

AUTOREFERAT

1. Imię i Nazwisko: Maciej Dąbski

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe

- Doktor Nauk o Ziemi w zakresie geografii; Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Uniwersytet Warszawski; tytuł nadany w dniu 24 lutego 2004 r.;
tytuł rozprawy doktorskiej: *Analiza porównawcza gruntów strukturalnych i innych typów sortowania powierzchniowego w strefach marginalnych lodowców Fláa (SE Islandia) i Elizy (NW Spitsbergen)*.
- Magister geografii, zakres geografia fizyczna; Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Uniwersytet Warszawski; tytuł nadany w dniu 2 lipca 1999 r.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu

od 04.05.2004 adiunkt na Wydziale Geografii i Studiów Regionalnych (WGiSR) Uniwersytetu
Warszawskiego, Zakład Geomorfologii

01.10.03 – 30.04.04 asystent na WGiSR UW, Zakład Geomorfologii

01.10.99 – 30.09.03 doktorant na WGiSR UW, Zakład Geomorfologii

4. Wskazanie osiągnięcia* wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.):

Osiągnięciem naukowym jest cykl artykułów naukowych pod zbiorczym tytułem

Wiek maksimum glacialnego w Małej Epoce Lodowej oraz dynamika wzrostu porostów Rhizocarpon i procesów wietrzeniowych w strefach marginalnych lodowców w świetle metod datowania względnego

Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego:

publikacja 1

Dąbski, M. (2007). Testing the size-frequency-based lichenometric dating curve on Fláajökull moraines (SE Iceland) and quantifying lichen population dynamics with respect to stone surface aspect. *Jökull*, 57, 21-35. (IF: 1,2, pkt MNiSW: 20)*

* IF dla r. 2007 dla tego czasopisma nie był liczony; wartość 1,2 opublikowano w r. 2008 (*Jökull* jest na liście filadelfijskiej od r. 2008, publikacja ta figuruje na WoS); punkty MNiSW są zgodnie w liście opublikowaną w 2010, uwzględniającą najwyższą liczbę punktów jaką otrzymało czasopismo w latach 2007-2010.

publikacja 2

Dąbski, M. (2010) A commentary to 'Asynchronous Little Ice Age glacial maximum extent in southeast Iceland' by Chenet et al. (Geomorphology 114 (2010) 253-260); a case of Fláajökull. *Geomorphology*, 120, 365-367.

(IF: 2,352, pkt MNiSW: 32)*

**Komentarz ten ma charakter krótkiego artykułu wpisującego się w główny nurt moich badań, a jego ukazanie się miało istotny wpływ na prowadzoną w literaturze dyskusję (3 cytowania na liście ISI i 1 w pracy doktorskiej). Nie jestem pewien w jaki sposób punktować tą publikację.*

publikacja 3

Dąbski, M., Angiel, P. (2010). Geomorphic implications of the retreat of Breiðamerkurjökull in the southern part of the Skálafelljökull ridge, Esjufjöll, Iceland. *Jökull*, 60, 185-198.

(IF: 1,889, pkt MNiSW: 20)

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na kierowaniu projektem na wszystkich jego etapach, wykonaniu analiz sedymentologicznych i lichenometrycznej, wykonaniu wszystkich rycin, napisaniu artykułu. Mój udział procentowy szacuję na 80%.

publikacja 4

Angiel, P.J. and Dąbski, M. (2012). Lichenometric ages of the Little Ice Age moraines on King George Island and of the last volcanic activity on Penguin Island (West Antarctica). *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 94, 395-412.

(IF: 1,667, pkt MNiSW: 30)

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na konsultacjach metodologicznych, udziale w obliczeniach lichenometrycznych, wykonaniu wykresów dotyczących analizy lichenometrycznej, korekcie końcowej wersji artykułu. Mój udział procentowy szacuję na 20%.

publikacja 5

Dąbski, M., Tittenbrun, A. (2013). Time-dependant surface deterioration of glacially abraded basaltic boulders deposited by Fláajökull, SE Iceland. *Jökull*, 63, 55-70.

(IF: 1,067, pkt MNiSW: 25)

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na kierowaniu projektem na wszystkich jego etapach, wykonywaniu analiz w terenie, opracowaniu statystycznym wyników wszystkich analiz, wyciągnięciu wniosków końcowych, wykonaniu rycin, napisaniu artykułu. Mój udział procentowy szacuję na 90%.

publikacja 6

Dąbski, M. (2014). Rock surface micro-roughness, Schmidt hammer rebound and weathering rind thickness within LIA Skálafelljökull foreland, SE Iceland. *Polish Polar Research*, 35, 1, 99-114.

(IF: 0,788, pkt MNiSW: 20)

publikacja 7

Dąbski, M. (2012). Determining rock surface micro-roughness and search for new method of relative dating of glacial landforms; a case study from Fláajökull (SE Iceland) and Biferten glacier (Swiss Alps) forefields. *Landform Analysis*, 21, 3-8.

(pkt MNiSW: 6)

Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Wstęp

Od czasu Małej Epoki Lodowej (MEL), kiedy to lodowce w różnych częściach świata miały swój największy zasięg (Zemp i in. 2008), trwa ich powszechna recesja i, co za tym idzie, rozrastają się strefy marginalne lodowców. Stanowi to doskonałą okazję do badań zarówno procesów depozycji glacialnej jak i postsedymentacyjnych przekształceń form polodowcowych, w tym badań dynamiki wietrzenia uwolnionych z lodu lodowcowego powierzchni skalnych.

Celem mojej pracy było określenie wieku maksimum glacialnego w MEL oraz tempa recesji wybranych lodowców na obu półkulach, rozwinięcie metod datowania względnego oraz charakterystyka i określenie tempa procesów wietrzeniowych zachodzących przed czołami lodowców ze szczególnym uwzględnieniem SE części Islandii. Implikuje to konieczność wcześniejszego wydatowania ciągów moren, gdyż bez określenia wieku depozycji glacialnej, nie można wnioskować o dynamice procesów proglaclalnych.

Punktem wyjścia do badań przedstawionych jako główne osiągnięcie naukowe były wyniki moich prac nad rozwojem sortowanych gruntów strukturalnych na przedpolach lodowców Fláajökull (SE Islandia) i Lodowca Elizy (NW Spistbergen) (Dąbski 2005a). W zawiązku z realizacją tego tematu przeprowadziłem datowanie lichenometryczne ciągów morenowych na przedpolu lodowca Fláajökull wykazując, że depozycja osadu na najstarszym wale moreny czołowej zakończyła się w roku 1894 (Dąbski 2002). Tym samym opowiedziałem się na późnodziętnastowiecznym maksimum glacialnym MEL w SE Islandii. Wyniki tych prac spotkały się z dość dużym zainteresowaniem innych badaczy (osiem cytowań w czasopiśmie z listy filadelfijskiej oraz dwa cytowania w pracach doktorskich). Istnieje jednak grono badaczy stojących na stanowisku, że maksymalny zasięg lodowców w MEL w SE Islandii miał miejsce znacznie wcześniej (Kirkbridge i Dugmore 2001, Bradwell 2001, 2004, McKinzeý i in. 2004).

Zainspirowało mnie to do rozwinięcia metod datowania względnego form polodowcowych jak i poszukiwania nowych, dotychczas nie stosowanych w geomorfologii metod, które umożliwią wnioskowanie o czasie maksimum glacialnego MEL i tempie recesji lodowców oraz o dynamice procesów wietrzeniowych na przedpolach lodowców.

Szczegółowe pytania badawcze jakie sobie postawiłem można ująć następująco:

- 1) Jaki jest wiek maksimum glacialnego MEL dla wybranych lodowców na półkuli północnej i południowej? Czy lichenometryczna metoda analizy gradientu rozkładu częstości (ang. *size-frequency-based dating*) może być stosowana do datowania moren powstałych po okresie MEL?
- 2) Jaki jest wpływ uwarunkowań mikroklimatycznych (ekspozycja ścianki kamienia) na wiek populacji porostów stosowanych w lichenometrii ?
- 3) Jak jest tempo obniżania powierzchni lodowców od czasu MEL na wysokości linii równowagi bilansowej (ang. *equilibrium line altitude*) i jak wygląda zapis tego procesu w rzeźbie nunataków? Jak wygląda peryglacialne przekształcenie rzeźby nunataków?
- 4) Czy analizy: mikrochropowatości, twardości powierzchni skalnych oraz grubości otoczki wietrzeniowej pozwolą określić wiek względny młodych form polodowcowych? Czy wspomniane metody pozwolą na określenie wieku maksimum glacialnego MEL z większą precyzją? Jak jest inicjalne tempo wietrzenia powierzchni skalnych od chwili depozycji glacialnej?
- 5) Czy nowatorska metoda chropowatościomierza Handysurf E-35B nadaje się do określania tempa rozwoju mikrorzeźby wietrzeniowej, a tym samym, do datowania względnego form rzeźby?

Jako miejsce realizacji badań wybrałem przedpola czterech lodowców w SE Islandii (Hoffellsjökull, Fláajökull, Skálafellsjökull i Virkisjökull) oraz nunatak Skálabjörg w obrębie lodowca Breiðamerkurjökull, przedpole Lodowca Biferten (Alpy Glarneńskie, Szwajcaria), oraz przedpola Lodowca Ekologii i Lodowca Orła Białego na Wyspie Króla Jerzego (Szetlandy Pd.).

Datowanie lichenometryczne maksimum glacialnego MEL, dynamika rozwoju porostów oraz wykształcenie stref marginalnych

Najczęściej stosowaną metodą stosowaną w datowaniu lichenometrycznym było odniesienie średnicy największej pomierzonej plechy porostu z rodzaju *Rhizocarpon* (metoda LL – ang. *largest lichens*) lub średniej średnicy pięciu największych plech (metoda 5LL) do krzywej przedstawiającej tempo wzrostu porostu (Dąbski 2002). Jednakże, w ciągu ostatniej dekady zaczęto coraz częściej stosować metodę, zapoczątkowaną przez Benedicta (1967, 1985), polegającą na analizie całej populacji pomierzonych plech. Bradwell (2004) opracował dla SE Islandii krzywą lichenometryczną opierającą się na analizie gradientu rozkładu częstości (ang. *size-frequency-based dating*). Metoda ta polega na obliczeniu logarytmu dziesiątego z procentowych udziałów liczby plech w danej klasie wielkości (Dąbski 2005b, **publikacja 1**). W procedurze tej pomija się plechy mniejsze od klasy modalnej. Następnie wykreśla się krzywą regresji z

wyliczonych wartości logarytmów, której przebieg określony jest wzorem $y = mx + c$, gdzie m określa gradient rozkładu częstości (ang. *frequency gradient*), który z kolei mnoży się przez -1, a następnie podstawia do wzoru $y = 7,307x^{-0,9}$, gdzie x oznacza gradient rozkładu częstości (Bradwell 2004). Zatem, im większy jest gradient częstości, tym starszy jest wiek powierzchni skalnej, przy czym zależność ta ma charakter funkcji wykładniczej.

Prowadzone na Islandii datowania lichenometryczne z wykorzystaniem tej metody koncentrowały się na określeniu wieku moren z maksimum MEL. W swojej publikacji 1 przedstawiam wyniki innowacyjnego zastosowania krzywej opracowanej przez Bradwella (2004) dla sekwencji wałów morenowych lodowca Fláajökull obejmującej morenę czołową z MEL oraz formy młodsze, utworzonych w wyniku dwudziestowiecznej recesji lodowca. W roku 2005 pomierzono łącznie 3877 plech z rodzaju *Rhizocarpon* *agg.* na pięciu wałach morenowych, przy czym uwzględniono ekspozycję powierzchni głazika, na którym występowała każda mierzona plecha. Określono wiek najstarszego wału moreny czołowej na AD 1898, co zgadza się z poprzednim datowaniem (Dąbski 2002) i potwierdza poglądy o późno-dziewiętnastowiecznym maksimum MEL (Ahlmann i Thorarinsson 1937, Thorarinsson 1943, Guðmundsson 1997, Evans i in 1999, Hannesdóttir i in. 2014), natomiast przeczy pogładowi o osiemnastowiecznym maksimum glacialnym w MEL (Kirkbridge i Dugmore 2001, Bradwell 2001, 2004, McKinzey i in. 2004). Ponadto w **publikacji 1** wykazałem, że metoda Bradwella (2004) daje wyniki, które dobrze korelują z bezpośrednimi pomiarami położenia czoła (Sigurðsson 1998) tylko wówczas, gdy pominie się plechy znacznie wykraczające (co najmniej o 6 mm) poza średnicę największego porostu w zwartej grupie na wykresie częstości. Metoda analizy gradientu rozkładu częstości umożliwia zatem uchwycenie ponadwymiarowych porostów, które nie powinny być brane pod uwagę w datowaniu lichenometrycznym, gdyż mogą pochodzić sprzed depozycji glacialnej lub być rezultatem połączenia się kilku plech w jedną.

