

Cementacja węglanowa osadów piaszczystych klifu w Gdyni–Orłowie

Tomasz Ciborowski*, Marcin Jankowski*



T. Ciborowski

M. Jankowski

Carbonate cementation of sandy sediments on the cliff in Gdynia–Orłowo. *Prz. Geol.*, 55: 140–145.

S u m m a r y. Carbonate cementation of sandy sediments is most common in tropical and sub-tropical climate, and quite rare in temperate climate. About 20 sites where carbonate cemented sandstones occur are known throughout the Polish Lowlands. A new outcrop of carbonate cemented sandstone was found near Gdynia–Orłowo (coast of the Gulf of Gdańsk). Field studies and microscopic analyses (optical microscopy and SEM) let to recognise the pattern of cementation of sandy sediments. Origin of the sandstones is connected with infiltration of rain water into glacial till (partially cracked). This till is the source of calcium carbonate transported by water into underlying fluvioglacial sands. Because of different sediments porosity and resulting degassing of CO_2 , $CaCO_3$ precipitated. Additionally, elevated temperature and

evaporation of water may also create favorable condition for precipitation. The process of cementation is related to the exposition of fluvioglacial sands layer caused by cliff abrasion (about 1 m per year). The best geochemical conditions for precipitation of $CaCO_3$ are in the zone of contact with atmosphere, so this cementation seems to be recent. Carbonate cemented sandstones formed below the glacial till fall down and may be found in the colluvium of the cliff slope.

Key words: carbonate cementation, sandy sediments, Orłowo Cliff, Gulf of Gdańsk

Cementacja węglanowa osadów jest jednym z procesów diagenetycznych zachodzących w środowiskach depozycyjnych bogatych w węglan wapnia. Zachodzi ona zarówno w warunkach subaeralnych, jak i subakwalnych. Cementacja subaeralna zachodzi pod wpływem wód meteorycznych wzbogaconych w $CaCO_3$ i ma miejsce zarówno w strefie wadycznej — powyżej zwierciadła wód podziemnych, jak i w strefie freatycznej, nasyconej wodą (Chafetz i in., 1985). Cementacja subakwalna rozwija się w osadach zdeponowanych w akwenach cieplej strefy klimatycznej, w których wody są nasycone lub przesycone w stosunku do $CaCO_3$ (Harris i in., 1985). Stąd też większość opublikowanych prac dotyczących wytrącania węglanów odnosi się do mórz ciepłych i płytkich.

W środowiskach depozycyjnych strefy klimatycznej umiarkowanej cementacja węglanowa zachodzi znacznie rzadziej. Związane jest to z niższą temperaturą wód, zwiększającą ich zdolność do rozpuszczania dwutlenku węgla i niedosyceniem w stosunku do węglanu wapnia (Pytkowicz, 1983).

W polskiej literaturze naukowej problematyka cementacji osadów lądowych pojawiła się już na początku XX w. W miarę rozwoju tych badań, na obszarze Niżu Polskiego zidentyfikowano kilkanaście stanowisk występowania scementowanych węglanem wapnia osadów czwartorzędowych (ryc. 1) oraz opisano procesy tworzenia się ich spoiwa. Są to m.in. piaskowce z Mechowa k. Pucka (Gąsiorowski, 1924), zlepieńce z rejonu Białegostoku ze stanowisk: Góra Zareńska, Zadworzany, Białowieża, Zambrzyce–Króle (Nowicki & Radlicz, 1961), piaskowce z okolic Płocka (Kolski, 1904) i Nowego Dworu Mazowieckiego (Skompski & Nowak, 1965), piaskowce i zlepieńce z kilku stanowisk w okolicach Świecia i Grudziądza w dolinie dolnej Wisły (Drozdowski, 1979; 1991), piaskowce z

okolic Łodzi (Kamiński & Załoba, 1985), piaskowce z okolic Czaplinka (Kłysz, 1992), scementowane osady fluwioglacjalne w Starym Puszczykowie koło Poznania (Biernacka, 1993), piaskowce z okolic Barlinka (Urban, 1999). Także na polskim wybrzeżu Bałtyku, w rejonie Świętoustwia stwierdzono występowanie piaskowców wapnistych, utworzonych w wyniku scementowania piasków plażowych spoiwem węglanowym (Müller & Rudowski, 1967).

