

Autoreferat

1. Imię i nazwisko.

Krzysztof Gaidzik

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, 19.06.2012
Tytuł rozprawy: "Tektonika południowej strefy kontaktowej masywu granitoidowego Karkonoszy w rejonie Karpacza"
Promotor: Prof. dr hab. Jerzy Żaba
- Magister, Uniwersytet Śląski w Katowicach, Nauki o Ziemi, Geologia, 28.08.2008
Tytuł pracy dyplomowej: "Tektonika strefy kontaktowej granitoidów w rejonie Karpacza (Karkonosze)"
Promotor: Prof. dr hab. Jerzy Żaba

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

Adiunkt 10.2012 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

Postdoc (staż podoktorski) 01.03.2016-26.08.2016

INEGI-CONACYT oraz Instytut Geografii, Narodowy Uniwersytet Autonomiczny Meksyku (Universidad Nacional Autónoma de México; UNAM), miasto Meksyk, Meksyk

Postdoc (staż podoktorski) 01.03.2014-29.02.2016

Instytut Geografii, Narodowy Uniwersytet Autonomiczny Meksyku (Universidad Nacional Autónoma de México; UNAM), miasto Meksyk, Meksyk

Asystent 10.2010 – 09.2012

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

**Deformacje tektoniczne oraz ich wpływ na ewolucję rzeźby terenu w
meksykańskiej strefie subdukcji**

b) Spis prac prezentujących osiągnięcie naukowe

- I. **Gaidzik, K.,** Ramírez-Herrera, M. T., & Kostoglodov, V. (2016). Active crustal faults in the forearc region, Guerrero sector of the Mexican subduction zone. *Pure and Applied Geophysics*, 173(10), 3419-3443. <https://doi.org/10.1007/s00024-015-1213-8>

Jestem pomysłodawcą badań i pierwszym autorem w tej publikacji. Mój wkład polegał przede wszystkim na opracowaniu koncepcji badań strukturalnych oraz morfotektonicznych w sektorze Guerrero meksykańskiej strefy subdukcji, a także stworzeniu teoretycznego modelu (wraz z M.T. Ramírez-Herrera) aktywności uskoków skorupowych w nawiązaniu do strefy subdukcji. W ramach badań przeprowadziłem analizę strukturalną, zarówno na etapie terenowym (wraz z M.T. Ramírez-Herrera), jak i kameralnym. Koordynowałem działania związane z powstaniem tej publikacji, dokonałem interpretacji uzyskanych wyników i wyciągnięcia wniosków na temat potencjalnego znaczenia sejsmogenicznego rozpoznanych uskoków, ich wpływu na sieć drenażu oraz źródeł naprężeń mogących doprowadzić do ich reaktywacji, napisałem tekst artykułu oraz dokonałem wizualizacji danych (wszystkie figury).

- II. **Gaidzik, K.,** & Ramírez-Herrera, M. T. (2017). Geomorphic indices and relative tectonic uplift in the Guerrero sector of the Mexican forearc. *Geoscience Frontiers*, 8(4), 885-902. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2016.07.006>

Jestem inicjatorem, pierwszym autorem i współpomysłodawcą problemów badawczych, rozwiązanych w tym artykule. Opracowałem koncepcję badań geomorfometrycznych (przy współudziale M.T. Ramírez-Herrera), obliczyłem wyselekcjonowane wskaźniki geomorfometryczne, a następnie dokonałem ich analizy i interpretacji wraz z wyciągnięciem wniosków odnośnie czasowo-przestrzennego zróżnicowania aktywności tektonicznej w sektorze Guerrero oraz wpływu litologii, klimatu i tektoniki na rozwój rzeźby terenu. Przygotowałem pełny tekst artykułu oraz wszystkie wizualizacje danych zamieszczone w publikacji.

- III. Ramírez-Herrera, M. T., **Gaidzik, K.,** Forman, S., Kostoglodov, V., Bürgmann, R., & Johnson, C. W. (2018). Relating the long-term and short-term vertical deformation across a transect of the forearc in the central Mexican subduction zone. *Geosphere*, 14(2), 419-439. <https://doi.org/10.1130/GES01446.1>

Mój wkład w powstanie artykułu polegał na przeprowadzeniu wraz z M.T. Ramírez-Herrera badań terenowych, poborze próbek do datowania, wyznaczeniu wskaźników geomorfometrycznych i ich analizie, przygotowaniu części tekstu, w tym części obszaru badań, wyników, dyskusji oraz wniosków. Przeprowadziłem i opisałem analizę geomorfologiczną oraz geomorfometryczną zlewni Papagayo, skartowałem terasy rzeczne oraz dokonałem analizy porównawczej wyznaczonego tempa wypiętrzania tektonicznego z tempem ekshumacji oraz innymi strefami subdukcji wraz z dyskusją potencjalnych czynników sprawczych. Ponadto jestem autorem wszystkich wizualizacji danych zamieszczonych w artykule, z wyjątkiem Fig. 8b i 9.

