

Autoreferat

1) Imię i nazwisko.

Jacek Szczygieł

2) Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

Doktorat, Uniwersytet Śląski w Katowicach, Nauki o Ziemi, Geologia, 01.2016 r

Tytuł rozprawy: "Uwarunkowania geologiczne rozwoju jaskiń tatrzańskich w świetle rozpoznania wglębnej budowy geologicznej"

promotor: Prof. dr hab. Antoni Wójcik, Dr Andrzej Tyc

praca dyplomowa obroniona z wyróżnieniem

Magister, Uniwersytet Śląski w Katowicach, Nauki o Ziemi, Geologia, 06.2010 r.

Tytuł pracy dyplomowej: "Jaskinia Wysoka – Za Siedmiu Progami jako przedmiot badań do określenia modelu budowy geologicznej górnej części Wąwozu Kraków, Tatry Zachodnie".

promotor: Prof. Antoni Wójcik,

3) Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.

Adiunkt 02.2016 do chwili obecnej

Katedra Geologii Podstawowej, Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski w Katowicach;
od 2019 roku jest to Instytut Nauk o Ziemi, Wydział Nauk Przyrodniczych

Asystent 09.2013 – 01.2016

Katedra Geologii Podstawowej, Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski w Katowicach,
Polska.

4) Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.).

a) tytuł dzieła

Neotektonika rejonów wolno odkształcanych w oparciu o analizę morfologii jaskiń i deformacji osadów jaskiniowych

b) Spis prac prezentujących osiągnięcie naukowe

- I.** Mendecki, M., Szczygieł, J., 2019. *Physical constraints on speleothem deformations caused by earthquakes, seen from a new perspective: Implications for paleoseismology.* Journal of Structural Geology 126, 146–155. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2019.06.008>

Jestem pomysłodawcą badań opublikowanych w tym artykule, a mój wkład polegał na opracowaniu koncepcji, przygotowanie części tekstu w tym wstępu, dyskusji i wniosków oraz częściowo wizualizacji danych (Fig. 1 i 7). Jestem autorem korespondencyjnym tej pracy.

II. Szczygiel, J., Wróblewski, W., Mendecki, M.J., Hercman, H., Bosák, P., 2020. *Soft-sediment deformation structures in cave deposits and their possible causes (Kalacka Cave, Tatra Mts., Poland)*. *Journal of Structural Geology* 140, 104161 <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2020.104161>

Odkryłem opisane w artykule struktury, a mój wkład polegał na opracowaniu koncepcji badań, pracach terenowych (wraz z W. Wróblewskim), analizie strukturalnej, przygotowaniu większej części tekstu w tym rozdziałów 1, 2, 3, częściowo 4, 5.2, 6 i 7 czyli dyskusji i wniosków, wykonałem również wszystkie ryciny, oprócz fig. 6. Podsumowującą figurę 7 wykonaliśmy wraz z W. Wróblewskim. Jestem autorem korespondencyjnym tej pracy.

III. Szczygiel, J., Sobczyk, A., Hercman, H., Mendecki, M.J., Gąsiorowski, M., 2021a. *Damaged Speleothems and Collapsed Karst Chambers Indicate Paleoseismicity of the NE Bohemian Massif (Niedźwiedzia Cave, Poland)*. *Tectonics* 40, e2020TC006459 <https://doi.org/10.1029/2020TC006459>

Jestem pomysłodawcą badań opublikowanych w powyższym artykule, które zostały sfinansowane z kierowanego przeze mnie działania badawczego MINIATURA. Mój wkład w artykuł polegał na opracowaniu koncepcji badań oraz doborze metodyki, na wykonaniu prac terenowych wraz z A. Sobczykiem, wyselekcjonowaniu próbek, analizie geomorfologicznej i strukturalnej, kompilacji i interpretacji wyników badań, przygotowanie większości tekstu (z wyjątkiem rozdziałów 3.2, 3.3, 3.4, 4.2, 4.3, 4.4), oraz większości rycin. Jestem autorem korespondencyjnym tej pracy.

IV. Szczygiel, J., Gradziński, M., Bella, P., Hercman, H., Littva, J., Mendecki, M.J., Sala, P., Wróblewski, W., 2021b. *Quaternary faulting in the Western Carpathians: Insights into paleoseismology from cave deformations and damaged speleothems (Demänová Cave System, Low Tatra Mts)*. *Tectonophysics* 820, 229111 <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2021.229111>

Mój wkład w powstanie artykułu polegał na wykonaniu pomiarów strukturalnych i pobraniu części próbek w jaskini, kartowaniu geomorfologicznym na powierzchni terenu, przeprowadzeniu analizy strukturalnej, kompilacji i interpretacji wyników badań, przygotowanie większości tekstu (z wyjątkiem rozdziałów 3.4, 3.5, 4.3, 4.4, 4.5), oraz większości rycin, jak również przygotowaniu większej części tekstu w materiałach uzupełniających (suplementach). Jestem autorem korespondencyjnym tej pracy.

V. Szczygiel, J., Baroň, I., Melichar, R., Plan, L., Mitrović-Woodell, I., Kaminsky, E., Scholz, D., Grasemann, B., 2022. *Post-Miocene tectonics of the Northern Calcareous Alps*. *Scientific Reports* 12, 17730. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-22737-5>

Wraz z L. Planem, B. Grasemannem, I. Baroňem opracowaliśmy koncepcję badań, a I. Mitrović-Woodell i E. Kaminsky dołączyły do badań terenowych. Wraz z R. Melicharem, I. Baronem i B. Grasemannem wykonaliśmy analizę kinematyczną, którą zinterpretowałem w konsultacji z I.B. B.G. Schultz przeprowadził laboratoryjne procedury datowania U-Th. Zinterpretowałem dane geochronologiczne. Napisałem manuskryptu (w konsultacji ze wszystkimi autorami) i przygotowałem wszystkie ryciny.

c) Omówienie celu naukowego wyżej wymienionych prac i osiągniętych wyników

WSTĘP

Teoria tektoniki płyt mówi, że względny ruch pomiędzy płytami litosferycznymi jest akomodowany na ich granicach, gdzie wzdłuż uskoków występują trzęsienia ziemi (np. Wilson, 1965). Jednakże trzęsienia o szerokim zakresie magnitudy występują również poza aktywnymi granicami płyt, w układach wewnątrzpłytkowych (*intraplate settings*) i wzdłuż nieciągłości, zwanych również rozproszonymi granicami płyt (*diffuse plate boundaries* np. Stein, 2007). Wolno deformowane rejony charakteryzujące się małymi odkształceniami, często zlokalizowane w wewnętrznych obszarach kontynentów, mogą być obciążone niedostatecznie rozpoznanymi zagrożeniami sejsmicznymi. Tempo i przestrzenny rozkład odkształceń oraz sejsmiczności w tych obszarach są często odmienne od aktywnych granic płyt, z których pochodzi większość obecnej wiedzy o czynnikach deformacji, a co za tym idzie np. szacowania zagrożeń sejsmicznych. Wyzwania w badaniu wolno deformowanych regionów wynikają z: 1) braku lub słabego odsłonięcia i/lub zachowanie struktur aktywnych w czwartorzędzie, 2) długich przedziałów średniego czasu powrotu znaczących trzęsień Ziemi, oraz 3) złożonej geometrii i kinematyki uskoków, oraz historii deformacji, często obejmującej reaktywację odziedziczonych struktur. Ponieważ w wielu przypadkach, zwłaszcza w odniesieniu do terminów dotyczących paleosejsmologii, brak jest polskich odpowiedników, pozwoliłem sobie w niniejszym tekście przetłumaczyć je z pojęć angielskich, które prezentuję w nawiasie.

Paleosejsmologia na podstawie dowodów geologicznych powstałych podczas poszczególnych prehistorycznych trzęsień ziemi próbuje określić ich lokalizację, czas i wielkość danego trzęsienia (McCalpin i Nelson, 1996). W zależności od swojej intensywności trzęsienie ziemi może wywołać różne deformacje, klasyfikowane jako pierwszorzędne i wtórne. Efekty pierwszorzędne (*primary effects*), w tym uskoki powierzchniowe (*surface fault rupture*), wypiętrzanie i osiadanie, są konsekwentnie związane ze skorupowymi, zwykle silnymi ($M > 6,5$) lub wielkimi ($M > 7,8$) trzęsieniami ziemi (McCalpin i Nelson, 1996; Guerrieri et al., 2007). Jedynie w wyjątkowych sytuacjach, głównie płytko zlokalizowanych ognisk wstrząsów, uskoki dochodzą do powierzchni na skutek trzęsień ziemi $M < 6$ (np. Ritz et al., 2020). Dlatego badania efektów pierwszorzędnych, na których skupia się paleosejsmologia, często pomijają wstrząsy o mniejszej magnitudzie, tym samym wykluczając obszary poza aktywnymi granicami płyt. Choć znane są przypadki uskoków powierzchniowych z obszarów śródkontynentalnych (np. Štěpančíková et al., 2010; Grützner et al., 2016; Gold et al., 2019), traktowane są one raczej jako zjawiska sporadyczne niż powszechne, którymi są na granicach płyt. Efekty wtórne to te, które występują zarówno podczas trzęsień ziemi o dużej, jak i małej intensywności, w tym deformacje geologiczne i geomorfologiczne, takie jak pęknięcia gruntu, ruchy masowe, upłynnienie osadów, a także inne efekty środowiskowe takie jak anomalne fale/tsunami i skaczące kamienie, anomalie hydrologiczne i trzęsące się drzewa. Wszystkie te zjawiska, znane wspólnie jako efekty środowiskowe trzęsienia ziemi (*Earthquake Environmental Effects – EEEs*; Guerrieri et al., 2007), zostały wykorzystane do stworzenia skali *Environmental Seismic*

Intensity ESI 2007 (Michetti et al., 2007; Reicherter et al., 2009). Skala ESI jest szeroko stosowana do określenia intensywności zarówno niedawnych (King et al., 2018), jak i historycznych trzęsień ziemi (np. Papanikolaou & Melaki, 2017; Silva et al., 2017). Problemy piętrzą się jednak, gdy chcemy sięgnąć do czasów prehistorycznych. Główną przeszkodą jest erozja, która niszczy struktury i formy klasyfikowane jako efekty wtórne. Jest to szczególnie znaczące w obszarach o relatywnie szybkim tempie erozji jak np. góry (zwłaszcza te zlodowacone w Czwartorzędzie) i obszary pokryte lądolodem skandynawskim lub będące w zasięgu jego oddziaływania (obszary peryglacjalne). Tu z pomocą przychodzą jaskinie: odseparowane od zewnętrznych (powierzchniowych) czynników erozyjnych, ze stałym mikroklimatem chronią powstałe w nich deformacje, stanowiąc doskonałe repozytoria informacji o zjawiskach, po których ślady na powierzchni terenu zostały zatarte. Co więcej, występujące w jaskiniach osady, zwłaszcza nacieki jaskiniowe, doskonale nadają się do datowań w szerokim zakresie czasowym, co jest jednym z kluczowych elementów w badaniach tektonicznych. Dla historycznych trzęsień ziemi można uzyskać dokładność do jednego roku (Camelbeeck et al., 2018). Dla starszych osadów dokładność maleje wraz z wiekiem (datowanie $^{230}\text{Th}/\text{U}$). Przed podjęciem przeze mnie prac najstarsze trzęsienie ziemi oparte na datowaniu osadów jaskiniowych określono na ok. 75 ka (Kagan et al., 2005). W przypadkach braku ciągłości depozycji można uzyskać bardzo szerokie interwały obejmujące np. $62,6 \pm 2,27$ do $289,3 \pm 23$ ka dla przedpola Karpat Zachodnich (Bábek et al., 2015), czy $9 \pm 0,5$ do $118 \pm 2,6$ ka dla Alp Wschodnich (Plan et al., 2010). Niemniej jednak potencjalny zasięg metody datowania $^{230}\text{Th}/\text{U}$, obejmujący 0,6 Ma, został osiągnięty dopiero w moich badaniach (Szczygieł et al., 2021b).

W środowisku jaskiniowym można odnotować pięć rodzajów deformacji tektonicznych powstałych po uformowaniu jaskini: połamane wskutek drgań nacieki jaskiniowe (np. Gilli 1999; Kagan et al., 2005; Mendecki & Szczygieł, 2019; Pace et al., 2020; Szczygieł et al., 2021a), dewiacje krzywej wzrostu (Forti & Postpischl 1984; Postpischl et al., 1991), struktury deformacyjne osadów klastycznych (*soft-sediments deformation structures*; Salomon et al., 2018; Szczygieł et al., 2020a), zaważenia się stropu jaskini (Camelbeeck et al., 2018; Szczygieł et al., 2021a; Bella et al., 2021), przemieszczenia korytarzy jaskiniowych i związane z tym deformacje nacieków (Plan et al., 2010; Becker et al. 2012; Szczygieł et al., 2021b, 2022; Baroň et al., 2022).

Speleosejsmologia opiera się jednak na nie do końca poznanych mechanizmach, co w niektórych przypadkach prowadzi do przeciwstawnych interpretacji genezy zniszczeń w obrębie tej samej jaskini. Zazwyczaj dyskusja oscyluje pomiędzy zniszczeniami sejsmicznymi a działaniem mrozu i lodu, jak np. w jaskini Postojnej (Kempe, 2004 vs. Šebela 2008, 2010). Podobnie we wschodnim Masywie Czeskim, Bábek et al. (2015) postulują kosejsmiczne pochodzenie kruchych deformacji nacieków, natomiast Žak et al. (2019) wiąże powstanie tych deformacji z oddziaływaniem lodu. Ponadto możliwe są również inne przyczyny deformacji nacieków, takie jak ruchy podłoża klastycznego (uwodnienie, pęcznienie, osuszanie, ruch masy), powódzie, oraz oddziaływania ludzi lub zwierząt.