W niniejszym artykule jest przedstawione nowe stanowisko występowania scementowanych osadów piaszczystych oraz geneza i charakterystyka tworzącego się spoiwa węglanowego.

Opis stanowiska

Stanowisko jest położone na zachodnim wybrzeżu Zatoki Gdańskiej, w Gdyni–Orłowie (ryc. 2) na 81,35 kilometrze brzegu (według kilometrażu Urzędu Morskiego). Brzeg morski w tym rejonie ma charakter klifowy i wznosi się nad poziom morza na wysokość nieco ponad 20 m.

Badany odcinek klifu orłowskiego jest zbudowany z utworów plejstocennych, zaliczanych do stadiała kaszubskiego i stadiała świecica zlodowacenia wisły (Kaulbarsz, 2005). Są to piaski wodnolodowcowe oraz gliny zwałowe. Odcinek klifu, na którym stwierdzono cementację węglanową osadów należy pod względem geodynamicznym do najbardziej aktywnych na wybrzeżu Zatoki Gdańskiej (Subotowicz, 1972). Jest to klif osypiskowy, a tylko w najwyższej jego części, przy koronie, zbudowanej z glin zwałowych, ma charakter obrywowy. Tempo abrazyj klifu orłowskiego szacuje się na ok. 1 m rocznie (Subotowicz, 1977). Materiał osypiskowo-obrywowy tworzy koluwium pokrywające zbocze klifu do wysokości ok. 15 m od jego podstawy. Pod względem litologicznym koluwium to składa się w przeważającej części z osadów piaszczystych, lokalnie przewarstwionych płatami glin pochodzącymi z obrywów najwyższej części klifu.

*Uniwersytet Gdański, Instytut Oceanografii, al. Marszałka Piłsudskiego 46, 81-378 Gdynia; tciborow@ocean.univ.gda.pl; silver@ocean.univ.gda.pl

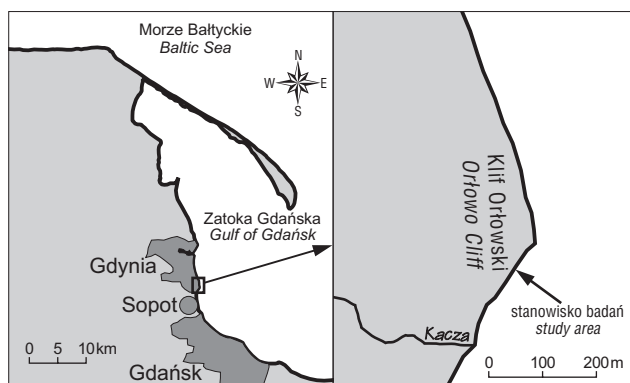


Ryc. 1. Stanowiska występowania wapnistych piaskowców (zlepieńców) na Nizinie Polskiej

Fig. 1. Sites with carbonate cemented sandstones (conglomerates) in the Polish Lowlands

Metodyka badań

W trakcie badań terenowych przeprowadzonych w kwietniu 2001 r., na zboczu klifu orłowskiego, w obrębie koluwium, znaleziono dwie bryły piaskowców. Bryły te miały rozmiary: $100 \times 80 \times 55$ cm oraz $70 \times 60 \times 50$ cm (odpowiednio: długość \times szerokość \times miąższość). W bezpośrednim otoczeniu znalezionych piaskowców występował piasek, bezpośrednio pod nimi natomiast stwierdzono obecność gliny wapnistej. Zarówno piasek, jak i glina nie występowały *in situ*. W profilu pionowym obu brył piaskowców stwierdzono zróżnicowanie rodzaju spoiwa. W części dolnej brył występowało spoiwo żelazisto-wapniste o zabarwieniu rdzawobrunatnym, a ku górze piaskowiec zmieniał zabarwienie na jasnoszare i spoiwo było wapniste. Pomimo przeprowadzonych badań w wyższej części skarpy klifu nie udało się wówczas określić stref, gdzie doszło do cementacji. Dopiero w kwietniu 2006 r., po wiosennych



