

Recenzja w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego doktorowi Mateuszowi Zielińskiemu

Hubert Wierzbowski

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa

Cykl powiązanych tematycznie artykułów dr Mateusza Zielińskiego, przedłożony do oceny w postępowaniu habilitacyjnym jako główne osiągnięcie naukowe, składa się z czterech opublikowanych współautorskich prac, których pierwszym autorem, a w trzech przypadkach również autorem korespondencyjnym jest habilitant. Prace przedłożone jako osiągnięcie naukowe zostały opublikowane w uznanych czasopismach międzynarodowych specjalizujących się w tematyce geochemii środowiska i hydrologii tj. *Science of the Total Environment*, *Applied Geochemistry* i *Hydrological Processes*, które posiadają współczynniki wpływu („impact factors”) za rok 2023 wynoszące odpowiednio 8,2, 3,1 oraz 2,8 i zostały zrecenzowane przez anonimowych recenzentów. Do wniosku w postępowaniu habilitacyjnym zostały dołączone oświadczenia współautorów o ich wkładzie w ww. publikacje. Ponadto załączono kopię dyplomu doktorskiego, wykaz osiągnięć naukowych i autoreferat, w których habilitant przedstawia swój dorobek i karierę naukową oraz podsumowuje koncepcję i metodykę przeprowadzonych badań składu izotopowego i zawartości strontu występującego w środowisku naturalnym Polski oraz znaczenie uzyskanych wyników m. in. dla badań archeologicznych i monitoringu współczesnych zanieczyszczeń wód.

W najwcześniejszym artykule autorstwa: M. Zielińskiego, J. Dopieralskiej, Z. Bełki, A. Walczaka, M. Siepaka i M. Jakubowicza pt. „*Sr isotope tracing of multiple water sources in a complex river system, Noteć river, central Poland*” opublikowanym w 2016 roku w czasopiśmie *Science of the Total Environment* przedstawione zostały wyniki badań składu izotopowego i stężeń strontu w wodach Noteci, odcinkach przyujściowych jej głównych dopływów oraz przemysłowych solankach, wodach kopalnianych, wodach atmosferycznych, nawozach sztucznych i glinach polodowcowych jej zlewni. Uzyskane wyniki wskazują na znaczny udział wód kopalnianych o wysokich stężeniach strontu i niskich stosunkach izotopowych strontu (około 0,7089) w górnym biegu Noteci, poniżej jej źródeł, szczególnie w trakcie okresu letniego. Stopniowy wzrost stosunku izotopowego strontu w dolnym biegu Noteci (do 0,7104 – 0,7105) spowodowany jest wzrastającym udziałem strontu radiogenicznego pochodzącego z ługowania osadów polodowcowych. Porównanie stosunku izotopowego współczesnych wód Noteci z opublikowanymi danymi odnośnie stosunków izotopowych strontu szkieletów ludzi żyjących w XVII i XVIII wieku oraz stosunkami izotopowymi strontu współczesnej flory i fauny wskazuje dodatkowo na znaczne zanieczyszczenie wód i biomasy w rejonie badań strontem pochodzącym z nawozów sztucznych o obniżonym stosunku izotopowym. Uniemożliwia to, zdaniem autorów, proste wykorzystanie składu izotopowego strontu współczesnych wód, flory i fauny, żyjących w środowisku zmienionym przez człowieka, jako wzorców referencyjnych dla izotopowych badań archeologicznych.

W następnym artykule autorstwa: M. Zielińskiego, J. Dopieralskiej, Z. Bełki, A. Walczaka, M. Siepaka i M. Jakubowicza pt. „*The strontium isotope budget of the Warta River (Poland): Between silicate and carbonate weathering, and anthropogenic pressure*” opublikowanym w 2017 roku w czasopiśmie *Applied Geochemistry* przedstawione zostały wyniki badań składu izotopowego i stężeń strontu w wodach Warty i odcinkach przyujściowych jej głównych dopływów. Dane dowodzą stosunkowo wąskiego zakresu stosunku $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ wód tej rzeki w trakcie wiosny i lata mieszczącego się w zakresie 0,7090 – 0,7105, który kontrastuje z bardziej zróżnicowanymi stosunkami strontu jej

dopływów. Uzyskane wyniki, w tym diagramy mieszania się składników o krańcowych wartościach stosunku izotopowego i stężeń strontu wskazują na różne pochodzenie występującego w wodach Warty strontu, przy czym głównymi jego źródłami są wietrzenia mezozoicznych utworów węglanowych i skał silikoklastycznych oraz czwartorzędowych utworów polodowcowych o wysoce radiogenicznym stosunku strontu. Praca wskazuje na umiarkowany udział strontu pochodzenia antropogenicznego z wód kopalnianych i nawozów sztucznych w budżecie strontu rzeki Warty.