W latach 80-tych XX w. badania deformacji nacieków rozpoczęto na półwyspie Apenińskim (Forti & Postpischl, 1984), a ze względu na dość wymagający charakter działań terenowych, prac o podobnej tematyce przybywało niewiele. Do kluczowych badań należy zaliczyć opracowaną przez Kagan et al. (2005) korelację zdeformowanych nacieków z bogatą bazą danych prehistorycznych trzęsień ziemi w rejonie Morza Martwego. Na początku XXI w. grupa belgijskich badaczy przeprowadziła eksperymenty, poddając w wątpliwość destrukcyjne możliwości trzęsień ziemi w jaskiniach (np. Cadonin et al., 2001). Jednak ostatnie modelowanie z wykorzystaniem metody elementów skończonych na powrót wykazało zasadność założeń o oscylacyjnym łamaniu nacieków (Farrantini et al., 2019; Pace et al., 2020; Zembaty et al., 2022). Pionierskie prace z zakresu neotektonicznych deformacji jaskiń przeprowadzono w polskich Tatrach (Zwoliński i Wójcik, 1995), jednak później nie były one kontynuowane. W trakcie prac nad swoim doktoratem udokumentowałem w jaskiniach tatrzańskich 16 przemieszczeń korytarzy, których część powiązałem z naprężeniami tektonicznymi, a część z ruchami grawitacyjnym (Szczygieł, 2015). Jednocześnie, prowadząc swoją aktywność taternicką, odnotowywałem w kolejnych odwiedzanych przeze mnie rejonach krasowych rozmaite deformacje w jaskiniach, w obszarach o niskiej sejsmiczności i wolnym tempie deformacji, tym samym dokumentując dowody na aktywność neotektoniczną badanych obszarów. Skłoniło mnie to do podjęcia badań, których **celem jest rozpoznanie aktywności sejsmotektonicznej w obszarach o niskim tempie odkształceń (*low-strain*), w oparciu o badania morfologii jaskiń oraz zdeformowane osady jaskiniowe**. Choć podobne metody były wcześniej stosowane, większość badań miała charakter opisowy i skupiała się głównie na chronologii deformacji nacieków, w mniejszym stopniu na samym mechanizmie deformacji. Dodatkowo, jak wyżej wspominałem, badania laboratoryjne poddawały w wątpliwość, czy trzęsienie ziemi jest w stanie złamać naciek jaskiniowy. Postawiłem sobie za **cel, aby moje badania dostarczyły nie tylko wiedzy o interwałach czasowych, w których doszło do deformacji, ale również odnosiły się do zjawisk fizycznych, które mogą na nie wpływać, tak aby w konsekwencji oszacować wartości progowe wystąpienia takich deformacji**. Wreszcie, **aby pozyskane przez mnie dane przyczyniły się nie tylko do ilościowego, ale i jakościowego rozpoznania aktywności tektonicznej badanych obszarów**.

AD. I. FIZYCZNE UWARUNKOWANIA DEFROMACJI NACIEKÓW PRZEZ TRZESIENIA ZIEMII (Mendecki & Szczygieł, 2019)

Wśród opracowań speleosejsmologicznych można zaobserwować dwa trendy: jeden obejmujący studia przypadków oparte na obserwacjach terenowych, drugi polegający na modelowaniu i badaniach laboratoryjnych. W pierwszym przypadku uszkodzenia interpretowane są jako sejsmiczne poprzez wykluczenie innych możliwych przyczyn (zob. Becker et al., 2006) lub poprzez skorelowanie datowanych deformacji w jaskiniach z zdarzeniami sejsmicznymi znanymi z innych źródeł (Kagan et al., 2005; Becker et al., 2012; Camelbeeck et al., 2018). Badania laboratoryjne i modelowanie skupiają się głównie na deformacji nacieków jaskiniowych, i na odpowiedzi na pytanie, czy trzęsienie ziemi może złamać stalagmit lub stalaktyt, a jeśli tak, to jak silne trzęsienie jest do tego niezbędne (np. Gilli

et al., 1999; Lacave et al., 2000, 2004; Cadorin et al., 2001; Szeidovitz et al., 2008; Gribovski et al., 2013, 2017, 2018). Pomimo ogólnej odporności nacieków i korytarzy jaskini na zniszczenie, w ostatnim czasie odnotowano deformacje w jaskiniach spowodowane trzęsieniami ziemi (Pérez-López et al., 2009; Zhao et al., 2020; Grasmann et al., 2022). Choć nastąpił znaczny postęp badań w tej dziedzinie w ciągu ostatnich dwóch dekad, niektóre aspekty zjawisk fizycznych w jaskiniach, np. zachowanie się fal sejsmicznych w korytarzu i występowanie efektów oscylacyjnych nie zostały wystarczająco dogłębnie omówione ani wprowadzone do rozważań speleosejsmologicznych.

W pierwszej pracy składającej się na "dzieło", podjąłem się przeglądu literatury oraz wskazania kilku zjawisk fizycznych, które mogą wpływać na uszkodzenia jaskiń, a także uzupełnienia dyskusji dotyczących wpływu zdarzeń sejsmicznych na deformacje w korytarzach jaskiniowych (**Mendecki & Szczygieł, 2019**). Nowatorstwo tej pracy polega na niestosowanym wcześniej podejściu, które rozważa efekty sejsmiczne w kopalniach jako podobne do tych w jaskiniach. Ze względów użytkowych przeprowadzono wiele badań na terenach górniczych zagrożonych sejsmicznością indukowaną. W omawianych badaniach założono, że pustki kopalniane mogą być traktowane jako odpowiedniki korytarzy jaskiniowych, w konsekwencji więc można zastosować wyniki górniczych badań geofizycznych do środowiska jaskiniowego. Na oba typy podziemnych pustek (naturalny i antropogeniczny), oddziałują fale P i S. Powierzchnia swobodna (kontakt skały i powietrza), nawet jeśli znajduje się pod ziemią, jest falowodem dla fal powierzchniowych (np. fal Rayleigha i Love'a), które powstają jako kombinacja spolaryzowanych fal P i S. Propagacja fal powierzchniowych w tunelach lub chodnikach kopalnianych nosi nazwę fali tunelowej; nie należy jej mylić z falą kanałową, która jest falą sejsmiczną przemieszczającą się wzdłuż płaszczyzn spągowych i stropowych w pokładach węgla. Zjawisko fali tunelowej zostało przedstawione w wielu pracach (np. Milev et al. 2002), w których opisano jej tło fizyczne oraz wyniki modelowania numerycznego. Fale sejsmiczne wytwarzane przez naturalne lub indukowane przez działalność człowieka trzęsienia ziemi wytwarzają wciąż te same fale P i S. Różnią się one częstotliwością, ale fizyka oscylacji jest taka sama. Dlatego w moich badaniach wykorzystałem wyniki badań fal tunelowych do opisu zjawisk, których należy się spodziewać w jaskiniach.

W omawianym artykule skupiono się na: (i) skutkach wystąpienia drgań i zjawiska rezonansu w stalagmitach (stalaktytach) i kolumnach, które przybliżane są rozwiązaniem zagadnienia oscylacji pręta o swobodnym końcu; (ii) odległości jaskini od lokalizacji ogniska trzęsienia ziemi, która ma istotny wpływ na efekty sejsmologiczne, takie jak szczytowe wartości amplitud przyspieszenia (*peak ground acceleration*, PGA); (iii) porównaniu zakresów częstotliwości różnych zdarzeń sejsmicznych.

Rozważania teoretyczne, uzupełnione o obliczenia (wykonane przez dr. Macieja Mendeckiego) oparte na wcześniej opublikowanych danych, pozwoliły na określenie zależności pomiędzy częstotliwością własną i przyspieszeniem powodującym pękanie stalagmitów (i stalaktytów) a ich wysokością i średnicą. Badania częstotliwości własnych (rezonansowych) pokazały, jak zmieniają się one wraz z geometrią nacieków. Wykazano, że we wcześniejszych analizach odnoszono się jedynie do zakresu częstotliwości trzęsienia ziemi (0,1–30 Hz), jednak powinny

być one uzupełnione o badania fal tunelowych, które mogą pojawiać się w ścianach jaskiń. Efekt ten znacząco modyfikuje charakterystykę drgań w jaskini, co może skutkować uszkodzeniem nacieków, które nie byłoby możliwe w powyższym standardowym zakresie. W niektórych przypadkach obliczenia częstotliwości drgań własnych wskazywały na wartości wyższe niż 30 Hz (nawet rzędu 200–300 Hz), konieczne do pęknięcia nacieków. W związku z tym, że żaden inny czynnik nie mógł mieć na to wpływu, można przypuszczać, że powierzchniowe fale tunelowe o wyższych charakterystykach częstotliwościowych propagujące wzdłuż ścian jaskiń mogą powodować zjawisko rezonansu w naciekach i ich uszkodzenia. Jednym z najważniejszych wyników tych badań jest zaprezentowanie modelu, możliwości oszacowania minimalnej magnitudy wymaganej do zniszczenia nacieku w danej odległości od ogniska trzęsienia ziemi. Należy jednak wziąć pod uwagę, że każde trzęsienie ziemi wiąże się z indywidualną charakterystyką mechanizmu źródła i występuje w specyficznym, niejednorodnym ośrodku. Zatem zakresy częstotliwości trzęsień ziemi zdolnych do wywołania zjawiska rezonansu w naciekach należy odnosić zarówno do lokalnych warunków sejsmotektonicznych, budowy geologicznej obszaru, jak i właściwości fizycznych samych nacieków. Takie podejście zostało przetestowane w późniejszych badaniach (**Szczygieł et al., 2021a, b**).

AD. II. STRUKTURY DEFORMACYJNE W NIESKONSOLIDOWANYCH OSADACH JASKINIOWYCH I ICH MOŻLIWE PRZYCZYNY (Szczygieł et al., 2020a)

Choć druga praca, jak wszystkie prezentowane, odnosi się do deformacji osadów jaskiniowych, porusza tematykę nieco inną niż pozostałe, gdyż badam w niej, wraz ze współautorami, struktury deformacji nieskonsolidowanych osadów klastycznych (*Soft Sediments Deformation Structures–SSDS*; **Szczygieł et al., 2020a**). Część z takich struktur deformacyjnych jest częstym efektem upłynniania osadu wywołanym przez gwałtowne impulsy, takie jak wstrząsy sejsmiczne, przeciążenia, ruchy wód gruntowych oraz cykliczne i/lub impulsowe uderzenia fal sztormowych (Owen, 1987; van Loon, 2009). Upłynnienie to wynik nagłego wzrostu ciśnienia porowego i nagłej utraty wytrzymałości na ścinanie, spowodowanej brakiem kontaktów ziarnowych. Materiał w stanie upłynnionym zachowuje się jak lepka ciecz o niskiej lub zerowej granicy plastyczności (Owen i Moretti, 2011).

SSDS występują głównie w osadach morskich i jeziornych (Moretti et al., 2011), fluwioglacjalnych (np. Rodriguez-Pascua et al., 2000; Gladkov et al., 2016) lub lodowcowych (np. Pisarska-Jamroży et al., 2018), a rzadko w osadach eolicznych (np. Moretti, 2000). W omawianej publikacji badam niezwykle rzadko spotykane SSDS w klastycznych osadach jaskiniowych, które odkryłem w Jaskini Kalackiej w Tatrach. Jaskinie krasowe są specyficznym typem podziemnego kontynentalnego środowiska sedymentacyjnego, gdzie oboczny zasięg osadów jest zwykle rzędu kilku do kilkuset metrów (np. Dykes, 2007), a ich łączna miąższość sięga od kilku do (rzadko) kilkudziesięciu metrów. Chociaż osady jaskiniowe często są nasycone wodą, a co za tym idzie powinny być podatne na upłynnienie wskutek trzęsień ziemi, SSDS w osadach jaskiniowych były dokumentowane tylko kilka razy (Kos, 2001; Lignier i Desmet, 2002; Bábek et al., 2015; Salomon et al., 2018). Jedną z przyczyn może być niezazębianie się w czasie

odpowiednich warunków. Chociaż osady klastyczne w jaskiniach są głównie deponowane przez wodę, kiedy przechodzą do strefy wadycznej, mają tendencję do wysychania; dlatego trzęsienia ziemi nie oddziałują na nie. Co więcej, osady jaskiniowe mogą być również zdeformowane przez procesy peryglacjalne, tworząc tzw. gleby poligonalne (Pulina, 1968) i szczeliny (Lundberg i McFarlane, 2012). Osady jaskiniowe mogą być również poddawane grawitacyjnym ruchom masowym (Dykes, 2007). Dość powszechne są również szczeliny z wysychania.

Głównym celem omawianej pracy było poznanie mechanizmów wyzwalających i procesów syn- i postsedymenacyjnych, które przyczyniły się do powstania SSDS w Jaskini Kalackiej. Badania koncentrowały się na teksturach i strukturach osadów klastycznych, ale były wzbogacone o datowanie $^{230}\text{Th}/\text{U}$ pogrzebanego w nich stalaktytu, co pozwoliło określić maksymalny wiek osadów. Istotnym elementem były badania laboratoryjne prób, które posłużyły do wyznaczenia właściwości sprężystych osadów jaskiniowych oraz wapienia, w którym jaskinia się rozwinęła. Wyniki analiz pozwoliły określić zdolność nieskonsolidowanych osadów wypełniających kanał krasowy w wapieniu do upłynnienia po wystąpieniu wstrząsu w pobliżu jaskini.