Ryc. 2. Lokalizacja badanego odsłonięcia

Fig. 2. Location of study outcrop

sztormach, odsłonił się fragment scementowanego węglanem wapnia piaskowca, zalegającego bezpośrednio pod gliną zwałową (ryc. 3). Jego miąższość wynosiła ok. 80 cm, przy czym miejscami był on słabo scementowany (ryc. 4). Rozprzestrzenienie warstwy piaskowca, jej szerokość i długość, nie zostały rozpoznane ze względu na brak możliwości odsłonięcia przebiegu warstwy w głąb i w szerz ściany klifu. Spoiwo cementujące materiał okrucowy miało charakter wapnisty, nie stwierdzono w tym przypadku udziału spoiwa żelazistego.

W celu przeprowadzenia badań laboratoryjnych, z bryły piaskowca pobrano cztery próbki, uwzględniając widoczne makroskopowo różnice w wykształceniu spoiwa (ryc. 5). Z pobranych próbek wykonano płytki cienkie do badań w mikroskopie optycznym i mikroskopie skaningowym. W mikroskopie optycznym przeprowadzono analizę petrograficzną badanego piaskowca oraz wykonano 15 zdjęć w świetle przechodzącym oraz spolaryzowanym. W mikroskopie skaningowym z analizatorem, przeprowadzono badania jakościowe i ilościowe w płytkach cienkich napylnych węglem. Łącznie z 4 płytek cienkich wykonano 14 zdjęć skaningowych oraz 16 mappingów w mikroobszarze. Mappingi wykonywano dla 4 pierwiastków wybranych spośród najczęściej występujących w danym mikroobszarze (Si, Ca, Al, Fe).

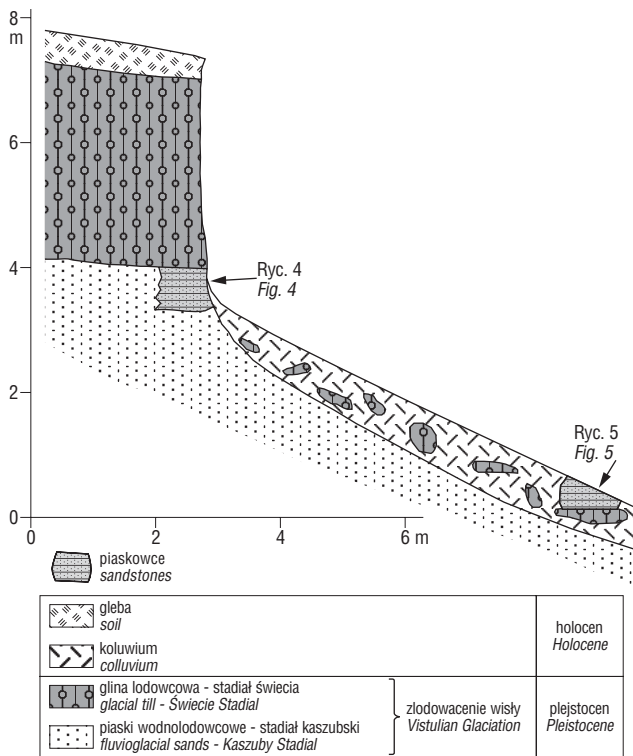
Wyniki

Na podstawie analizy petrograficznej przeprowadzonej w mikroskopie optycznym stwierdzono, że w składzie mineralnym badanego piaskowca dominuje kwarc detrytyczny o frakcji piasku średnioziarnistego z domieszką frakcji żwirowej. Rzadziej występowały klasty wapieni oraz skaleni.

Stwierdzono również występowanie cementu meniskowego (ryc. 6) oraz cementu pierścieniowego (ryc. 7). Zauważalny był także zróżnicowany stopień wypełnienia spoiwem przestrzeni międzyziarnowych. W próbach nr OG-3 i OG-4, pobranych ze spągowej części piaskowca był on znacznie mniejszy niż w próbach OG-1 i OG-2, pochodzących z partii stropowej. Analizy mikroskopowe potwierdziły zaobserwowane w terenie zróżnicowanie rodzaju spoiwa, a mianowicie w dolnej części bryły piaskowca substancją cementującą był węglan wapnia i związki żelaza, w górnej części piaskowca natomiast tylko węglan wapnia.