- IV. Ramírez-Herrera, M. T., **Gaidzik, K.,** & Forman, S. L. (2021). Spatial Variations of Tectonic Uplift-Subducting Plate Effects on the Guerrero Forearc, Mexico. *Frontiers in Earth Science*, 8, 573081. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.573081>

Zgodnie z informacją zawartą w *Author contribution*, wraz z M.T. Ramírez-Herrera jestem głównym (pierwszym) autorem powyższego artykułu. Mój wkład polegał na przeprowadzeniu wraz z M.T. Ramírez-Herrera badań terenowych, dokonaniu nalotów dronem i wygenerowaniu szczegółowych numerycznych modeli terenu na podstawie wykonanych zdjęć, poborze próbek do datowania, wyznaczeniu wskaźników geomorfometrycznych i ich analizie, przygotowaniu części tekstu, w tym części obszaru badań, wyników, dyskusji oraz wniosków. Dokonałem analizy geomorfologicznej badanej zlewni z wykorzystaniem obliczonych wskaźników geomorfometrycznych oraz obserwacji terenowych, skartowałem terasy rzeczne, przeprowadziłem modelowanie/szacowanie tempa wcinania dla niedatowanych teras oraz częściowo przygotowałem dyskusję odnośnie mechanizmów kontrolujących przestrzennie zmienną aktywność tektoniczną w sektorze Guerrero. Ponadto jestem autorem wszystkich wizualizacji danych zamieszczonych w artykule.

- V. **Gaidzik, K.,** Ramírez-Herrera, M. T., Dominguez, L. A., Coca, O., Forman, S. L., Vargas-Espinoza, V., & Arenas, L. F. (2025). Geomorphic and paleoseismic evidence for active faulting along La Venta Fault, Guerrero, Mexican subduction Forearc. *Geomorphology*, 109869. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2025.109869>

Jestem pomysłodawcą badań i pierwszym autorem w tej publikacji. Mój wkład polegał na opracowaniu koncepcji badań paleosejsmologicznych uskoku La Venta (przy współudziale M.T. Ramírez-Herrera), wyborze miejsca oraz nadzorze nad wykonanym szurfem paleosejsmologicznym, jego interpretacji, poborze próbek do datowania, wyciągnięciu wniosków na temat ewolucji sejsmicznej uskoku La Venta i jego potencjału sejsmogenicznego, przygotowaniu całości tekstu oraz większości wizualizacji danych zamieszczonych w artykule.

- VI. **Gaidzik, K., &** Ramírez-Herrera, M. T. (2026). Coupled tectonic and surface processes in the Guerrero forearc, Mexico: Insights from the basin-averaged erosion rates. *Earth and Planetary Science Letters*, 679, 119896. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2026.119896>

Jestem pomysłodawcą badań i pierwszym autorem w tej publikacji. Mój wkład polegał na opracowaniu wraz z M.T. Ramírez-Herrera idei i koncepcji badań tempa erozji w nadsubdukcyjnej strefie Guerrero, poborze próbek do dalszych analiz kosmogenicznych, wyciągnięciu wniosków na temat czasowo-przestrzennego zróżnicowania tempa erozji i związku z aktywnością tektoniczną, przygotowaniu tekstu oraz wizualizacji danych (wszystkie figury).

c) Omówienie celu naukowego wyżej wymienionych prac i osiągniętych wyników

WSTEP

Strefy subdukcji, stanowiące typ granic konwergentnych, wzdłuż których, zgodnie z dominującym paradygmatem tektoniki płyt, zachodzi zbieżny ruch płyt litosferycznych, należą do najważniejszych środowisk tektonicznych Ziemi. To właśnie w ich obrębie rejestrowane są najsilniejsze trzęsienia ziemi, w tym zdarzenia o magnitudach przekraczających M_w 9.0, takie jak: „trzęsienie ziemi w Chile”, zwane też „wielkim trzęsieniem chilijskim”, lub „trzęsieniem Valdivia” (M_w 9,5; 22.05.1960; Cifuentes, 1989; Cisternas et al., 2005), „trzęsienie ziemi na Alasce”, zwane też „trzęsieniem wielkopiątkowym” lub „wielkim trzęsieniem alaskańskim” (M_w 9,2; 27.03.1964; Wyss & Brune, 1967; Plafker, 1970), czy „wielkie trzęsienie we wschodniej Japonii”, zwane też „trzęsieniem ziemi w Tōhoku 2011” (M_w 9,0–9,1; 11.03.2011;

Kazama & Noda, 2012). Zjawiska te należą do najbardziej destrukcyjnych katastrof naturalnych, generujących nie tylko intensywne drgania gruntu, ale także fale tsunami (Satake & Atwater, 2007), liczne ruchy masowe (Keefer, 1984; Malamud et al., 2004) oraz długofalowe skutki społeczno-ekonomiczne, zwłaszcza w kontekście ofiar śmiertelnych oraz znacznych zniszczeń w infrastrukturze, mierzonych nierzadko w miliardach dolarów (np. trzęsienie ziemi w Tōhoku 2011; Kazama & Noda, 2012; Koshimura et al., 2014). Ma to szczególnie istotne znaczenie w obecnych czasach, gdyż postępujący wzrost liczby ludności prowadzi do proporcjonalnego zwiększania liczby ofiar śmiertelnych współczesnych trzęsień ziemi (Holzer & Savage, 2013).