W osadach klastycznych Jaskini Kalackiej udokumentowałem bardzo rzadko występujące w środowisku jaskiniowym SSDS. Datowania $^{230}\text{Th}/\text{U}$ pogrzebanego w tych osadach stalaktytu oraz wzrost nacieków w innych częściach jaskini wskazują, że badane osady powstały najprawdopodobniej w wyniku zalania wstecznego (ang. *backflooding sensu* Plan et al., 2009), które zmieniło środowisko sedimentacji na skutek powrotu jaskini z warunków wadycznych na (epi)freatyczne podczas ostatniego glacjału. W osadach jaskiniowych udokumentowano uskoki (normalne i odwrócone), fałdy (stojące, symetryczne antykliny typu *detachment fold*; fałdy o małej amplitudzie; fałdy o zachodniej wergencji, *fault-propagation folds*) oraz struktury uciezkowe (Fig. 4 w Szczygieł et al., 2020) Udokumentowany zestaw struktur powstał w dwóch etapach: (1) struktury kruche i plastyczne są zapisem grawitacyjnego osuwania osadu w obrębie kanału krasowego, a (2) struktury uciezkowe powstały w wyniku upłynnienia (Fig. 7 w Szczygieł et al., 2020).

Chociaż nie możemy jednoznacznie wykluczyć powodzi jako możliwego czynnika, najbardziej prawdopodobnym mechanizmem wyzwalającym upłynnienie był wstrząs sejsmiczny. Jednoczesne przesylenie badanych osadów w wyniku zalania wstecznego oraz reaktywacja osuwiska skalnego przecinającego Jaskinię Kalacką (patrz Szczygieł et al., 2019) nastąpiły podczas ostatniego wycofania lodowca (MIS 2). W tym czasie miały miejsce silne trzęsienia ziemi (M6,0 do M7,0) wzdłuż uskoku podtatrzańskiego na południowej krawędzi Tatr (Pánek et al., 2020). Współwystępowanie tych zjawisk wskazuje na możliwość, iż trzęsienia ziemi reaktywowały dylatacje w zboczach Kalackiej turni rozcinające Jaskinię Kalacką, które były bezpośrednim mechanizmem wyzwalającym upłynnienie osadu. Dodatkowym argumentem za kosejsmicznym pochodzeniem części struktur są wyniki prac laboratoryjnych. Omawiana praca jest pierwszą próbą oszacowania efektów lokalnych (*site effect*) i wskaźnika podatności osadów jaskiniowych na upłynnienie. Badania wykazały, że w lokalnych warunkach w jaskini tj, w wapiennej rurze wypełnionej luźnym osadem dojdzie do 10-ciokrotnej amplifikacji fali

przy częstotliwości rezonansowej 17,05 Hz, a wskaźnik podatności $K_g=5,93$, co wskazuje, że luźne osady jaskini mogły zostać upłynnione podczas wstrząsów.

AD. III. ZNISZCZONE NACIEKI I ZAWALSKA KOMÓR JASKINIOWYCH JAKO WSKAZÓWKI AKTYWNOŚCI PALEOSEJSMICZNEJ (Szczygieł et al., 2021a)

W kolejnej pracy wróciłem do tematyki nacieków połamanych wskutek oscylacji, ale tym razem w konkretnym studium przypadku Jaskini Niedźwiedziej w Kletnie (**Szczygieł et al., 2021a**). Masyw Śnieżnika, w którym Jaskinia Niedźwiedzia jest zlokalizowana, jako część Masywu Czeskiego uważany jest powszechnie za stabilny. Pomimo iż Europejski System Kenozoicznych Ryftów (*European Cenozoic Rift System—ECRS*) przecina “stabilną” Europę od Karpat na wschodzie po Morze Północne na zachodzie (Ziegler, 1992; Špaček et al., 2015), odnotowano pojedyncze zdarzenia wystarczająco silne, aby wytworzyć uskoki na powierzchni terenu (np. Štěpančíková et al., 2010, 2019, Grützner et al., 2016). Wybitnym przykładem struktury tektonicznej powiązanej z ECRS jest jedna z najbardziej odznaczających się linii tektonicznych w Europie Środkowej—Sudecki Uskok Brzeżny—której długość wynosi około 200 km. Uskok o przebiegu NW-SE ogranicza od północy Masyw Czeski, czego wyrazem jest 130-kilometrowa skarpa w morfologii terenu. Historyczne trzęsienia ziemi wzdłuż Sudeckiego Uskoku Brzeżnego nie miały dużych intensywności ($I < 7$ w skali intensywności EMS; Guterch, 2015). Minimalna magnituda momentu sejsmicznego prehistorycznych trzęsień ziemi została oszacowana na $M_{6,3}$ (Štěpančíková i in., 2010), które teoretycznie mogą wywoływać trzęsienia ziemi o wyższych intensywnościach ($I \sim 8,8$ w epicentrum w skali intensywności MSK). Według mapy zagrożeń sejsmicznych dla Czech, Polski i Słowacji (Schenk et al., 2001), intensywność w rejonie Sudetów nie powinna przekraczać $I = 6,5$ (MSK). Co za tym idzie, trzęsienia ziemi w regionie Sudetów występowały w czasach historycznych i prehistorycznych, ale ich intensywność mogła nie być wystarczająco duża, aby wywołać efekty trzęsienia ziemi zachowane w zapisie geologicznym. Co więcej, morfologia została przebudowana przez procesy peryglacjalne, a później antropogeniczne, co mogło zatrzeć potencjalne efekty trzęsień ziemi. Wydaje się więc, że odizolowane środowisko jaskiniowe jest idealnym poligonem badawczym do poszukiwania efektów potencjalnych trzęsień ziemi w pobliżu Sudeckiego Uskoku Brzeżnego. W odkrytych po 2011 roku, trudno dostępnych partiach Jaskini Niedźwiedziej czynniki antropogeniczne można odrzucić. Od tego czasu w jaskini udokumentowano kilkadziesiąt połamanych i przewróconych stalagmitów, stalaktytów, z których największy ma prawie 0,6 m średnicy i ~ 2 m wysokości. Uszkodzone nacieki, a także zawalenia stropu obserwowaliśmy w całej jaskini, miejscami miąższość blokowiska sięga kilkunastu metrów. Deformacje – zarówno uszkodzone nacieki jak i gładzowiska – najliczniej występują w nowo odkryta część o długości ok. 3km.

Omawiana praca miała na celu rozszyfrowanie przyczyn deformacji nacieków i zawalisk w Jaskini Niedźwiedziej. Datowania metodą $^{230}\text{Th}/\text{U}$ nacieków zdeformowanych oraz pokrywających deformacje uzupełniono o przestrzenną analizę morfologii jaskini ze szczególnym uwzględnieniem zawalisk (Fig. 2 w Szczygieł et al., 2021a). Interpretację

dotatkowo oparto na predykcji prawdopodobnej intensywności trzęsienia ziemi (*probable seismic intensity prediction*), aby określić rozmiar źródła sejsmicznego oraz spodziewaną intensywność makrosejsmiczną i szczytowe amplitudy przyspieszenia gruntu (PGA) dla wybranych odległości epicentralnych. Takie podejście pozwoliło na ocenę prawdopodobnych skutków sejsmicznych w jaskini, a dzięki badaniom właściwości sprężystych nacieków ustalenie wartości progowych deformacji. Datowania pozwoliły na zbudowanie inwentarza deformacji od najmłodszego plejstocenu (~17 ka) do późnego środkowego plejstocenu (320 ka). Inwentarz ten obejmuje pięć zdarzeń, które miały miejsce w interwałach czasowych: (1) 320–306 ka, (2) 253–236 ka, (3) 162–158 ka, (4) 135–132 ka oraz (5) zlodowacenie północnopolskie (deformacje starsze niż 21 ka). Interwały 1, 3 i 4 są relatywnie dobrze wyznaczone poprzez datowanie przed- i po-deformacyjne laminy, podczas gdy interwały 2 i 5 są gorzej udokumentowane, a zatem pozostają spekulatywne. Chociaż nie można jednoznacznie wykluczyć innych czynników niesejsmicznych, takich jak okresowe zamarzanie czy zawałiska grawitacyjne, to jednak analiza wyników datowań w powiązaniu z badaniami neotektonicznymi (Sobczyk i Szczygieł 2021), wskazuje na trzęsienia ziemi jako najbardziej prawdopodobny mechanizm wywołujący deformacje w Jaskini Niedźwiedziej. Za tym wnioskiem przemawiają dwa główne argumenty: (1) zniszczenia w jaskini wystąpiły zarówno w zimnych, jak i ciepłych okresach plejstocenu, co sugeruje niezależność od czynników klimatycznych oraz (2) zawałeniu uległy nie tylko strop, ale także ściany, a dezintegracji uległ nawet spąg korytarzy.

Aby określić prawdopodobną siłę trzęsienia ziemi i lokalizację źródła sejsmicznego, porównano oszacowane amplitudy przyspieszeń drgań i kryteria zniszczenia nacieków z ubogim zapisem historycznych i prehistorycznych trzęsień ziemi z obszaru badań. Ze względu na wybitną skarpę morfologiczną, ale przede wszystkim na jego powiązanie z trzęsieniami ziemi do M6.3 w późnym plejstocenie i holocenie (Štěpančíkova et al., 2010), głównym kandydatem na potencjalne źródło sejsmiczne jest Sudecki Uskok Brzeżny. Uskok ten znajduje się ok. 17 km od jaskini. Przeanalizowano cztery scenariusze rozkładu PGA (szczytowych wartości amplitud przyspieszeń) wywołanego przez magnitudy M5,7, M6.4, M7,1 i M7,6, przy założeniu równego prawdopodobieństwa lokalizacji epicentrow wzdłuż śladu uskoku. Biorąc pod uwagę model relacji tłumienia PGA, analiza wskazała, że progową magnitudą dla zniszczenia większości nacieków w Jaskini Niedźwiedziej jest $M > 6,3$. Podsumowując, można stwierdzić, że sudecki uskok brzeżny może wytwarzać amplitudy PGA powodujące pękanie nacieków w jaskini oddalonej o kilkanaście kilometrów

Jednak nie tylko sudecki uskok brzeżny ma potencjał generowania deformacji w Jaskini Niedźwiedziej. Alternatywnymi źródłami sejsmogenicznymi są również uskoki ograniczające Rów Górnej Nysy Kłodzkiej od wschodu. Chociaż brak jest danych historycznych, które pomogłyby oszacować zagrożenie sejsmiczne w tym rejonie, to niewielka odległość jaskini od uskoku (od kilkuset metrów do 8 km) powoduje, że trzęsienia ziemi o intensywności ok. $I \sim 6,5-7$, powinny wystarczyć do zniszczenia nacieków. Natężenie $I \sim 6,5-7$ jest notowane dla strefy sejsmicznej Hronov-Poříčí, dlatego jej wschodnie przedłużenie - strefa uskokuwa Trzebieszowice-Biela - może być również uważana za potencjalny obszar źródłowy.

AD. IV. PRZEMIESZCZENIAC KORYTARZY JASKINIOWYCH CZ. 1: KILKU KROTNA REAKTYWACJA JEDNEGO USKOKU (Szczygieł et al., 2021b)

Kolejne dwie prace (Szczygieł et al., 2021b, 2022) skupiały się na przemieszczeniach korytarzy jaskiniowych (Fig. 2 w Szczygieł et al., 2022). Drenaż krasowy rozwijają się wzdłuż istniejących wcześniej nieciągłości, które mogą być reaktywowane po uformowaniu się jaskini (np. Wójcik & Zwoliński, 1959; Plan et al., 2010, Becker et al., 2012; Szczygieł et al., 2015). Niezwykle istotny jest fakt, że jaskinie reprezentują unikalne środowisko, w którym nawet niewielkie przemieszczenia tektoniczne (rzędu kilku milimetrów) mogą być zachowane, a zatem i wykorzystane do badań neotektonicznych i paleosejsmicznych. Przemieszczone kanały krasowe mogą służyć jako geomorfologiczny wskaźnik przemieszczenia, które nastąpiło po utworzeniu jaskini, podobnie jak na powierzchni terenu wykorzystuje się dewiacje koryt potoków. Jeśli korytarz jaskini rozwinięty jest wzdłuż nieciągłości, których orientacja jest korzystna dla reaktywacji w odniesieniu do regionalnych naprężeń, efekt reaktywacji może być obserwowany w postaci przesunięcia morfologii krasowej. Jednak badane uskoki często nie wytwarzają rys ślizgowych, dlatego do określenia kinematyki uskoku wykorzystywany jest wektor poślizgu (Szczygieł, 2015). Gdyby korytarze jaskiniowe były geometrycznie idealnymi rurami cylindrycznymi, wyznaczenie wektorów poślizgu z przesuniętych korytarzy bez rys na uskockach byłoby niemożliwe. Jednakże ściany korytarzy charakteryzują się mezoformami takimi jak jamki i zagłębienia wirowe, anastomozy, żłobki itp. które po przesunięciu są idealnymi markerami do określenia dokładnego wektora poślizgu w trzech wymiarach.