Wyniki badań przedstawione w **publikacji 1** pozwalają także wnioskować, że pionierskie plechy rozwijające się na świeżo zdeponowanej morenie preferują miejsca zacienione i wilgotne, jednakże potem, stopniowo ich liczebność ustępuje populacjom plech porastających ciepłe, nasłonecznione strony głazików. Spostrzeżenie to, zauważone w kręgu biologów m.in. przez Armstronga (2011, 2015) prowadzącego badania nad biologią plech *Rhizocarpon geographicum* oraz biologicznymi podstawami lichenometrii, może mieć dalekosiężne skutki w metodyce datowania lichenometrycznego. Ograniczenie pomiarów plech do powierzchni skalnych o jednakowej ekspozycji, w przypadku datowania sekwencji moren jednego lodowca, może skutkować otrzymaniem niewłaściwych dat.

Kilka lat temu ukazał się w czasopiśmie *Geomorphology* artykuł Chenet i in. (2010), w którym przedstawiono wyniki datowania lichenometrycznego najstarszych wałów morenowych z MEL trzynastu lodowców wpływających na S i SE w czaszy lodowej Vatnajökull (m.in. najstarszej moreny Fláajökull).

Autorzy posłużyli się statystyczną metodą rozkładu zgeneralizowanych wartości ekstremalnych (GEV) oraz modelem bayesowskiego. Do określenia wieku zastosowano metodę Monte Carlo opartą na łańcuchu Markowa (MCMC). Pozwoliło to autorom na podstawie pomiaru zaledwie 50 plech na najstarszym wale Fláajökull określić jego wiek na rok A.D. 1821 (1807–1831). Wiek ten jest o ponad 70 lat starszy od wieku określonego przeze mnie (Dąbski 2002, 2007, **publikacja 1**), co sprowokowało mnie do napisania komentarza (**publikacja 2**). Chenet i in. (2010) wywnioskowali, że maksymalny zasięg lodowców w SE Islandii był asynchroniczny. Ponadto, stwierdzili, że czas maksymalnego zasięgu lodowców w MEL był silnie uwarunkowany hipsometrią i nachyleniem powierzchni lodowców, t.j. lodowce mające wysoko położoną strefę akumulacji i duże nachylenie powierzchni zareagowały szybciej na ochłodzenie klimatu i wcześniej osiągnęły swoje maksimum w MEL (już pod koniec XVIII w.). Jakkolwiek trudno nie zgodzić się z teoretycznymi podstawami tego wnioskowania, to rzeczywiste dane przeczą jednak wynikom Chenet i in. (2010), co wykazałem z polemice opublikowanej w *Geomorphology* (**publikacja 2**), w której – upraszczając - wskazuję na następujące punkty:

- Chenet i in. (2010) datowanie najstarszego wału morenowego oparli na pomiarach jedynie 50 plech *Rhizocarpon geographicum*, podczas gdy w prezentowanych przeze mnie badaniach (**publikacja 1**) pomierzono aż 498 plech *Rhizocarpon agg.* z powierzchni obejmującej łącznie 20 x 300 m wyznaczonej na najstarszym wale morenowym, co stanowi znacznie lepszą bazę do wyliczeń statystycznych.
- Nie jest prawdą, że – jak piszą Chenet i in. (2010) - dokumenty historyczne potwierdzają wcześniejsze, niż późno-dziewiętnastowieczne, maksimum Fláajökull w MEL.
- Chenet in in (2010) pogrupowali lodowce pod względem wieku najstarszych moreny z MEL. Morenę Fláajökull połączyli z morenami Kotárjökull, Kviárjökull, Hrútárjökull i Fjallsökull – grupa wiekowa (A.D. 1796–1831). Ostatnie cztery lodowce wypływają z masywu Öraefajökull, są stromo nachylone, a wysokość ich linii równowagi (ELA) kształtuje się w granicach 840 - 934 m n.p.m. Natomiast, znacznie większy i łagodniej nachylony Fláajökull ma ELA na 655 m n.p.m. (czyli o 185 – 279 m niżej niż poprzednio wspomniane lodowce) i pod względem hipsometrii jest znacznie bardziej podobny do sąsiednich Heinabergsjökull i Hoffellsjökull, które, według Chenet i in (2010) osiągnęły swoje maksima w latach A.D. 1835–1903. W przypadku Fláajökull, twierdzenie o związku hipsometrii z czasem maksymalnego zasięgu w MEL, określonego zastosowaną metodą GEV, jest zatem nieuzasadnione.

Rok po opublikowaniu mojego komentarza Chenet i in. (2011) odnieśli się do moich zarzutów broniąc się argumentami, które – w uproszczeniu – można streścić: 1) stosowana przeze mnie metoda analizy gradientu częstości nie daje wystarczająco dobrze uzasadnionych wyników z punktu widzenia istotności statystycznej (z czym się nie zgadzam), 2) to, że hipsometria Fláajökull nie pasuje do grupy wiekowej, nie przekreśla

wnioskowania o jej generalnym wpływie na czas maksimum glacialnego w rejonie SE Islandii, 3) to, że metoda GEV jest bardzo skomplikowana, nie znaczy, że jest zła.

Należy nadmienić, że wyniki moich prac są przyjęte w najnowszych badaniach dotyczących rekonstrukcji powierzchni lodowców w SE Islandii w MEL (Hannesdóttir i in. 2014), w których maksymalny zasięg lodowców w tym regionie Islandii, w tym lodowca Fláajökull, określa się na schyłek dziewiętnastego wieku.

Zagadnieniem stosunkowo mało rozpoznany pozostawała kwestia tempa obniżania się powierzchni lodowców w SE Islandii wskutek recesji po MEL. Równocześnie w kręgu moich zainteresowań badawczych pozostawało zagadnienie rozwoju form peryglacialnych w bezpośredniej bliskości lodowców (Dąbski 2005a). W **publikacji 3** podjąłem się wraz z Piotrem Angielem zadania określenia tempa i geomorfologicznych skutków obniżania się powierzchni lodowca Breiðamerkurjökull w obrębie nunataka Skálabjörg (ostaniec erozyjny wulkanu Esjufjöll) znajdującego się w rejonie linii równowagi bilansowej lodowca. Nunatak ten, poza sporadycznymi doniesieniami (Eyles, 1978), pozostawał w dużym stopniu terra incognita pod względem rozpoznania geomorfologicznego. Nasze badania koncentrowały się na rozpoznaniu południowej części nunataka i opierały się na kartowaniu geomorfologicznym (w oparciu o pomiary GPS oraz z wykorzystaniem mapy topograficznej z AD 1937-38, zdjęcia lotniczego z AD 1945 oraz obrazu satelitarne z AD 2004), rozpoznaniu osadów powierzchniowych (analiza struktury, uziarnienia i obtoczenia) oraz datowaniu wałów morenowych na podstawie analizy danych n.t. pozycji czoła Breiðamerkurjökull publikowanych przez Islandzkie Towarzystwo Glacjologiczne oraz własnego datowania lichenometrycznego. Ze względu na niewielkie powierzchnie datowanych form terenu i ograniczoną liczbę plech *Rhizocarpon agg.* zdecydowaliśmy się na zastosowanie metody uśrednienia pięciu największych plech (5LL). Z powodu braku możliwości wyliczenia tempa wzrostu porostów na miejscu w oparciu o powierzchnie o znanym wieku, zdecydowaliśmy się na określenie maksymalnego i minimalnego wieku form w oparciu o skrajne wartości tempa wzrostu porostu dla przedpola Vatnajökull wyliczone przez Evansa i in. (1999). Dla przedpola Brúarjökull (północna część Vatnajökull) tempo to zostało określone na 0,5 mm/rok, a odstęp kolonizacyjny na 16 lat. Obszar ten charakteryzuje się średnią roczną temperaturą powietrza od 0°C do -1°C (podobnie jak na Skálabjörg), natomiast opad atmosferyczny jest tam dziesięciokrotnie niższy. Z kolei, maksymalne tempo wzrostu 0,8 mm/rok i zaledwie 6,5 letni odstęp kolonizacyjny został przez Evansa i in. (1999) zastosowany dla południowej części przedpola Vatnajökull, charakteryzującego się średnią temperaturą powietrza o 2–3°C wyższą niż na Skálabjörg, natomiast niższym opadem atmosferycznym. Dodatkową informację na temat minimalnego wieku moren otrzymano licząc słoje wierzby *Salix arctica* występującej na sześciu różnych poziomach wysokościowych na stokach nunataka.

Otrzymane wyniki (**publikacja 3**) wskazują na to, że powierzchnia Breiðamerkurjökull w rejonie Skálaljörg zaczęła obniżać się w okresie AD 1896–1930 i proces ten zachodził ze średnim tempem od 0,8 m do 1,3 m/rok. W rzeźbie terenu po obu stronach Skálaljörg zaznacza się wyraźny wał moreny bocznej z maksimum MEL. Morena ta została zdeponowana na wysokości od 690 do 742 m n.p.m., a jej wysokość względna wynosi od 0,5 m do 2 m. Poniżej można wyróżnić od siedmiu (stok SW) do pięciu (stok E) mniej czytelnych poziomów moreny bocznej, świadczących o pulsacyjnym charakterze obniżania powierzchni lodowca, zdeponowanych na stokach skalnych o wzrastającym kącie nachylenia, od 15° - 20° przy morenie z MEL do 25° - 32° przy współczesnej powierzchni lodowca. Deglacjacja spowodowała powstanie dwóch dużych mis jeziornych w krawędziowej strefie lodowca: jednego przylegającego po południowej części Skálaljörg i drugiego, w jego SW części, w dolinie Fossadalur, gdzie funkcjonuje cofka środkowej części Breiðamerkurjökull. Na wierzchowinie południowej części nunataka wykształciły się formy soliflukcyjne małej skali (jęzory i loby) oraz pasy sortowane małej i dużej skali. Północną część nunataka stanowi silnie zwietrzały i trudno dostępny grzbiet skalny o charakterze turni wchodzącej w pole firmowe Vatnajökull i przypomina strefę peryglacjalną w jej klasycznym sensie (Łoziński, 1912). Otrzymane przez nas tempo deglacjacji powierzchniowej (**publikacja 3**) dobrze koreluje się z wynikami Evansa i Twigga (2002) wskazującymi na początek recesji czoła tego lodowca w AD 1932 oraz z najnowszymi wynikami badań Hannesdóttir in in. (2014) dotyczącymi zmiany geometrii lodowców wypustowych w południowej części Vatnajökull (lecz z pominięciem Breiðamerkurjökull). Badania te wskazują, że tempo obniżania się powierzchni tych lodowców od roku ok. AD 1890 (maksimum glacialne w MEL) do roku AD 2010 na wysokości 600 m n.p.m. (orientacyjna wysokość powierzchni lodowca w południowej części nunataka Skálaljörg) wynosiło od 0,33 m/rok (Fjallsjökull) do 1,04 m/rok (Heinabergsjökull). Otrzymane przez nas tempo powierzchniowej deglacjacji Breiðamerkurjökull jest zatem dość wysokie, ale nie odbiega znacznie od danych dla sąsiednich lodowców.

Datowania lichenometryczne przeprowadzane były dotychczas głównie w szeroko rozumianej Arktyce oraz w górskich piętrach wysokich na półkuli północnej, natomiast rejon antarktyczny był pod tym względem stosunkowo zaniedbany. Wśród nielicznych pozycji należy wymienić prace Birkenmajera (1980, 1981, 1982, 1991) z Wyspy Króla Jerzego i Wyspy Zwodniczej, Golledge'a i in. (2010) z Wyspy Adelaidy oraz Robertsa i in. (2010) z Południowej Georgii. Od roku 1979 na Wyspie Króla Jerzego obserwuje się nieprzerwaną, szybką recesję lodowców odzwierciedlającą ocieplenie klimatu (Kejna i in. 1998; Birkenmajer 2002; Braun i Grossmann 2002; Angiel i Pudełko 2008), jednakże wiek maksimum glacialnego w MEL pozostawał nadal niepewny.

