niż  $2,88 \text{ g/cm}^3$ . Skład minerałów ciężkich badany był we frakcji 0,2 mm - 0,1 mm ( $2,32 \Phi - 3,32 \Phi$ ) (Mycielska-Dowgiałło 1980), po rozdzieleniu osadu w bromoformie, płynie o gęstości równej  $2,88 \text{ g/cm}^3$ .

Analiza wyników badań zawartości minerałów ciężkich w osadach wydmy i w osadach podłoża jest również bardzo pomocna w określeniu źródła materiału wydmy i czasu trwania procesów eolicznych. Głównymi czynnikami wskazującymi na czas trwania procesów eolicznych (tym samym na stopień przekształcenia osadów źródłowych w eoliczne) są: zawartość minerałów o określonej odporności na abrazję, pokrój ziaren, zróżnicowanie gęstości oraz odporność na wietrzenie chemiczne.

Analiza mikroskopowa wykazała, że w niektórych próbkach występuje niespotykana duża zawartość minerałów ciężkich z wyraźnie zaznaczającą się przewagą minerałów nieprzezroczystych. Wśród minerałów przezroczystych, odpornych na abrazję mechaniczną, dużym udziałem procentowym cechują się zwłaszcza epidoty a ponadto staurolit i turmalin. Zastanawiająca jest przy tym bardzo mała zawartość minerałów najbardziej odpornych: cyrkonu i rutyłu, a także granatu – minerału o stosunkowo dużej odporności na abrazję mechaniczną i o średniej odporności na wietrzenie chemiczne (ryc. 3).

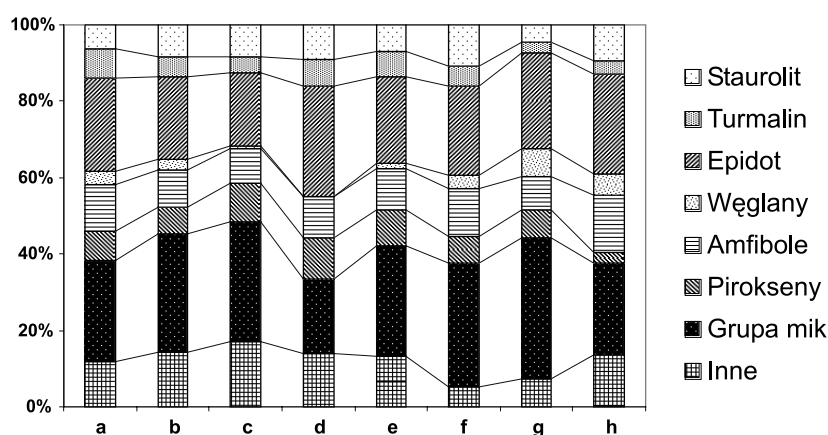


Ryc. 3. Skład wybranych minerałów ciężkich osadów wybranych form wydmy (frakcja 0,2 – 0,1 mm ( $2,32 \Phi - 3,32 \Phi$ )).

Wśród minerałów mało odpornych na abrazję mechaniczną i wietrzenie chemiczne przeważają amfibole i pirokseny. Stosunkowo dużą zawartością cechuje się grupa minerałów ciężkich o budowie blaszkowej (biotyt, chloryt, muskowit), wśród których zdecydowanie przeważa biotyt. Niektóre próbki zawierają śladowe ilości zwietrzałego w różnym stopniu glaukonitu. Sporadycznie występują ponadto: andaluzyt, apatyt, węglany, cyjanit (dysten), fosforyt i syllimanit. Nie znaleziono natomiast zupełnie monacytu i sfenu (tytanitu).

Znaczny udział procentowy minerałów ciężkich mało odpornych na proces abrazji mechanicznej, a w szczególności brak widocznej różnicy w ich udziale procentowym w osadach podłoża i osadach wydmy, świadczy o niskim stopniu eolizacji osadów wydmy.