Celem badań opisanych w publikacji **Szczygieł et al. 2021b**, czwartej publikacji składającej się na omawiane dzieło, było określenie przyczyn uszkodzeń nacieków w Systemie Jaskiń Demianowskich w Niżnich Tatrach, w Centralnych Karpatach Zachodnich na Słowacji. Zdeformowane nacieki udokumentowano w kilku miejscach w tym systemie, przede wszystkim w Galerii Różowej (po słowacku – Ružová galéria; Holúbek, 2001), w Korytarzu Czarownym i Galerii Kralowej (po słowacku – Čarovná chodba i Králova galéria; Petro et al., 2011) oraz w Piekielnej Sali (po słowacku – Pekelný dóm; Holúbek & Bella, 2000). W celu monitorowania ewentualnej reaktywacji uskoków w Czarownym Korytarzu w 2001 roku zainstalowano szczelinomierz TM71 (Petro et al., 2011), jednak zarejestrowane dotychczas przemieszczenia skośne prawoskrętne nie przekraczały 0,2 mm (Petro et al., 2011). Pomimo kilku wzmianek o uszkodzonych naciekach w tej części jaskini, ich przyczyny nigdy nie były szczegółowo badane. Prowadzone przeze mnie badania skupiały się na Czarownym Korytarzu i Kralowej Galerii, których przebieg i morfologia jest w dużej mierze kontrolowana przez ten sam uskoki, który został reaktywowany po powstaniu jaskini i spowodował dwunastocentymetrowe przemieszczenie kanału krasowego. Aby ocenić potencjalny zasięg oddziaływania reaktywacji uskoku, zbadane zostały również deformacje w Korytarzu Śnieżnego Jeziorka (po słowacku – Snehového Jazierka). Badania te opierają się więc na naciekach zdeformowanych bezpośrednio w wyniku przemieszczenia wzdłuż uskoku, a nie są wyłącznie wynikiem wstrząsów. Interpretacja przeprowadzonych datowań ²³⁰Th/U zdeformowanych nacieków została uzupełniona o analizę geomorfologiczną rzeźby terenu nad jaskinią w poszukiwaniu innych śladów reaktywacji uskoku. Dodatkowo oszacowano możliwy

rozmiar i lokalizację źródła trzęsienia ziemi oraz obliczono spodziewaną intensywność makrosejsmiczną i amplitudę PGA w jaskini.

W Centralnych Karpatach Zachodnich struktury neotektoniczne (tj. postmioceńskie *sensu* Hók i in., 2000) są diagnozowane głównie na podstawie ich przecięcia z osadami neogenu (np. Vojtko i in., 2010; Tokarski et al., 2012; Littva i Hók, 2014; Pánek et al., 2020), przy czym jak dotąd zastosowano bardzo niewiele analiz geochronologicznych (np. Vojtko et al., 2011). W efekcie aktywność uskoków jest słabo sprecyzowana w czasie, a często ograniczona jest jedynie do określeń względnych (np. Littva i Hók, 2014; Szczygieł, 2015). Taka diagnoza uskoków jest bardzo zawodna, zwłaszcza, że sama stratygrafia osadów czwartorzędowych jest często daleka od ideału, co pokazały wyniki datowań z jaskiń tatrzańskich, wskazując na silną potrzebę rewizji stratygrafii czwartorzędowej w Karpatach Centralnych (Szczygieł i in., 2020b). Ponadto dopiero od niedawna podejmowane są “klasyczne” badania paleosejsmiczne w Karpatach (Pánek et al., 2020). Wcześniej o możliwości wystąpienia prehistorycznych trzęsień ziemi w Karpatach pisano w kontekście zawalenia się stropu jaskini (Bella et al., 2021), struktur deformacyjnych w nieskonsolidowanych osadów (Szczygieł et al., 2020a) lub spękanych trawertynów (Gradziński et al., 2014). Dopiero Pánek et al. (2020) udokumentowali powierzchnię skarpy uskoku (ang. *surface fault rupture*) o długości >50 km wzdłuż uskoku podtatrzańskiego i oszacowali, że wygenerował on co najmniej jedno trzęsienie ziemi o sile $M > 7$. Ponieważ udokumentowane historyczne trzęsienia ziemi nie przekraczały $M 6$, Pánek et al. (2020) sugerują, że historyczne trzęsienia ziemi mogą nie wyrażać sejsmiczności Karpat Centralnych. Dlatego tym bardziej sięganie głębiej w czas w badaniach paleosejsmologicznych jest niezbędne do odtworzenia historii sejsmicznej i właściwego oszacowania zagrożenia sejsmicznego w tej części Karpat.

W systemie Jaskiń Demianowskich przeanalizowane przesunięcie korytarzy jaskiniowych i związane z tym uszkodzenia nacieków pozwoliły na stworzeniu katalogu deformacji, który obejmuje pięć zdarzeń: 1) 570 (+inf. -35) – 417 ka (+23 /-20) z bardziej spekulatywną alternatywą jako 442 (± 58) –417 ka (+23/ -20), 2) 306 (+27/-22) –291,8 ($\pm 3,5$) ka, 3) 184–130 ka, 4) ~19 ka oraz 5) 2,56 ($\pm 0,02$) –2,3 ($\pm 0,1$) ka. Zdarzenia 3 i 4 zbiegły się z zawaleniami stropu korytarzy w innej części jaskini (Bella et al., 2021), a zdarzenie 3 koreluje się z trzęsieniem ziemi $M > 7$ wzdłuż uskoku podtatrzańskiego (Pánek et al., 2020).

Rozważano dwie główne przyczyny odmładzania uskoku: poślizg grawitacyjny i tektonikę. Chociaż nie można jednoznacznie wykluczyć poślizgu grawitacyjnego, jest on mało prawdopodobny, ponieważ Dolina Demianowska została pogłębiona o <4 m przez ostatnie 550 ka (Hercman et al., 2019). Przetestowano możliwość kosejsmicznego grawitacyjnego przemieszczania się bloku, wykorzystując analizę przemieszczeń Newmarka. Wykazała ona, że aby wygenerować 2 cm przemieszczenia w jaskini niezbędne było wystąpienie trzęsienia ziemi $\geq M 6,4$ wzdłuż uskoku podtatrzańskiego. Jest to jednak mało prawdopodobne, nie ze względu na potencjał sejsmiczny obszaru, ale na geometrię uskoku (płaszczyzna uskoku stromieje ku dołowi tzn., krzywizna powierzchni uskoku jest odwrotna niż w przypadku powierzchni odkuć osuwisk) oraz jego położenie w masywie (odległość od powierzchni wynosi minimum 300 m w poziomie i 200 m w pionie). Ponieważ naciekom przemieszczonym wraz ze ścianami jaskini

towarzyszyły również połamane stalagmity, wysunięto wniosek, iż procesowi przemieszczania towarzyszyła oscylacja. Tym samym najbardziej prawdopodobną przyczyną deformacji były trzęsienia ziemi. Stosując podobną metodykę jak w artykule **Szczygieł et al., 2021a**, zastosowaliśmy modele prognozujące drgania gruntu (*ground motion models*) i porównaliśmy je z obecną sejsmicznością obszaru badań oraz ubogimi zapisami prehistorycznymi i historycznymi o trzęsieniach ziemi, aby zidentyfikować i określić prawdopodobne źródła sejsmiczne. Zgodnie z przewidywaniami modele potwierdziły, że najbardziej prawdopodobnym źródłem sejsmicznym jest uskoku podtatrzański znajdujący się 17,5 km od jaskini, który spowodował co najmniej jedno trzęsienie ziemi o sile $M > 7$ na przełomie plejstocenu i holocenu (Pánek et al., 2020). Biorąc pod uwagę odległość między jaskinią a uskokiem podtatrzańskim, trzęsienie ziemi o sile $> M7$ wygenerowałoby w jaskini $PGA > 4 \text{ m/s}^2$ pomimo zjawiska tłumienia. Dla wielu nacieków byłoby to powyżej progowego poziomego przyspieszenia gruntu powodującego pęknięcia nacieków.

Ponieważ nie dysponujemy wystarczającymi danymi sejsmologicznymi dotyczącymi trzęsień ziemi wzdłuż uskoku podtatrzańskiego, możemy jedynie spekulować na temat mechanizmu powodującego uszkodzenia w Systemie Jaskiń Demianowskich. Biorąc pod uwagę odległość jaskini od potencjalnych źródeł sejsmicznych, przemieszczenie wzdłuż badanego uskoku nie są deformacją pierwszego rzędu (ang. *principal fault rupture*), a raczej należy je sklasyfikować jako deformacje poza uskokowe (ang. *off-fault damage*). Deformacje w jaskini są prawdopodobnie efektem reaktywacji struktur wtórnych, które są związane z postsejsmicznymi ruchami pionowymi powierzchni terenu lub, co mniej prawdopodobne, ale niewykluczone, ze spękaniem rozproszonymi (ang. *distributed rupturing*).

AD. V. PRZEMIESZCZENIAC KORYTARZY JASKINIOWYCH CZ. 2: PODEJŚCIE REGIONALNE (Szczygieł et al., 2022)

Ostatnią publikację z serii wyróżnia ilość analizowanych obiektów i zakres przestrzenny, wykraczająca poza standardy speleotektoniki, która zwykle opiera się na danych z jednej jaskini, a w kilku przypadkach z dwóch. Badania opublikowane w pracy **Szczygieł et al. (2022)** skupiają się na przemieszczeniach korytarzy jaskiniowych. Zebrano tutaj dane kinematyczne o 172 reaktywowanych uskokach z 28 jaskiń pomiędzy Wiedniem a Salzburgiem. Część uskoków, którym towarzyszyły zdeformowane nacieki, datowana była metodą $^{230}\text{Th}/\text{U}$. Celem badań było rozpoznanie post mioceńskiej kinematyki uskoków reaktywowanych w Północnych Alpach Wapiennych.

W Alpach Wschodnich od miocenu dominowała tak zwana boczna ucieczka (ang. *lateral extrusion*) bloków skorupy ziemskiej w kierunku wschodnim pomiędzy lewoskrętnym uskokiem Salzachtal-Ennstal-Mariazell-Puchberg (SEMP) na północy i prawoskrętnym uskokiem Peryadriatyckim na południu (Ratschbacher et al., 1991; Decker et al., 1993; Peresson i Decker 1997ab). Północne Alpy Wapienne są porozcinane licznymi systemami uskoków o szerokim zakresie biegów (wśród których dominują E-W, SW-NE i NW-SE), które akomodowały skracanie na linii N-S i ekstensję na linii E-W, rejestrując złożoną ewolucję kinematyczną z różnymi etapami reaktywacji uskoków. Jednakże czas trwania tych etapów w Północnych Alpach Wapiennych jest słabo rozpoznany przez datowania radiometryczne czy

nawet przez deformacje kruche osadów neogeńskich w basenach śródgórkich. Dotyczy to zwłaszcza postmioceńskiej ewolucji tektonicznej; istnieje wyraźna luka w zapisie geologicznym, wypełniona jedynie częściowo przez rozproszone, lokalne dane dotyczące poszczególnych segmentów uskoku (Plan et al., 2010; Levi et al., 2021). Powodem jest zatarcie przez erozję lodowcową i krasowienie potencjalnych sygnałów geomorfologicznych zuskokowania. Z kolei dane geofizyczne konsekwentnie pokazują, że obecne ruchy tektoniczne są ukierunkowane podobnie do tych z miocenu, tyle że o rząd wielkości wolniejsze (np. Bada et al. 2007; Bus et al. 2009).

Sygnały plioceńskiej kontynuacji podsuwania się płyty adriatyckiej dokumentowane były w Alpach Wschodnich głównie poprzez obserwacje pośrednie, rzadziej poprzez uskoki. Najmłodsze apatyty (ok. 3 – 4 Ma) z okna Taurów w połączeniu z analizą kinematyczną uskoku sugerują, że dyslokacje Brenner i Katschberg były aktywne co najmniej do pliocenu i działały w warunkach równoległej do orogenu ekstensji E-W (Bertrand et al., 2015). Pliocenska tektonika uciezkowa jest również dobrze udokumentowana na południe od uskoku Północnych Alp Wapiennych wzdłuż uskoku peryadriatyckiego (Fodor et al. 1998), uskoku Lavanttal (Pischinger et al., 2008), lub w śródgórkich basenach neogeńskich, np. w Basenie Styryjskim (Pischinger et al., 2008) lub Basenie Wiedeńskim (Decker et al. 2005 i referencje tam). Jednak w Północnych Alpach Wapiennych plioceńsko-czwartorzędowe deformacje były jak dotąd wiązane z ekstensją N-S napędzaną przez odprężanie masywu (Decker et al., 1993; Peresson i Decker 1997a). Omawiane wyniki analizy kinematycznej uskoku z jaskiń pokazują, że Północne Alpy Wapienne podlegały kompresji w kierunku N do NE od pliocenu, z fazą reaktywacji uskoku w czasie od środkowego do późnego plejstocenu, która jest relatywnie dobrze udokumentowana datowaniem $^{230}\text{Th}/\text{U}$. Zrekonstruowane przez nas naprężenia są zgodne z deformacjami wnioskowanymi na podstawie przemieszczeń GNSS oraz mechanizmów w ognisku (Fig. 5 w Szczygieł et al., 2022; patrz też Bada et al. 2007; Bus et al. 2009). Dzięki szerokiemu zakresowi datowania $^{230}\text{Th}/\text{U}$ można stwierdzić, że obecnie rejestrowany stan naprężeń trwa od co najmniej 0,5 Ma. W sztywnym bloku Północnych Alp Wapiennych, w strefie przypowierzchniowej, kompresja jest akomodowana powtarzalnie przez te same reaktywowane uskoki. Wskazują na zestawienie regionalnych przemieszczeń rzędu centymetrów z udokumentowanymi w jaskiniach kilkudziesięciocentymetrowymi przemieszczeniami. Biorąc pod uwagę udokumentowaną kompresję poziomą ku N i NE trwającą co najmniej od środkowego plejstocenu, można dojść do wniosku, że ekstensja N-S dotyczyła raczej tylko samego frontu alpejskiego i była odpowiedzią na plioceńską inwersję i wypiętrzenie basenu molasowego (Genser et al., 2007). Natomiast zarejestrowane podczas badań przemieszczenia ekstensyjne wiążą raczej z lokalnymi ruchami masowymi niż z grawitacyjnymi ruchami orogenu. Wbrew wcześniej proponowanej postmioceńskiej ekstensji Północnych Alp Wapiennych na linii N-S (Decker et al., 1993; Peresson i Decker 1997a), a w zgodzie z tym, co zaobserwowano w Basenie Wiedeńskim (np., Decker et al., 2005) i Basenie Panońskim (np. Bada et al., 2007) wywnioskowałem, że uciezka tektoniczna na wschód wynikająca z konwergencji N-S była kontynuowana pomimo wyraźnego spowolnienia w późnym miocenie. Natomiast w skali orogenu Północne Alpy Wapienne ulegały nieprzerwanemu skracaniu N-S do NE-SW i ekstensji E-W, co było efektem trwającej

konwergencji. Ta skutkowała plioceńską ekstensją okna Taurów oraz bliskimi i dalekimi konsekwencjami tektonicznymi wynikających z tej kluczowej deformacji Alp Wschodnich.

