

# Czwartorzędowe piaskowce i zlepieńce wapieniste na Niziu Polskim – zarys problematyki i znaczenie geologiczne

Bogusz Kulus<sup>1</sup>



**Quaternary calcareous sandstones and conglomerates in the Polish Lowlands – an outline of the issues and geological significance.** *Prz. Geol.*, 73: 405–408; doi: 10.7306/2025.43

*A b s t r a c t.* The products of carbonate cementation of Quaternary sediments in the Polish Lowlands are sandstones and calcareous conglomerates. Various concepts of their origin are suggested in the literature: from the leaching of calcium carbonate by meteoric waters down the profile under interglacial or Holocene conditions, to the cementation of sediments under the ice sheet or in the Pleistocene periglacial environment. Genetic reconstructions must take into account many factors influencing calcium carbonate precipitation in interglacial environments (activity of living organisms, water table fluctuations) and glacial environments (transgression and ablation of ice sheets, migration of glacial waters). This requires the use of research methods

such as analysis of cements and detrital grains in thin sections, analysis of isotopic composition and dating of cements. Analysis of Quaternary sandstones and conglomerates as early diagenetic forms can be an important element in the interpretation of the diagenetic history of older formations.

**Keywords:** diagenesis, carbonate cementation, calcium carbonate, Pleistocene

Cementacja węglanowa jest jednym z procesów diagenetycznych, od którego zależą późniejsze właściwości zbiornikowe skał i możliwości migracji węglowodorów, dlatego wzbudza niesłabnące zainteresowanie geologów. Cementy węglanowe powszechnie występują w różnych środowiskach (Harris i in., 1985), także w silikoklastycznych zbiornikach sedimentacyjnych (Anjos i in., 2000; Ma i in., 2016). W niniejszym artykule opisano zagadnienia węglanowej cementacji klastycznych skał czwartorzędowych na Niziu Polskim i ich znaczenie dla zrozumienia przebiegu procesów diagenetycznych w starszych utworach geologicznych.

## PRZEDMIOT BADAŃ

Na Niziu Polskim produktem węglanowej cementacji glacialnych i fluwioglacialnych serii piaszczystych i żwirowych plejstocenu są piaskowce i zlepieńce scementowane węglanem wapnia. Selektywność tego procesu przejawia się występowaniem różnej wielkości i kształtu form w luźnych osadach (bryłki zlepieńcowe, płaskury piaskowcowe, warstwy i słupy piaskowcowe i zlepieńcowe) oraz niewielką liczbą stanowisk tego typu skał na obszarze Niziu Polskiego (Kłysz, 1999; Urban, 1999).