W przypadku skośnych stref subdukcji (ang. *oblique subduction zone*) sytuacja jest bardziej skomplikowana, gdyż powszechnie dochodzi do podziału (partycjonowania) ruchu płyty subdukującej na równoległe do rowu oceanicznego odkształcenia przesuwcze. Są one akomodowane przez uskoki skorupowe na płycie nadsubdukcyjnej oraz prostopadłe do rowu skracanie tektoniczne związane z kompresją, które jest rozładowywane podczas subdukcyjnych trzęsień ziemi (Fitch, 1972; Lallemand & Oldow, 2000; Soto et al., 2007). Potencjalne zagrożenie dla ludności lokalnej w takich strefach wynika nie tylko z potężnych trzęsień subdukcyjnych, zazwyczaj stosunkowo dobrze rozpoznanych, lecz również z aktywności uskoków na płycie nadjeżdżającej (McCaffrey et al., 2000; Lange et al., 2008; McCaffrey, 2009), którym przeważnie poświęca się znacznie mniej uwagi. Tymczasem niejednokrotnie mogą stanowić one źródło, pomimo iż rzadszych, to jednak z uwagi na przeważnie niewielką głębokość ogniska wstrząsu oraz bliskość siedzib ludzkich, często nawet bardziej katastrofalnych w skutkach trzęsień ziemi (np. England & Jackson, 2011). Stąd niezmiernie istotne jest skartowanie i skwantyfikowanie potencjału sejsmogenicznego uskoków w strefie nadsubdukcyjnej. Szczególnie, w przypadku braku instrumentalnych dowodów ich aktywności, gdyż struktury te wykazują przeważnie bardzo długie średnie czasy powrotu zdarzenia sejsmicznego(ang. *recurrence time*), tj. okres czasu pomiędzy kolejnymi znaczącymi trzęsieniami, nierzadko liczone w setki i tysiące lat (Stein et al., 2017).

W związku z powyższym, w strefach tych, bardzo istotna jest ocena zarówno lokalnego, jak i regionalnego zagrożenia sejsmicznego (ang. *seismic hazard assessment*), które w zdecydowanej większości bazują na sejsmicznych danych instrumentalnych (Atakan et al., 2000; Wang, 2011). W przypadku stref subdukcji, znaczna ilość wstrząsów i relatywnie krótki czas powrotu zdarzenia sejsmicznego powoduje, iż tak skonstruowane modele zagrożenia sejsmicznego są relatywnie wiarygodne. Jednak w przypadku uskoków skorupowych, o znacznie dłuższych okresach powrotu, katalogi instrumentalne są przeważnie niewystarczające, aby w pełny sposób scharakteryzować potencjał sejsmogeniczny danego uskoku czy strefy (Stein, 2007; Stein et al., 2017). Stąd potrzeba badań aktywnej tektoniki, a zwłaszcza paleosejsmologii (McCalpin, 2009), aby zrekonstruować historię sejsmiczną takich uskoków i na tej podstawie określić ich potencjał sejsmogeniczny, a w rezultacie ocenić związane z nimi zagrożenia.

Strefy subdukcji są również kluczowymi miejscami deformacji litosfery oraz intensywnej aktywności wulkanicznej, związanej z procesami topnienia w obrębie nadległego klina płaszcza (ang. *melting processes within the overriding mantle wedge*; sensu Schellart, 2023; Magni et al., 2025). W ujęciu geodynamicznym obejmują one kompleksowe interakcje pomiędzy płytą subdukującą, a łukiem magmowym (ang. *magmatic arc*) i strefą przedłukową (ang. *forearc*) na

płyce nadsubdukcyjnej. Prowadzą one do powstawania łuków wulkanicznych, systemów uskoku skorupowych oraz regionalnych deformacji o charakterze wypiętrzania (ang. *uplift*) i obniżania (ang. *subsidence*) skorupy. Procesy te mają bezpośredni wpływ na ewolucję rzeźby tych obszarów (np. Magni et al., 2025). W kontekście relacji cykl sejsmiczny a rzeźba terenu, szczególnie istotne jest znaczenie skali czasowo-przestrzennej poszczególnych zjawisk. Deformacje kosejsmiczne (ang. *coseismic*) o charakterze pęknięcia powierzchni terenu (ang. *surface rupture*) oraz efekty przejścia fali sejsmicznej podczas trzęsień ziemi, powolne odkształcenia po trzęsieniu ziemi (ang. *postseismic*) i międzysejsmiczne (ang. *interseismic*) oraz przejściowe zjawiska powolnego poślizgu (ang. *slow slip events*; SSE), zachodzą w szerokim zakresie od milimetrów do tysięcy kilometrów. Podobnie skala czasowa tych procesów obejmuje zakres od sekund podczas kosejsmicznego ruchu wzdłuż uskoku (ang. *surface rupture*) do tysięcy lat akumulacji odkształceń pomiędzy trzęsieniami ziemi.

Pomimo wieloletnich badań sejsmologicznych, geofizycznych, geomorfologicznych, a także geologicznych, istotne luki poznawcze nadal dotyczą mechanizmów deformacji w obrębie płyty nadjeżdżającej (nadsubdukcyjnej), zwłaszcza w kontekście wpływu procesów subdukcyjnych na ewolucję rzeźby. W szczególności słabo rozpoznany pozostaje związek między aktywnością tektoniczną związaną ze strefami subdukcji, a odpowiedzią morfologiczną powierzchni terenu, obejmującą rozwój rzeźby, tempo erozji oraz przestrzenny rozkład wypiętrzania i obniżania tektonicznego (Schellart, 2008, 2023; Magni et al., 2025). W konsekwencji, zrozumienie sprzężenia między procesami głębokiej geodynamiki, a odpowiedzią geomorfologiczną strefy przedłukowej stanowi jedno z kluczowych wyzwań współczesnych nauk o Ziemi, istotne zarówno dla rekonstrukcji ewolucji orogenów, jak i dla oceny zagrożeń sejsmicznych w regionach aktywnych tektonicznie.