Analiza prób w mikroskopie skaningowym wykazała, że kryształy kalcytu tworzące spoiwo znacznie różnią się rozmiarami. Najczęściej obserwowano kryształy o wielkości ok. $8 \mu\text{m}$ (mikrosparty). Występowały również kryształy mikrytu o wielkości poniżej $4 \mu\text{m}$ oraz sporadycznie kryształy sparytu, o wielkości dochodzącej do $30 \mu\text{m}$. Zaobserwowano również występowanie kryształów kolumnowych kalcytu (ryc. 8).

Na podstawie analizy jakościowej i ilościowej (bezwzorcowej) stwierdzono, że badane spoiwo zawiera bardzo małą ilość magnezu, co wskazuje na kalcyt niskomagnezowy. Związki żelaza obecne w spoiwie wapnistym spągowej części piaskowca występują najczęściej w postaci rozproszonej, w wyższych partiach badanej skały natomiast zdarzają się ich pojedyncze, najprawdopodobniej amorficzne skupienia (ryc. 9).



Ryc. 3. Szkic geologiczny odsłonięcia
Fig. 3. Geological sketch of the outcrop

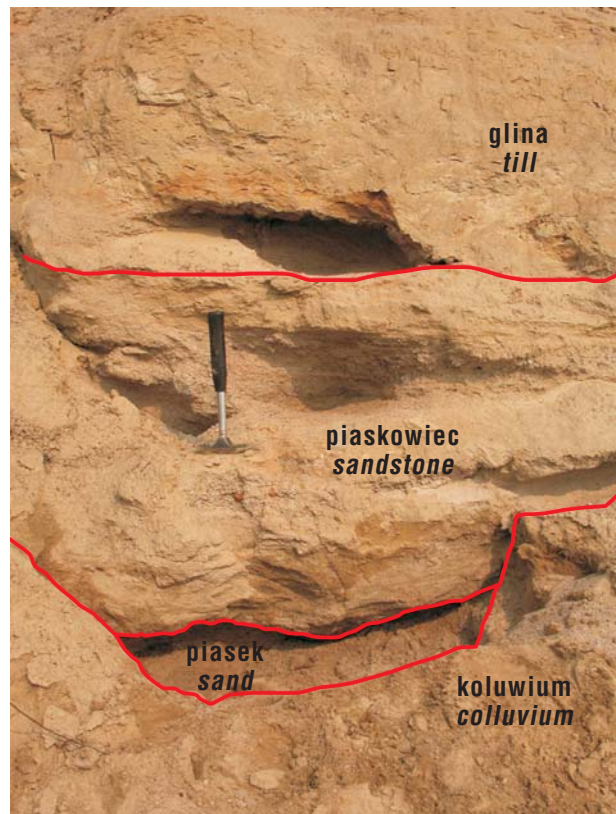
Na obrazach elektronowych nie stwierdzono obecności struktur wskazujących na biogeniczny charakter badanego spoiwa.

Geneza

Wytrącanie węglańa jako spoiwa w osadach klastycznych zachodzące w warunkach lądowych można wiązać z różnymi czynnikami. Może być to wzrost koncentracji jonów wskutek zamarzania wody (Vogt & Corte, 1996) lub parowania wody (Bunting & Christensen, 1980), przesuwanie równowagi węglanowej, zachodzące na skutek zmiany ilości CO₂ w roztworze spowodowanej dyfuzją tego gazu (Pentecost & Viles, 1994) lub jego biologiczną konsumpcją (Jones & Kahle, 1985).

Na podstawie przeprowadzonych badań terenowych, analizy petrograficznej oraz analizy w mikroskopie skaningowym określono czynniki warunkujące powstanie piaskowców wapienistych w rejonie klifu w Orłowie.