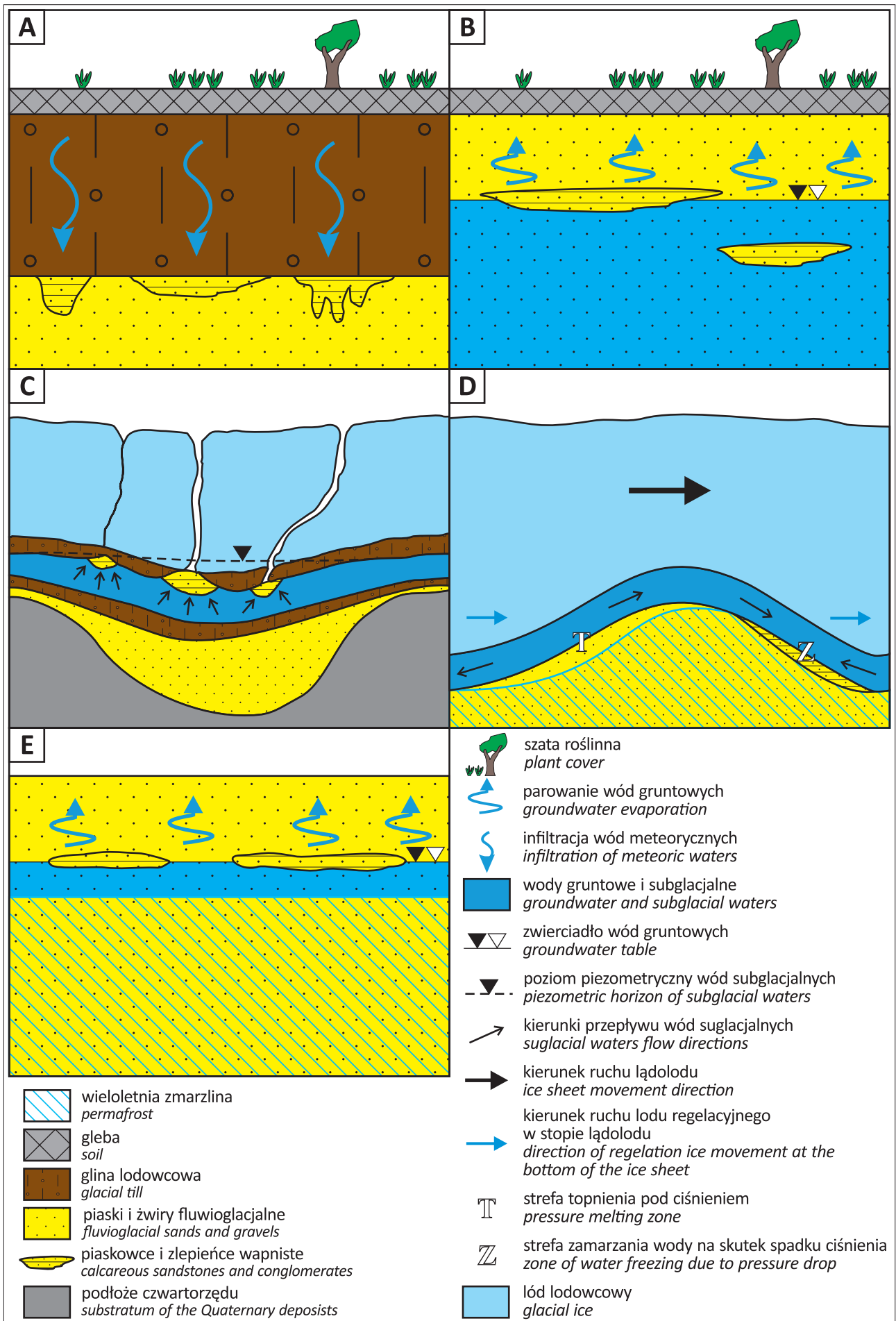
Wielu geologów twierdzi (np. Nowicki, Radlicz, 1961; Biernacka, 1993; Kłysz, 1999; Ciborowski, Jankowski, 2007; Sanders i in., 2010), że cementacja piasków i żwirów plejstocenijskich węglanem wapnia następuje na skutek ługowania go z osadów przez wody meteoryczne, np. z glin lodowcowych, i strącania w niżej leżących osadach bardziej porowatych (ryc. 1A). Skompski i Nowak (1965), a także Rattas i in. (2014) sugerują też możliwość cementowania warstw zlepieńcowych i piaskowcowych w wyniku zmian poziomu zwierciadła wód gruntowych (ryc. 1B). Takie procesy mogły zachodzić na Niziu Polskim w interglacialach i holocenie. Inni uważają, że cementacja zlepień-

ców i piaskowców mogła zachodzić w środowisku subglacialnym, na skutek lokalnych zmian ciśnienia wody przesyconej węglanem wapnia w trakcie ablacji lądolodu (Drozdowski, Krażewski, 1978; Drozdowski, 1991; ryc. 1C) lub jego transgresji (Burgener i in., 2018; Woronko i in., 2022; ryc. 1D). Brana jest także pod uwagę możliwość wytrącania się węglanu wapnia w warunkach peryglacialnych, z wód meteorycznych infiltrujących osady w pobliżu nieprzepuszczalnego stropu wieloletniej zmarzliny (Swett, 1974; Kulus, 2024; ryc. 1E).