Spośród minerałów ciężkich najbardziej odpornych na abrazję mechaniczną, największy udział procentowy, wynoszący w osadach wydmych na ogół około 20% (minimalnie 15% i maksymalnie 28,7%), mają epidoty. Należy jednak podkreślić, iż duża zawartość epidotu w osadach wydmych nie jest związana ze wzbogaceniem tych osadów w wyniku działalności procesów eolicznych lecz z dużym udziałem procentowym tego minerału w osadach podłoża. Nieznaczny wzrost zawartości epidotu wraz ze wzrostem wysokości formy wydmy można zauważyć analizując zmienność udziału procentowego wzdłuż profilu podłużnego, tylko najwyższych spośród badanych form (np. wydma nr 8 – ryc. 4). Pozostałe minerały, uważane za odporne na abrazję, w badanych osadach wydmych nie występują lub występują w ilościach śladowych.



Ryc. 4. Skład wybranych minerałów ciężkich osadów wydmych pobranych z profilu podłużnego – wydma nr 8 (frakcja 0,2 – 0,1 mm ( $2,32 \Phi - 3,32 \Phi$ )); a – reg (strona dowietrzna), b – podstawa stoku dowietrznego, c – środek stoku dowietrznego, d – wierzchowina, e – góra stoku zawietrznego, f – środek stoku zawietrznego, g – dół stoku zawietrznego, h – reg (strona zawietrzna).

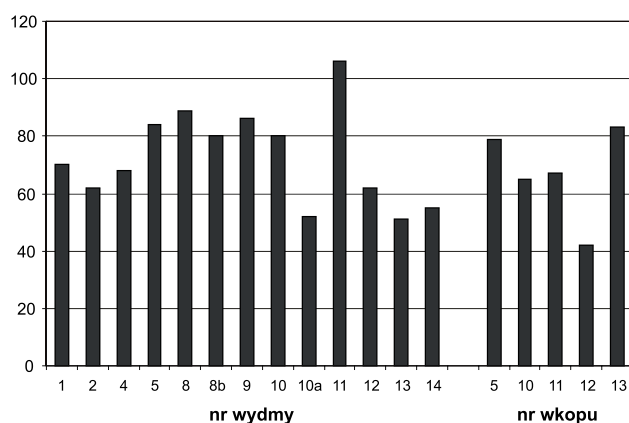
Amfibole i pirokseny mają stosunkowo wysoki udział procentowy w badanych osadach wydmych, wynoszący w przypadku amfiboli od 8,8% do 13,1%, a piroksenów od 7,1% do 9,1%, przy czym zaznacza się niewielka tendencja wzrostu ich udziału w profilu podłużnym najwyższych form wydmy, wraz z ich wysokością.

Spośród minerałów z grupy mik, które charakteryzują się spadkiem udziału procentowego wraz ze wzrostem czasu trwania procesów eolicznych, w badanych osadach wydmych występuje biotyt i chloryt, a muskowit występuje co najwyżej w ilościach śladowych. Zawartość biotytu w osadach podłoża wynosi na ogół ponad 20%, natomiast w osadach wydmych jest przeważnie o kilka procent niższa i na ogół nie przekracza 20%. Zawartość chlorytu w osadach wydmych jest również znacząca i wynosi od 7,7% do 14,7%.

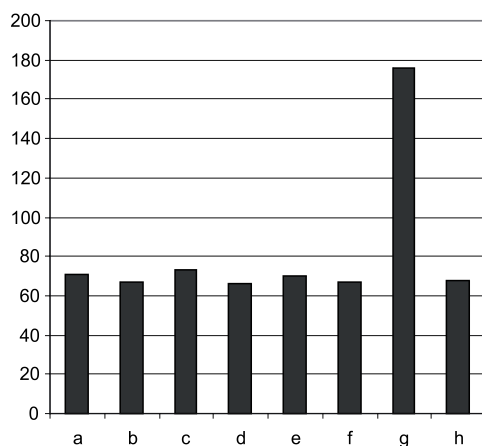
Zmienność udziału procentowego minerałów z grupy mik zaznacza się, podobnie jak w przypadku dotychczas analizowanych minerałów ciężkich, jedynie w profilu podłużnym najwyższych wydmy. Wraz ze wzrostem wysokości wydmy wzdłuż jej profilu udział procentowy tej grupy minerałów nieznacznie maleje, osiągając w strefie wierzchowinowej wyraźnie niższą wartość wynoszącą 19,5% (ryc. 4). Można przypuszczać, że zmienność ta związana jest ze znacznym wzrostem prędkości wiatru w strefie wierzchowinowej szczególnie wysokich wydmy, które stanowią istotną przeszkodę morfometryczną dla przemieszczających się przypowierzchniowych mas powietrza. Zjawisko to powoduje selektywne usuwanie minerałów blaszkowych.