W roku 2009 Piotr Angiel przeprowadził pomiary 996 plech z rodzaju *Rhizocarpon* na morenach Lodowca Orła Białego (na morenie najstarszej oraz na morenie odsłoniętej w AD 1956), na morenach Lodowca Ekologii (na morenie najstarszej) oraz na Wyspie Pingwina (na zewnętrznym stoku stożka wulkanicznego

oraz na wewnętrznym wtórnym stożku) i zaprosił mnie do wspólnego opracowania wyników datowania lichenometrycznego (**publikacja 4**). Zastosowaliśmy trzy techniki statystyczne: 1) w oparciu o pojedynczą największą plechę (LL), 2) w oparciu o średnią z pięciu największych plech (5LL) oraz 3) analizę rozkładu częstości (SF). Metoda analizy rozkładu częstości posłużyła do sprawdzenia, czy analizowana populacja porostów jest jedno czy wielomodalna. Wysoki współczynnik R^2 krzywej regresji otrzymanej na podstawie wartości logarytmów częstości (**publikacja 1**) informuje o jednomodalności populacji plech, a zatem upoważnia do zastosowania metody LL oraz 5LL (Roberts i in. 2010). W celu wyliczenia wieku powierzchni skalnych zastosowaliśmy opublikowane wartości tempa wzrostu *Rhizocarpon geographicum* z Wyspy Livingstona (Sancho i Pintado 2004; Sancho i in. 2007) położonej w pobliżu Wyspy Króla Jerzego. Ponadto, lichenometryczne pomiary Birkenmajera (1981, 1982, 1994) przeprowadzone w AD 1979, umożliwiły bezpośrednie oszacowanie tempa wzrostu *Rhizocarpon* bezpośrednio na morenach Lodowca Orła Białego, Lodowca Ekologii oraz na Wyspie Pingwina. Metody LL i 5LL oraz trzy liniowe tempa wzrostu: a) 0,5 mm/rok, b) 0,68 mm/rok, c) 0,8 mm/rok pozwoliły na obliczenie wieku moren. Dodatkowo przeprowadziliśmy wyliczenia dla założenia trzydziestoprocentowej redukcji tempa wzrostu dla plech większych niż 40 mm (Golledge i in. 2010; Roberts i in. 2010). Obserwacje występowania porostów na obszarach przylegających do lodowca były podstawą do przyjęcia długiego, 30-letniego odstępu kolonizacyjnego dla moren lodowców. W rezultacie wiek określony został przy zastosowaniu trzech modeli (A, B, C – w zależności od przyjętego tempa wzrostu), przy czym każdy z nich pozwalał na obliczenie czterech dat, zakładając: 1) LL (tempo liniowe), 2) 5LL (tempo liniowe), 3) LL (30% redukcja tempa dla $\varnothing > 40\text{mm}$), oraz 4) 5LL (30% redukcja tempa dla $\varnothing > 40\text{mm}$).

Główne wyniki badań zawarte w **publikacji 4** można przedstawić w następujących punktach:

- 1) Najstarsze wały morenowe świadczące o maksymalnym zasięgu lodowców w MEL uformowane zostały w AD 1897 przez Lodowiec Ekologii oraz z AD 1899 przez Lodowiec Orła Białego.
- 2) Na Wyspie Pingwina datowanie lichenometryczne wskazało zadziwiająco młody wiek powstania głównego stożka wulkanicznego na AD 1960-1966. Taki wynik można tłumaczyć trzema hipotezami: a) erupcją wulkaniczną pod koniec XIX w, która zniszczyła starszą populację plech, a następnie wolnym stygnięciem podłoża mineralnego opóźniła późniejszą kolonizację; b) epizodem zniszczenia porostów przez długo zalegający płat śniegu (ang. *snow kill event*); c) wyjątkowo późnym dotarciem pionierskich porostów na wyspę.
- 3) Tempo wzrostu porostów *Rhizocarpon* (0,135 mm/rok) stosowane przez Birkenmajera (1981, 1982, 1994) za Curl'em (1976) dla Wyspy Króla Jerzego jest zdecydowanie za wolne.

Metodę redukcji tempa wzrostu plech po kilkudziesięciu latach ich życia zastosowałem także w datowaniu moren lodowca Skálafellsjökull na Islandii (**publikacja 6**). Ponadto, podobnie jak w przypadku moren na

Wyspie Króla Jerzego (**publikacja 4**), mogłem odnieść wyniki swoich lichenometrycznych pomiarów wykonanych na różnowiekowych morenach w AD 2011 do analogicznych pomiarów wykonanych przez Evansa i in. w AD 1993 (Evans i in. 1999). W ten sposób wykazałem, że tempo wzrostu plech *Rhizocarpon agg.* znacząco maleje wraz z wiekiem moren. Dla najstarszej moreny czołowej Skálafellsjökull zdeponowanej w maksimum MEL uzyskałem wiek AD 1884 (**publikacja 6**).

Analizy mikrochropowatości, odboju młotka Schmidta i grubości otoczki wietrzeniowej

Aktywny transport lodowcowy powoduje względną obróbkę frakcji kamienistej w procesie abrazji (Benn i Evans 1998) i tym samym erozję wcześniej rozwiniętej otoczki wietrzeniowej. Podobny proces zachodzi na powierzchni wygładów lodowcowych wykształconych na wychodniach skał podłoża. Od chwili ukazania się skał podłoża spod lodowca i/lub depozycji glacialnej frakcji kamienistej transportowanej aktywnie w bazalnej części lodowca, zlicowane powierzchnie skalne zaczynają być areną działania procesów wietrzenia fizycznego, chemicznego i biologicznego, które doprowadzają do wytworzenia się mikrorzeźby wietrzeniowej wraz z całą otoczką wietrzeniową. Zatem, analiza wspomnianych oznak zaawansowania wietrzenia może dostarczyć informacji na temat wieku względnego form polodowcowych (Hubbard i Glasser 2005).

Analiza mikrorzeźby wietrzeniowej, koncentrująca się na badaniu szorstkości powierzchni skalnych (ang. *rock surface roughness*) względem wieku form rzeźby polodowcowej, była dotychczas przedmiotem nielicznych dociekań. Klasycznym przykładem są badania przeprowadzone przez McCarrolla (1992) oraz McCarrolla i Nesje (1996) na gnejsowym przedpołu lodowca Storbreen w Norwegii. Użyto wówczas ręcznego profilometru umożliwiającego pomiar nierówności na powierzchni skalnej (zazwyczaj w zakresie 0,5-6,0 mm) z dokładnością 0,01 mm. Wykazano istotny wzrost szorstkości powierzchni wietrzejących gnejsów na przestrzeni 9 tys. lat (od początku holocenu do MEL). Stosunkowo duża liczba prac poświęcona została popularnej analizie grubości otoczki wietrzeniowej jako metody pozwalającej określić różnice wieku form polodowcowych wytworzonych na przestrzeni kilkunastu tysięcy lat (Carroll 1974, Porter 1975, Chinn 1981, Nicholson 2009). Podobnie, powszechnie stosowana analiza liczb odboju młotka Schmidta (ang. *rebound values, R-values*) pozwala na uchwycenie różnic w twardości powierzchni skalnych między formami uformowanymi w plejstocenu a tymi z MEL (Matthew i Shakesby 1984, McCarroll 1989, 1991, McCarroll i Nesje 1993, 1996, AA i Sjøstad 2000, Kotarba i in. 2002, Winkler 2005, Shakesby i in. 2006, Owen i in. 2007, Nicholson 2009).

Wyjątkowo rzadko spotyka się prace koncentrujące się na określeniu różnic stopnia zaawansowania wietrzenia w obrębie współczesnych stref marginalnych (wykształconych od czasu maksimum glacialnego MEL). Do takich badań zaliczyć można pracę Etienna (2002) w strefie marginalnej Solheimajökull (S

Islandia) analizującego grubość i rodzaj otoczki wietrzeniowej, czy też prace Evansa i in. (1999) na przedpolach islandzkich lodowców (dominacja skał bazaltowych), oraz Matthews i Owena (2008) na przedpolu Storbreen w Górach Skandynawskich (dominacja gnejsów), którzy wykazali istotną korelację między młodym wiekiem form rzeźby a liczbami odboju młotka Schmidta.

Biorąc pod uwagę toczącą się nadal dyskusję naukową dotyczącą wieku maksimum glacialnego w MEL na Islandii (wynikającą po części z brak konsensusu co do metodologii oraz interpretacji danych lichenometrycznych), postawiłem hipotezę, że wiek maksymalnego zasięgu wybranych lodowców w rejonie S Islandii zapisany jest w stopniu zwietrzenia zlicowanych glacialnie powierzchni bazaltowych (frakcji kamienistej) zalegających na powierzchni najstarszych wałów morenowych w obrębie współczesnych stref marginalnych. Ponadto, interesowała mnie dynamika rozwoju procesów wietrzeniowych od chwili depozycji glacialnej oraz zapis inicjalnych etapów wietrzenia. W tym celu postanowiłem poddać analizie mikrorzeźbę wietrzeniową w skali ułamków mikrometra (w stopniu dotychczas niespotykanym w geomorfologii). Badanie to wsparłem analizą liczb odboju młotka Schmidta, grubości otoczki wietrzeniowej oraz mikroskopową analizą tektury i struktury otoczki wietrzeniowej.

Badanie mikrorzeźby wietrzeniowej przeprowadziłem (publikacje 5 - 7) z zastosowaniem przenośnego elektronicznego chropowatościomierza (ang. *profilometer*) Handysurf E-35B firmy Carl Zeiss/Seimitsu, dotychczas niewykorzystywanego w badaniach geomorfologicznych. Metoda ta polega na automatycznym przeciągnięciu po powierzchni skalnej diamentowej igły zakończonej stożkiem o wewnętrznym kącie 90° i promieniu zaokrąglenia $5\ \mu\text{m}$, umieszczonej na szafirowym ślizgaczu, która rejestruje nierówności podłoża z rozdzielczością $0,01\ \mu\text{m}$. Igła wraz ze ślizgaczem stanowią część głowicy wmontowanej do mechanizmu posuwowego, który stabilizuje się na badanej powierzchni skalnej. Sygnał elektryczny przesyłany jest kablem do jednostki oceniającej zaopatrzonej w mikroprocesor, wyświetlacz LCD i akumulator. Długość odcinka pomiarowego ustawia się w przedziale od 4,0 mm do 12,5 mm. Jest to zależne od ustawienia filtra profilu (ang. *cutoff value*), który umożliwia pominięcie falistości powierzchni skalnej, wynikającej np. z mikroform erozyjnych takich jak rysy glacialne, zatem pomiarowi poddaje się jedynie chropowatość będącą wynikiem wietrzenia w skali mikro. Wysoka czułość instrumentu uniemożliwia pomiar nierówności, których wysokości względne przekraczają 0,32 mm, zatem bazalty spełniają ten wymóg. Mikrorzeźba (chropowatość lub mikrochropowatość w przypadku pomiarów w skali mikrometrów) opisywana jest kilkoma parametrami, z których zastosowano następujące: R_a - średnia arytmetyczna odchylenie profilu chropowatości od linii średniej, R_z - wysokość profilu chropowatości według dziesięciu punktów, czyli średnia amplituda mikrorzeźby, $R_{z\text{max}}$ - największa wysokość profilu, czyli maksymalna amplituda mikrorzeźby, oraz R_{sm} - średnia szerokość elementów profilu chropowatości.

Zasadnicza część badań została przeprowadzona na przedpolach wybranych lodowców wypływających na południe z czaszy lodowej Vatnajökull na Islandii (**publikacje 5 i 6** oraz w artykule przyjętym do recenzji przez redakcję *Acta Geologica Polonica*) na różnowiekowych polach testowych, których liczba podyktowana była wykształceniem i dostępnością stref marginalnych: Fláajökull (6 pól testowych), Skálafellsjökull (8 pól testowych) i dodatkowo w strefie marginalnej Hoffelsjökull (3 pola testowe) oraz Virkisjökull (2 pola testowe). Wiek pól testowych określiłem analizując dostępne dane o tempie recesji lodowców (m.in. Sigurðsson 1998) oraz stosując metodę lichenometryczną. Pomiary mikrorzeźby wykonano na tych samych powierzchniach skalnych, na których następnie przeprowadzono analizę twardości (młotkiem Schmidta typu N) oraz analizę grubości otoczki wietrzeniowej (na przedpolu Virkisjökull analizowano tylko mikrorzeźbę). Wszystkie analizy przeprowadzono na powierzchniach jednorodnych bazaltów neogeńskich (lub czwartorzędowych w przypadku przedpola Virkisjökull) eksponowanych w stronę lodowców, niekiedy na powierzchniach poziomych, wykształconych w procesie abrazji glacialnej na głazach lub na powierzchniach wygładów lodowcowych.