Do najważniejszych kwestii uniwersalnych, istotnych dla wszelkich stref konwergentnych, które stanowią motywację badań podjętych przeze mnie w czasie stażu doktorskiego i kontynuowanych w kolejnych latach, należy zaliczyć następujące pytania badawcze (np. Molnar & England, 1990; Codilean et al., 2006; Bishop, 2007; Schellart, 2008, 2023; DeCelles et al., 2009; Agard et al., 2018; Bahadori et al., 2022; Magni et al., 2025; Guillot, 2026):

- (1) W jakim stopniu ewolucja rzeźby terenu oraz wypiętrzanie na obszarach przedłukowych jest kontrolowane przez długotrwałe procesy tektoniczne/subdukcyjne, a w jakim stopniu przez pojedyncze trzęsienia ziemi i akumulowaną deformację kosejsmiczną wynikającą zarówno z trzęsień związanych ze strefą subdukcji, jak i tych generowanych przez płytkie uskoki skorupowe na płycie nadsubdukcyjnej (nadjeżdżającej)?
- (2) Dlaczego niektóre strefy subdukcji generują wysokie góry, podczas gdy inne znacznie mniej urozmaiconą topografię?
- (3) Jaka jest względna rola klimatu i tektoniki w kształtowaniu rzeźby, ze szczególnym uwzględnieniem przestrzennego zróżnicowania procesów erozyjnych?
- (4) W jaki sposób i do jakiego stopnia góry podmorskie, strefy spękań i ogólna szorstkość (ang. *roughness*) płyty subdukującej wpływa na deformację i rzeźbę płyty nadjeżdżającej?
- (5) Jak rozkładają się naprężenia i deformacje w związku z podziałem ruchu w skośnej strefie subdukcji na składową prostopadłą rozładowywaną bezpośrednio w strefie subdukcji i równoległą akumulowaną przez uskoki skorupowe?

- (6) W jaki sposób zjawiska powolnego poślizgu wpływają na długofalową deformację płyty nadsubdukcyjnej?
- (7) W jaki sposób połączyć i porównać do siebie krótkookresowe obserwacje geodezyjne (10^0 - 10^2 lat) z ewolucją rzeźby mierzoną w przedziałach czasowych $10^3 - 10^6$ lat?

Każda z publikacji wchodzących w skład cyklu, wymienionych powyżej i szczegółowo omówionych w dalszej części autoreferatu, podejmuje próbę odpowiedzi na jedno lub kilka z wyżej sformułowanych pytań ogólnych. Oprócz tych zagadnień, prezentowane badania koncentrują się również na bardziej szczegółowych problemach o zasięgu lokalnym.

W tym kontekście szczególne znaczenie mają interdyscyplinarne badania na styku geologii, geomorfologii, geofizyki oraz sejsmologii prowadzone w meksykańskiej strefie subdukcji, a zwłaszcza w obszarze tzw. luki sejsmicznej Guerrero (ang. *Guerrero Seismic Gap*; zgodnie z terminologią w Senatorski (2023)). Region ten charakteryzuje się brakiem silnego trzęsienia ziemi subdukcyjnego od czasu trzęsienia ziemi o magnitudzie M_w 7,6 w 1911 roku (Kostoglodov & Ponce, 1994). Dane paleosejsmologiczne i paleotsunami wskazują jednak na wielokrotne występowanie silnych trzęsień ziemi w holocenie (m.in. Ramírez-Herrera and Urrutia-Fucugauchi, 1999; Ramírez-Herrera et al., 2007, 2011, 2024). W ostatnich dekadach doszło do silnych trzęsień ziemi obejmujących segmenty przylegające do luki sejsmicznej, m.in. trzęsienia Papanoa o magnitudzie M_w 7,2 oraz trzęsienia Acapulco z 2021 roku o magnitudzie M_w 7,0 (Iglesias et al., 2022), jak również wcześniejsze wstrząsy z 1957 roku (M 7,7) oraz dwa trzęsienia ziemi z 1962 roku (M 7,1 z 11 maja oraz M 7,0 z 19 maja) (Ortiz et al., 2000). Tymczasem sam obszar luki pozostaje nierozładowany sejsmicznie, co wpływa na potencjał sejsmogeniczny tej strefy i związane z nim zagrożenia wskazujące na możliwość wygenerowania trzęsień ziemi o magnitudzie $M_w = 7,9-8,4$ (Bekaert et al., 2015; Ramírez-Herrera et al., 2024). Z tego względu, region ten stanowi jeden z kluczowych naturalnych laboratoriów do analizy zależności pomiędzy aktywnością tektoniczną i sejsmiczną, a ewolucją rzeźby w strefach przedłukowych. Dodatkowo jest to strefa skośnej subdukcji (Lowry et al., 2005; DeMets et al., 2010), w której składowa lewoskrętna wynosi ok. 8 mm/rok, a która może być akomodowana przez przesuwne uskoki skorupowe sub-równoległe do strefy subdukcji, które do czasu rozpoczęcia moich badań nie były w tej strefie rozpoznane. Wskazane wcześniej luki w wiedzy dotyczące mechanizmów deformacji tektonicznej, jak również motywacje o charakterze aplikacyjnym, związane z możliwością wykorzystania wyników badań na rzecz społeczeństwa, skłoniły mnie do podjęcia badań interdyscyplinarnych ukierunkowanych **na rozpoznanie zależności pomiędzy aktywnością tektoniczną i sejsmiczną w meksykańskiej strefie subdukcji, a ewolucją rzeźby terenu płyty nadsubdukcyjnej, w szczególności w obrębie luki sejsmicznej Guerrero**. Celem tych badań było nie tylko określenie, w jaki sposób morfologia jest kontrolowana przez aktywność tektoniczną, ale również odpowiedź na pytanie, **w jaki sposób obserwacje geomorfologiczne mogą zostać wykorzystane do interpretacji procesów tektonicznych** w strefach subdukcji. Istotnym elementem było także rozważenie, **czy i w jakim stopniu możliwe jest wnioskowanie o przyszłej ewolucji tego obszaru, w tym o potencjalnej aktywności sejsmicznej, co ma bezpośrednie znaczenie dla oceny zagrożenia sejsmicznego**. Choć podobne podejścia były stosowane w różnych strefach subdukcji na świecie, zazwyczaj opierały się one na pojedynczych metodach lub ograniczonych zestawach danych. Rzadziej wykorzystywano podejście kompleksowe, integrujące wiele niezależnych metod badawczych. Co więcej, większość dotychczasowych analiz dotyczyła