Pozostałymi minerałami ciężkimi o znaczącym udziale procentowym, zarówno w osadach podłoża, jak i w osadach wydmych, są: turmalin i staurolit. W przypadku turmalinu wynosi on od 2,9% do 6,8%, natomiast w przypadku staurolitu od 4,4% do 10,8%. Stosunkowo wysoki udział procentowy tych minerałów jest wynikiem ich dużej odporności, zarówno na proces abrazji mechanicznej, jak i wietrzenia chemicznego. Zbliżony udział turmalinu i staurolitu w osadach wydmych i w osadach podłoża wskazuje na krótkotrwałość procesów eolicznych zachodzących na badanym obszarze.

Miarą stopnia zwiętrzenia, a pośrednio, czasu trwania wietrzenia chemicznego, może być współczynnik wietrzeniowy wprowadzony przez Racinowskiego i Rzechowskiego (1969). Jest on równy iloczynowi stosunku udziału minerałów nietrwałych do trwałych i udziału minerałów średnietrwałych. Obliczone współczynniki wietrzeniowe badanych osadów wydmyowych charakteryzuje stosunkowo duża zmienność; wynoszą one od 52 do 106 (ryc. 5), sporadycznie osiągając wartość 176 w dolnej części stoku zawietrznego najwyższej wydmy (wydma nr 8) (ryc. 6), co świadczy o stosunkowo wysokim stopniu pierwotnego zwiętrzenia osadów źródłowych. Współczynniki wietrzeniowe osadów podłoża, również o dużej zmienności, wynoszą od 42 do 83 (ryc. 5). Osady wydmyowe i osady podłoża charakteryzuje zatem zbliżona wartość współczynnika wietrzeniowego, co potwierdza niski stopień eolizacji osadów wydmyowych.



Ryc. 5. Współczynniki wietrzeniowe (Racinowski, Rzechowski 1969) wybranych osadów wydmyowych i osadów podłoża.



Ryc. 6. Współczynniki wietrzeniowe (Racinowski, Rzechowski 1969) osadów wydmyowych pobranych z profilu podłużnego – wydma nr 8; a – reg (strona dowietrzna), b – podstawa stoku dowietrznego, c – środek stoku dowietrznego, d – wierzchowina, e – góra stoku zawietrznego, f – środek stoku zawietrznego, g – dół stoku zawietrznego, h – reg (strona zawietrzna).

## Wnioski

Wśród badanych osadów, cechujących się dość dużą zmiennością mineralogiczną i litologiczną, wyróżniono kilka odmian petrologicznych. Najliczniejszą grupą są osady wydmyowe o urozmaiconym składzie mineralnym, bogate w składniki mało odporne na transport i procesy wietrzeniowe. Rzadziej występują osady o bardziej jednorodnym składzie, zawierające większą ilość minerałów bardzo odpornych na fizyczne



i chemiczne czynniki wietrzeniowe. Składają się one głównie z kwarcu i mniejszej ilości składników mało odpornych na wietrzenie. Pozostałe osady mają skład pośredni między dwiema wymienionymi grupami.

Szczegółowe rozpoznanie składu mineralno-litologicznego daje podstawę do wysnucia wniosku, że źródło osadów budujących akumulacyjne formy eoliczne występujące na badanym obszarze znajduje się w niewielkiej odległości od tych form. Wskazuje na to obecność licznych, mało odpornych składników stosunkowo dużej frakcji, transportowanych w przewadze przez saltację – proces przyczyniający się do wzrostu intensywności abrazji mechanicznej. W badanych osadach wydmowych stwierdzono duży udział procentowy klastów żelazisto-ilastych, a ponadto skaleni i okruchów różnorodnych skał węglanowych, w tym drobnych organizmów węglanowych. Dodatkowym dowodem wskazującym na stosunkowo krótki transport materiału badanych wydm jest pokrój i stan zachowania niektórych składników: skaleni są dobrze zachowane i często automorficzne, niektóre węglany występują w postaci ładnie wykształconych kryształów o ostrych narożach, które nie mogłyby zachować się w czasie dłuższego transportu.