PODSUMOWANIE

Moje badania nie są pierwszymi neotektonicznymi w opisywanych wyżej obszarach. Jednak moje badania w Karpatach Centralnych, Sudetach czy Północnych Alpach Wapiennych pozwoliły rozszerzyć historię deformacji, aż to środkowego plejstocenu, przy jednoczesnym relatywnie szczegółowym wyznaczeniu poszczególnych okresów aktywności. Co więcej, interpretowałem badane przeze mnie deformację w kontekście geodynamicznym, wykraczając poza jaskinie, wpisując moje badania w regionalne modele tektoniczne. Pozwoliło to sformułować wnioski regionalne:

- W Centralnych Karpatach Zachodnich, gdzie zapis paleoseismiczny był bardzo ubogi, badania deformacji w jaskiniach pozwoliło na zbudowanie katalogu uszkodzeń obejmującego pięć okresów reaktywacji uskoku w Dolinie Demianowskiej w Tatrach Niżnych: (1) 570 (+inf. -35) —417 ka (+23 /-20) z bardziej spekulatywnym wariantem jako 442 (± 58) —417 ka (+23/ -20), (2) 306 (+27/-22)—291,8 ($\pm 3,5$) ka, (3) 184—130 ka, (4) ~19 ka oraz (5) 2,56 (0,02) — 2,3 ($\pm 0,1$) ka. Na szczególną uwagę zasługuje zdarzenie 4. u schyłku plejstocenu które koreluje się z trzęsieniem ziemi $M > 7$ wzdłuż uskoku podtatrzeńskiego (Pánek et al., 2020), ale również z interpretowanym wiekiem deformacji osadów w Jaskini Kalackiej w Tatrach. Przemieszczeniom wzdłuż uskoku w Jaskini Demianowskiej towarzyszyły załamane stalagmity, co zinterpretowane jest jako zniszczenia kosejsmiczne. Na podstawie modeli prognozujących drgania gruntu wyznaczono uskok podtatrzeński jako najbardziej prawdopodobne źródło sejsmiczne, którego aktywność również mogła by zainicjować powstanie SSDS w Tatrach
- Również w Sudetach rozpoznane wielofazowe uszkodzenia nacieków oraz i zawałiska korytarzy w Jaskini Niedźwiedziej w Kletnie pozwoliły wyznaczyć pięć interwałów czasowych w których doszło do deformacji: (1) 320-306 ka, (2) 253-236 ka, (3) 162-158 ka, (4) 132-135 ka i (5) > 21 ka. Chociaż nie można jednoznacznie wykluczyć innych czynników (zamróz lub zawałiska grawitacyjne), najbardziej prawdopodobnym czynnikiem wywołującym uszkodzenia w jaskini były trzęsienie ziemi, za czym przemawia czas (uszkodzenia wystąpiły niezależnie od warunków klimatycznych w zimnych i ciepłych okresach) i zasięg deformacji (uszkodzenia stropu i ścian, ale również spągu korytarzy). Badania własności fizycznych zniszczonych stalagmitów połączone z modelami prognozującymi drgania gruntu, pozwoliły nie tylko wyznaczyć sudecki uskok brzeżny jako najbardziej prawdopodobne źródło sejsmiczne, ale również wskazują, że do złamania nacieków w takiej odległości od uskoku, niezbędnym było by trzęsieniami ziemi o sile $M > 6$. W oparciu o analizę sieci uskoku, prawdopodobnymi źródłami sejsmicznymi są uskoki okalające Rów Górnej Nysy Kłodzkiej, oraz na uskok Trzebieszowice-Biela. Chociaż dane historyczne i instrumentalne o powyższych uskokuach są dość skąpe to jednak to odległość < 8 km pomiędzy jaskinią a uskokuami niweluje efekt tłumienia. Co za tym idzie nawet niewielkie trzęsienia Ziemi mogły by wygenerować częstotliwość fal niezbędną do

wywołania efektu rezonansu a w konsekwencji do zniszczenia nacieków w Jaskini Niedźwiedziej.

- Analiza wyników z aż 28 jaskiń alpejskich, pomiędzy Wiedniem i Salzburgiem pozwoliła wysunąć wnioski o szerokim zasięgu regionalnym. Analizę paleonaprężeń 172 reaktywowanych uskoków, wsparta datowaniami przemieszczonych nacieków, wskazuje, iż wcześniej proponowanego post-miocenńskiej ekstensji N-S dotyczyła jedynie frontu alpejskiego podczas plioceńskiej inwersji basenu molasowego. Natomiast w skali orogenu alpejskiego w Północnych Alpach Wapiennych w plio-plejstocenie dominowała kompresja N-S i ekstensja E-W. Proces ten był efektem nieprzerwanej ucieczki tektonicznej wynikająca z konwergencji N-S.

Podsumowując, z omawianych badań, poza szeregiem wniosków regionalnych, ujawniają się istotne zalety speleosejsmologii:

- deformacje będące efektem aktywności sejsmotektonicznej zatarte na powierzchni terenu są bardzo dobrze zachowane w jaskiniach, gdyż specyficzne środowisko jaskiniowe skutecznie chroni je przed różnorodnymi procesami destrukcyjnym;
- zdeformowane nacieki oraz zawaliska jaskiniowe można wykorzystywać jako zapis trzęsień ziemi o średniej i niskiej magnitudzie, jeśli jaskinia znajduje się w niewielkiej odległości od epicentrum (<20 km). Efekty takich trzęsień ziemi są rzadko zachowane w zapisie geologicznym na powierzchni terenu, co dowodzi jak istotnym elementem w uzupełnianiu wiedzy paleosejsmicznej są deformacje w jaskiniach;
- struktury deformacji nieskonsolidowanych osadów klastycznych, choć dotychczas bardzo rzadko badane w jaskiniach, również mają istotne znaczenie, gdyż wskazują na potencjalnie kosejsmiczną genezę deformacji;
- szeroki zakres czasowy datowań $^{230}\text{Th}/\text{U}$, który z sukcesem można wykorzystać w badaniach speleosejsmologicznych i speleotektonicznych, wskazuje na ogromny potencjał metody $^{230}\text{Th}/\text{U}$, sięgającej daleko poza klasyczne metody geochronologiczne szeroko stosowane obecnie w paleosejsmologii, takie jak ^{14}C czy OSL;

Spis Literatury:

- Bábek, O., Briestenský, M., Přecechtělová, G., Štěpančíková, P., Hellstrom, J.C., Drysdale, R.N., 2015. Pleistocene speleothem fracturing in the foreland of the Western Carpathians: a case study from the seismically active eastern margin of the Bohemian Massif. *Geol. Q.* 59, 491–506. <https://doi.org/10.7306/gq.1225>.
- Bada, G., 2007. Present-day stress field and tectonic inversion in the Pannonian basin. *Glob. Planet. Change* 58, 165–180. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.01.007>
- Baroň, I., Plan, L., Grasmann, B., Melichar, R., Mitrović-Woodell, I., Rowberry, M., Scholz, D., 2022. Three large prehistoric earthquakes in the Eastern Alps evidenced by cave rupture and speleothem damage. *Geomorphology* 408, 108242. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2022.108242>
- Becker, A., Davenport, C.A., Eichenberger, U., Gilli, E., Jeannin, P.Y., Lacave, C., 2006. Speleoseismology: a critical perspective. *J. Seismol.* 10, 371–388. <https://doi.org/10.1007/s10950-006-9017-z>.
- Becker, A., Häuselmann, P., Eikenberg, J., Gilli, E., 2012. Active tectonics and earthquake destructions in caves of northern and central Switzerland. *Int. J. Speleol.* 41, 35–49. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.41.1.5>
- Bella, P., Gradziński, M., Hercman, H., Leszczyński, S., Nemeč, W., 2021. Sedimentary anatomy and hydrological record of relic fluvial deposits in a karst cave conduit. *Sedimentology* 68, 425–448. <https://doi.org/10.1111/sed.12785>
- Bertrand, A., Rosenberg, C., Garcia, S., 2015. Fault slip analysis and late exhumation of the Tauern Window, Eastern Alps. *Tectonophysics* 649, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2015.01.002>

- Bus, Z., Grenczy, G., Tóth, L., Mónus, P., 2009. Active crustal deformation in two seismogenic zones of the Pannonian region - GPS versus seismological observations. *Tectonophysics* 474, 343–352. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.02.045>
- Cadorin, J.F., Jongmans, D., Plumier, A., Camelbeeck, T., Delaby, S., Quinif, Y., 2001. Modelling of speleothems failure in the Hotton cave (Belgium). Is the failure earthquake induced? *Geol. en Mijnbouw/Netherlands J. Geosci.* 80, 315–321.
- Camelbeeck, T., Quinif, Y., Verheyden, S., Vanneste, K., Knuts, E., 2018. Earthquakes as collapse precursors at the Han-sur-Lesse Cave in the Belgian Ardennes. *Geomorphology* 308, 13–24. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.01.030>
- Decker, K., Meschede, M., Ring, U., 1993. Fault slip analysis along the northern margin of the Eastern Alps (Molasse, Helvetic nappes, North and South Penninic flysch, and the Northern Calcareous Alps). *Tectonophysics* 223, 291–312. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(93\)90142-7](https://doi.org/10.1016/0040-1951(93)90142-7)
- Decker, K., Peresson, H., Hirsch, R., 2005. Active tectonics and Quaternary basin formation along the Vienna Basin Transform fault. *Quat. Sci. Rev.* 24, 305–320. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2004.04.012>
- Dykes, A.P., 2007. Mass movements in cave sediments: investigation of a ~40,000-year-old guano mudflow inside the entrance of the great cave of Niah, Sarawak, Borneo. *Landslides* 4, 279–290. <https://doi.org/10.1007/s10346-006-0077-5>
- Ferranti, L., Pace, B., Valentini, A., Montagna, P., Pons-Branchu, E., Tisnérat-laborde, N., Maschio, L., 2019. Speleoseismological constraints on ground shaking threshold and seismogenic sources in the pollino range (Calabria, southern Italy). *J. Geophys. Res. Solid Earth* 124, 5192–5216. <https://doi.org/10.1029/2018JB017000>
- Fodor, L., Jelen, B., Márton, E., Skaberne, D., Čar, J., Vrabec, M., 1998. Miocene-Pliocene tectonic evolution of the Slovenian Periadriatic fault: Implications for Alpine-Carpathian extrusion models. *Tectonics* 17, 690–709. <https://doi.org/10.1029/98TC01605>
- Forti, P., Postpischl, D., 1984. Seismotectonic and paleoseismic analyses using karst sediments. *Mar. Geol.* 55, 145–161. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(84\)90138-5](https://doi.org/10.1016/0025-3227(84)90138-5)
- Genser, J., Cloetingh, S.A.P.L., Neubauer, F., 2007. Late orogenic rebound and oblique Alpine convergence: New constraints from subsidence analysis of the Austrian Molasse basin. *Glob. Planet. Change* 58, 214–223. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.03.010>
- Gilli, E., Levret, A., Sollogoub, P., Delange, P., 1999. Research on the February 18, 1996 earthquake in the caves of Saint-Paul-de-fenouillet area, (Eastern Pyrenees, France). *Geodin. Acta* 12, 143–158. <https://doi.org/10.1080/09853111.1999.11105338>
- Gold, R.D., Clark, D., Barnhart, W.D., King, T., Quigley, M., Briggs, R.W., 2019. Surface rupture and distributed deformation revealed by optical satellite imagery: the intraplate 2016 Mw 6.0 Petermann Ranges earthquake, Australia. *Geophys. Res. Lett.* 46, 10,394–10,403. <https://doi.org/10.1029/2019GL084926>
- Gladkov, A.S., Lobova, E.U., Deev, E.V., Korzhenkov, A.M., Mazeika, J.V., Abdieva, S.V., Rogozhin, E.A., Rodkin, M.V., Fortuna, A.B., Charimov, T.A., Yudakhin, A.S., 2016. Earthquake-induced soft-sediment deformation structures in Late Pleistocene lacustrine deposits of Issyk-Kul lake (Kyrgyzstan). *Sediment. Geol.* 344, 112–122. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2016.06.019>
- Guerrieri, L., Tatevossian, R., Vittori, E., Comerci, V., Esposito, E., Michetti, A.M., Porfido, S., Serva, L., 2007. Earthquake environmental effects (EEE) and intensity assessment: the INQUA scale project. *Boll. Soc. Geol. Ital. (Ital. J. Geosci.)* 126 (2), 375–386.
- Gradziński, M., Wróblewski, W., Duliński, M., Hercman, H., 2014. Earthquake-affected development of a travertine ridge. *Sedimentology* 61, 238–263. <https://doi.org/10.1111/sed.12086>
- Grasemann, B., Plan, L., Baroň, I., Scholz, D., 2022. Co-seismic deformation of the 2017 Mw 6.6 Bodrum–Kos earthquake in speleothems of Korakia Cave (Pserimos, Dodecanese, Greece). *Geomorphology* 402. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2022.108137>
- Gribovszki, K., Brimich, L., Varga, P., Kovács, K., Shen, C., 2013. Estimation of an upper limit on prehistoric horizontal peak ground acceleration using the parameters of intact stalagmites and the mechanical properties of broken stalagmites in Domica cave, Slovakia. *Acta Carsologica Slovaca* 51, 5–14.
- Gribovszki, K., Kovács, K., Mónus, P., Bokelmann, G., Konecny, P., Lednická, M., Moseley, G., Spötl, C., Edwards, R.L., Bednárík, M., Brimich, L., Tóth, L., 2017. Estimating the upper limit of prehistoric peak ground acceleration using an in situ, intact and vulnerable stalagmite from Plavecká priepast cave (Detrekői-zsomboly), Little Carpathians, Slovakia—first results. *J. Seismol.* 21, 1111–1130. <https://doi.org/10.1007/s10950-017-9655-3>
- Gribovszki, K., Esterhazy, S., Bokelmann, G., 2018. Numerical modeling of stalagmite vibrations. *Pure Appl. Geophys.* 175, 4501–4514. <https://doi.org/10.1007/s00024-018-1952-4>
- Grützner, C., Reicherter, K., Hübscher, C., Silva, P.G., 2012. Active faulting and neotectonics in the Baelo Claudia area, Campo de Gibraltar (southern Spain). *Tectonophysics* 554–557, 127–142.
- Guterch, B., 2015. Seismicity in Poland: Updated seismic catalog, in: Guterch, B., Kozák, J. (Eds.), *Studies of Historical Earthquakes in Southern Poland*. Springer, pp. 75–101. https://doi.org/10.1007/978-3-319-15446-6_3