W kolejnym artykule autorstwa: M. Zielińskiego, J. Dopieralskiej, Z. Bełki, A. Walczaka, M. Siepaka i M. Jakubowicza pt. „*Strontium isotope identification of water mixing and recharge sources in a river system (Oder River, central Europe): A quantitative approach*” opublikowanym w 2018 roku w czasopiśmie *Hydrological Processes* przedstawiono wyniki badań składu izotopowego i stężeń strontu w wodach Odry, odcinkach przyujściowych jej głównych prawobrzeżnych dopływów oraz szerszym biegu jej lewobrzeżnych dopływów. Uzyskane wyniki wskazują na dość dużą zmienność stężeń strontu w lecie i stosunkowo niewielką zmienność w roku składu izotopowego strontu wód Odry. Większa radiogeniczność stosunków izotopowych strontu wód Odry na Górnym Śląsku (maksymalnie do 0,7108) wiąże się z dopływem wód kopalnianych. Stosunki izotopowe wód Odry obniżają się lekko (do 0,7104) aż do ujścia Nysy Kłodzkiej, a następnie lekko rosną (do 0,7107) aż do ujścia Kaczawy. W niższym biegu Odry obserwuje się lekki spadek stosunku $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ na skutek dopływu wód pokopalnianych z Głogowskiego Okręgu Miedziowego oraz wód z rzeki Warty i rzeki Myśli niosących nieradiogeniczny stront. Autorzy pracy wykazali, że skład izotopowy i zawartości strontu wód Odry uwarunkowane są dopływem tego pierwiastka z kilku źródeł, w tym: ze skał magmowych i metamorficznych Sudetów oraz osadów polodowcowych, wód kopalnianych z górnictwa węgla kamiennego i miedzi, o różnych stosunkach izotopowych strontu, a także ługowania strontu z płytkich mezozoicznych i paleogeńsko-neogeńskich poziomów wodonośnych, na co wskazują krzywe mieszania się poszczególnych składników. Wyniki modelowania geochemicznego wskazują z kolei na dominację w budżecie strontu rzeki Odry strontu pochodzącego ze źródeł antropogenicznych, który cechuje się zmiennymi stosunkami $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. Kalkulacje pierwotnego składu izotopowego wód Odry przed erą przemysłową dowodzą, że jego stosunek izotopowy był pierwotnie nieco wyższy w jej dolnym biegu, w którym uległ on obecnie obniżeniu na skutek dopływu strontu pochodzącego z nawozów sztucznych. Tego typu systemowa różnica ma istotne znaczenie dla izotopowych badań archeologicznych.

W ostatnim artykule z cyklu autorstwa: M. Zielińskiego, J. Dopieralskiej, S. Królikowskiej-Ciągło, A. Walczaka i Z. Bełki pt. „*Mapping of spatial variations in Sr isotope signatures ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) in Poland — Implications of anthropogenic Sr contamination for archaeological provenance and migration research*”, który ukazał się w 2021 roku w czasopiśmie *Science of the Total Environment* zestawiono opublikowane wyniki analiz składu izotopowego strontu 890 próbek skał, wód i roślin Polski uzupełniając je o analizy składu izotopowego strontu 48 próbek pobranych przez autorów. W pracy przedstawiono zmienność składu izotopowego strontu podłoża skalnego różnych regionów geologicznych zestawiając mapy stosunku $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Sudetów i obszarów wyżynnych Polski, gdzie odsłaniają się skały magmowe i metamorficzne oraz starsze skały osadowe paleozoiku, mezozoiku, paleogenu i neogenu. Zbiór danych odnośnie składu izotopowego strontu wód rzecznych uzupełniono o analizy strontu prawobrzeżnych dopływów Odry, rzek pobrzeża Bałtyku oraz nieliczne pomiary składu strontu górnego biegu Wisły. Uzyskane dane pozwoliły na znacznie dokładniejsze zobrazowanie składu izotopowego strontu podłoża skalnego Polski niż było to wcześniej znane (por. Hoogewerff i in. 2019). Wskazano przy tym na wysokie, radiogeniczne stosunki $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ osadów glacialnych ($> 0,72$), większości magmowych i metamorficznych skał Sudetów (zmieniające się w zakresie od 0,7023 do 1,1486), skał klastycznych triasu (0,7106 – 0,7232), dolnopaleozoicznych skał klastycznych Gór Świętokrzyskich ($> 0,72$) oraz wistuliańskich lessów (około 0,72). Niższe wartości stosunku izotopowego strontu są charakterystyczne dla badeńskich gipsów paratetydy (0,7089 – 0,7091) oraz górnójurajskich