Ze względu na dużą rolę węglanowej cementacji w rekonstrukcjach paleośrodowiskowych i paleoklimatycznych (Mucheż i in., 1998; Verhaert i in., 2002), a także w celu weryfikacji wymienionych koncepcji genezy czwartorzędowych piaskowców i zlepieńców wapienistych należy podjąć kompleksowe badania przebiegu tego procesu. W próbach rekonstrukcji cementacji węglanowej należy wziąć pod uwagę wiele czynników, także regionalne i lokalne warunki klimatyczne.

W klimacie ciepłym (interglacialnym) na proces cementacji istotnie oddziałują czynniki glebowe i biotyczne. Aktywność organizmów żywych prowadzi do rozkładu materii organicznej i wzbogaca wody meteoryczne w CO<sub>2</sub>, co wzmaga rozpuszczanie węglanu wapnia (Tanner, 2010; ryc. 1A). Duże znaczenie mają również lokalne czynniki hydrologiczne, takie jak wahania zwierciadła wód gruntowych. W okresach ciepłych do wytrącania cementów węglanowych może także prowadzić zintensyfikowane parowanie wód (Tanner, 2010; ryc. 1B). Mechanizmem inicjującym precipitację węglanu wapnia może być również mieszanie się infiltrujących wód meteorycznych z wodami strefy freaticznej o różnym stężeniu jonów węglanowych i wapienowych (Letsch, 2014). Poniżej zwierciadła wód gruntowych węglan wapnia może się wytrącać w enklawach osadu o odmiennej teksturze (Letsch, 2014; ryc. 1B).

<sup>1</sup> Uniwersytet Warszawski, Szkoła Doktorska Nauk Ścisłych i Przyrodniczych, ul. Stefana Banacha 2c, 02–097 Warszawa; [b.kulus@uw.edu.pl](mailto:b.kulus@uw.edu.pl); ORCID ID: 0009-0003-1949-248X





**Ryc. 1.** Modele genezy piaskowców i zlepieńców wapienistych w osadach czwartorzędowych, uwzględniające różne środowiska i warunki geologiczne (A–B – interglacjalne; C–D – glacialne; E – peryglacjalne): **A** – ługowanie węglanu wapnia z glin lodowcowych przez wody meteoryczne nasycone CO<sub>2</sub> (pochodzącym z rozkładu materii organicznej w glebie) i precypitacja cementu w stropie serii piaszczysto-żwirowych na skutek zmiany porowatości; **B** – wytrącanie cementów węglanowych na powierzchni zwierciadła wód gruntowych na skutek parowania oraz w strefie freaticznej; **C** – precypitacja węglanu wapnia w wyniku zmian termicznych i hydrodynamicznych związanych z ucieczką CO<sub>2</sub> z wód subglacialnych przez szczeliny w lądolodzie podczas ablacji (Drozdowski, 1991; Kłysz, 1999, zmienione); **D** – nasunięcie lądolodu na osady zaburzone glaciotektonicznie i zamrożone, wywołujące topnienie wierzchniej warstwy osadu na stronie doprądowej wyniesienia, wprowadzenie w ten sposób do filmu wodnego wody agresywnej w stosunku do węglanu wapnia; jego wytrącanie następuje poprzez zamarzanie wody na stronie zaprądowej na skutek spadku ciśnienia (Burgener i in., 2018; Ulbin, 2020, zmienione); **E** – ługowanie węglanu wapnia przez wody meteoryczne z osadów w górnej części profilu i jego wytrącanie w pobliżu nieprzepuszczalnego stropu wieloletniej zmarzliny