Na przedpolu lodowca Fláajökull stwierdzono, że zasadniczy rozwój mikrorzeźby wietrzeniowej następuje w ciągu pierwszych osiemdziesięciu lat od uwolnienia materiału skalnego z lodu lodowcowego, natomiast powierzchnie skalne w obrębie starszych moren nie wykazują istotnego zróżnicowania mikrorzeźby (**publikacja 5**). Prawdopodobnie, można to wiązać z działaniem eksfoliacji w skali mikro (Etienne 2002), gdyż rozwojowi mikrorzeźby towarzyszy rozwój systemu pęknięć ułożonych równoległe do powierzchni skalnych widzianych w SEM. Analiza mikrosondą wykazała brak śladów wietrzenia chemicznego a ostrokrawędzisty charakter pęknięć i mikro-pustek wskazuje na wietrzenie mrozowe. Zwiększona w ten sposób porowatość otoczki wietrzeniowej powoduje, że ma ona jasno-szare zabarwienie (10YR 6/1 w skali Munsella).

Na morenach lodowca Fláajökull zachodzi istotna statystycznie korelacja rang Spearmana między wiekiem moren, parametrami chropowatości określającymi amplitudę mikrorzeźby Ra, Rz, Rzmax (lecz nie Rsm), grubością otoczki wietrzeniowej oraz liczbami odboju młotka Schmidta. Uzyskane wyniki niestety nie dostarczają jednoznacznych informacji o wieku względnym maksimum glacialnego w MEL dla lodowca Fláajökull, gdyż pozwalają na zróżnicowanie wieku form rzeźby powstałych jedynie do ok. 80 lat od depozycji glacialnej.

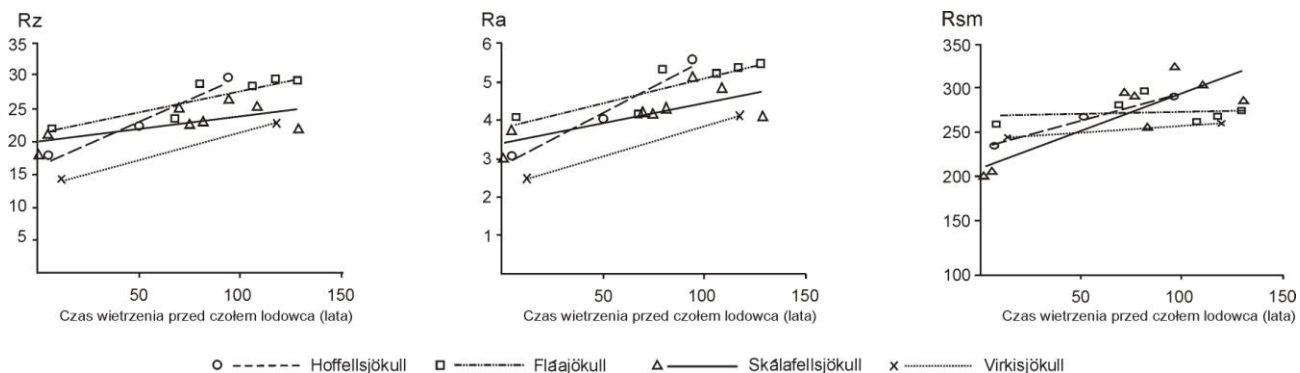
Podobne wyniki uzyskano dla strefy marginalnej Skálafellsjökull (**publikacja 6**). Stwierdzono zasadniczą różnicę między wartościami wskaźników wieku względnego (stopniem rozwoju mikrorzeźby wietrzeniowej, twardością określoną za pomocą młotka Schmidta oraz grubością otoczki wietrzeniowej) otrzymanych dla młodych pól testowych (wykształconych po AD 2000) i dla starszych pól (wykształconych w pierwszej połowie XX w.). Ponadto, wykazano istotny wzrost amplitudy mikrorzeźby między powierzchniami

położonymi tuż przy czole lodowca (wietrzejącymi od 1-2 lat) a powierzchniami oddalonymi od lodowca o kilkadziesiąt metrów (wietrzejącymi od 5-6 lat). Analizowane otoczki wietrzeniowe wykształciły się przy udziale wietrzenia chemicznego (oksydacja), co manifestowało się ich szaro-czerwonym (2.5YR4/2 w skali Munsella) lub pomarańczowym (5YR6/6) zabarwieniem.

Dodatkowo, analizę mikrorzeźby wspartą o analizę liczb odboju młotka Schmidta oraz analizę grubości otoczki wietrzeniowej przeprowadzono na skałach bazaltowych w strefach marginalnych lodowców Hoffelsjökull i Virkisjökull (w ostatnim przypadku jedynie analiza mikrorzeźby). Porównawcza analiza rozwoju mikrorzeźby wietrzeniowej została przeprowadzona także na skałach wapiennych wieku jurajskiego w obrębie przedpola lodowca Biferten w Alpach Glarneńskich w Szwajcarii, który maksymalny zasięg w MEL miał około roku AD 1850 (**publikacja 7**). Zbiorcze wyniki zamieszczono w artykule przyjętym do recenzji w *Acta Geologica Polonica*.

Generalną zaobserwowaną tendencją, niezależnie od warunków klimatycznych i petrografii, jest wzrost amplitudy mikrorzeźby w kierunku od czoła lodowca w stronę moren z MEL, któremu towarzyszy spadek liczb odboju młotka Schmidta oraz wzrost grubości otoczki wietrzeniowej. Zmiany wartości badanych wskaźników zwietrzenia są istotne statystycznie przy założeniu poziomu istotności $\alpha = 0,05$. Dla przykładu, średnie wartości parametru Rz dla neogeńskich bazaltów na przedpolach islandzkich lodowców wzrastają od 13,99 – 21,75 μm do 21,47 – 29,24 μm co stanowi wzrost od 19% do 41% na przestrzeni ok. 100 – 130 lat. Drobnodziarniste wapienie wieku jurajskiego na przedpolu lodowca Biferten w Szwajcarii (**publikacja 7**) wykazują porównywalne tempo rozwoju mikrorzeźby wietrzeniowej w obrębie strefy marginalnej: średnia amplituda mikrorzeźby (Rz) wzrasta od 17,57 μm przy czole lodowca do 39,69 μm na morenach z MEL (ok. AD 1850). Na polu testowym B' zlokalizowanego w środkowej części strefy marginalnej Lodowca Biferten uzyskano podobne wartości Rz co na wale z maksimum MEL – pole testowe C' (**publikacja 7**). Wiek pola testowego B' (czas odsłonięcia spod lodu) jest niepewny, jednakże dane z Word Glacier Monitoring Service (www.wgms.ch/metadatabrowser.html) pozwalają oszacować go na AD 1985. Należy zatem podkreślić, że wzrost amplitudy mikrorzeźby na wapieniach odbywa się, podobnie jak w przypadku bazaltów, w pierwszych kilku dekadach od ustąpienia lodu lodowcowego.

Średnie tempo rozwoju mikrorzeźby bazaltów w obrębie badanych islandzkich stref marginalnych utworzonych od końca MEL wynosi między 4.0 μm a 13,4 μm na 100 lat (Ryc. 1).



Ryc. 1. Średnie tempo rozwoju mikrorzeźby (przedstawione zmianą wartości wskaźników Rz, Ra i Rsm) zlicowanych glacialnie bazaltów w obrębie wybranych stref marginalnych lodowców na Islandii

Wartości te można ostrożnie porównać z wynikami André (2002) ze Szwecji lub Nicholsona (2009), Owena i in. (2007) i Matthews i Owena (2011) z Norwegii, gdzie średnie długoterminowe (od końca Plejstocenu) tempo selektywnego obniżania powierzchni zlicowanych glacialnie skał magmowych i metamorficznych określono na od 50 μm do 480 μm na 100 lat. Należy jednak pamiętać, że tempo rozwoju mikrorzeźby i otoczki grubości wietrzeniowej wydaje się nie być liniowe oraz o tym, że wnioskowanie o zjawiskach zachodzących w większej skali czasowej (tysiące lat) na podstawie wyników uzyskanych w krótkiej skali czasowej (dekady) może być zwodnicze (Viles 2001).

Podsumowanie

1) Wyniki badań wskazują, że czas maksymalnego zasięgu wybranych lodowców z obu półkul w MEL należy łączyć z końcem dziewiętnastego wieku. Lichenometryczna metoda analizy gradientu częstości plech z rodzaju *Rhizocarpon agg.* może być stosowana do datowania młodych form polodowcowych, powstałych po okresie MEL (**publikacja 1**). W przypadku moren lodowca Fláajökull, analiza gradientu częstości opracowana przez Bradwella (2004) daje dobre rezultaty jeżeli odrzuci się największe plechy odbiegające swoją średnicą od zwartej grupy plech o co najmniej 6 mm.

2) Analiza gradientu częstości populacji porostów w zależności od ekspozycji ścianek kamieni pozwala wnioskować, że porosty *Rhizocarpon agg.* najpierw kolonizują zacienione i wilgotniejsze miejsca, ale z czasem plechy występujące na nasłonecznionych powierzchniach zaczynają dominować (**publikacja 1**). Spostrzeżenie to, przydatne do badań biologicznych (Armstrong 2011, 2015), rzutuje na metodologię wykonywania pomiarów lichenometrycznych. Mierzenie porostów wyłącznie na powierzchni skalnych o jednakowej ekspozycji może skutkować otrzymaniem niewłaściwych dat dla sekwencji moren w obrębie przedpola jednego lodowca.

3) Obniżanie się powierzchni lodowca Breiðamerkurjökull po maksimum glacialnym MEL w strefie bilansowej linii równowagi, przy nunataku Skálabjörg (wys. 600-700 m n.p.m.), rozpoczęło się w latach AD 1896 – 1930 i dokonywało się ze średnią prędkością między 0,8 a 1,3 m/rok (**publikacja 3**). Proces ten odbywał się pulsacyjnie, co można wnioskować po wykształceniu kilku poziomów moreny bocznej poniżej moreny z MEL. Topnienie lodu zostało przyspieszone powstaniem dwóch jezior glacialnych. Peryglacialnie przekształcona została powierzchnia wierzchołki południowej części Skálabjörg znajdująca się powyżej zasięgu lodowca w MEL (powstały na niej liczne formy soliflukcyjne i pasy sortowane) oraz północna część nunataku stanowiąca silnie zwietrzały grzbiet wchodzący w pole akumulacyjne lodowca, swoim charakterem przypominająca klasyczną strefę peryglacialną w ujęciu Łozińskiego (1912).

4) Na podstawie przeprowadzonych badań na zlicowanych glacialnie bazaltach w SE Islandii oraz na wapieniach w Alpach Glarneńskich (**publikacje 5-7**, artykuł w recenzji w *Acta Geologica Polonica*) stwierdza się, że analiza mikrochropowatości, twardości powierzchni skalnych oraz grubości otoczki wietrzeniowej pozwalają na określenie wieku względnego młodych form polodowcowych powstałych w XX w. Wspomniane metody niestety nie pozwalają na uzyskanie jednoznacznych przesłanek do wnioskowania na temat czasu maksimum glacialnego MEL, gdyż wartości analizowanych parametrów wzrastają skokowo w ciągu pierwszych kilkudziesięciu lat od ustąpienia lodowca a następnie stabilizują się na podwyższonym poziomie. Wnioskuje się stąd, że w obrębie stref marginalnych lodowców dochodzi do stosunkowo szybkiego lecz krótkotrwałego rozwoju inicjalnych procesów wietrzeniowych na zlicowanych glacialnie powierzchniach skalnych. Za rozwój mikrorzeźby odpowiada zarówno wietrzenie mechaniczne jak i chemiczne.

5) Nowatorska metoda chropowatościomierza Handysurf E-35B nadaje się do określania tempa inicjalnych etapów rozwoju mikrorzeźby, a tym samym, do datowania względnego form rzeźby polodowcowej lecz w bardzo ograniczonym zakresie czasowym (do 80-100 lat). Istotnym ograniczeniem metody jest to, że nadaje się ona wyłącznie do skał drobnoziarnistych. Zaletami są: stosunkowo krótki czas pomiaru, niewielkie wymiary i masa przyrządu, oraz to, że wilgoć na badanej powierzchni skalnej nie stanowi przeszkody.