Cementacja węglanowa osadów piaszczystych na klifie orłowskim genetycznie jest związana ze zboczem, tak jak w większości opisanych w literaturze stanowisk cementacji na Niżu Polskim. Podobne jest również źródło węglańa tworzącego spoiwo. Są to gliny zwałowe, z których węglan wapnia został wylugowany przez wodę. Analizując dotychczasowe poglądy różnych autorów na temat genezy cementu węglanowego w utworach piaszczystych na Niżu Polskim można stwierdzić, że geneza spoiwa wapienistego w piaskowcach klifu orłowskiego jest infiltracyjna, a mechanizm wytrącania węglańa wapnia jest analogiczny jak ten, który został przedstawiony w pra-

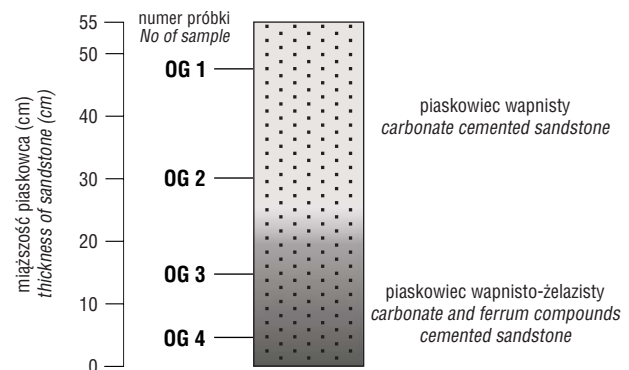


Ryc. 4. Warstwa piaskowca w skarpię klifu orłowskiego (kwiecień 2006)

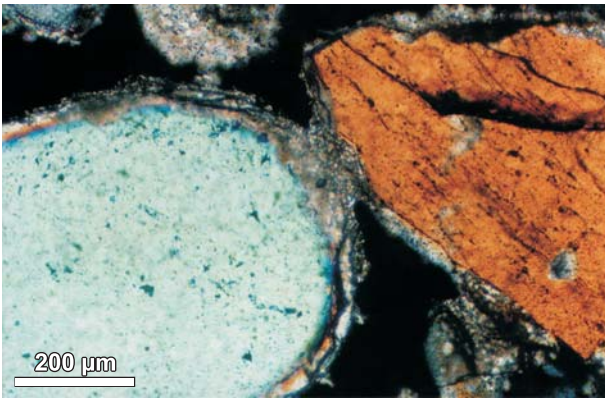
Fig. 4. Layer of sandstone in the slope of the Orłowo Cliff (April 2006)

cach Nowickiego i Radlicza (1961), Müllera i Rudowskiego (1967) oraz Biernackiej (1993).

Przebieg cementacji piaskowców znalezionych w Orłowie można przedstawić następująco. Wody opadowe wsiąkając w strefę glebową wzbogacały się w kwasy humusowe i dążyły do wyrównywania ciśnienia CO₂ strefy glebowej. Wody te stawały się agresywne w stosunku do węglańa wapnia, co z kolei powodowało rozpuszczanie CaCO₃ znajdującego się w zalegających poniżej glinach zwałowych. Do rozpuszczania węglańa wapnia w glinach zwałowych mogły się również przyczynić wody roztopowe, które według Corbela (1960) są 20-krotnie bardziej agresywne w stosunku do węglańa wapnia niż wody opa-

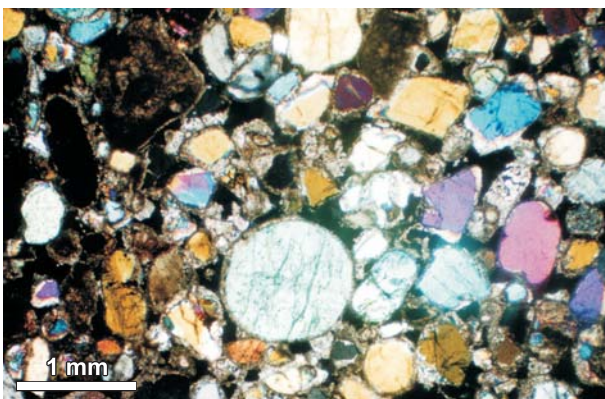


Ryc. 5. Schemat opróbowania piaskowca
Fig. 5. Sampling of sandstone



Ryc. 6. Cement meniskowy pomiędzy ziarnami kwarcu — próba OG-2 (nikole skrzyżowane)

Fig. 6. Meniscus cement between grains of quartz — sample OG-2 (crossed nicols)



Ryc. 7. Cement pierścieniowy wokół ziarn detrytycznych — próba OG-2 (nikole skrzyżowane)