**Fig. 1.** Genetic models of different environments and geological conditions (A–B – interglacial; C–D – glacial; E – periglacial) of the formation of sandstones and calcareous conglomerates in Quaternary sediments: **A** – leaching of calcium carbonate from glacial tills by meteoric waters saturated with CO<sub>2</sub> (coming from the decomposition of organic matter in the soil) and precipitation of cement at the top of the sand-gravel series due to porosity change; **B** – precipitation of carbonate cements on the groundwater table due to evaporation and in the phreatic zone; **C** – precipitation of calcium carbonate as a result of thermal and hydrodynamic changes related to the escape of CO<sub>2</sub> from subglacial waters through cracks in the ice sheet during ablation (Drozdowski, 1991; Kłysz, 1999, modified); **D** – the overthrust of the ice sheet onto glaciotektonically disturbed and frozen sediments, causing the melting of the top layer of the sediment on the stoss side of the elevation, thus introducing water aggressive towards calcium carbonate into the water film; its precipitation occurs through the freezing of water on the lee side as a result of the pressure drop (Burgener et al., 2018; Ulbin, 2020, modified); **E** – leaching of calcium carbonate by meteoric waters from sediments in the upper part of the profile and its precipitation near the impermeable top of permafrost

W warunkach glacialnych w mobilizacji węglanu wapnia efektywnie uczestniczą, agresywne wobec niego, zimne wody systemów lodowcowych (Bukowska-Jania, 2007). Wytrącanie węglanu wapnia może zachodzić zarówno w warunkach subglacialnych – z filmu wodnego, na skutek jego zamarzania (Burgener i in., 2018; Lipar i in., 2021; ryc. 1D), jak i z wód na przedpolu lodowca: z wód nalodziowych (Bukowska-Jania, 2007) oraz roztopowych wód stagnujących i płynących – w wyniku ich parowania i degazacji (Waragai, 2005).

### ZAKRES METODYKI

W celu rozpoznania genezy węglanowej cementacji osadów czwartorzędowych na Niżu Polskim należy zastosować szerokie spektrum metod badawczych (Dzierżek i in., 2025), które przeprowadzono dla zlepieńców czwartorzędowych dotychczas w nielicznych stanowiskach (Gradziński i in., 2014 – w Polsce południowej, poza Niżem; Woronko i in., 2022). Analiza litych form czwartorzędowych powinna doprowadzić do określenia (Ostermann i in., 2006; Sanders i in., 2010; Vuillemin i in., 2011; Rattas i in., 2014; Giresse, Martzluf, 2015):

- składu mineralnego cementów (dyfrakcja rentgenowska – XRD);
- składu granulometrycznego i petrograficznego ziaren detrytycznych oraz morfologii cementów (analiza płytek cienkich pod mikroskopem optycznym i w skaningowym mikroskopie elektronowym – SEM);
- właściwości geochemicznych cementów (mikroskopowa analiza płytek cienkich z zastosowaniem lampy katodoluminescencyjnej i analiza SEM);
- składu izotopowego tlenu i węgla w cementach ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$ );
- wieku cementów (datowanie U/Th lub młodszych próbek metodą  $^{14}\text{C}$ ).

### WSTĘPNE WYNIKI I WNIOSKI

W trakcie wstępnych obserwacji zlyfikowanych piaskowców i zlepieńców czwartorzędowych, prowadzonych obecnie w środkowej i północnej Polsce w nowych stanowiskach, i tych znanych od dawna, lecz nadal słabo rozpoznanych, udokumentowano znaczne zróżnicowanie morfologiczne oraz mikrostrukturalne tych skał. Wskazuje to na konieczność rozważenia różnych koncepcji genetycznych oraz zastosowanie w dalszych badaniach wspomnianych już analiz mikroskopowych. Wyniki najnowszych prac na Niżu Polskim wskazują, że oprócz badań analitycznych kluczowe jest także szczegółowe rozpoznanie lokalnej sytuacji geologicznej, w jakiej występują badane piaskowce i zlepieńce (Kulus, 2024; Skołańska i in., 2024).