Najważniejszą cechą wskazującą na pochodzenie znacznej części materiału wydmowego z osadów budujących efemeryczne zbiorniki wodne, stwierdzoną na podstawie badań składu mineralno-litologicznego, jest występowanie w utworach wydmowych dużej ilości klastów żelazisto-ilastych. Zaobserwowane cechy petrologiczne wskazują na ich pochodzenie z erodowania osadów powstałych w lokalnych efemerycznych zbiornikach wodnych, do których był spłukiwany drobny materiał zabarwiony na czerwono związkami żelaza, typowy dla środowiska pustynnego. Część materiału detrytycznego, cechująca się większą odpornością na fizyczno-chemiczne warunki wietrzeniowe, pochodzi z północnego obrzeżenia badanego terenu, skąd była dostarczana ku południowi przez lokalne, okresowe wody płynące, a następnie transportowana w wyniku procesów eolicznych. Wiarygodność powyższych przypuszczeń potwierdzają bezpośrednie obserwacje terenowe. Wyraźnie widać ogromne podobieństwo litologiczne osadów efemerycznych jezior do „klastów żelazisto-ilastych”, opisywanych pod mikroskopem.

Wyniki analiz procentowego udziału minerałów ciężkich w badanych osadach wydmowych potwierdzają dotychczasowe wnioski dotyczące źródła osadów budujących badane formy wydmore oraz sposobu rozprzestrzeniania się tych form. Ważnym wskaźnikiem potwierdzającym lokalną dostawę materiału jest dość duży udział procentowy minerałów ciężkich z grupy mik – minerałów o budowie blaszkowej, bardzo podatnych na deflacyjną działalność procesów eolicznych.

Wyniki analiz składu minerałów ciężkich osadów wydmowych badanego obszaru pozwalają ponadto na stwierdzenie, że duży udział procentowy wybranych minerałów jest związany z ich występowaniem w osadach źródłowych, a nie z czasem trwania procesów eolicznych.

Podsumowując można stwierdzić, że na bliskość źródła oraz niski stopień eolizacji osadów wydmowych regionu Coude du Dra wskazuje nieznaczna zmiana składu mineralno-litologicznego (lub jej brak) w osadach podłoża i w osadach wydmowych, jak również zaznaczający się w osadach wydmowych duży udział procentowy składników mało odpornych na niszczące czynniki transportu.

Na lokalne osady jeziorne jako przeważające źródło materiału wydmowego wskazuje bardzo duży udział procentowy w osadach wydmowych klastów żelazisto-ilastych.

Nieco wyższy stopień eolizacji badanych osadów wydmowych, widoczny w nieznacznych różnicach składu mineralno-litologicznego, zaznacza się jedynie wzdłuż profilu podłużnego najwyższych form wydmowych. Może to wskazywać, iż formy te są dowodem na lokalne zapoczątkowanie procesów eolicznych nieco wcześniej.

## Literatura

- Barczuk A., 1992, *Petrology of the Precambrian Clastics and the Evolution of the Midcontinent Rift System (USA)*. Arch. Miner. T. XLVIII, z. 1–2, 123–204.
- Barczuk A., Dłużewski M., 2001, *Źródło osadów eolicznych w obniżeniu Khargi (południowy Egipt) na podstawie ich cech teksturalnych*, [w:] Pełka-Gościński J., Szczypek T. (red), *Dynamiczne aspekty geomorfologii eolicznej*, Sosnowiec, 51–61.
- Barczuk A., Tatur A., 1999, *Phosphate and Sulphate Minerals in the Soils of Antarctic Peninsula Region*. Proc. of the IX Meeting of the Russian Mineralogical Soc., Sankt Petersburg, May 17–21, 49–50.