klasycznych, dobrze rozwiniętych geometrycznie stref subdukcji, a nie obszarów o nietypowej geometrii, takich jak segmenty o skośnej i spłaszczonej subdukcji (ang. *flat-slab*), dodatkowo powiązane z lukami sejsmicznymi. W wielu wcześniejszych i współczesnych pracach dominuje podejście jakościowe, oparte na geomorfometrii i interpretacji form rzeźby terenu jako wskaźników względnej aktywności tektonicznej (np. Wobus et al., 2006; Kirby & Whipple, 2012; Mahmood & Gloaguen, 2012). W niniejszym podejściu nie ograniczyłem się wyłącznie do analiz jakościowych, włączając metody ilościowe, takie jak datowania bezwzględne, analizy kosmogeniczne, geodezyjne oraz badania paleosejsmologiczne. Umożliwiło to nie tylko ocenę względnej aktywności tektonicznej, lecz przede wszystkim jej kwantyfikację w czasie i przestrzeni, ze szczególnym uwzględnieniem estymacji magnitudy przeszłych wstrząsów, tempa wypiętrzania, erozji, itp. **Nadrzędnym celem było nie tylko pogłębienie wiedzy na temat sprzężenia pomiędzy tektoniką a ewolucją rzeźby. Istotnym aspektem było również dostarczenie wyników o potencjalnym znaczeniu praktycznym, mogących wspierać ocenę zagrożeń sejsmicznych oraz przyczyniać się do lepszego zrozumienia ryzyka naturalnego w regionach szczególnie narażonych, często o ograniczonym dostępie do infrastruktury edukacyjnej i monitoringu geofizycznego.**

Ze względu na fakt, że w literaturze, szczególnie w zakresie aktywnej tektoniki i paleosejsmologii, wiele terminów nie posiada ustalonych, powszechnie stosowanych odpowiedników w języku polskim, w niniejszym opracowaniu przyjęto tłumaczenia robocze oparte na terminologii anglojęzycznej, którą w razie potrzeby podano również w nawiasach.

AD. I. Aktywne uskoki skorupowe na płycie nadsubdukcyjnej (Gaidzik, Ramírez-Herrera & Kostoglodov, 2016)

Strefy przedłukowe (ang. *forearc*) charakteryzują się, występowaniem niszczących trzęsień ziemi oraz stref wypiętrzania lub subsydencji tektonicznej (np. Ramírez-Herrera & Urrutia-Fucugauchi, 1999; Rehak et al., 2008; Schellart, 2008, 2023; Melnick et al., 2009; Ramírez-Herrera et al., 2011; Magni et al., 2025), a także ruchami poziomymi, szczególnie w strefach subdukcji o charakterze skośnym (np. Fitch, 1972; McCaffrey et al., 2000; McCaffrey, 2009; Melnick et al., 2009). Część z największych aktywnych uskoków przesuwczych, odpowiedzialnych za katastrofalne trzęsienia ziemi, są związane właśnie ze strefami subdukcji o charakterze skośnym (np. Gutscher & Lallemand, 1999; McCaffrey, 2009; Melnick et al., 2009). W takich obszarach wpływ współczesnych deformacji tektonicznych na rozwój rzeźby dominuje, zazwyczaj nakładając się na efekt pasywnej kontroli strukturalnej (Bierman & Montgomery, 2013). Oznacza to, że zwłaszcza lokalnie, wpływ struktur odziedziczonych, jak również zróżnicowanej odporności skał podłoża może być istotny czynnikiem warunkującym ewolucję rzeźby, a zwłaszcza sieci fluwialnej (Stokes et al., 2008). Można powiedzieć, iż odziedziczone struktury tektoniczne oraz zróżnicowanie litologiczne kontrolują pierwotny rozwój sieci rzecznej w skali zlewni (Stokes et al. 2008). Podczas gdy aktywna deformacja tektoniczna powoduje odchyłanie koryt rzecznych, zarówno w poziomie jak i w profilu pionowym, kontroluje tempo wcinania, erozji, jak również sedymentacji (np. Wallace, 1968; Ouchi, 1985; Wobus et al., 2006; Soto et al., 2007; Stokes et al., 2008; Burbank & Anderson, 2011; Kirby & Whipple, 2012).

Celem niniejszej pracy jest rozpoznanie i charakterystyka aktywnych procesów tektonicznych w przedłuku aktywnej strefy subdukcji meksykańskiej, w obrębie sektora

Guerrero w południowo-zachodnim Meksyku, z wykorzystaniem analizy sieci rzecznej, rzeźby terenu oraz danych strukturalnych. Skupiono się na: (1) identyfikacji dowodów aktywnej deformacji tektonicznej na podstawie układu sieci rzecznej i morfologii terenu; (2) ocenie zależności pomiędzy geometrią i orientacją sieci drenażowej a systemami uskokuwymi w analizowanych zlewniach; oraz (3) rozpoznaniu struktur tektonicznych, zarówno odziedziczonych, jak i tych które mogą ulegać reaktywacji w obecnym reżimie naprężeń związanym ze strefą subdukcji meksykańskiej. W tym celu zastosowano metody geomorfologiczne, morfotektoniczne i strukturalne, korelując je z dostępnymi danymi dotyczącymi współczesnego reżimu naprężeń, uzyskanymi z rozwiązań mechanizmów w ognisku trzęsień ziemi oraz pomiarów GPS. Niniejsza praca analizuje charakterystykę oraz potencjał sejsmogeniczny uskoków skorupowych w płycie nadsubdukcyjnej na obszarze o wysokim zagrożeniu sejsmicznym, związanym z występowaniem trzęsień ziemi w strefie subdukcji oraz płytkich trzęsień w obrębie płyty nadległej.