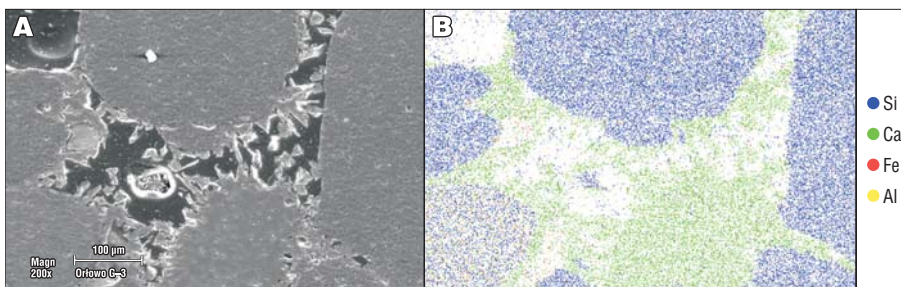
Fig. 7. Rim cement around detrital grains- sample OG-2 (crossed nicols)

dowe. Migrację wód w obrębie glin zwałowych ułatwiały liczne jej spękania. Wody wzbogacone w rozpuszczony węglan wapnia docierając do występujących bezpośrednio pod glinami piasków, traciły CO₂ na skutek gwałtownej zmiany porowatości osadu, ułatwiającej wyrównywania ciśnienia CO₂ z ciśnieniem tego gazu w atmosferze. Powodowało to przesunięcie równowagi węglanowej w kierunku wytrącania CaCO₃:



Dodatkowo, zmiana porowatości mogła powodować wzrost temperatury i parowania wody, co również przyczyniło się do wzrostu koncentracji jonów i w rezultacie wytrącania węglanu wapnia.

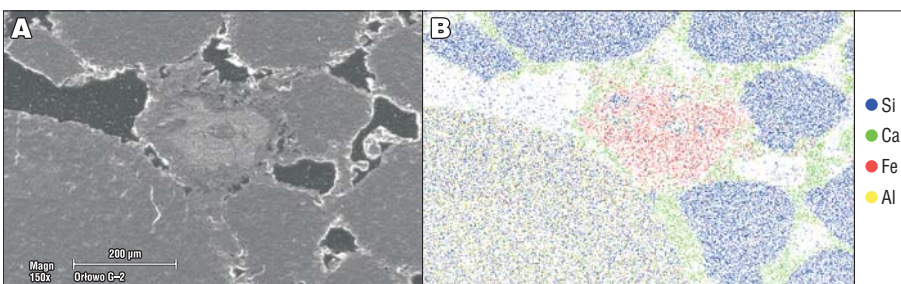
Osobnym zagadnieniem jest wiek i tempo powstawania cementu węglanowego. W dotychczasowej literaturze znajdujemy interpretacje wiążące wiek cementu węglanowego w piaskowcach m.in. z środkowowürmską deglacją lądolodu (Drozdowski, 1979). Skompski i Nowak (1965) w swoim opracowaniu natomiast wskazywali różny wiek cementacji w poszczególnych stanowiskach. W przypadku warstwy piaskowca w Strzemieszynie k. Płocka wskazywali na schyłek zlodowacenia bałtyckiego lub początek holocenu. Powstanie piaskowców w Orzechowie i Kikołach (rejon Nowego Dworu Mazowieckiego) wiązali z wysokim stanem wód gruntowych, który mógł mieć miejsce w okresie od interglacjału eemskiego po późny glacjał (Alleröd). Z kolei wiek warstw piaskowcowo-zlepieńcowatych z okolic Izbicy wiązali z okresem borealnym jako okresem o klimacie ciepłym i suchym, wykluczając możliwość tworzenia się węglanów w klimacie zimnym. W pracy Biernackiej (1993) podano dwie interpretacje, a jako wiek cementacji wskazano późne zlodowacenie wisły lub holocen. Z pracy Müllera i Rudowskiego (1967) nato-



←

Ryc. 8. Kryształy kolumnowe kalcytu. A — obraz SEM, B — mapping (próbka OG-3)

Fig. 8. Calcite columnar cement, A — SEM view, B — mapping (sample OG-3)



←

Ryc. 9. Związki żelaza w obrębie spoiwa. A — obraz SEM, B — mapping (próbka OG-2)

Fig. 9. Iron compounds within cement. A — SEM view, B — mapping (sample OG-2)

miast, dotyczącej cementacji osadów plażowych wynika, że cementacja węglanowa może zachodzić współcześnie.