Rozpoznanie genezy czwartorzędowych form piaskowcowych i zlepieńcowych oraz szczegółowych warunków ich cementacji jest istotne z punktu widzenia interpretacji paleośrodowiskowych czwartorzędu i może być pomocne w zrozumieniu przebiegu diagenety starszych skał. Prześledzenie współczesnych procesów cementacji osadów klastycznych jest możliwe dzięki dość łatwemu dostępowi do czwartorzędowych form cementacyjnych w naturalnych i sztucznych odsłonięciach blisko powierzchni ziemi. Obserwacja skał czwartorzędowych daje także możliwość prześledzenia wpływu na osad procesów zachodzących współcześnie, prowadzących do zatarcia jego pierwotnych cech. Do takich procesów należą: wietrzenie, procesy glebowe i biologiczne. Aktualistyczne spojrzenie na diagenetę jest potrzebne także w świetle wspomnianej selektywności cementacyjnej (zauważalnej już w inicjalnej fazie diagenety), którą obserwuje się także w zapisie kopalnym w starszych osadach geologicznych, zarówno lądowych (np. Arribas i in., 2012), jak i morskich (np. De Boever i in., 2009). Rozdzielczość stratygraficzna czwartorzędu umożli-

wia dość dokładną korelację procesów cementacyjnych z konkretnymi warunkami środowiskowymi, np. glacialnymi lub interglacialnymi (Ostermann i in., 2006; Villa i in., 2012; Girrese, Martzluff, 2015).

Lite skały, jako nietypowe dla niżowego czwartorzędu, od dawna budziły zainteresowanie badaczy, jednak nadal wymagają lepszego rozpoznania. Wyniki ich badań mogą nie tylko poszerzyć nasze zrozumienie procesów zachodzących w najmłodszym okresie dziejów Ziemi, ale także być aktualistycznym reperem przydatnym do rozpoznania właściwości utworów o znacznie dłuższej historii diagenetycznej (Swart, 2015).

Dziękuję Recenzentowi Prof. Tomaszowi Zielińskiemu za uwagi, które umożliwiły poprawienie pierwotnej wersji artykułu.