W oparciu o wyniki naszych badań sugerujemy, że w badanym regionie przedłuku zarówno skorupowe uskoki przesuwcze, jak i normalne, przebiegające sub-równolegle do strefy subdukcji, wykazują oznaki aktywności. Lewoprzesuwcze przemieszczenia głównych koryt rzecznych w największych zlewniach, pomiary GPS (Kostoglodov et al., 2014) oraz skośność konwergencji płyt wzdłuż strefy subdukcji płyty kokosowej w sektorze Guerrero wskazują na aktywność sub-równoleżnikowych, uskoków przesuwczych z niewielką składową zrzutową. Na szczególną uwagę zasługuje regionalny lewoprzesuwczy uskok przecinający rzekę Papagayo w pobliżu miejscowości La Venta, określanej jako „uskok La Venta” (ang. *La Venta Fault, LVF*). Wykazuje on czwartorzędową aktywność na podstawie odchylenia sieci rzecznej, potwierdzoną również pomiarami GPS (4–5 mm/rok ruchu przesuwczego – Kostoglodov et al., 2014; dodatkowo potwierdzone w publikacji, która ukazała się już po moim artykule – Kazachkina et al., 2020). Uwzględniając zależności skalujące zaproponowane przez Wells & Coppersmith (1994) oraz zakładając reaktywację całej skartowanej długości uskoku podczas potencjalnego trzęsienia ziemi, zdarzenie takie mogłoby osiągnąć maksymalną magnitudę $M_w = 7,7$. Co prawda jest to scenariusz stosunkowo mało prawdopodobny, ze względu na liczne skartowane, zarówno kompresyjne jak i ekstensyjne przeskoki (ang. *step-overs*), które najprawdopodobniej mogą stanowić naturalne bariery dla propagacji wstrząsów. Jednakże trzęsienia o magnitudach w granicach $M_w = 6,9-7,4$ dla poszczególnych wyznaczonych segmentów już są znacznie bardziej prawdopodobne. Co istotne, szacowane w niniejszej pracy magnitudy są zgodne z szacunkami maksymalnych magnitud wyznaczonych na podstawie danych z wykonanego przeze mnie kilka lat później szurfu paleosejsmicznego (Gaidzik et al., 2025). Ponadto w sektorze Guerrero zidentyfikowano i skartowano kilka innych uskoków o podobnej orientacji przestrzennej i kinematyce ruchu, lecz znacznie mniejszych rozmiarach, np. uskoki Dos Arroyos, Cacahuatpec o maksymalnych potencjalnych magnitudach sięgających $M_w = 6,4-6,5$.

Mimo, że tylko nieliczne rozwiązania mechanizmów ogniskowych wskazują na reżim naprężeń sprzyjający reaktywacji tych struktur przesuwczych, w pracy stawiamy hipotezę, że uskoki te są lub mogą być aktywne, proponując dwa możliwe wyjaśnienia: (1) charakteryzują się one długim okresem powrotu zdarzenia sejsmicznego, wykraczającym poza zapis instrumentalny, stąd konieczne są dalsze badania paleosejsmologiczne, aby potwierdzić lub zanegować ich współczesną aktywność (co zostało ostatecznie wykonane kilka lat później –

patrz punkt V); lub (2) zachodzą na nich epizody powolnego poślizgu i/lub związane z nimi pełzanie uskoku (*fault creep*). Analiza rozwiązań mechanizmów ogniskowych trzęsień o małych magnitudach w płycie nadległej, dla okresu 1995–2008, wykazała, że liczne uskoki normalne, przebiegające sub-równolegle do rowu oceanicznego, mogą ulegać reaktywacji w aktualnym polu naprężeń związanym z subdukcją płyty kokosowej. Ponadto struktury te mogą być również reaktywowane przez subdukcyjne megatrzęsienia ziemi, co zostało potwierdzone w innych strefach subdukcji (np. Shirzaei et al., 2012).

AD. II. Wskaźniki geomorfologiczne i względna aktywność tektoniczna (Gaidzik & Ramírez-Herrera, 2017)