Wnioski końcowe

Na podstawie przeprowadzonych badań, stwierdzam, że maksymalny zasięg w MEL wybranych lodowców na obu półkulach miał miejsce pod koniec dziewiętnastego wieku.

Dynamika wzrostu porostów *Rhizocarpon agg.* zależy od ekspozycji powierzchni skalnych oraz wieku moren co może mieć wpływ na zróżnicowane wyniki datowania lichenometrycznego.

Deglacji frontальной trwającej od okresu MEL towarzyszy obniżanie się powierzchni lodowców. Skutkuje to rozrastaniem się powierzchni nunataków będących areną działania procesów erozji i akumulacji glacialnej w swoich dolnych częściach oraz procesów peryglacialnych dominujących na obszarach wyniesionych ponad moreny boczne z MEL.

Mikrorzeźba i otoczka wietrzeniowa, efekt działania wietrzenia mechanicznego i chemicznego, zaczyna powstawać na zlicowanych glacialnie powierzchniach drobnoziarnistych skał w momencie uwolnienia z lodu lodowcowego i ma stosunkowo szybkie tempo rozwoju w ciągu pierwszych kilkudziesięciu lat w warunkach subaeralnych.

Pomiar chropowatościomierzem Handysurf E-35B, stanowiący nowatorską metodę w geomorfologii, daje możliwości badania dynamiki rozwoju inicjalnej mikrorzeźby wietrzeniowej, a co za tym idzie, pozwala na wnioskowanie o względnym wieku form rzeźby. Instrument ten może być potencjalnie wykorzystywany do innych badań geomorfologicznych.

Literatura

- AA, A.R., Sjøstad, J.A. (2000). Schmidt hammer age evaluation of the moraine sequence in front of Bøyabreen, western Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 80, 27-32
- Ahlmann, H.W., Thorarinnsson, S. (1937). Previous investigations of Vatnajökull, Marginal oscillations of its Outlet-Glaciers and General Description of its Morphology. *Geografiska Annaler* 19 (3-4), 176-211.
- André, M.F. (2002). Rates of Postglacial rock weathering on glacially scoured outcrops (Abisko-Riksgränsen area, 68° N). *Geografiska Annaler*, 84 A, 139-150.
- Angiel, P.J. and Pudełko, R., 2008. Regresja lodowców w latach 1997–2007 na terenie ASPA-128, Wyspa Króla Jerzego, Sztetlandy Południowe. *The 32nd International Polar Symposium*, Wrocław, Poland 23–24 May 2008.
- Armstrong, R.A. (2011). The biology of the crustose lichen *Rhizocarpon geographicum*, *Symbiosis*, 55, 53-67.
- Armstrong, R.A. (2015). Lichen growth and lichenometry. [W:] Upreti, D.K., Divakar, P.K., Shukla, V., Bajpai, R. (red.) *Recent Advances in Lichenology. Modern Methods and Approaches in Biomonitoring and Bioprospection, Volume 1*. Springer India, New Delhi.
- Benedict, J. B. (1967). Recent glacial history of an alpine area in the Colorado Front Range, USA. I. Establishing a lichen growth curve. *Journal of Glaciology* 6, 817–832.
- Benedict, J. B. (1985). *Arapaho Pass: glacial geology and archeology at the crest of the Colorado Front Range*. Ward, Colorado. Center for Mountain Archeology. Research Report No. 3.
- Benn, D.I., Evans, D.J.A. (1998). *Glaciers and Glaciation*. Arnold, London, 734 pp.
- Birkenmajer, K. (1980). Lichenometric dating of glacier retreat at Admiralty Bay, King George Island (South Shetland Islands, West Antarctica). *Bulletin de l'Académie Polonaise de Sciences, Série des Sciences de la Terre*, 27, 77–85.
- Birkenmajer, K. (1981). Raised marine features and glacial history in the vicinity of H. Arctowski Station, King George Island (South Shetland Islands, West Antarctica). *Bulletin de l'Académie Polonaise de Sciences, Série des Sciences de la Terre*, 29 (2), 109–117.

- Birkenmajer, K. (1982). The Penguin Island volcano, South Shetland Islands (Antarctica): its structure and succession. *Studia Geologica Polonica*, 74, 155–173.
- Birkenmajer, K. (1991). Lichenometric dating of a mid-19th century lava eruption on Deception Island (West Antarctica). *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Earth Sciences*, 39, 467–475.
- Birkenmajer, K. (1994). Quaternary geology at Lions Rump (SSSI No. 34), King George Island, South Shetland Islands (West Antarctica). *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Earth Sciences*, 42 (3), 207–211.
- Birkenmajer, K. (2002). Retreat of Ecology Glacier, Admiralty Bay, King George Island (South Shetland Islands, West Antarctica) 1956–2001. *Bulletin of Polish Academy of Sciences. Earth Sciences*, 50 (1), 5–19.
- Bradwell, T. (2001). A new lichenometric dating curve for southeast Iceland. *Geografiska Annaler* 83 A (3), 91-101.
- Bradwell, T. (2004). Lichenometric dating in southeast Iceland: the size-frequency approach. *Geografiska Annaler*, 86 A, 31-41.
- Braun, M. i Grossmann, H., (2002). Glacial changes in the areas of Admiralty Bay and Potter Cove, King George Island, maritime Antarctica. [W:] Beyer, L. and Bölter, M. (red.) *Geoecology of Terrestrial Antarctic Oases. Ecological Studies* 154, Springer, Berlin. 75–90.
- Carroll, T. (1974). Relative age dating techniques and a late Quaternary chronology, Arikaree Cirque, Colorado. *Geology* 2, 321–325.
- Chenet, M., Roussel, E., Jomelli, V., Grancher, D. (2010). Asynchronous Little Ice Age glacial maximum extent in southeast Iceland. *Geomorphology*, 114, 253-260.
- Chenet, M., Roussel, E., Jomelli, V., Grancher, D., Cooley, D. (2011). A response to the commentary of M. Dąbski about the paper 'Asynchronous Little Ice Age glacial maximum extent in southeast Iceland' (*Geomorphology* (2010), 114, 253–260). *Geomorphology*, 128, 103-104.
- Chinn, T.J. (1981). Use of rock weathering-rind thickness for Holocene absolute age-dating in New Zealand. *Arctic and Alpine Research*, 13, 1, 33-45.
- Curl, J.E., 1976. *Institute of Polar Studies Report No. 63*. Columbus, Ohio, 1–76.
- Dąbski, M. (2002). Dating of the Fláajökull moraine ridges, SE – Iceland; comparison of the glaciological, cartographic and lichenometrical data. *Jökull*, 51, 17-24.
- Dąbski, M. (2005a). Small-scale Sorted Nets on Glacial Till, Fláajökull (Southeast Iceland) and Elisbreen (Northwest Spitsbergen). *Permafrost and Periglacial Processes*, 16, 305-310.
- Dąbski, M. (2005b). Zastosowanie lichenometrii w badaniach geomorfologicznych. *Monitoring Środowiska Przyrodniczego*, 6, 41-45.
- Dąbski, M. (2007). Lichenometryczna analiza rozkładu częstości jako metoda datowania moren lodowca Fláa (SE Islandia). *Słupskie Prace Geograficzne* 4, 61-77.
- Dąbski, M. (2014). Paraglacialny rozwój mikrorzeźby wietrzeniowej (zastosowanie chropowatościomierza Handysurf E-35B). [W:] Molewski, P., Juśkiewicz, W. (red.) X Zjazd Geomorfologów Polskich *Krajobrazy młodoglacjalne, ich morfogeneza, teraźniejszość, przyszłość*. Streszczenia. Wydział Nauk o Ziemi UMK, SGP, Toruń, 16-19 września 2014, 26-27.
- Etienne, S. (2002). The role of biological weathering in periglacial areas: a study of weathering rinds in south Iceland. *Geomorphology*, 47, 75-86.
- Evans, D.J.A., Twigg, D.R. (2002). The active temperate glacier landsystem: a model based on Breiðamerkurjökull and Fjallsjökull, Iceland. *Quaternary Science Reviews*, 21, 2143-2177.
- Eyles N. (1978). Rock Glaciers in Esjufjöll Nunatk Area, South-East Iceland. *Jökull*, 28, 53-56.

- Evans, D.J.A., Archer, S., Wilson, D.J.H. (1999). A comparison of the lichenometric and Smidt hammer dating techniques based on data from the proglacial areas of some Icelandic glaciers. *Quaternary Science Reviews*, 18, 13-41.
- Golledge, N.R., Everest, J.D., Bradwell, T. and Johnson, J.S. (2010). Lichenometry on Adelaide Island, Antarctic Peninsula: size frequency studies, growth rates and wider implications. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 92 (1), 111–139.
- Guðmundsson, H. J. (1997). A Review of the Holocene Environmental History of Iceland. *Quaternary Science Reviews*, 16, 81-92.
- Hannesdóttir, H., Björnsson, H., Pálsson, F., Aðalgeirsdóttir, G. and Guðmundsson, S. (2014). Variations of southeast Vatnajökull ice cap (Iceland) 1650–1900 and reconstruction of the glacier surface geometry at the Little Ice Age maximum. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, ••, ••–••. doi:10.1111/geoa.12064
- Hubbard, B., Glasser, N. (2005). *Field Techniques in Glaciology and Glacial Geomorphology*. John Wiley & Sons, Chichester, pp. 400.
- Kejna, M., Laska, K., Caputa, Z. (1998). Recession of the Ecology Glacier (King George Island, Antarctica) in the period 1961–1996. [W:] *Polish Polar Studies*. 25th International Polar Symposium, Warszawa, Poland. 121–128.
- Kirkbridge, M.P., Dugmore, A.J. (2001). Can lichenometry be used to date the „Little Ice Age” Glacier Maximum in Iceland? *Climatic Change*, 48, 151-167.
- Kotarba, A., Król, K., Rutkowski, J. (2002). Zastosowanie młotka Schmidta do badania granitów tatrzańskich. [W:] VI Zjazd Geomorfologów Polskich „Środowiska górskie – ewolucja rzeźby”, streszczenia referatów i posterów, Jelenia Góra, 79-80.
- Łoziński, W. (1912). Die periglaziales fazies der mechanischen Verwitterung. [W:] *Comptes Rendus*, XI Congres Internationale Geologie. Stockholm 1910, 1039-1053.
- Matthews, J.A., Owen, G. (2011). Holocene chemical weathering, surface lowering and rock weakening rates on glacially eroded bedrock surfaces in an alpine periglacial environment, Jotunheimen, southern Norway. *Permafrost and Periglacial Processes*, 22, 279-290.
- Matthews, J.A., Owen, G. (2008). Endolithic lichens, rapid biological weathering and Schmidt hammer R-values on recently exposed rock surfaces: Storbreen glacier forefield, Jotunheimen, Norway. *Geografiska Annaler*, 90 A, 4, 287-297.
- Matthews, J. A., Shakesby, R.A. 1984. The status of the Little Ice Age in southern Norway: Relative-age dating of neoglacial moraines with Schmidt hammer and lichenometry. *Boreas* 13, 333–346.
- McCarroll, D. 1993: The vertical extent of ice sheets in Nordfjord, western Norway: measuring degree of rock surface weathering. *Boreas*, 22, 255-265.
- McCarroll, D. 1989: Potential and Limitations of the Schmidt Hammer for Relative-Age Dating: Field Tests on Neoglacial Moraines, Jotunheimen, Southern Norway. *Arctic and Alpine Research*, 21 (3), 268-275.
- McCarroll, D. (1991). The Schmidt hammer, weathering and rock surface roughness. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16, 477-480.
- McCarroll, D. (1992). A new instrument and techniques for the field measurement of rock surface roughness. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 36, 69-79.
- McCarroll, D., Nesje, A. (1996). Rock surface roughness as an indicator of degree of rock surface weathering. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21, 963-977.
- McKinze, K.M., Orwin, J.F., Bradwell, T. (2004). Re-dating the moraines at Skálafellsjökull and Heinabergsjökull using different lichenometric methods: implications for the timing of the Icelandic Little Ice Age maximum. *Geografiska Annaler*, 86 A, 4, 319-335.
- Nicholson, D.T. (2009). Holocene microweathering rates and processes on ice-eroded bedrock, Røldal area, Hardangervidda, southern Norway. [W:] Knight J. and Harrison, S. (red.) *Periglacial and Paraglacial Processes and Environments*. Geological Society Special Publication, 320, 29-50.