- Barczuk A., Wyrwicki R., 1999, *Litogeneza zsylikowanej, trzeciorzędowej kredy jeziornej z KWB Bełchatów*. Materiały IV Konferencji „Zagospodarowanie kopalin towarzyszących w górnictwie odkrywkowym”, Ślesin 5–7 maja 1999, [w:] *Górnictwo odkrywkowe*, nr 1, 83–93.
- Berendsen P., Barczuk A., 1993, *Petrography and Correlation of Precambrian Clastic Sedimentary Rocks Associated with the Midcontinent Rift System*. U.S. Geol. Survey Bull. 1989-E, E1-E20.
- Borkowska M., Smulikowski K., 1973, *Minerały skałotwórcze*. Wyd. Geol., Warszawa.
- Chlebowski R., Gozik P., Lindner L., 2002, *Graficzna prezentacja składu minerałów ciężkich lessów na wybranych przykładach z obszaru Polski i Ukrainy*. *Prz. Geol.*, 50, 526–531.
- Chlebowski R., Lindner L., 1975, *Wpływ podłoża na skład minerałów ciężkich głównych wysp lessowych NW części Wyżyny Małopolskiej*. *Acta Geol. Pol.*, 25, 163–178.
- Chlebowski R., Lindner L., 1976, *Próba zastosowania analizy minerałów ciężkich w problematyce badawczej lessów na przykładzie lessów młodszych zachodniej części regionu świętokrzyskiego*. *Biul. Inst. Geol.*, 18, 293–301.
- Chlebowski R., Lindner L., 1992, *Źródła materiału i warunki akumulacji lessów młodszych Wyżyny Małopolskiej*. *Biul. Geol. UW*, 32, 13–50.
- Chlebowski R., Lindner L., Barczuk A., Bogucki A., Gozik P., Łączont M., Wojtanowicz J., 2002, *Warunki akumulacji lessów młodszych górnych Wyżyny Lubelskiej (Polska) i Wyżyny Wołyńskiej (Ukraina) na podstawie badań geologicznych i mineralogicznych*, [w:] *Mat. II Świętokrz. Spotk. Geol.-Geomorf. nt. Peryglacja plejstoceńska w osadach i rzeźbie obszaru Polski*. Jodłowy Dwór, 9–11.05.2002.
- Coque R., 1962, *La Tunisie présaharienne. Etude géomorphologique*. Armand Colin, Paris.
- Kosmowska-Ceranowicz B., Buhmann D., 1982, *Translucent heavy minerals and clay minerals in Tertiary sediments of Gołubin Stary and Kuleszewo (Poland)*. *Pr. Muzeum Ziemi*, 35, 89–109.
- Kuenen Ph.H., Pedrok W.G., 1961, *Experimental abrasion 5: frosting and defrosting of quartz grains*. *Journal of Geology* vol. 70, 648–658.
- Mycielska-Dowgiałło E., 1980, *Wstęp do sedymentologii (dla geografów)*. WSP w Kielcach, Kielce.
- Mycielska-Dowgiałło E., 1995, *Selected textural features of deposits and their interpretation value*, [w:] *Researches of Quaternary sediments, some method and interpretation of the results*. WGiSR UW, Warsaw, 29–105.
- Mycielska-Dowgiałło E., 2001, *Eolizacja osadów jako wskaźnik stratygraficzny czwartorzędu*. *Prac. Sedymentolog.*, Wydział Geografii i Studiów Reg., Warszawa.
- Pietrow M.P., 1976, *Pustynie kuli ziemskiej*. PWN. Warszawa.
- Racinowski R., 1995, *Analiza minerałów ciężkich w badaniach osadów czwartorzędowych Polski*, [w:] Mycielska-Dowgiałło E., Rutkowski J. (red.), *Badania osadów czwartorzędowych. Wybrane metody i interpretacja wyników*, WGiSR UW, Warszawa, 151–166.
- Racinowski R., Rzechowski J., 1969, *Minerały ciężkie w glinach zwałowych Polski środkowej*, *Kwart. Geol.* 13 (2).