W pierwszym artykule skupiłem się na lineamentach oraz analizie strukturalnej w sektorze Guerrero meksykańskiej strefy subdukcji, aby wykazać aktywność tektoniczną uskoków skorupowych w tym regionie, oszacować ich potencjał sejsmogeniczny oraz pokazać ich wpływ na sieć rzeczną. W kolejnej pozycji cyklu starałem się udowodnić przestrzenną zmienność aktywności tektonicznej wynikającej zarówno z aktywności uskoków skorupowych jak i aktywności strefy subdukcji i ich wpływu na morfologię terenu. Obszary aktywne tektonicznie, takie jak regiony przedłukowe często wykazują zróżnicowaną rzeźbę terenu, nierównomierne (zróżnicowane przestrzennie) wypiętrzanie tektoniczne, zmienność tempa erozji, intensywności wcinania się rzek oraz nachylenia koryt, będące efektem trwających deformacji tektonicznych. W związku z tym informacje o aktywności tektonicznej danego obszaru mogą być pozyskiwane poprzez analizę rzeźby terenu, a zwłaszcza sieci rzecznej. W niniejszym badaniu wykorzystałem dane topograficzne oraz wskaźniki geomorfometryczne w celu identyfikacji sygnałów aktywnej deformacji tektonicznej wzdłuż przedłuku meksykańskiej strefy subdukcji w sektorze Guerrero. W tym celu wykorzystałem dane terenowe, dane topograficzne, analizę profilu podłużnego rzek oraz punktów załamania profilu (*knickpoint*; Kirby & Whipple, 2001, 2012; Keller & Pinter, 2002), wskaźnik minimalnej objętości wyerodowanego materiału (RVA; Brocklehurst & Whipple, 2002; Frankel & Pazzaglia, 2005; Giaconia et al., 2012), wskaźnik gradientu długości cieków (SL; Hack, 1973) oraz znormalizowany wskaźnik stromości koryta (ksn; Kirby & Whipple, 2012; Wobus et al., 2006), całkę hipsometryczną (HI; Strahler, 1952; Keller & Pinter, 2002), wskaźnik wydłużenia zlewni (Re; Schumm, 1956; Strahler, 1964; Bull & McFadden, 1977), współczynnik asymetrii zlewni (AF; Hare & Gardner, 1985; Keller & Pinter, 2002), wymiar fraktalny sieci drenażowej (FD; Mahmood & Gloaguen, 2012) oraz wskaźnik wklęsłości profilu (θ ; np. Wobus et al., 2006).

Wyniki przeprowadzonej analizy rzeźby terenu z wykorzystaniem wskaźników geomorfometrycznych oraz obserwacje terenowe ujawniły przede wszystkim, iż część z wykorzystanych wskaźników powszechnie stosowanych w badaniach geomorfologii tektonicznej w sektorze Guerrero meksykańskiej strefy subdukcji z różnych powodów nie spełniło pokładanych oczekiwań. Dotyczy to głównie całki hipsometrycznej, wskaźnika wydłużenia zlewni, wymiaru fraktalnego sieci drenażowej oraz wskaźnika wklęsłości profilu. Szczegółowa analiza uzyskanych wyników i porównanie ich z danymi litologicznymi, klimatycznymi oraz tektonicznymi (a także porównanie wskaźników między sobą) wykazała znaczną, a nierzadko dominującą rolę klimatu lub litologii (tudzież wielkości analizowanych zlewni) na otrzymane wyniki, które w znacznym stopniu zacierają wpływ czynnika tektonicznego.

Wykazane w wyniku przeprowadzonych analiz znaczne zróżnicowanie rzeźby terenu, topografii oraz wartości pozostałych wskaźników geomorfometrycznych wzdłuż sektora Guerrero meksykańskiej strefy subdukcji o w miarę podobnych schematach przestrzennej zmienności, zarówno wzdłuż jak i w poprzek badanego obszaru. Ponieważ uzyskane wyniki nie odzwierciedlają jedynie niewielkiej zmienności litologicznej ani klimatycznej analizowanego obszaru, można założyć iż wartości zastosowanych wskaźników oraz topografia przedłuku są względnie niezależne lub jedynie w niewielkim stopniu modyfikowane przez klimat i/lub litologię, stąd mogą być wykorzystywane do wnioskowania na temat aktywności tektonicznej badanego obszaru. A zatem zaobserwowane różnice odzwierciedlają deformacje tektoniczne oraz zmienność względnego wypiętrzania tektonicznego w badanym przedłuku. Wyraźny spadek wartości RVA (z około 500 do około 300), SL (z około 500 do około 400), maksymalnego SL (z około 1500–2500 do około 1000) oraz ksn (z około 150 do około 100) od centralnej i wschodniej części obszaru badań ku zachodowi wskazuje na zmniejszanie się względnego wypiętrzania tektonicznego w tym kierunku (co w kolejnych badaniach zostało potwierdzone również poprzez analizę tempa erozji - Gaidzik & Ramírez-Herrera, 2026).

W pracy starałem się również wyjaśnić mechanizmy odpowiedzialne za obserwowane zróżnicowanie oraz wnioskowane zmiany względnego wypiętrzania tektonicznego przedłuku, proponując kilka możliwych procesów, które mogą być odpowiedzialne za obserwowane zróżnicowanie topografii przedłuku Guerrero (były one częściowo również rozwijane i analizowane w kolejnych badaniach):