## LITERATURA

- ANJOS S.M.C., DE ROS L.F., DE SOUZA R.S., DE ASSIS SILVA C.M., SOMBRA C.L. 2000 – Depositional and diagenetic controls on the reservoir quality of Lower Cretaceous Pendência sandstones, Potiguar rift basin, Brazil. *AAPG Bulletin*, 84 (11): 1719–1742.
- ARRIBAS M.E., RODRIGUEZ-LOPEZ J.P., MELENDEZ N., SORIA R.S., DE BOER P.L. 2012 – Giant calcite concretions in aeolian dune sandstones; sedimentological and architectural controls on diagenetic heterogeneity, mid-Cretaceous Iberian Desert System, Spain. *Sedimentary Geology*, 243–244: 130–147.
- BIERNACKA J. 1993 – Zjawisko cementacji kalcytowej osadów fluwioglacjalnych w Starym Puszczykowie k. Poznania. *Przegląd Geologiczny*, 41: 269–272.
- BUKOWSKA-JANIA E. 2007 – The role of glacier system in migration of calcium carbonate on Svalbard. *Polish Polar Research*, 28 (2): 137–155.
- BURGENER L.K., HUNTINGTON K.W., SLETTEN R., WATKINS J.M., QUADE J., HALLET B. 2018 – Clumped isotope constraints on equilibrium carbonate formation and kinetic isotope effects in freezing soils. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 235: 402–430.
- CIBOROWSKI T., JANKOWSKI M. 2007 – Cementacja węglanowa osadów piaszczystych klifu w Gdyni-Orłowie. *Przegląd Geologiczny*, 55 (2): 140–144.
- DE BOEVER E., BIRGEL D., THIEL V., MUCHEZ P., PECKMANN J., DIMITROV L., SWENNEN R. 2009 – The formation of giant tubular concretions triggered by anaerobic oxidation of methane as revealed by archaeal molecular fossils (Lower Eocene, Varna, Bulgaria). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 280: 23–36.
- DROZDOWSKI E. 1991 – Sandstones and Conglomerates Formed by Precipitation of CaCO<sub>3</sub> under Stagnant Ice Sheet. *Bull. Ac. Sci., Earth Sci.*, 39 (3): 253–266.
- DROZDOWSKI E., KRAŻEWSKI S. 1978 – Piaszkowce i zlepienie plejstocenijskie w dolinie dolnej Wisły. *Przegląd Geologiczny*, 26: 485–489.
- DZIERŻEK J., CABAŁA I., KULUS B., LINDNER L., MITURA A., TEODORSKI A., ULBIN K., MARKS L. 2025 – Environmental response to climatic changes in the Pleistocene – selected evidence from Poland. *Przegląd Geologiczny*, 73, 2: 145–157.
- GIRRESSE P., MARTZLUFF M. 2015 – AMS radiocarbon dating of carbonate cements in late Pleistocene alluvial conglomerates, Verdoube River. Palaeoenvironmental implications concerning the Palaeolithic site of Tautavel (Pyrénées-Orientales). *Géomorphologie Relief Processus Environnement*, 21 (2): 115–130.
- GRADZIŃSKI M., HERCMAN H., STANISZEWSKI K. 2014 – Middle Pleistocene carbonate-cemented colluvium in southern Poland: Its depositional processes, diagenesis and regional palaeoenvironmental significance. *Sedimentary Geology*, 306: 24–35.
- HARRIS P.M., KENDALL C.G.ST.C., LERCHE I. 1985 – Carbonate cementation – a brief review. *SEPM Society for Sedimentary Geology*, 36: 79–95.
- KŁYSZ P. 1999 – Problem czwartorzędowej cementacji węglanowej na przykładzie osadów w rejonie Lipowej Góry (okolice Czapliska) na Pojezierzu Drawskim. *Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią*, seria A, *Geografia Fizyczna*, 50: 73–83.
- KULUS B. 2024 – Small size forms and microstructure of carbonate cementation products in Quaternary sediments in the middle-western Poland. [W:] Jairus T., Nirgi T., Hang T., Rosentau A. (red.), *Quaternary Sediments, Landscapes, and Early Settlement History in Western Estonia*. Abstract volume of the INQUA Peribaltic Working Group international field symposium, August 25–30, 2024. Institute of Ecology and Earth Sciences, University of Tartu: 24–25.
- LETSCHE D. 2014 – The Distinction Between Carbonate Cement and Internal Sediment in Quaternary Gravels: A Combined Field, Petrographic, and Stable Isotope Study from Northern Switzerland. *Earth Science Research*, 3 (1): 56–71.