węglanów (0,7068 – 0,7083). Skał izotopowy strontu tych ostatnich skał został jednakże oszacowany częściowo w oparciu o globalną strontową krzywą izotopową wody morskiej z pracy McArthur i in. (2001). Jak dowodzą wyniki badań liści dębu i brzozy i zgodnie z sugestiami autorów skład izotopowy strontu biomasy roślinnej różni się jednakże od składu izotopowego strontu podłoża skalnego na skutek mieszania się wód gruntowych o wyższym stosunku izotopowym strontu z wodami opadowymi o niskim stosunku izotopowym strontu, niezależnie od wpływu antropogenicznych zanieczyszczeń pochodzących w przeważającej części z nawozów sztucznych.

Przedstawione w ww. czterech artykułach naukowych nowe wyniki i zestawione wcześniej opublikowane dane oraz ich dyskusja i wyniki modelowań geochemicznych, a także zaprezentowane wykresy i mapy stanowią pierwsze kompleksowe kompendium wiedzy o współczesnym zróżnicowaniu stosunków izotopowych strontu podłoża skalnego Polski, jej wód płynących (głównie w zachodniej i środkowej części kraju), a także liści roślin. Są one ściśle powiązane tematycznie i mają fundamentalne znaczenie dla badań obiegu tego pierwiastka w przyrodzie naszego kraju oraz analiz stopnia zanieczyszczenia środowiska strontem pochodzącym z procesów antropogenicznych, jak również oceny różnic współczesnych sygnatur izotopowych strontu, w stosunku do sygnatur strontu występującego w środowisku przed erą przemysłową. Te ostatnie mogłyby być teoretycznie wykorzystane jako referencyjne do badań migracji ludzi w dawnych epokach archeologicznych. Uzyskane dane wskazują na znaczną domieszkę strontu pochodzenia antropogenicznego, zwłaszcza z nawozów sztucznych i w nieco mniejszej ilości z wód kopalnianych, która istotnie zmieniła stosunki izotopowe strontu wód rzecznych i gleb w Polsce. Utrudnia to rekonstrukcje pierwotnego stosunku izotopowego strontu tych rezerwuarów. Należy jednocześnie zauważyć, że pozyskanie przedstawionych wyników wymagało poświęcenia znacznego czasu pracy, pobrania próbek wód w dwu różnych porach roku z różnych rzek i ich dopływów, zebrania wielu opublikowanych danych odnośnie składu izotopowego strontu skał oraz uzupełnienia ww. zbioru danych o nowe wyniki. Zastosowane skomplikowane procedury separacji i pomiarów składu izotopowego strontu były niewątpliwie kosztowne i pracochłonne. Całość prowadzonych prac uzasadnia zaangażowanie licznego zespołu badawczego.

Pomimo trudności w przełożeniu obecnego stosunku izotopowego strontu na dawne sygnatury izotopowe tego pierwiastka, a także, jak wskazują autorzy w ostatnim artykule, efektów mieszania się wód opadowych i gruntowych opublikowane dane i ich dyskusję należy zakwalifikować jako wybitne osiągnięcie naukowe w zakresie geochemii strontu i jego izotopów trwałych. Spełnia ono definicję cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych możliwych do przedstawienia w postępowaniu habilitacyjnym jako osiągnięcie naukowe, zgodnie z art. 219 ust. 1 pkt 2 lit. b Prawa o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018, poz. 1668). Osiągnięcie to umożliwiło wypełnienie luki istniejącej od wielu lat w zakresie wiedzy o rozprzestrzenieniu i geochemii tego pierwiastka w Polsce w wodach rzecznych i w podłożu skalnym. Należy jednak wspomnieć, że dodatkowe dane, które powinny zostać zebrane w przyszłości z dorzecza Wisły muszą uzupełnić wiedzę o zróżnicowaniu składu strontu w wodach rzecznych Polski. Uzyskane dane umożliwią mimo tego szerokie porównania składu izotopowego strontu podłoża geologicznego i wód Polski ze składem izotopowym kostnych materiałów archeologicznych. Należy zauważyć, iż brak takich danych był dotychczas znacznym ograniczeniem w analizach porównawczych materiałów archeologicznych pochodzących z Polski i regionów ościennych (por. Price i in. 2013).