- Owen, G., Matthews, J.A., Albert, P.G. (2007). Rates of Holocene chemical weathering, "Little Ice Age" glacial erosion and implications for Schmidt-hammer dating at a glacier-foreland boundary, Fåbergstølsbreen, southern Norway. *The Holocene*, 17, 6, 829-834.
- Porter, S.C. (1975). Weathering rinds as a relative-age criterion: Application to subdivision of glacial deposits in the Cascad Range. *Geology*, 3, 101-104.
- Roberts, S.J., Hodgson, D.A., Shelley, S., Royles, J., Griffiths, H.J., Deen, T.J. and Thorne, M.A.S., 2010. Establishing lichenometric ages for nineteenth- and twentieth-century glacier fluctuations on South Georgia (South Atlantic). *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 92 (1), 125–139.
- Sancho, L.G., Pintado, A., 2004. Evidence of high annual growth rate for lichens in the maritime Antarctica. *Polar Biology*, 27, 312–319.
- Sancho, L.G., Green, T.G.A., Pintado, A., 2007. Slowest to fastest: extreme range in lichen growth rates supports their use as an indicator of climate change in Antarctica. *Flora*, 202, 667–673.
- Sigurðsson, O. (1998). Glacier variations in Iceland 1930-1995. From the database of the Icelandic Glaciological Society. *Jökull*, 45, 3-25
- Shakesby, A.A., Matthews, J.A., Owen, G. (2006). The Schmidt hammer as a relative-age dating tool and its potential for calibrated-age dating in Holocene glaciated environments. *Quaternary Science Reviews*, 25, 2846-2867.
- Thorarinsson, S., (1943). Oscillations of the Icelandic Glaciers in the last 250 years. Vatnajökull, Scientific Results of the Swedish-Icelandic Investigation 1937-38-39, *Geografiska Annaler*, 25 (1-2), 54 pp.
- Winkler, S. 2005: The Schmidt hammer as a relative-age dating technique: potential and limitations of its application on Holocene moraines in Mt Cook National Park, Southern Alps, New Zealand. *New Zealand Journal of geology & Geophysics*, 48, 105-116.
- World Glacier Monitoring Service (2014), <http://www.wgms.ch/metadatabrowser.html>
- Viles, H.A. 2001: Scale issues in weathering studies. *Geomorphology*, 41, 63–72.
- Zemp, M., Roer, I., Kääb, A., Hoelzle, M., Paul, F., Haeberli, W. (2008). *Global Glacier Changes: facts and figures*, UNEP, World Glacier Monitoring Service, Zurich, Switzerland, 88 pp.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych (artystycznych).

Moje pozostałe prace naukowe, można pogrupować tematycznie w sposób następujący:

Bloki tematyczne

- A. Struktury sortowania mrozowego we współczesnej strefie peryglacjalnej
- B. Tufury i poligony mrozowe na Islandii – zastosowanie tefrochronologii
- C. Zapis funkcjonowania plejstocenijskiego środowiska peryglacjalnego w Polsce
- D. Formy wietrzeniowe w strefie litoralnej
- E. Metody datowania względnego form polodowcowych
- F. Środowisko przyrodnicze i geografia turystyki z rejonie Kuźnicy i Sejn

W sumie, poza publikacjami przedstawionymi jako główne osiągnięcie naukowe, opublikowałem po doktoracie: 15 artykułów w czasopiśmie recenzowanych (w tym 6 w j.angielskim, a 1 na liście ISI), 11 rozdziałów w książkach w j.polskim, 19 wystąpień konferencyjnych (w tym 8 na konferencjach międzynarodowych), oraz 1 recenzję książki.

Przed doktoratem opublikowałem 3 artykuły w j.angielskim w recenzowanych czasopismach (w tym 1 w islandzkim czasopiśmie *Jökull* wydawanym przez *Iceland Glaciological Society*) oraz 1 wystąpienie na konferencji międzynarodowej.

Omówienie bloków tematycznych

A. Struktury sortowania mrozowego we współczesnej strefie peryglacjalnej

Badania struktur sortowania mrozowego przeprowadzone zostały przeze mnie na Islandii, Spitsbergenie oraz na Wyspie Króla Jerzego (Szetlandy Pd.). Zasadniczym celem było zbadanie czynników determinujących dynamikę procesów sortowania mrozowego ze szczególnym uwzględnieniem przedpola lodowców.

Jako pierwsze poligony badawcze wybrałem przedpola dwóch lodowców o podobnych rozmiarach lecz wykształconych w zdecydowanie innych regionach klimatycznych: przedpola Fláajökull (Lodowiec Fláa) w SE Islandii oraz Elisebreen (Lodowiec Elizy) w NW części Spitsbergenu. Gliny zwałowe zdeponowane przez oba lodowce od czasu maksimum Małej Epoki Lodowej (MEL) (Dąbski 2002, Lankauf 2002) są podatne na powstawanie lodu segregacyjnego i, co za tym idzie, na procesy pęcznienia mrozowego. W obu strefach marginalnych grunty strukturalne nie są dobrze wykształcone a sortowanie mrozowe zachodzi zazwyczaj do głębokości 10-20 cm. Pomimo znacznych różnic klimatycznych, obecności wieloletniej zmarzliny na przedpolu Elisebreen i jej braku na przedpolu Fláajökull, grunty strukturalne w obrębie obu przedpola są stosunkowo podobnie wykształcone, a największą aktywność wykazują blisko czoł lodowców. Wnioskuje się, że stosunkowo krótki czas działania klimatu peryglacjalnego w strefie marginalnej lodowca spitsbergeńskiego jest czynnikiem osłabiającym stopień mrozowego przekształcenia gruntu. Z drugiej strony, sąsiedztwo lodu lodowcowego i katabatyczny spływ zimnego powietrza z Fláajökull powoduje istnienie lokalnych warunków klimatycznych umożliwiających funkcjonowanie procesów peryglacjalnych w strefie marginalnej lodowca pomimo stosunkowo ciepłego klimatu panującego w regionie SE Islandii.

Ułożenie i kształt głazików poddanych podnoszeniu mrozowemu (ang. *frost jacking*) na morenie Elisebreen było przedmiotem moich kolejnych badań (Dąbski 2008). Ich wyniki wskazują, że procesy mrozowe mogą utrudniać interpretację procesów transportu i akumulacji glacialnej, w której powszechnie wykorzystuje się pomiar ułożenia najdłuższej osi głazików (ang. *till fabric*).

Współpraca z Piotrem Angielem zaowocowała opublikowaniem komunikatu na temat występowania gruntów strukturalnych na Wyspie Króla Jerzego (Szetlandy Pd.) w materiałach konferencyjnych XXXII Międzynarodowego Sympozjum Polarnego (Dąbski, Angiel, 2008a). Ponadto, naszym wspólnym przedsięwzięciem naukowym było zbadanie rzeźby nunataka Skálabjörg (w grupie Esjufjöll, SE Islandia) znajdującego się w strefie linii równowagi bilansowej Breiðamerkurjökull (Lodowiec Breiðamerkur) w SE Islandii. Zasadnicza publikacja (Dąbski, Angiel 2010) stanowi element głównego dzieła naukowego przedstawionego w autoreferacie (publikacja 3), natomiast wcześniejsze pozycje (Dąbski, Angiel 2008b, 2009) zawierają wstępne wyniki badań. Publikacje te opisują m.in. pasy sortowane małej i dużej skali oraz niewielkie loby i jęzory soliflukcyjne wykształcone na wierzchołku południowej części nunataka znajdującej się powyżej zasięgu lodowca w maksimum MEL.

Od początku mojej drogi naukowej interesowałem się hipotezami dotyczącymi powstawania gruntów strukturalnych w różnych warunkach środowiskowych, czemu dałem wyraz w przeglądowym artykule (Dąbski, 2006). Występowanie gruntów strukturalnych w Polsce we współczesnej górskiej strefie peryglacialnej oraz w formie kopalnej na Niżu (poligony mrozowe dużej skali) opisałem w publikacji mającej głównie charakter przeglądu literatury i stanowiącej powiązanie z blokiem tematycznym C. (Dąbski 2011).

Literatura

- Dąbski, M. (2002). Dating of the Fláajökull moraine ridges, SE – Iceland; comparison of the glaciological, cartographic and lichenometrical data. *Jökull*, 51, 17-24.
- Dąbski, M. (2004a). Sortowane grunty strukturalne w strefach marginalnych lodowców Fláa (SE Islandia) i Elizy (NW Spitsbergen). *Dokumentacja Geograficzna*, 31, IGiPZ PAN, Warszawa: 35-37.
- Dąbski, M. (2004b). Aktywne formy sortowania mrozowego w strefie marginalnej Lodowca Fláa (SE Islandia). [W:] *Polish Polar Studies*, XXX Międzynarodowe Sympozjum Polarne, Gdynia: 69-80.
- Dąbski, M. (2005a). Small-scale Sorted Nets on Glacial Till, Fláajökull (Southeast Iceland) and Elisbreen (Northwest Spitsbergen). *Permafrost and Periglacial Processes*, 16: 305-310.
- Dąbski, M. (2005b). Sorted patterned grounds in marginal zones of Fláajökull (SE Iceland) and Elisbreen (NW Spitsbergen). [W:] S. Etienne (red.) *Shifting lands. New Insights into Periglacial Geomorphology*. ESF-Sediflux Network, Second Conference, Clermont-Ferrand, 20-22 January, 2005: 85-86.
- Dąbski, M. (2005c). Grunty strukturalne i inne formy sortowania powierzchniowego w strefie marginalnej lodowca Fláa. [W:] P. Molewski (red.) *Rekonstrukcja procesów glacialnych w wybranych strefach marginalnych lodowców Islandii – formy i osady*. Terenowe warsztaty geomorfologiczne, Islandia, 14-28 sierpnia 2005, Instytut Geografii UMK, Stowarzyszenie Geomorfologów Polskich, Toruń 2005.
- Dąbski, M. (2006). Geneza sortowanych gruntów strukturalnych – przegląd literatury. *Przegląd Geograficzny*, 78 (1), 91-107.
- Dąbski, M. (2008). Charakterystyka wymarzających głazików na morenach Lodowca Eliza (NW Spitsbergen). [W:] A. Kowalska, A. Latocha, H. Marszałek, J. Pereyma (red.). *Środowisko przyrodnicze obszarów polarnych*, Wydział Nauk o Ziemi i Kształtowania Środowiska, Uniwersytet Wrocławski, Wrocław, 21-27.
- Dąbski, M. (2011) Grunty strukturalne w Polsce. *Przegląd Geograficzny*, 83, 307-321.
- Dąbski, M., Angiel, P. (2008a). Formy sortowania mrozowego na Antarktycznym Obszarze Specjalnej Ochrony 128 (ASP 128), Wyspa Króla Jerzego, Szetlandy Południowe, Antarktyka Zachodnia. [W:] A. Kowalska (red.), *IV Międzynarodowy Rok Polarny, XXXII Międzynarodowe Sympozjum Polarne*, skrypt, Wrocław, 12-13.
- Dąbski, M., Angiel, P. (2008b). Zapis procesów glacialnych i peryglacialnych w rzeźbie i osadach południowej części nunataków Esjufjöll (SE Islandia) – wstępne wyniki badań. [W:] A. Kosztrzewski (red.), V Seminarium Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych, streszczenia. Poznań 20-21 listopada 2008, 18-19.
- Dąbski, M., Angiel, P. (2009) Zapis procesów glacialnych i peryglacialnych w południowej części Skálaljörg (nunataki Esjufjöll, SE Islandia) – wstępne wyniki badań. [W:] A. Kosztrzewski, R. Paluszewicz (red.) *Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych*, tom 5, Seria Geografia 88, 611: 45-58.
- Dąbski, M., Angiel, P. (2010). Geomorphic implications of the retreat of Breiðamerkurjökull in the southern part of the Skálaljörg ridge, Esjufjöll, Iceland. *Jökull*, 60, 185-198.
- Lankauf, K.R. (2002). Recesja Lodowców rejonu Kaffioyry (Ziemia Oskara II—Spitsbergen) w XX wieku. *Prace Geograficzne*, 183.