- LIPAR M., PÉREZ A.M., TIČAR J., PAVŠEK M., GABROVEC M., HRVATIN M., KOMAC B., ZORN M., ZUPAN HAJNA N., ZHAO J.-X., FERK M. 2020 – Subglacial carbonate deposits as a potential proxy for glacier's existence. *The Cryosphere*, 15: 17–30.
- MA B., CAO Y., WANG Y., JIA Y. 2016 – Origin of carbonate cements with implications for petroleum reservoir in Eocene sandstones, northern Dongying depression, Bohai Bay basin, China. *Energy Exploration & Exploitation*, 34 (2): 199–216.
- MUCHEZ P., NIELSEN P., SINTUBIM M., LAGROU D. 1998 – Conditions of meteoric calcite formation along a Variscan fault and their possible relation to climatic evolution during the Jurassic–Cretaceous. *Sedimentology*, 45: 845–854.
- NOWICKI A.J., RADLICZ K. 1961 – O występowaniu i genezie zlepienia czwartorzędowego. *Kwartalnik Geologiczny*, 5: 915–929.
- OSTERMANN M., SANDERS D., KRAMERS J. 2006 – <sup>230</sup>Th/<sup>234</sup>U ages of calcite cements of the proglacial valley fills of Gamperdon and Bürs (Riss ice age, Vorarlberg, Austria): geological implications. *Austrian Journal of Earth Sciences*, 99: 31–41.
- RATTAS M., LOMP P., JOELEHT A. 2014 – Carbonate cementation in the late glacial outwash and beach deposits in northern Estonia. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 63 (1): 30–44.
- SANDERS D.G., OSTERMANN M., KRAMERS J. 2010 – Meteoric diagenesis of Quaternary carbonate-rocky talus slope successions (Northern Calcareous Alps, Austria). *Facies*, 56 (1): 27–46.
- SKOLASIŃSKA K., ZAWALA D., PISARSKA-JAMROŻY M., WORONKO B. 2024 – Quaternary conglomerates – their properties and diversity. [W:] Jairus T., Nirgi T., Hang T., Rosentau A. (red.), *Quaternary Sediments, Landscapes, and Early Settlement History in Western Estonia*. Abstract volume of the INQUA Peribaltic Working Group international field symposium, August 25–30, 2024. Institute of Ecology and Earth Sciences, University of Tartu: 43–44.
- SKOMPSKI S., NOWAK J. 1965 – Piaszkowce i zlepienie czwartorzędowe. *Przegląd Geologiczny*, 13: 145–148.
- SWART P.K. 2015 – The geochemistry of carbonate diagenesis: The past, present and future. *Sedimentology*, 62: 1233–1304.
- SWETT K. 1974 – Calcrete crust in an Arctic permafrost environment. *American Journal of Science*, 274: 1059–1063.
- TANNER L.H. 2010 – Continental Carbonates as Indicators of Paleoclimate. [W:] Alonso-Zarza A.M., Tanner L.H. (red.), *Carbonates in Continental Settings: Geochemistry, Diagenesis and Applications*. The Netherlands: Elsevier, 179–214.
- ULBIN K. 2020 – Warunki powstawania czwartorzędowych zlepieńców podglinowych na przykładzie stanowiska Koczery we wschodniej Polsce. Praca magisterska, UW, Archiwum Prac Dyplomatycznych UW.
- URBAN J. 1999 – Skałki rezerwatu „Skalisty Jar Libberta” na Pojezierzu Myśliborskim. *Chrońmy Przyrodę Ojczystą*, 55: 84–90.
- VERHAERT G., MUCHEZ P.H., SINTUBIN M., ZEELMAEKERS E. 2002 – Calcite cementation of screes: palaeoclimatic implications. *Aardk. Mededel.*, 12: 153–156.
- VILLA E., STOLL H., FARIAS P., ADRADOS L., EDWARDS R.L., CHENG H. 2012 – Age and significance of the Quaternary cemented deposits of the Dujé Valley (Picos de Europa, Northern Spain). *Quaternary Research*, 79 (1): 1–5.
- VUILLEMIN A., NDIAYE M., MARTINI R., DAVAUD E. 2011 – Cement stratigraphy: image probes of cathodoluminescent facies. *Swiss Journal of Geosciences*, 104: 55–66.
- WARAGAI T. 2005 – Holocene calcrete crust deposits on the moraine of Batura Glacier, northern Pakistan. *The Island Arc*, 14: 368–377.
- WORONKO B., ULBIN K., SKOLASIŃSKA K., MIROSLAW-GRABOWSKA J., PISARSKA-JAMROŻY M., GÓRSKA M., APOLIŃSKA K. 2022 – Calcite cementation as a result of subglacial processes – the Saalian ice-sheet case study. 10<sup>th</sup> International Conference on Geomorphology, Coimbra, Portugal, 12–16 Sep. 2022; <https://doi.org/10.5194/icg2022-449>

Praca wpłynęła do redakcji 25.03.2025 r.  
Akceptowano do druku 14.04.2025 r.