W przypadku piaskowców występujących w skarpię klifu w Orłowie, zdaniem autorów, najbardziej prawdopodobna jest współczesna cementacja węglanowa. W przypadku abrazyjnej skarpy klifu najkorzystniejsze warunki do wytrącania węglanu wapnia występują współcześnie, kiedy skarpa ta jest odsłonięta i znajduje się w bezpośrednim kontakcie z atmosferą. Umożliwia to zarówno wyrównywanie ciśnień CO₂, jak i wzrost temperatury wody oraz parowania, sprzyjające wytrącaniu CaCO₃. W przeszłości geologicznej, miejsce gdzie znajduje się piaskowiec, nie miało bezpośredniego kontaktu z atmosferą. Musiałyby więc istnieć inne czynniki, które doprowadziłyby do cementacji węglanowej osadów.

Obserwacje geologiczne i geomorfologiczne rejonu klifu w Orłowie pozwalają wnioskować, że cementacja piasków wodnolodowcowych zachodziła w strefie powyżej zwierciadła wód rugntowych. Wykształcenie spoiwa w postaci cementu meniskowego wskazuje również na jego tworzenie się w warunkach wadycznych (Dunham, 1971). Wytrącanie węglanu wapnia zostało zainicjowane w spągu glin zwałowych i postępowało w dół, o czym może świadczyć zaobserwowana najmniejsza zwięzłość piaskowca w jego w spągu. Możliwość narastania partii scementowanych w takim kierunku przedstawili m.in. Nowicki i Radlicz (1961).

Piaskowce znalezione w 2001 r. w skarpię klifu w Orłowie były fragmentami płyty piaskowca, utworzonego w spągu gliny zwałowej pod koroną klifu. W wyniku procesów osuwiskowych piaskowce te znalazły się w obrębie koluwium, bezpośrednio na płacie gliny zwałowej. Obecność takich płatów gliny umożliwia tworzenie się lokalnych zbiorowisk wody zawieszanej, tworząc poziom wmycia dla wcześniej wylugowanych związków żelaza. W ten sposób w spągowej części brył piaskowców występujących w obrębie koluwium, oprócz spoiwa wapienistego utworzyło się spoiwo żelaziste, nieobecne w piaskowcu powstałym w ścianie klifu.

Ze względu na abrazyjny charakter klifu orłowskiego odsłonięcie scementowanego piaskowca *in situ* jest uzależnione od nasilenia procesów abrazyjnych i usuwania koluwium z podstawy klifu. Trudno też ocenić przestrzennie strefę cementacji, mianowicie jej długość wzdłuż ściany klifu oraz jej zasięg w głąb. Z tego też względu nie można ostatecznie i definitywnie określić wieku cementacji węglanowej. Najbardziej prawdopodobna jest cementacja współczesna zachodząca w strefie kontaktu osadu z atmosferą i rozwijająca się w miarę postępowania abrazyj klifu. Do ostatecznego rozstrzygnięcia wieku cementacji konieczne jest przeprowadzenie badań wieku bezwzględnych spoiwa metodami izotopowymi.

Literatura

BIERNACKA J. 1993 — Zjawisko cementacji kalcytowej osadów fluwiogłajalnych w Starym Puszczkowie k. Poznania. *Prz. Geol.*, 41: 269–272.