B. Tufury i poligony mrozowe na Islandii – zastosowanie tefrochronologii

Morfologia, struktura wewnętrzna oraz dynamika i uwarunkowania rozwoju współczesnych tufurów w interiorze Islandii (rejon jez. Blöndulón) były przedmiotem wspólnych publikacji z moim magistrantem Krzysztofem Dołęgowskim (Dołęgowski, Dąbski 2005a, b). Metoda tefrochronologiczna pozwoliła nam wnioskować, że główna faza pęcznienia mrozowego, odpowiedzialnego za powstanie tufurów, miała miejsce w najmłodszym okresie, po akumulacji tefry LIA.

Kolejne struktury mrozowe, tym razem poligony mrozowe dużej skali, dobrze widoczne w rzeźbie powierzchni płaskowyżu w rejonie jez. Mývatn (N Islandia), były przedmiotem mojej kolejnej publikacji (Dąbski 2009). Podobnie jak w przypadku wspomnianych tufurów, poligony mrozowe wykształciły się w eolicznym osadzie pylasto-piaszczystym („less islandzki”) z dobrze widocznymi warstwami tefry. Analiza struktury klina mrozowego, w tym warstw tefry, pozwala wnioskować, że są to poligony reliktowe, których główna faza rozwoju przypada na kres od 2200 BP do Małej Epoki Lodowej włącznie.

Literatura

- Dołęgowski, K., Dąbski, M. (2005a). Rozważania nad genezą zaburzeń poziomów tefry w obrębie tufurów, rejon jez. Blöndulón, centralna Islandia. [W:] *Polish Polar Studies*, XXXI Sympozjum Polarne, Kielce, 47-53.
- Dołęgowski, K., Dąbski, M. (2005b). Zaburzenia poziomów tefry w obrębie tufurów, rejon jez. Blöndulón, centralna Islandia. XXXI Sympozjum Polarne „*Funkcjonowanie obszarów polarnych oraz jego współczesne i reliktowe cechy w krajobrazach*”, Kielce, 12-14 września 2005, 33-36.
- Dąbski, M. (2009) Poligony mrozowe w okolicy jeziora Mývatn (N Islandia) – wstępne wyniki badań. *Prace i Studia Geograficzne*, 41, 53-58.

C. Zapis funkcjonowania plejstocenijskiego środowiska peryglacjalnego w Polsce

Do zbadania struktur mrozowych świadczących o funkcjonowaniu plejstocenijskiej wieloletniej zmarzliny na Polesiu zaprosił mnie Wojciech Sz wajgier z Instytutu Nauk o Ziemi UMCS. W rejonie ujścia Welnianki do Bugu, na powierzchni plejstocenijskiego tarasu wykształcił się system suchych dolinek. Jego geometria, „rzeźba blokowa” w rozumieniu Popowa (1962), pozwala domniemywać, że są to formy termo krasowe powstałe na systemie plejstocenijskich poligonów mrozowych (kliny lodowe). Dodatkową przesłanką jest występowanie w tym rejonie pseudomorfoz po syngenetycznych klinach lodowych bezpośrednio pod warstwą gleby (Dąbski, Sz wajgier 2005a, b).

Kopalne poligony mrozowe na Niziu Polskim rzadko są widoczne na powierzchni ziemi z racji przykrycia nadległymi warstwy osadu. Niemniej, analiza zdjęć lotniczych umożliwia niekiedy dostrzeżenie poligonów na powierzchni gruntów rolnych, z tym, że kluczowymi czynnikami są tu: warunki pogodowe poprzedzające wykonanie zdjęcia oraz wyraźna różnica litologiczna między osadem wypełniającym kliny a utworem macierzystym (umożliwiająca zaistnienie dużego kontrastu wilgotnościowego) oraz odpowiednia roślinność, najlepiej - dojrzewające zborze. Dzięki analizie zdjęć lotniczych, wykonanych i udostępnionych przez Włodzimierza Rączkowskiego (Instytut Prahistorii UAM) oraz badaniom terenowym przeprowadzonym we współpracy z moimi magistrantami, wykazałem obecność poligonów i epigenetycznych klinów mrozowych w pierwotnym wypełnieniu piaszczystym bezpośrednio pod warstwą gleby na Pojezierzu Kujawskim

(Dąbski i in. 2007, 2008). Publikacje te stanowią rozszerzenie badań podjętych przez Stefana Kozarskiego na młodoglacjalnym obszarze Wielkopolski (Kozarski 1995).

Widoczne na powierzchni ziemi kopalne poligony mrozowe można traktować, zgodnie z definicją zawartą w peryglacjalnym słowniku IPA (Everdingen 1998), jako grunty strukturalne. Dałem temu wyraz w przeglądowej publikacji (Dąbski 2011), w której syntetycznie opisałem występowanie gruntów strukturalnych w Polsce.

Procesy wietrzenia mrozowego, typowe dla strefy peryglacjalnej, zachodzą w skali makro jak i w skali mikro (Matsuoka 2001). Zapis wietrzenia w skali mikro w osadach plejstoceniowych w Polsce stał się przedmiotem pracy opublikowanej wspólnie z Barbarą Woronko (obecnie Instytut Geologii Podstawowej UW) przy okazji wspólnego realizowania opracowań geomorfologicznych na trasie budowanej autostrady A2 na Równinie Łowicko-Błońskiej. Zarejestrowaliśmy oznaki funkcjonowania plejstoceniowej wieloletniej zmarzliny oraz intensywnych procesów mrozowych prowadzących m.in. do wytworzenia się charakterystycznej mikrorzeźby na powierzchni ziaren kwarcowych (Woronko, Dąbski 2011, 2013,). Ponadto, stwierdziliśmy typowe dla warstwy czynnej odwapnienie, obecność piasków pokrywowych, osadu soliflukcyjnego, struktur obciążeniowych, obecność eogliptolitów w stropie gliny zwałowej oraz klinów mrozowe z pierwotnych wypełnieniem piaszczystym.

W latach 2009-2011 byłem kierownikiem badań geomorfologicznych prowadzonych na Równinie Łowicko-Błońskiej na trasie budowanej autostrady A2. Współpracowałem z Barbarą Woronko, Piotrem Szwarczewskim i Dorotą Gariat z Instytutu Geografii Fizycznej WGiSR UW, a także z archeologami z Instytutu Archeologii UW i z Instytutu Archeologii i Etnologii PAN. W efekcie prowadzonych prac powstały nieopublikowane opracowania geomorfologiczne stanowisk archeologicznych: Tłuste, Żuków, Kotowice, Dąbrówka, Starowiskitki/Wiskitki, Morgi, Feliksów, Holendry Baranowskie, Kopiska, Nowy Drzewicz, Miedniewice.

Literatura

- Dąbski, M., Sz wajgier, W. (2005a). Struktury peryglacjalne w osadach terasy vistuliańskiej doliny Bugu w Obniżeniu Dubienki. *Annales UMCS*, 60 , 6, 85-94.
- Dąbski, M., Sz wajgier, W. (2005b). Struktury mrozowe w osadach terasy plejstoceniowej doliny Bugu w Obniżeniu Dubienki. VII Zjazd Geomorfologów Polskich „Współczesna ewolucja rzeźby Polski”, Kraków 19-22 września 2005, 91-96.
- Dąbski, M., Łapaj, K., Pudłowski, M. (2007). Identyfikacja poligonów mrozowych na podstawie analizy zdjęć lotniczych z rejonu Kruszwicy. [W:] E. Smolska, D. Gariat, (red.), *Rekonstrukcja dynamiki procesów geomorfologicznych – formy rzeźby i osady*. WGiSR UW, Komitet Badań Czwartorzędu PAN, Warszawa 2007.
- Dąbski, M., Łapaj, K., Pudłowski, M. (2008). Fotografia lotnicza jako narzędzie do identyfikacji kopalnych poligonów mrozowych. *Zeszyty Naukowe Szkoły Wyższej Przymierza Rodzin w Warszawie*, seria geograficzno-turystyczna, 1, 59-66.
- Dąbski, M. (2011) Grunty strukturalne w Polsce. *Przegląd Geograficzny*, 83, 307-321.
- Everdingen. R.O. (1998). *Multi-Language Glossary of Permafrost and Related Ground-Ice Terms*. International Permafrost Association, Calgary.

- Kozarski, S. (1995). Deglacjacja północno-zachodniej Polski: warunki środowiska i transformacja geosystemu (20 KA – 10 KA BP). Dokumentacja Geograficzna 1, IGiPZ PAN, Wrocław.
- Matsuoka, N. (2001). Microgelivation versus Macrogelivation: Towards Bridging the Gap between Laboratory and Field Frost Weathering. *Permafrost and Periglacial Processes*, 12, 299-313.
- Popow A.I., 1962, *Pokrovnnye suglinki i poligonalnyj relief Bolseziemielskoj tundry*, [W:] A.I. Popow (red.), *Voprosy geograficeskogo merzlotovedienia i periglacialnoj morfologii*, Izdatielstvo Mockovskogo Universiteta, Moskva, s. 109–130.
- Woronko, B., Dąbski, M. (2011) Zapis warunków peryglacialnych w osadach Równiny Łowicko-Błońskiej (środkowa Polska). [W:] M. Mazurek, M. Ewertowski, (red.) IX Zjazd Geomorfologów Polskich. *Georóżnorodność rzeźby Polski*. Streszczenia. Poznań 2011, str. 170-171.
- Woronko, B., Dąbski, M. (2013). Intensity of frost weathering in the fossil active layer on the Łowicko-Błońska Plain (central Poland). [W:] W.Szymański (red.). *Frost-affected soils – Dynamic soils in the dynamic world*. 6th International Conference on Cryopedology, Book of Abstracts. Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Kraków, s. 33.

Nieopublikowane opracowanie geomorfologiczne stanowisk archeologicznych na trasie autostrady A2

- Dąbski, M., Woronko, B., Szwarczewski, P. (2011). Charakterystyka geomorfologiczna stanowiska archeologicznego Tłuste, stanowisko autostradowe nr 90-91. [W:] Opracowanie wyników ratowniczych badań wykopaliskowych: Tłuste, stanowisko II (kod autostradowy 90/91), maszynopis, archiwum IA UW.
- Dąbski, M., Woronko, B., Gariat, D., Szwarczewski, P. (2011). Charakterystyka geomorfologiczna stanowiska archeologicznego Żuków, stanowisko autostradowe nr 93. [W:] Opracowanie wyników ratowniczych badań wykopaliskowych: Żuków, stanowisko IV (kod autostradowy 93), maszynopis, archiwum IA UW.
- Dąbski, M., Woronko, B., Szwarczewski, P. (2011). Charakterystyka geomorfologiczna stanowiska archeologicznego Kotowice, stanowisko autostradowe nr 97. [W:] Opracowanie wyników ratowniczych badań wykopaliskowych: Kotowice, stanowisko I (kod autostradowy 97), maszynopis, archiwum IA UW.
- Dąbski, M., Woronko, B., Szwarczewski, P. (2011). Charakterystyka geomorfologiczna stanowiska archeologicznego Dąbrówka, stanowisko autostradowe nr 87. [W:] Opracowanie wyników ratowniczych badań wykopaliskowych: Dąbrówka, stanowisko II (kod autostradowy 87), maszynopis, archiwum IA UW.
- Dąbski, M., Woronko, B., Szwarczewski, P. (2011). Charakterystyka geomorfologiczna stanowiska archeologicznego Starowiskitki/Wiskitki. [W:] Krasnodębski, D., Dłubakowski, Z., Wawrzieniuk, J., Żukowski, R., Wawrusiewicz, A., Lis, V., Krzyżak, M. (red.) Osada z okresu przedrzymskiego oraz okresu wpływów rzymskich na stanowisku Starowiskitki/Wiskitki st. II, gm. Wiskitki AZP 59-60/31 na aut. st. 9 (GIBB), Bańki 2011, maszynopis, archiwum IAE PAN
- Dąbski, M., Woronko, B., Szwarczewski, P. (2011). Charakterystyka geomorfologiczna stanowiska archeologicznego Feliksów, stanowisko autostradowe nr 79. [W:] Bryńczak, B., Wawrusiewicz, A. (red.) Wyniki archeologicznych badań wykopaliskowych przeprowadzonych w roku 2008-2009 w obrębie stanowiska VIII/1 (AZP 59-61/72, 59-61/73; Aut. 79) w Feliksowie pow. Żyrardów, woj. mazowieckie, Siedlce-Białystok 2011, maszynopis, archiwum IAE PAN
- Dąbski, M., Woronko, B., Szwarczewski, P. (2011). Charakterystyka geomorfologiczna stanowiska archeologicznego Holendry Baranowskie (stanowisko autostradowe nr. 82). [W:] Olczak, H. (red.) Wyniki archeologicznych badań ratowniczych na stanowisku wielokulturowym w Holendrach Baranowskich, st. XII, AZP 59-61/47, gm. Baranów, pow. Grodzisk Mazowiecki, woj. mazowieckie (projekt: autostrada A2, st. aut. 82), Warszawa 2011, maszynopis, archiwum IAE PAN
- Dąbski, M., Woronko, B., Szwarczewski, P. (2011). Charakterystyka geomorfologiczna stanowiska archeologicznego Kopiska, stanowisko autostradowe 17 GIBB. [W:] Olczak, H. (red.) Ratownicze badania wykopaliskowe na wielokulturowym stanowisku w Kopiskach. stan. X, AZP 59-61/165, gm. Baranów, pow. Grodzisk Mazowiecki, woj. mazowieckie (projekt: autostrada A2, st. aut. 17 GIBB), Warszawa 2011, maszynopis, archiwum IAE PAN