- Heidbach, O., Rajabi, M., Cui, X., Fuchs, K., Müller, B., Reinecker, J., Reiter, K., Tingay, M., Wenzel, F., Xie, F., Ziegler, M.O., Zoback, Mary Lou, Zoback, Mark, 2018. The World Stress Map database release 2016: Crustal stress pattern across scales. *Tectonophysics* 744, 484–498. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.07.007>
- Hercman, H., Gąsiorowski, M., Bella, P., Gradziński, M., Szczygieł, J., Bosak, P., Pruner, P., Matouskova, S., 2019. Timing of active cave passages development and their relation to river terraces – a case study from the Dem'ánov'a Caves System (Low Tatra Mts., Slovakia). In: Adamiec, G., Pazdur, A., Michczyńska, D., Poręba, G. (Eds.), 13th International Conference Methods of Absolute Chronology, Geochronometria Conference Abstracts Series v. 2, pp. 107–108.
- Holúbek, P., 2001. Neotectonic movement in the Demanovska Cave of peace and destruction of sinter decoration (in Slovak). *Slovenský kras* 39, 55–57.
- Holúbek, P., Bella, P., 2000. Lateral passages at the Pekelný d'óm Chamber in the Dem'ánov'a Cave of Liberty (in Slovak). *Aragonit* 5, 12–14.
- Kagan, E.J., Agnon, A., Bar-Matthews, M., Ayalon, A., 2005. Dating large infrequent earthquakes by damaged cave deposits. *Geology* 33, 261–264. <https://doi.org/10.1130/G21193.1>
- Kempe, S., 2004. Natural Speleothem Damage in Postojnska Jama (Slovenia), Caused By Glacial Cave Ice? A First Assessment. *Acta Carsologica* 265–290.
- King, T.R., Quigley, M.C., Clark, D., 2018. Earthquake environmental effects produced by the Mw 6.1, 20th May 2016 Petermann earthquake, Australia. *Tectonophysics* 747–748, 357–372. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.10.010>
- Kos, A., 2001. Stratigraphy, sedimentary development and palaeoenvironmental context of a naturally accumulated pitfall cave deposit from southeastern Australia. *Aust. J. Earth Sci.* 48, 621–632. <https://doi.org/10.1046/j.1440-0952.2001.485885.x>.
- Kostka, S. 2014. Map of the Niedźwiedzia cave in Kletno (central geological database). Warsaw: Polish Geological Institute. Retrieved from <http://jaskiniepolski.pgi.gov.pl/>
- Lacave, C., Levret, A., Koller, M., 2000. Measurements of natural frequencies and damping of speleothems. In: Proc. Of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, pp. 2118. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.99.220602>.
- Lacave, C., Koller, M.G., Egozcue, J.J., 2004. What can be concluded about seismic history from broken and unbroken speleothems? *J. Earthq. Eng.* 8, 431–455. <https://doi.org/10.1080/13632460409350496>
- Levi, N., Habermueller, M., Exner, U., Wiesmayr, G., Decker, K., 2021. Active out-of-sequence thrusting in the Molasse Basin constrained by a multidisciplinary approach (Eastern Alps, Austria). *Tectonophysics* 812. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2021.228911>
- Li, H., Zhu, P., Ji, G., Zhang, Q., 2016. Modified image algorithm to simulate seismic channel waves in 3D tunnel model with rugged free surfaces. *Geophys. Prospect.* 64 (5), 1259–1274. <https://doi.org/10.1111/1365-2478.12351>.
- Lignier, V., Desmet, M., 2002. Les archives sédimentaires quaternaires de la drotte sous les Sangles (Bas-Bugey, Jura meridional, France). *Karstologia* 39, 27–46
- Littva, J., Hok, J., 2014. Neotectonics of the Inner Western Carpathians: Liptovský J'an area, case study (northern slopes of Nízke Tatry Mts., Slovakia). *Acta Geol. Slovaca* 6 (2), 123–131.
- Liu, Q., Zhao, M., Wang, L., 2013. Scattering of plane P, SV or Rayleigh waves by a shallow lined tunnel in an elastic half space. *Soil Dynam. Earthq. Eng.* 49, 52–63
- Lundberg, J., McFarlane, D.A., 2012. Cryogenic fracturing of calcite flowstone in caves: theoretical considerations and field observations in Kents Cavern, Devon, UK. *Int. J. Speleol.* 41, 307–316. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.41.2.16>.
- McCalpin, J.P., & Nelson, A.R., 1996. Introduction to paleoseismology. In J. P. McCalpin (Ed.), *Paleoseismology* (pp. 1–15). https://doi.org/10.1007/1-4020-7891-9_1
- Mendecki, M., Szczygieł, J., 2019. Physical constraints on speleothem deformations caused by earthquakes, seen from a new perspective: Implications for paleoseismology. *J. Struct. Geol.* 126, 146–155. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2019.06.008>
- Michetti, A.M., Esposito, E., Guerrieri, L., Porfido, S., Serva, L., Tatevossian, R., Vittori, E., Audemard, F., Azuma, T., Clague, J., Comerci, V., Gurpinar, A., McCalpin, J.P., Mohammadioun, B., Morner, N., Ota, Y., Roghozin, E., 2007. Environmental seismic intensity scale-ESI 2007. In: Vittori, E., Guerrieri, L. (Eds.), *Memorie Descrittive Della Carta Geologica d'Italia. SystemCart*, Roma, pp. 7–54.
- Moretti, M., 2000. Soft-sediment deformation structures interpreted as seismites in middle-late Pleistocene aeolian deposits (Apulian foreland, southern Italy). *Sediment. Geol.* 135, 167–179. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(00\)00070-1](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(00)00070-1).
- Moretti, M., Owen, G., Tropeano, M., 2011. Soft-sediment deformation induced by sinkhole activity in shallow marine environments: a fossil example in the Apulian Foreland (Southern Italy). *Sediment. Geol.* 235, 331–342. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2010.09.012>
- Owen, G., 1987. Deformation processes in unconsolidated sands. In: Jones, M.E., Preston, R.M.F. (Eds.), *Deformation of Sediments and Sedimentary Rocks: Geol.*, vol. 29. Soc. Spec. Pub., pp. 11–24
- Owen, G., Moretti, M., 2011. Identifying triggers for liquefaction-induced soft-sediment deformation in sands. *Sediment. Geol.* 235, 141–147. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2010.10.003>.

- Pace, B., Valentini, A., Ferranti, L., Vasta, M., Vassallo, M., Montagna, P., Colella, A., Pons-Branchu, E., 2020. A Large Paleoearthquake in the Central Apennines, Italy, Recorded by the Collapse of a Cave Speleothem. *Tectonics* 39. <https://doi.org/10.1029/2020TC006289>
- Pánek, T., Minár, J., Vitovič, L., Břežný, M., 2020. Post-LGM faulting in Central Europe: LiDAR detection of the >50 km-long Sub-Tatra fault, Western Carpathians. *Geomorphology* 364, 107248. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107248>
- Papanikolaou, I., Melaki, M., 2017. The Environmental Seismic Intensity Scale (ESI 2007) in Greece, addition of new events and its relationship with magnitude in Greece and the Mediterranean; preliminary attenuation relationships. *Quat. Int.* 451, 37–55. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.05.044>
- Peresson, H., Decker, K., 1997a. The Tertiary dynamics of the northern Eastern Alps (Austria) : changing palaeostresses in a collisional plate boundary 272, 125–157.
- Peresson, H., Decker, K., 1997b. Far-field effects of Late Miocene subduction in the Eastern Carpathians: E-W compression and inversion of structures in the Alpine-Carpathian-Pannonian region. *Tectonics* 16, 38–56. <https://doi.org/10.1029/96TC02730>
- Perez-Lopez, R., Rodriguez-Pascua, M. a., Giner-Robles, J.L., Martinez-Diaz, J.J., Marcos- Nuez, A., Silva, P.G., Bejar, M., Calvo, J.P., 2009. Speleoseismology and palaeo- seismicity of Benis Cave (Murcia, SE Spain): coseismic effects of the 1999 Mula earthquake (mb 4.8). *Geol. Soc. London, Spec. Publ.* 316, 207–216. <https://doi.org/10.1144/SP316.13>
- Petro, L., Kostak, B., Stemberk, J., Vlcko, J., 2011. Geodynamic reactions to recent tectonic events observed on selected sites monitored in Slovakia. *Acta Geodyn. Geomater.* 8 (4), 453–467
- Pischinger, G., Kurz, W., Übleis, M., Egger, M., Fritz, H., Brosch, F.J., Stingl, K., 2008. Fault slip analysis in the Koralm Massif (Eastern Alps) and consequences for the final uplift of “cold spots” in Miocene times. *Swiss J. Geosci.* 101. <https://doi.org/10.1007/s00015-008-1277-x>
- Plan, L., Filipponi, M., Behm, M., Seebacher, R., Jeutter, P., 2009. Constraints on alpine speleogenesis from cave morphology - A case study from the eastern Totes Gebirge (Northern Calcareous Alps, Austria). *Geomorphology* 106, 118–129. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.09.011>
- Plan, L., Grasemann, B., Spötl, C., Decker, K., Boch, R., Kramers, J., 2010. Neotectonic extrusion of the Eastern Alps: constraints from U/Th dating of tectonically damaged speleothems. *Geology* 38, 483–486. <https://doi.org/10.1130/G30854.1>
- Postpischl, D., Agostini, S., Forti, P., Quinif, Y., 1991. Palaeoseismicity from karst sedi- ments: the “Grotta del Cervo” cave case study (Central Italy). *Tectonophysics.* [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(91\)90186-V](https://doi.org/10.1016/0040-1951(91)90186-V)
- Pulina, M., 1968. Gleby poligonalne w jaskini Czarnej (Tatry Zachdnie). *Speleologia* 3 (2), 99–104.
- Ratschbacher, L., Frisch, W., Linzer, H.-G., 1991b. Lateral extrusion in the eastern Alps, part II: structural analysis. *Tectonics* 10 (2), 257–271
- Reicherter, K., Michetti, A.M., Silva Barroso, P.G., 2009. Palaeoseismology: historical and prehistorical records of earthquake ground effects for seismic hazard assessment: fig. 1. *Geol. Soc. London, Spec. Publ.* 316, 1–10. <https://doi.org/10.1144/SP316.1>
- Reinecker, J., Lenhardt, W.A., 1999. Present-day stress field and deformation in eastern Austria. *International Journal of Earth Sciences* 88, 530–532.
- Ritz, J.F., Baize, S., Ferry, M., Larroque, C., Audin, L., Delouis, B., Mathot, E., 2020. Surface rupture and shallow fault reactivation during the 2019 Mw 4.9 Le Teil earthquake, France. *Communications Earth & Environment* 1 (1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s43247-020-0012-z>
- Rodríguez-Pascua, M.A., Calvo, J.P., De Vicente, G., Gómez-Gras, D., 2000. Soft-sediment deformation structures interpreted as seismites in lacustrine sediments of the Prebetic Zone, SE Spain, and their potential use as indicators of earthquake magnitudes during the Late Miocene. *Sediment. Geol.* 135, 117–135. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(00\)00067-1](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(00)00067-1)
- Salomon, M.L., Grasemann, B., Plan, L., Gier, S., Schöpfer, M.P.J., 2018. Seismically- triggered soft-sediment deformation structures close to a major strike-slip fault system in the Eastern Alps (Hirlatz cave, Austria). *J. Struct. Geol.* 110, 102–115. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2018.02.010>
- Schenk, V., Schenková, Z., Kottner, P., Guterch, B., Labak, P., 2001. Earthquake hazard maps for the Czech Republic , Poland and. *Acta Geophys.* 49, 287–302.
- Šebela, S., 2008. Broken speleothems as indicators of tectonic movements. *Acta Carsologica* 37, 51–62.
- Šebela, S., 2010. Effects of earthquakes in Postojna cave system. *Acta Carsologica* 39, 597–604.
- Silva, P.G., Elez, J., Giner-Robles, J.L., Rodríguez-Pascua, M.A., Pérez-López, R., Roquero, E., Bardají, T., Martínez-Graña, A., 2017. ESI-07 ShakeMaps for instrumental and historical events in the Betic Cordillera (SE Spain): an approach based on geological data and applied to seismic hazard. *Quat. Int.* 451, 185–208. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.10.020>
- Sobczyk, A., Szczygieł, J., 2021. Paleostress reconstruction of faults recorded in the Niedźwiedzia Cave (Sudetes): insights into Alpine intraplate tectonic of NE Bohemian Massif. *Int. J. Earth Sci.* 110, 833–847. <https://doi.org/10.1007/s00531-021-01994-1>