Ponieważ opublikowane artykuły naukowe przeszły rygorystyczne recenzje wydawnicze i zapewne poprawki autorskie to trudno dopatrzeć się w nich większych błędów merytorycznych. Nadmiernym uproszczeniem wydaje się jednakże sugerowana w najwcześniejszej pracy (Zieliński i in. 2016) możliwość bezpośredniego przełożenia składu izotopowego wód rzecznych na skład izotopowy kości ludzi i zwierząt żyjących w dawnych epokach archeologicznych. Wynika to faktu, iż wody rzeczne

niosą mieszany stront pochodzący z wód opadowych i wód gruntowych podczas, gdy ludzie żyjący w dawnych czasach mogli czerpać wodę ze studni lub naturalnych źródeł charakteryzujących się zwiększonym dopływem wód pochodzenia gruntowego. To samo dotyczy zwierząt i biomasy roślinnej spożywanej przez człowieka, która zawiera składniki mineralne zaczerpnięte z wód porowych i gleby, różniących się składem chemicznym od wód rzecznych. Jak zauważono już dość dawno w literaturze naukowej skład izotopowy strontu szkieletów zwierząt i ludzi odzwierciedla zatem skład strontu dostępnego biologicznie, który może różnić się od składu izotopowego strontu utworów geologicznych podłoża, czy wód rzecznych (por. Price i in. 2002). Autorzy sygnalizują jednakże ten problem w ostatniej z prac autorstwa Zielińskiego i in. (2021).

Osobną kwestią wymagającą poruszenia jest sprawa przyjmowania uśrednionego składu izotopowego strontu węglanów, zgodnie z globalną krzywą strontową McArthura i in. (2001), jako charakterystycznego, w szczególności, dla górnjurajskich wapieni. Należy tu przypomnieć, iż procesy zachodzące w trakcie wymiany izotopowej podczas dość powszechnej diagenetyzacji meteorycznej prowadzą z reguły do podwyższenia stosunku $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ zmienionych diagenetycznie wapieni (por. Wierzbowski, 2013). Takimi zjawiskami były z pewnością rozległe procesy krasowe zachodzące na Wyżynie Wieluńskiej, Wyżynie Krakowsko-Częstochowskiej i obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich na przełomie paleogenu i neogenu, które doprowadziły do krasowienia wapieni, powstania pokryw wietrzeniowych oraz licznych lejów krasowych wypełnionych wtórnymi osadami silikoklastycznymi pochodzenia lądowego (por. Głazek, 1989; Głazek i in., 1992; Liszkowski, 1996). Wody krążące w systemach krasowych mogły zatem znacząco zmienić pierwotne stosunki izotopowe strontu górnjurajskich wapieni nie tylko w strefach lejów krasowych, czy w systemach jaskiniowych, lecz także w rozległych skrasowiatach strefach powierzchniowych ich wychodni. Dane analityczne w tym zakresie nie są jednakże znane.

Ponadto pewne niejasności w kwestii metodologii badań dotyczą przyjmowanej wartości wzorca NBS (SRM) 987 = 0,710240, podczas gdy w przypadku strontowej stratygrafii izotopowej, przyjmuje się na ogół wartość 0,7110248 (por. McArthur, 1994). Nie ma to jednak zapewne większego wpływu na porównanie wyników uzyskanych przez różnych autorów w ostatniej zbiorczej pracy habilitanta. Warto również wspomnieć, że chociaż w rozdziałach metodologicznych trzech prac (Zieliński i in., 2016, 2017, 2018) znajduje się informacja, że jakość pomiarów analitycznych zawartości strontu metodą ICP TQMS monitorowano przy użyciu certyfikowanego wzorca (SRM 1640a) nie podano jaka była jego rzeczywista powtarzalność.