- Dąbski, M., Woronko, B., Szwarczewski, P. (2010). Charakterystyka geomorfologiczna stanowiska archeologicznego Nowy Drzewicz stanowisko autostradowe nr 78. [W:] Wyniki archeologicznych badań ratowniczych przeprowadzonych na stanowisku wielokulturowym Nowy Drzewicz, stan. I, II, V (AZP 59-60/1, 2, 7), atan. Aut. 78, gm. Wiskitki, pow. Żyrardów, woj. mazowieckie, Warszawa-Bańki 2011, maszynopis, archiwum IAE PAN.
- Dąbski, M., Woronko, B., Szwarczewski, P. (2010). Charakterystyka geomorfologiczna stanowiska archeologicznego Miedniewice, stanowisko autostradowe nr 73. [W:] Olczak, H., Krzyżak, M., Krasnodębski, D. (red.) Osada z okresu wpływów rzymskich ze śladami osadnictwa z okresu nowożytnego w miejscowości Miedniewice (dawniej Hipolitów). Sta. 1 aut. Stan. 73, AZP 60-59/74, pow. Żyrardów, woj. mazowieckie, Warszawa 2010, maszynopis, archiwum IAE PAN
- Dąbski, M., Woronko, B., Szwarczewski, P. (2010). Wstępne informacje dotyczące rzeźby i płytkiej budowy geologicznej stanowiska archeologicznego Feliksów. [W:] Bryńczak, B. (red.) Wyniki archeologicznych badań wykopaliskowych przeprowadzonych w roku 2009 w obrębie stanowiska XXII (AZP 60-60/54; Aut. 8GIBB) w Starowiskitkach, pow. Żyrardów, woj. mazowieckie, Siedlce 2010, maszynopis, archiwum IAE PAN.
- Dąbski, M., Woronko, B., Szwarczewski, P. (2010). Charakterystyka geomorfologiczna stanowisk archeologicznych, zlokalizowanych na terenie tzw. węzła wiskickiego (Wiskitki, Starowiskitki, Morgi) [W:] Krzyżak, M., Krasnodębski, D., Olczak, H., Wawrusiewicz, A. (red.) Osada wielokulturowa w miejscowości Wiskitki, gm. Loco, stan. II, aut. Stan. 76, AZP 59-60/32 (14), pow. Żyrardów, woj. mazowieckie, Warszawa 2011, maszynopis, archiwum IAE PAN.

D. Formy wietrzeniowe w strefie litoralnej

Wietrzenie chemiczne i fizyczne skał bazaltowych na islandzkim wybrzeżu prowadzi do powstania ciekawych form wietrzeniowych typu alveoli i tafoni. Morfometria, uwarunkowania występowania oraz wietrzeniowe zmiany mineralogiczne były przedmiotem publikacji współpracy z moją magistrantką Katarzyną Zwalińską (Zwalińska, Dąbski 2012). Wykazaliśmy, że działanie aerozolu soli morskiej, silny wiatr oraz zmiany temperatury powietrza powodują rozpuszczanie skaleni, piroksenów i oliwinów oraz wytrącanie związków żelaza w obrębie otoczki wietrzeniowej. Pogazowe makropustki w skale stanowią miejsca inicjalnego rozwoju form wietrzeniowych.

Literatura

- Zwalińska, K., Dąbski, M. (2012). Cavernous weathering forms in SW Iceland: a case study on weathering of basalts in a cold temperate maritime climate. *Miscellanea Geographica*, 16, 1, 11-16.

E. Metody datowania względnego form polodowcowych

Metodologiczne podstawy oraz inicjalne wyniki badań dotyczących metod datowania względnego młodych form polodowcowych na Islandii (najważniejsze publikacje w tym bloku tematycznym stanowią część mojego głównego osiągnięcia naukowego), takich jak: lichenometria, analiza liczby odboju młotka Schmidta, grubości otoczki wietrzeniowej oraz analiza mikrochropowatość zaprezentowane zostały w publikacjach: Dąbski (2005, 2007a,b, 2012a,b,c, 2013, 2014), Dąbski i in. (2005).

Nowatorskie podejście do analizy liczb odboju młotka Schmidta zaprezentowałem także w badaniach przeprowadzone na wapieniach na przedpolu Lodowca Biferten (Alpy Glarneńskie) w Szwajcarii (Dąbski 2009). Wykazałem w nich wpływ ręcznego ścierania powierzchni skalnej przy pomocy karborundum na uzyskane liczby odboju.

Jako koordynator projektu studenckiego uczestniczyłem w lichenometrycznym badaniach wieku wschodniej, dotychczas nie wydatowanej, części przedpola Fláajökull na Islandii (Łuszczak i in. 2013).

Literatura

- Dąbski, M. (2014). Paraglacjalny rozwój mikrorzeźby wietrzeniowej (zastosowanie chropowatościomierza Handysurf E-35B). [W:] Molewski, P., Juśkiewicz, W. (red.) X Zjazd Geomorfologów Polskich *Krajobrazy młodoglacjalne, ich morfogeneza, teraźniejszość, przyszłość*. Streszczenia. Wydział Nauk o Ziemi UMK, SGP, Toruń, 16-19 września 2014, 26-27.
- Łuszczak, K., Modzelewska, A., Sawicka, D., Niezabitowska, D., Dąbski, M. (2013). Wiek wałów morenowych we wschodniej części przedpola lodowca Fláa (SE Islandia) w oparciu o wyniki datowania lich enometrycznego. *Landform Analysis*, 24: 45–54.
- Dąbski, M. (2009) Early stages of weathering of glacially-abraded limestone surfaces as determined by various Schmidt hammer tests; Biferten glacier forefield, Glarner Alps (Switzerland). *Landform Analysis*, 11, 13-18.
- Dąbski, M. (2007a). Lichenometryczna analiza rozkładu częstości jako metoda datowania moren lodowca Fláa (SE Islandia). *Słupskie Prace Geograficzne* 4, 61-77.
- Dąbski, M. (2005). Zastosowanie lichenometrii w badaniach geomorfologicznych. *Monitoring Środowiska Przyrodniczego*, 6: 41-45.
- Dąbski, M. (2012a). Schmidt Hammer R-values, weathering rind thickness and micro-roughness: in serach of relative age indicators of Fláajökull moraines, Iceland. [W:] A.A.Beulich and K.Laute (red.) 7th SEDIBUD Workshop. *Towards an integrated analysis of environmental drivers and rates of contemporary solute and sedimentary fluxes in changing cold climate environments. From coordinated field data generation to integration and modeling*. NGF Abstracts and proceedings, Norsk Geologisk Forening c/o Norges Geologiske Undersøkelse, Trondheim, .
- Dąbski, M. (2012b) Roughness of glacially abraded boulders measured with use of Handysurf E35-B electronic profilometer and its potential for relative dating; a case of Fláajökull moraines (SE Iceland). 42nd International Arctic Workshop, Program and Abstracts. Institute of Arctic and Alpine Research (INSTAAR), University of Colorado at Boulder, 30-33.
- Dąbski, M. (2007b). The lichenometric size-frequency dating approach to Fláajökull moraines (SE Iceland). 37th Annual International Arctic Workshop. Program and Abstracts; May 2-4, 2007, Skaftafell, Iceland, The Earth Science Institute, University of Iceland: 80-83.
- Dąbski, M. (2013). Wykorzystanie chropowatościomierza Handysurf E35-B w badaniach mikrorzeźby wietrzeniowej i erozyjnej. [W:] VI Seminarium: Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych. Instytut Geoekologii i Geoinformacji UAM Komitet Badań Czwartorzędu PAN Komisja Badań Czwartorzędu przy oddziale PAN w Poznaniu Stowarzyszenie Geomorfologów Polskich, Poznań, 14-15 listopad 2013.
- Dąbski, M. (2012c). Wybrane indykatory wieku moren lodowca Fláa (SE Islandia); zastosowanie elektronicznego chropowatościomierza. [W:] Krawczyk, W. E., Staszyński A. (red.) XXXIV Sympozjum Polarne, Streszczenia referatów i posterów, UŚ, KBP PAN, APECS, KP PTG, Sosnowiec, 25.
- Dąbski, M., Fabiszewski, B., Pękalska, A. (2005). Strefa marginalna lodowca Fláa – wiek moren, próba zastosowania lichenometrii. [W:] P. Molewski (red.) *Rekonstrukcja procesów glacialnych w wybranych strefach marginalnych lodowców Islandii – formy i osady*. Terenowe warsztaty geomorfologiczne, Islandia, 14-28 sierpnia 2005, Instytut Geografii UMK, Stowarzyszenie Geomorfologów Polskich, Toruń 2005.

F. Środowisko przyrodnicze i geografia turystyki z rejonie Kuźnicy i Sejn

W efekcie prowadzenia praktyk studenckich zebraliśmy z Piotrkim Szwarczewskim ciekawy materiał dotyczący środowiska przyrodniczego okoli Sejn i Kuźnicy, w tym ogólnej budowy geologicznej i rzeźby

(Dąbski, Szwarczewski 2006a, 2011), torfowiska Bagno Żagarskie koło Sejn (Szwarczewski, Dąbski 2007) oraz osobliwości geomorfologicznej jaką stanowi kopuła torfowo-martwicowa w rejonie Kuźnicy (2008, 2011). Ponadto, przeprowadziliśmy zwięzłą charakterystykę stanu rozwoju agroturystyki w okolicach Sejn (Dąbski, Szwarczewski 2006b).

Literatura

- Dąbski, M., Szwarczewski, P. (2006a). Budowa geologiczna i rzeźba powierzchni. [W:] P. Szwarczewski (red.) *Ziemia Sejneńska - przyroda, człowiek, turystyka*. , Wydawnictwo Szkoły Wyższej Przymierza Rodzin, Warszawa, 2006.: 15-24.
- Dąbski, M., Szwarczewski, P. (2006b). Agroturystyka w okolicach Sejn. [W:] P. Szwarczewski (red.) *Ziemia Sejneńska - przyroda, człowiek, turystyka*. , Wydawnictwo Szkoły Wyższej Przymierza Rodzin, Warszawa, 2006.: 15-24.
- Dąbski, M., Szwarczewski, P. (2011). Budowa geologiczna i rzeźba powierzchni okolic Kuźnicy. [W:] M. Dąbski, P. Szwarczewski (red.), *Przyrodnicze oblicza Ziemi Kuźnickiej*. Zeszyty Naukowe SWPR, 7, 9-24.
- Szwarczewski, P., Dąbski, M. (2007). Stanowisko Bagno Żagarskie. Charakterystyka geologiczna i geomorfologiczna. [W:] E. Smolska, P. Szwarczewski (red.), VI Warsztaty Terenowe Sejny-Suwałki „Zapis działalności człowieka w środowisku przyrodniczym”, 14-16 czerwca 2007, przewodnik terenowy, streszczenia wystąpień Wydział Geografii i Studiów Regionalnych: 11-14.
- Szwarczewski, P., Dąbski, M., K. Pawłowski (2008). Kopuła torfowo-martwicowa w Kuźnicy – wstępne wyniki badań. [W:] A. Kosztrzewski (red.), V Seminarium Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych, streszczenia. Poznań 20-21 listopada 2008, 123-125.
- Szwarczewski, P., Dąbski, M., Pawłowski, K. (2011). Kopuła torfowo-martwicowa w Kuźnicy. [W:] M. Dąbski, P. Szwarczewski (red.), *Przyrodnicze oblicza Ziemi Kuźnickiej*. Wydawnictwo Szkoły Wyższej Przymierza Rodzin, Warszawa, 2011.: 25-36.

Marek Dąbski