- Špaček, P., Bábek, O., Štěpančíková, P., Švancara, J., Pazdírková, J., Sedláček, J., 2015. The Nysa-Morava Zone: an active tectonic domain with Late Cenozoic sedimentary grabens in the Western Carpathians' foreland (NE Bohemian Massif). *Int. J. Earth Sci.* <https://doi.org/10.1007/s00531-014-1121-7>
- Stein, S., 2007. Approaches to continental intraplate earthquake issues. In: Stein, S., Mazzotti, S. (Eds.), *Continental Intraplate earthquakes: Science, Hazard, and Policy Issues*: Geological Society, 425, 1–16
- Štěpančíková, P., Hók, J., Nývlt, D., Dohnal, J., Šýkorová, I., & Stemberk, J. 2010. Active tectonics research using trenching technique on the south-eastern section of the Sudetic Marginal Fault (NE Bohemian Massif, central Europe). *Tectonophysics*, 485(1–4), 269–282. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2010.01.004>
- Štěpančíková, P., Fischer, T., Stemberk, J., Nováková, L., Hartvich, F., Figueiredo, P.M., 2019. Active tectonics in the Cheb Basin: youngest documented Holocene surface faulting in Central Europe? *Geomorphology* 327, 472–488. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.11.007>
- Szczygieł, J., 2015. Quaternary faulting in the Tatra Mountains, evidence from cave morphology and fault-slip analysis. *Geol. Carpathica* 66, 245–254. <https://doi.org/10.1515/geoca-2015-0023>
- Szczygieł, J., Gaidzik, K., Kicinska, D., 2015. Tectonic control of cave development: A case study of the Bystra Valley in the Tatra Mts., Poland. *Ann. Soc. Geol. Pol.* 85, 387–404. <https://doi.org/10.14241/asgp.2015.015>
- Szczygieł, J., Mendecki, M., Hercman, H., Wróblewski, W., Glazer, M., 2019. Relict landslide development as inferred from speleothem deformation, tectonic data, and geoelectrics. *Geomorphology* 330, 116–128. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.01.017>
- Szczygieł, J., Wróblewski, W., Mendecki, M.J., Hercman, H., Bosák, P., 2020a. Soft-sediment deformation structures in cave deposits and their possible causes (Kalacka Cave, Tatra Mts., Poland). *J. Struct. Geol.* 140. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2020.104161>
- Szczygieł, J., Hercman, H., Hoke, G., Gąsiorowski, M., Błaszczuk, M., Sobczyk, A., 2020b. No valley deepening of the Tatra Mountains (Western Carpathians) during the past 300 ka. *Geology* 48, 1006–1011. <https://doi.org/10.1130/g47635.1>
- Szczygieł, J., Sobczyk, A., Hercman, H., Mendecki, M.J., Gąsiorowski, M., 2021a. Damaged Speleothems and Collapsed Karst Chambers Indicate Paleoseismicity of the NE Bohemian Massif (Niedźwiedzia Cave, Poland). *Tectonics* 40. <https://doi.org/10.1029/2020TC006459>
- Szczygieł, J., Gradziński, M., Bella, P., Hercman, H., Littva, J., Mendecki, M.J., Sala, P., Wróblewski, W., 2021b. Quaternary faulting in the Western Carpathians: Insights into paleoseismology from cave deformations and damaged speleothems (Demänová Cave System, Low Tatra Mts). *Tectonophysics* 820. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2021.229111>
- Szczygieł, J., Baroň, I., Melichar, R., Plan, L., Mitrović-Woodell, I., Kaminsky, E., Scholz, D., Grasemann, B., 2022. Post-Miocene tectonics of the Northern Calcareous Alps. *Sci. Rep.* 17730. doi: 10.1038/s41598-022-22737-5
- Szeidovitz, G., Surányi, G., Gribovszki, K., Bus, Z., Leél-Ossy, S., Varga, Z., 2008. Estimation of an upper limit on prehistoric peak ground acceleration using the parameters of intact speleothems in Hungarian caves. *J. Seismol.* 12, 21–33. <https://doi.org/10.1007/s10950-007-9068-9>
- Tokarski, A.K., Świerczewska, A., Zuchiewicz, W., Starek, D., Fodor, L., 2012. Quaternary exhumation of the Carpathians: a record from the Orava-Nowy Targ Intramontane Basin, Western Carpathians (Poland and Slovakia). *Geol. Carpath.* 63 (4), 257–266. <https://doi.org/10.2478/v10096-012-0021-7>
- van Gelder, I.E., Willingshofer, E., Andriessen, P.A.M., Schuster, R., Sokoutis, D., 2020. Cooling and Vertical Motions of Crustal Wedges Prior to, During, and After Lateral Extrusion in the Eastern Alps: New Field Kinematic and Fission Track Data from the Mur-Mürz Fault System. *Tectonics* 39. <https://doi.org/10.1029/2019TC005754>
- van Loon, A.J.T., 2009. Soft-sediment deformation structures in siliciclastic sediments: an overview. *Geologos* 15, 3–55.
- Vojtko, R., Tokarova, E., Sliva, L., Peskova, I., 2010. Reconstruction of Cenozoic paleostress fields and revised tectonic history in the northern part of the Central Western Carpathians (the Spišská Magura and Východní Tatra Mountains). *Geol. Carpath.* 61 (3), 211–225. <https://doi.org/10.2478/v10096-010-0012-5>
- Wilson, J.T. 1965. A new class of faults and their bearing on continental drift. *Nature*, 207, 343–347.
- Wojcik, Z., Zwoliński, S., 1959. Młode przesunięcia tektoniczne w jaskiniach tatrzańskich. *Acta Geol. Pol.* 9, 319–346.
- Žák, K., Lipták, V., Filippi, M., Orvošová, M., Hercman, H., Matoušková, Š., 2019. Cryogenic carbonates and cryogenic speleothem damage in the za hájovnou cave (Javoříčko karst, Czech Republic). *Geol. Q.* 62, 829–839. <https://doi.org/10.7306/gq.1441>
- Zembaty, Z., Bońkowski, P.A., Jaworski, M.A., Gribovszki, K., 2022. Seismic Vulnerability of a Slender Stalagmite. *J. Earthq. Eng.* 1–24. <https://doi.org/10.1080/13632469.2022.2033356>
- Ziegler, P.A., 1992. European Cenozoic rift system. *Tectonophysics* 208, 91–111. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(92\)90338-7](https://doi.org/10.1016/0040-1951(92)90338-7)
- Zhao, X.Q., Wang, F.D., Verheyden, S., Liu-Zeng, J., Zhang, G., 2020. Earthquake-related speleothem damages: observations from the 2008 Mw 7.9 Wenchuan, China. *Geomorphology* 358, 107130. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107130>

d). Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo–badawczych

Tematyka moich pozostałych badań obejmuje rozmaite zagadnienia dotyczące tektoniki, geomorfologii oraz speleologii, (i), badania ewolucji jaskiń w tym zależności ze strukturami tektonicznymi i ich aktywnością (ii), badania wieku rzeźby masywów górskich oraz tempa ich wypiętrzania (iii) oraz inne zagadnienia związane z tektoniką i analizą strukturalną, w których brałem udział jako członek zespołów badawczych.

(i) Badania ewolucji jaskiń w tym zależności ze strukturami tektonicznymi i ich aktywnością

Od badania ewolucji jaskiń rozpocząłem swoją pracę badając systemy krasowe w Tatrach. Wyniki przedstawiłem w trzech publikacjach z listy JCR, które stanowiły składowe rozprawy doktorskiej. Moje pierwsze badania dotyczyły głównie zależności pomiędzy speleogenezą i tektoniką. Po doktoracie miałem możliwość wykorzystania swoich doświadczeń na obszarze Krasu Południowochińskiego, w rejonie Houping. Pomimo, iż obszar ten wpisany jest na listę światowego dziedzictwa UNESCO dzięki unikalnym formom krasowym, nie prowadzono tam szczegółowych badań geologicznych i speleologicznych. Eksplorując jaskinie Luo Shui Kong odkryłem m.in. zależność pomiędzy budową geologiczną, a rozwojem w czasie wielopoziomowych systemów jaskiń, prowadzącym w efekcie do powstania tzw. tiankeng - zapadlisk o średnicy i głębokości >100 m (Szczygieł et al., 2018; *Geomorphology*; doi 10.1016/j.geomorph.2017.12.033).

Prowadząc obserwacje tektoniczne i geomorfologiczne których głównym celem były badania neotektoniczne, niejako przy okazji kompletowałem dane mogące również posłużyć do interpretacji speleogenetycznych. Efektem taki prac jest wysokorozdzielczy model 3D soczewki, w której rozwinęła się Jaskinia Niedźwiedzia w Kletnie, który posłużył do określenia zależności pomiędzy rozwojem drenażu krasowego, młodoalpejską reaktywacją struktur Iaramijskich lub nawet waryscyjskich (Szczygieł et al., 2022; *Geomorphology*; doi 10.1016/j.geomorph.2022.108423).

Podczas mojego stażu podoktorskiego na Uniwersytecie Wiedeńskim, miałem również okazję brać udział w badaniach geomorfologicznych jednego z większych systemów jaskiniowych w Alpach: Hirlatzhöhle (116 km długości i 1560 m głębokości). W oparciu o kartowanie geomorfologiczne oraz dystrybucję osadów klastycznych w jaskini opracowaliśmy model ewolucji przepływów w tej ogromnej jaskini (Plan et al., 2022; *International Journal of Speleology*; doi 10.5038/1827-806X.51.3.2433)

(ii) Badania wieku rzeźby masywów górskich oraz tempa ich wypiętrzania

Jednym z problemów badawczych, nad którym pracuję dotyczy ewolucji topograficznej Tatr. Wraz z zespołem, z którym realizowałem projekt NCN „Ewolucja i wiek rzeźby Zachodnich Karpat Wewnętrznych w oparciu o kompleksowe badania jaskiń...” (kierownik: Prof. PAN dr hab. Helena Hercman) jednoznacznie stwierdziliśmy, iż doliny w północnej części Tatr nie zostały pogłębione

od co najmniej 300 ka (Szczygieł et al., 2020; *Geology*; doi 10.1130/G47635.1). Wynik ten ma kilka ważnych implikacji regionalnych, w tym dotyczących chronologii zlodowaceń i plejstocénskiego wypiętrzenia Tatr, ale jest istotny również dla zrozumienia powstawania dolin lodowcowych w ogóle. Przede wszystkim podważyliśmy założenie, iż każdy epizod lodowcowy skutkuje sukcesywnym pogłębianiem się doliny w wyniku efektywnej erozji lodowcowej. Co więcej, brak wcinania dolin w ciągu ostatnich 325 ka sugeruje, iż wypiętrzenie tektoniczne Tatr znacznie zwolniło. To odkrycie rzuca nowe światło na opublikowane dotąd badania neotektoniczne prowadzone w Centralnych Karpatach Zachodnich, a zwłaszcza na chronologię ruchów pionowych. Ponadto, chronologia zlodowaceń w Karpatach została zbudowana analogicznie do chronologii ustalonej dla Alp, jednak uzyskane wyniki sugerują konieczność rewizji. Minimalny wiek den dolin tatrzańskich wyznaczyliśmy datując nacieki metodą serii uranu. Zasięg tej metody to 0,5 Ma, tymczasem uzyskane wyniki wskazały potrzebę wykorzystania metod o większym zasięgu w przypadku prowadzenia dalszych badań nad ewolucją krajobrazu tatrzańskiego. Chcąc kontynuować badania tempa wypiętrzania się górotworu i pogłębiania dolin zdecydowałem się na zastosowanie metody nuklidów kosmogenicznych do datowania wieku pogrzebania jaskiniowych osadów klastycznych i współpracę z Prof. Gregorym Hoke z Syracuse University (USA) (OPUS NCN: Chronologia i tempo pogłębiania doliny w Sudetach i Tatrach...). Badania te mają na celu wypełnienie luki w historii Tatr i Sudetów pomiędzy ekshumacją masywów (w miocenie), a ostatnim zlodowaceniem i określić dokładnie tempo wypiętrzania w kolejnych fazach ewolucji. Podobne badania z wykorzystaniem metody nuklidów kosmogenicznych aktualnie prowadzę również w ramach projektu Sonata, w Północnych Alpach Wapiennych.