Z uwagi na zbiorowy charakter artykułów składających się na rozprawę habilitacyjną należy dodatkowo ocenić indywidualny wkład habilitanta w przygotowanie ww. artykułów naukowych zgodnie z możliwością przewidzianą w art. 219 ust. 2 Prawa o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018, poz. 1668). Zgodnie z oświadczeniami większości autorów tj. M. Jakubowicza, S. Królikowskiej-Ciągło, A. Walczaka, i M. Siepaka charakter prac wykonanych przez nich polegał głównie na pracach terenowych i laboratoryjnych, przygotowaniu rozdziałów metodologicznych oraz edycji manuskryptów. Udział Z. Bełki i J. Dopieralskiej był bardziej istotny merytorycznie. Zgodnie z ich oświadczeniami brali oni udział w przygotowaniu koncepcji projektów, jak można rozumieć na finansowanie badań, zarządzali projektami, w ramach których finansowano prace oraz dyskutowali wyniki i brali udział w przygotowaniu finalnych wersji manuskryptów prac naukowych. W oświadczeniach nie sprecyzowali oni jednakże, jakie konkretnie części artykułów bądź procentowy udział w nich są ich autorstwa. Utrudnia to ocenę ich wkładu w poszczególne publikacje. Należy tu przypomnieć, że znaczący wkład Z. Bełki w ostatnią pracę (Zieliński i in. 2021) jest potwierdzony faktem, iż był on jej autorem korespondencyjnym. Może to być lekko zaskakujące biorąc pod uwagę ostatnią pozycję jego nazwiska w spisie jej autorów.

Zgodnie z informacjami podanymi przez habilitanta w wykazie osiągnięć naukowych stworzył on koncepcję badań, brał udział w pracach terenowych i był główną osobą odpowiedzialną za powstanie manuskryptów trzech artykułów naukowych (Zieliński i in. 2016, 2017, 2018) choć dyskutował wyniki ze Z. Bełką oraz kwestie metodologiczne z J. Dopieralską. Ponadto pozycja habilitanta jako pierwszego autora wszystkich artykułów składających się na rozprawę habilitacyjną pomimo, iż jego nazwisko zaczyna się na ostatnią literę alfabetu, pozwala uznać jego rolę za wiodącą w zakresie całościowym i merytorycznych wniosków publikacji. W przypadku trzeciego artykułu (Zieliński i in. 2021) sytuacja jest jednakże nieco bardziej skomplikowana, gdyż habilitant przyznaje, że przygotował manuskrypt wspólnie ze Z. Bełką i J. Dopieralską. Jak już wspomniano Z. Bełka był również autorem korespondencyjnym tej publikacji. Należy jednak przyjąć, że habilitant, jako pierwszy autor, odpowiadał za większość prac związanych z interpretacją wyników i przygotowaniem manuskryptu ostatniego artykułu. Jego rola powinna być zatem uznana za pierwszoplanową również w przypadku tej publikacji. Podsumowując należy uznać, że indywidualny, merytoryczny wkład habilitanta w przygotowanie cyklu publikacji będącej podstawą ubieganie się o nadanie tytułu doktora habilitowanego był nie tylko znaczny ale i wiodący.

Dodatkową kwestią, która podlega ocenie w postępowaniu habilitacyjnym jest aktywność naukowa kandydata. Powinna ona zostać uznana za istotną i realizowaną na więcej niż jednej uczelni lub instytucji naukowej zgodnie z zapisami art. 219 ust. 1 pkt 3 Prawa o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018, poz. 1668). Do aktywności naukową habilitanta należy zaliczyć jego współautorstwo w dwu rozdziałach w monografiach archeologicznych, autorstwo jednej publikacji poświęconej górnopaleozoicznym konodontom i współautorstwo pięciu publikacji poświęconych wykorzystaniu izotopów strontu i neodymu w badaniach środowiskowych i paleośrodowiskowych. Wszystkie, z wyjątkiem jednej, z wymienionych publikacji ukazały się w międzynarodowych indeksowanych czasopismach w języku angielskim, po otrzymaniu przez habilitanta stopnia doktora w dziedzinie nauk o Ziemi. Do aktywności naukowej prowadzonej przez habilitanta po uzyskaniu stopnia doktora należy zaliczyć współautorstwo dwu doniesień konferencyjnych, dwie prezentacje posterowe i jedną ustną. Z wyjątkiem jednej prezentacji zostały one przedstawione na międzynarodowych konferencjach. Ponadto po uzyskaniu stopnia doktora habilitant był kierownikiem projektu miniatura NCNu oraz wykonawcą dwu innych projektów NCNu i grantu brytyjskiego Stowarzyszenia Archeologii Środowiskowej. W ramach prowadzonych badań naukowych habilitant przebywał na krótkich sześciu- i trzydniowych pobytach naukowych na (Wydziale Geologii) Uniwersytetu Warszawskiego oraz na dziewięciodniowym pobycie w Instytucie Geologii i Geochemii Palnych Minerali Ukrainskiej Akademii Nauk we Lwowie. Do dodatkowej aktywności naukowej po otrzymaniu stopnia doktora należy zaliczyć sześć wykonanych recenzji wydawniczych i jedną projektu naukowego. Prowadził on również działalność popularyzatorską i dydaktyczną obejmującą liczne ćwiczenia i wykłady dla studentów z geologii, gleboznawstwa, geomorfologii, hydrologii, gospodarki odpadami, gospodarki przestrzennej, biogeochemii, badań środowiska, fotografii przyrodniczej, technologii informacyjnej, grafiki komputerowej i kartowania środowiska przyrodniczego oraz był promotorem jednej pracy magisterskiej. Pełnił on również funkcję opiekuna roku.