- BUNTING B.T. & CHRISTENSEN L. 1980 — Micromorphology of calcareous crust from the Canadian High Arctic. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar*, 100 (for 1978 r.): 361–367.
- CHAFETZ H.S., WILKINSON B.H. & LOVE K.M. 1985 — Morphology and composition of non-marine carbonate cements in near-surface settings, [W:] Schneidemann N. & Harris P.M. (red.) — *Carbonate Cements*. *SEPM Special Publ.*, 36: 337–348.
- CORBEL J. 1960 — Nouvelles recherches sur les karsts arctique Scandinaves. *Internationale Beiträge zur Karstmorphologie, Suppl.*, 2: 74–78 [W:] Najnowsze badania nad arktycznym krasem skandynawskim (tłumaczenie I.Gieysztorowa). *Prz. Zagranicznej Literatury Geograficznej* 1964, z. 3: 123–130.
- DROZDOWSKI E. 1979 — Deglacjacja dolnego Powiśla w środkowym wirmie i związane z nią środowiska depozycji osadów. *Pr. Geograficzne IGIPIZ PAN*, 132: 1–103.
- DROZDOWSKI E. 1991 — Sandstones and Conglomerates Formed by Precipitation of CaCO₃ under Stagnant Ice Sheet. *Bull. Pol. Acad. Sci., Earth Sciences*, 39: 253–266.
- DUNHAM R.J. 1971 — Meniscus cement. [W:] Bricker O.P. (red.) — *Carbonate Cements*. *Johns Hopkins Press*: 297–300.
- GAŚTOROWSKI H. 1924 — Formy zlepiania piaskowca dyluwialnego w Mechowie pod Puckiem. *Prz. Geograf.*, 4 (za 1923 r.): 161–164.
- HARRIS P.M., KENDALL C.G.St.C. & LERCHE I. 1985 — Carbonate cementation — a brief review. [W:] Schneidemann N. & Harris P.M. (red.) — *Carbonate Cements*. *SEPM Special Publ.*, 36: 79–95.
- JONES B. & KAHLE C.F. 1985 — Lichen and algae agents of biogenic genesis in karst breccia from Grand Cayman Island. *Bull. Canad. Petrol. Geol.*, 33: 446–461.
- KAMIŃSKI J. & ZAŁOBA M. 1985 — Geneza i wiek piaskowców czwartorzędowych w okolicach Łodzi. *Acta Geograph. Lodz.*, 50: 29–50.
- KAULBARSZ D. 2005 — Budowa geologiczna i glacitektonika klifu orłowskiego w Gdyni. *Prz. Geol.*, 53: 572–581.
- KŁYSZ P. 1992 — Osady czwartorzędowej cementacji węglanowej w okolicy Czaplina na Pojezierzu Drawskim. *Badania fizjograficzne nad Polską Zachodnią*, t. 44, ser. A, *Geografia fizyczna*: 93–101.
- KOLSKI J. 1904 — O piaskowcach płockich. *Wszechświat*, 25, t. 23: 385–390. Warszawa.
- MÜLLER J. & RUDOWSKI S. 1967 — Zjawiska cementacji współczesnych osadów plażowych południowego Bałtyku. *Pr. Muzeum Ziemi*, 11: 243–255.
- NOWICKI A.J. & RADLICZ K. 1961 — O występowaniu i genezie zlepienia czwartorzędowego. *Kwart. Geol.*, 5: 915–929.
- PENTECOST A. & VILES H.A. 1994 — A review and reassessment of travertine classification. *Geographie Physique et Quaternaire*, 48: 305–314.
- PYTKOWICZ R.M. 1983 — *Equilibria, nonequilibria, and natural waters*. A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons. New York.
- SKOMPSKI S. & NOWAK J. 1965 — Piaskowce i zlepienie czwartorzędowe. *Prz. Geol.*, 4: 145–148.
- SUBOTOWICZ W. 1972 — Geodynamika klifu orłowskiego. [W:] *Przew. 44 Zjazdu Pol. Tow. Geol.*: 182–196.
- SUBOTOWICZ W. 1977 — Dynamika brzegów klifowych Regionu Gdańskiego. *Z. Nauk. Politechniki Gdańskiej*, 258. *Budownictwo wodne*, 20: 1–85.
- URBAN J. 1999 — Skałki rezerwatu „Skalisty Jar Libberta” na Pojezierzu Myśluborskim. *Chrońmy Przyrodę Ojczystą*, 55: 84–90.
- VOGT T. & CORTE A. 1996 — Secondary precipitates in Pleistocene and present cryogenic environments (Mendoza Precordillera, Argentina, Transdanubia, Siberia, and Seymour Island, Antarctica). *Sedimentology*, 43: 53–64.

Praca wpłynęła do redakcji 24.03.2006 r.

Akceptowano do druku 01.12.2006 r.