(iii) Inne badania tektoniki i geologii strukturalnej

Jednym z elementów, który trudno zaklasyfikować do którejś z powyższych kategorii są badania uskoków w Jaskini Niedźwiedziej w Kletnie. Choć wyniki rekonstrukcji paleonaprężeń wykorzystałem za równo w interpretacjach paleosejsmicznych (patrz Szczygieł et al., 2021 *Tectonics*), jak i geomorfologicznych (patrz Szczygieł et al., 2022 *Geomorphology*) to osadzone one są jednak nie tylko w neotektonice, gdyż dyskutowane w artykule deformacje są nie tylko młodoalpejskie, ale również laramijskie (Sobczyk & Szczygieł, 2021; *International Journal of Earth Sciences*; doi 10.1007/s00531-021-01994-1).

Moje umiejętności pracy w terenie oraz wiedzę o tektonice Karpat wykorzystał w swoim projekcie o paleogeografii i ewolucji tektonicznej Karpat, dr hab. Rafał Szaniawski prof. PAN. Zaowocowało to określeniem kąta rotacji Karpat w stosunku do platformy europejskiej od wczesnego triasu (Szaniawski et al., 2020; *Journal of the Geological Society*; doi 10.1144/jgs2018-232). Kontynuowaliśmy współpracę promując razem pracę magisterską Pani mgr Doroty Staneczek (obecnie doktorantki na INoZ UŚ). Bazując na danych magnetycznych

i strukturalnych z kredowych margli Gór Choczańskich i Paleogenu Podhalańskiego określiliśmy kąt neogeńskiej rotacji masywu Choczańskiego (Staneczek et al., 2022; *Geologica Carpathica*; doi 10.31577/GeolCarp.73.5.4).

Badalem również reaktywacje struktur, ale tym razem indukowane przez działalność górnictwa na Górnym Śląsku. Połączenie danych sejsmologicznych ze strukturalnymi wykazało zależność pomiędzy reżimem w ogniskach wstrząsów „triggerowanych” (nie mylić z indukowanymi), a ich lokalizacją w obrębie fałdów regionalnych (Mendecki et al., 2020; *Engineering Geology*; doi 10.1016/j.enggeo.2020.105728).

5) Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

a) Współpraca krajowa

- *Institut Nauk Geologicznych Uniwersytetu Wrocławskiego*; wykonawca w projekcie badawczym NCN OPUS: Chronologia i tempo pogłębiania doliny w Sudetach i Tatrach wyznaczone na podstawie datowania nuklidami kosmogenicznymi wieku pogrzebania osadów jaskiniowych (kierownik: Prof. Gregory Hoke) 07.2020-06.2022
- *Institut Nauk Geologicznych Uniwersytetu Jagiellońskiego*; wykonawca w projekcie badawczym NCN OPUS: Uszkodzone nacieki jaskiniowe jako zapis aktywności sejsmicznej w Centralnych Karpatach Zachodnich; (kierownik: Prof. Michał Gradziński) 02.2018-01.2021
- *Institut Nauk Geologicznych Polskiej Akademii Nauk*; wykonawca w projekcie badawczym NCN OPUS: Ewolucja i wiek rzeźby Zachodnich Karpat Wewnętrznych w oparciu o kompleksowe badania jaskiń (morfologii jaskiń, aktywności neotektonicznej i wieku osadów jaskiniowych); (kierownik: dr hab. Helena Hercman Prof. PAN) 01.2017-06.2020
- *Institut Geofizyki Polskiej Akademii Nauk*; wykonawca w projekcie badawczym NCN OPUS: Badania paleomagnetyczne piaskowców dolnego triasu z autochtonicznej pokrywy osadowej Centralnych Karpat Zachodnich ukierunkowane na określenie stopnia rotacji tej jednostki względem platformy europejskiej; (kierownik: dr hab. Rafał Szaniawski Prof. PAN) 02.2015-06.2018
- przed doktoratem: Staż w ramach projektu Uniwersytet Partnerem Gospodarki Opartej na Wiedzy (UPGOW) w *Państwowym Instytucie Geologicznym Oddział Górnośląski* (09-11.2010)

b) Współpraca zagraniczna

- *Departament Geologii Uniwersytetu Wiedeńskiego, Grupa Badań Strukturalnych* Prof. Bernharda Grasemanna; odbycie rocznego stażu podoktorskiego (05.2021-05.2022) w ramach programu im. Bekkera Narodowej Agencji Wymiany Akademickiej (NAWA)
- przed doktoratem: *Univerity of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering* miesięczny staż (24.03-18.04.2014) w ramach programu CEEPUS-RO-0038 mobility grant programme

6) Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

a) osiągnięcia dydaktyczne

Promotorstwo

- trzy prace magisterskie

mgr Kamil Ziomek: *Badanie obszaru pomiędzy Doliną Chochołowską, a Doliną Suchej Wody w obszarze kontaktu północnego krańca tatr z fliszem podhalańskim w celu wykazania aktywności tektonicznej*

mgr Remigiusz Maślanka: *Uwarunkowania geologiczne rozwoju ruchów masowych w dolinie Starorobociańskiej w Tatrach*

mgr Dorota Staneczek: *Rekonstrukcja paleonaprężeń w rejonie Gór Choczańskich na podstawie analizy anizotropii podatności magnetycznej i mezostrukturalnej (współpromotorstwo z dr hab. Rafałem Szaniawski z IGf PAN)*

- dwa licencjaty

Kamil Ziomek: *Charakterystyka strefy kontaktowej Masywu Tatrzańskiego z Synklinorium Podhalańskim*

Dorota Staneczek: *Przejawy tektoniki fałdowo-nasuwczej na obszarze Małej Fatry, Słowacja*

Dydaktyka

rok akademicki	prowadzone zajęcia: (w)-wykłady; (l)-laboratoria; (t)-praktyki terenowe; *zajęcia autorskie
2010/2011	Kartowanie wgłębne (l), Nowoczesne metody w geologii (l)
2011/2012	Sedymentologia (l, t), Zdalne badania w geologii (l), Analiza deformacji skorupy ziemskiej (l)
2012/2013	Sedymentologia (t), Zdalne badania w geologii (l), Analiza deformacji skorupy ziemskiej (l), Kartowanie geologiczne (l)
2013/2014	Sedymentologia (l, t), Zdalne badania w geologii (l), Kartowanie geologiczne (l), GIS i telegeoinformatyka w geologii (l)*
2014/2015	Sedymentologia (t), GIS i telegeoinformatyka w geologii (l)*
2015/2016	GIS i telegeoinformatyka w geologii (l)*, Sedymentologia (t), Kartowanie geologiczne (l, t), Indywidualne ćwiczenia terenowe z magistrantem, Sedimentary geology (w), Seminarium dyplomowe
2016/2017	GIS and remote sensing in geology (l)*, Sedymentologia (t), Kartowanie geologiczne (l, t), Geologia fizyczna (l), Seminarium dyplomowe, Terenowe metody geologiczne w analizie geozagrożeń (t)*
2017/2018	Zagrożenia geologiczne (w, l)*, GIS i telegeoinformatyka w geologii (l)*, Indywidualne ćwiczenia terenowe z magistrantem (t), Terenowe metody geologiczne w analizie zagrożeń środowiskowych (t)*, Geozagrożenia w Polsce i na świecie (l), GIS w analizie geozagrożeń i zarządzaniu kryzysowym (w)*

2018/2019	Zagrożenia geologiczne (w, l)*, GIS and remote sensing in geology (l)*, Wykłady specjalne (w), Kras i jaskinie obszarów górskich i polarnych (w), GIS w analizie geozagrożeń i zarządzaniu kryzysowym (w)*
2019/2020	Zagrożenia geologiczne (w, l)*, GIS i telegeoinformatyka w geologii (l)*, Terenowe metody geologiczne w analizie zagrożeń środowiskowych (t)*, GIS w analizie geozagrożeń i zarządzaniu kryzysowym (w)*, Wykłady specjalne (w)*, Kartowanie geologiczne (t)
2020/2021	Metody Geologiczne i geofizyczne w zagrożeniach środowiskowych (w, l) *, GIS i telegeoinformatyka w geologii (l)*, GIS w analizie geozagrożeń i zarządzaniu kryzysowym (w)*, GIS in Geology (w, l; studia międzynarodowe) *, Wykłady specjalne (w)*
2021/2022	Metody terenowe w geologii poszukiwawczej (t)
2022/2023	Zagrożenia Geologiczne (w, l, t) *, GIS i telegeoinformatyka w geologii (w, l) *

b) osiągnięcia organizacyjne

Pełnione funkcje

- członek rady naukowej Instytutu Nauk o Ziemi UŚ od 10.2022
- Polskie Towarzystwo Przyrodników im. Kopernika sekcja speleologiczna, członkostwo od 2011; członek zarządu od 2016

Organizacja Konferencji Naukowych:

- 05-08.09.2017 - 51. Sympozjum Speleologicznego, Zakopane (główny organizator)
- 17-19.09.2014 - VII Geo-Sympozjum Młodych Badaczy Silesia 2014, Żywiec
- 16-19.09.2013 - 48. Sympozjum Speleologiczne, Olsztyn
- 25-27.09.2013 VI Geo-Sympozjum Młodych Badaczy Silesia 2013, Mikołów
- 29.9.2012 - V Geo-Sympozjum Młodych Badaczy Silesia 2012, Zawiercie;

c) osiągnięcia popularyzacyjne

Publikacje:

Szczygieł J., 2022. Polscy naukowcy odkryli... czyli przegląd prasy fachowej. *Jaskinie* 106-107: 37-38

Szczygieł J., 2021. Jaskinie w Tatrach Polskich. Gdzie? Co? i dlaczego tam? *Tatry* 78: 92-96

Szczygieł J., 2021. Tatry od środka. *Tatry* 78: 102-105

Szczygieł J., 2020. Polscy naukowcy odkryli... czyli przegląd prasy fachowej. *Jaskinie* 100: 34-35

Szczygieł J., 2019. Polscy naukowcy odkryli... czyli przegląd prasy fachowej. *Jaskinie* 97: 31-32

Szczygieł J., 2018. Polscy naukowcy odkryli... czyli przegląd prasy fachowej. *Jaskinie* 92: 44-45

- Szczygieł J., 2018. Polscy naukowcy odkryli... czyli przegląd prasy fachowej. *Jaskinie* 90-91: 52-53
- Szczygieł J., 2013. „Geologia eksploracyjna”: struktury nieciągłe. *Jaskinie* 72: 30-33
- Szczygieł J., 2013. „Geologia eksploracyjna”: warstwowanie. *Jaskinie* 71: 31-34
- Soja E. & Szczygieł J., 2013. Koprowa Studnia i Jaskinia Świstacza– uzupełnienie i nowości z rejonu Koprowego Żlebu. *Jaskinie* 70: 30-32
- Szczygieł J. & Golicz M., 2012. Import numerycznego modelu terenu do Walls. *Jaskinie* 67: 29-31

Media:

- Patrol Tatry, odcinek 6. Serial dokumentalny, produkcja FokusTV
- Prowadzenie kanału YouTube Sekcji Speleologicznej i organizacja SpeleoWebinarium – serii wykładów popularnonaukowych o tematyce speleologicznej <https://www.youtube.com/channel/UCcxsJ6ab5YT5vSghPIIm8FrQ/streams>

Wykłady i aktywności:

- Wykłady popularno-naukowe: Speleokonfrontacje 2016, SpeleoForum 2017, SpeleoForum 2018, SpeleoForum 2019
- Stanowiska edukacyjne: 1. Śląskim Festiwalu Nauki 2016; „Wieczoru z Geologią” 2019 na Wydziale Nauk o Ziemi UŚ; Współorganizacja „Wieczór z Geologią” 2019

7) Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.

nagrody:

- *Incipere auso* – nagroda naukowa "PolarKNOW"; 04.2016
- Nagroda naukowa rektora Uniwersytetu Śląskiego za najlepszą rozprawę doktorską w latach 2014-2015; 2016
- Medal Marii Markowicz-Łohinowicz, trzeciego stopnia, za publikację o tematyce krasowej; przyznawana przez Polskie Towarzystwo Przyrodników im. Kopernika; 10.2017
- Nagroda im. Walery Goetla, drugiego stopnia, za najlepszą rozprawę doktorską o tematyce górskiej, przyznawana przez Polskie Towarzystwo Turystyczno-Krajoznawcze; 04.2018
- Nagrody Rektora UŚ za działalność publikacyjną: 2021, 2022
- Nagrody Rektora UŚ za działalność organizacyjną: 2020

.....

(podpis wnioskodawcy)