Zgodnie z informacją z wykazu osiągnięć naukowych dr Mateusz Zieliński posiada 114 cytowań w bazie Web of Science i indeks Hirscha równy 5. Weryfikacja ww. danych w bazie Web of Science przeprowadzona przez recenzenta, w trakcie przygotowywania recenzji, wykazała, że znajduje się w niej obecnie 10 publikacji habilitanta, posiada on 126 cytowań swoich prac, z tego 112 bez autocytowań i posiada on w dalszym ciągu indeks Hirscha równy 5.

Aktywność naukową habilitanta należy zatem ocenić jako istotną biorąc, w szczególności, pod uwagę jego krótki staż pracy tj. studia doktoranckie w latach 2008–2011 i etatowe zatrudnienie w

jednostce naukowej jaką jest Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza, poczynając od 2012 roku. Tym samym, zdaniem recenzenta, osiągnięcia naukowe i aktywność naukowa dr Mateusza Zielińskiego spełniają niezbędne wymagania określone w art. 219 ust. 1 pkt. 2 i pkt 3 Prawa o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018, poz. 1668) dla nadania mu stopnia doktora habilitowanego.

Hubert Wierzbowski
(dn. 12.05.2025)

Prace innych autorów cytowane w recenzji:

- Hoogewerff, J.A., Reimann, C., Ueckermann, H., Frei, R., Frei, K.M., van Aswegen, T., Stirling, C., Reid, M., Clayton, A., Ladenberger, A., Team, G.P., 2019. Bioavailable $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in European soils: a baseline for provenancing studies. *Science of the Total Environment* **672**, 1033–1044.
- Głazek, J., 1989. Paleokarst of Poland. W: Bosák, P., Ford, D., Głazek, J., Horáček, I., (red.), *Paleokarst: a systematic and regional review*. Elsevier. 77–105.
- Głazek, J., Pacholewski, A., Rożkowski, A., 1992. Karst aquifer of the Cracow-Wieluń Upland, Poland. W: Back, W., Herman, J.S., Paloc H., (red.), *Hydrogeology of Selected Karst Regions, International Contributions to Hydrogeology* **13**, International Association of Hydrogeologists: 289–339.
- Liszkowski, J., 1996. Poligeneza rzeźby obszarów wyżynnych Polski w świetle analiz reliktowych pokryw wietrzeniowych. *Acta Geographica Lodziensia* **71**, 165–179.
- McArthur, J.M., 1994. Recent trends in strontium isotope stratigraphy. *Terra Nova* **6**, 331–358.
- McArthur, J.M., Howarth, R.J., Bailey, T.R., 2001. Strontium isotope stratigraphy: LOWESS version 3: best fit to the marine Sr-isotope curve for 0–509 Ma and accompanying look-up table for deriving numerical age. *Journal of Geology* **109**, 155–170.
- Price, T.D., Burton, J.H., Bentley, R.A., 2002. The characterization of biologically available strontium isotope ratios for the study of prehistoric migration. *Archaeometry* **44**, 117–135.
- Price, T.D., Naun, M., Bennike, P., Lynnerup, N., Frei, K.M., Wagnkilde, H., Pind, T., Nielsen, F.O., 2013. Isotopic investigation of human provenience at the eleventh century cemetery of Ndr. Grødbygård, Bornholm, Denmark. *Danish Journal of Archaeology* **1**, 93–112.
- Wierzbowski, H., 2013. Strontium isotope composition of sedimentary rocks and its application to chemostratigraphy and palaeoenvironmental reconstructions. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Lublin – Polonia, Section AAA – Physica* **68**, 23–37.