- (1) Zmiany tempa konwergencji płyt. W badanym odcinku meksykańskiej strefy subdukcji tempo konwergencji maleje ku zachodowi z 6,7 do 6,4 cm/rok (DeMets et al., 2010), co jest zgodne z obserwowanym spadkiem względnego wypiętrzania tektonicznego;
- (2) Pogrubienie skorupy i geometria kontaktu płyty subdukowanej. Choć wpływ tych czynników obserwowano w innych strefach subdukcji (Rehak et al., 2008), dostępne dane dla strefy Guerrero nie wskazują na istotne zmiany geometrii subdukcji. W związku z tym czynnik ten można uznać za drugorzędny lub pominąć w interpretacji zjawisk obserwowanych w analizowanej skali. Jednocześnie stanowi to istotną przesłankę do porównania strefy Guerrero z innymi segmentami meksykańskiej strefy subdukcji, które nie wykazują cech płaskiej subdukcji. Analiza taka zostanie przeprowadzona w ramach badań nad tempem erozji – Gaidzik & Ramírez-Herrera (2026);
- (3) Nierówności powierzchni płyty subdukowanej, takie jak grzbiety asejsmiczne, strefy uskokowe czy góry podmorskie (Morell, 2016). W momencie pisania tego artykułu w analizowanym sektorze nie stwierdzono dużych struktur tego typu, jednakże późniejsze badania wykorzystujące dane batymetryczne o znacznie lepszej rozdzielczości wyraźnie wskazują na wzrost szorstkości płyty subdukowanej ku wschodowi, co zgadza się z obserwowanym trendem (Černý et al., 2020);
- (4) Odziedziczone struktury płyty górnej (Gaidzik et al., 2016), aktywne uskoki skorupowe oraz deformacje związane z podziałem odcztałceń w strefie subdukcji skośnej (Melnick et al., 2009; Rehak et al., 2008). W pracy tej zasugerowałem, iż wpływ tych struktur prawdopodobnie różnicuje przedłuk przede wszystkim poprzecznie, a nie wzdłuż jego osi (z wyjątkiem sytuacji, gdzie wschodnie i centralne zlewnie są silnie zdeformowane przez uskoki, a zachodnie nie). Sugestia ta została później potwierdzona w kolejnych pracach

wykorzystujących terasy rzeczne do wnioskowania na temat tempa wypiętrzania tektonicznego (Ramírez-Herrera et al., 2018, 2021);

- (5) Segmentacja płyty nadjeżdżającej na podstawie stref pęknięć (*rupture zone*) megatrzęsień subdukcyjnych (Taylor et al., 1987; Marshall & Anderson, 1995). Chociaż zaobserwowano częściową zgodność, zwłaszcza w części zachodniej, gdzie granica luki sejsmicznej Guerrero w miarę współgra ze zmianą względnej aktywności tektonicznej. To jednak brak podobnej zgodności w części wschodniej sugeruje, iż częściowa zgodność z obserwowanym wypiętrzaniem może być przypadkowa. Dodatkowo może na tę przypadkowość wskazywać fakt, iż obliczone wskaźniki odzwierciedlają deformacje długookresowe, zaś segmenty sejsmiczne wykazują najprawdopodobniej charakter przejściowy (Rehak et al., 2008). Na tymczasowy charakter tych segmentów wskazują również wyniki kolejnych moich badań, między innymi z wykorzystaniem przestrzennego zróżnicowania tempa erozji (Gaidzik & Ramírez-Herrera, 2026).

Ponieważ wskaźniki geomorfometryczne pozwalają jedynie na wnioskowanie na temat względnej aktywności tektonicznej, nie można na ich podstawie określić ani konkretnych wartości tektonicznego wypiętrzania, ani subsydencji, ani tempa erozji, ani dokładnie wskazać przedziałów czasowych, dla których wykonujemy dane analizy. W tym celu wymagane były dalsze badania, które miały wyjaśnić procesy fizyczne kontrolujące zmienność wypiętrzania wzdłuż rozciągłości przedłuku oraz określające tempo tego wypiętrzania, jak również tempo erozji. Stąd podjęte przeze mnie wraz z zespołem w kolejnych latach dalsze prace badawcze z wykorzystaniem skartowanych i wydutowanych teras rzecznych w celu określenia tempa wypiętrzania i wpływu uskoków skorupowych na ewolucję rzeźby terenu (Ramírez-Herrera et al., 2018, 2021) oraz koncentracji izotopów kosmogenicznych berylu ^{10}Be w celu zrekonstruowania przestrzennej zmienności tempa erozji (Gaidzik & Ramírez-Herrera, 2026), a także metod paleosejsmologicznych, aby wykazać sejsmogeniczną aktywność wspomnianych uskoków skorupowych (Gaidzik et al., 2025).

AD. III. Powiązanie długoterminowych i krótkoterminowych ruchów pionowych (Ramírez-Herrera et al., 2018)

W kolejnych dwóch pracach (Ramírez-Herrera et al., 2018; Ramírez-Herrera, Gaidzik & Forman, 2021) skupiam się na wykazaniu przestrzennego zróżnicowania aktywnej tektoniki na płycie nadjeżdżającej w meksykańskiej strefie subdukcji, wykorzystując w tym celu czwartorzędowe terasy rzeczne (głównie typu erozyjnego, lub erozyjno-akumulacyjnego). W pracach tych staram się powiązać powstanie tych teras oraz wynikające z ich wieku i wysokości nad obecny poziom rzek tempo wcinania z tempem wypiętrzania tektonicznego oraz skorelować to z cyklem trzęsień ziemi oraz aktywnością potencjalnie sejsmogenicznych uskoków skorupowych. W pierwszej pracy (Ramírez-Herrera et al., 2018) opisane w tym podrozdziale, skupiliśmy się na największej zlewni rzeki Papagayo w obrębie luki sejsmicznej Guerrero, która częściowo wychodzi poza lukę sejsmiczną, częściowo też została ona uwolniona w czasie trzęsienia ziemi w 1957 roku (M 7,7) oraz dwóch trzęsień ziemi z 1962 roku (M7,1 z 11 maja oraz M 7,0 z 19 maja) (Ortiz et al., 2000). W drugiej natomiast, która stanowi temat kolejnego podrozdziału, do szacowania wypiętrzania tektonicznego wykorzystaliśmy terasy rzeczne wzdłuż rzeki Tecpan zlokalizowanej mniej więcej w centralnej części luki sejsmicznej (Ramírez-Herrera et al., 2021).

W celu oceny czwartorzędowych deformacji skorupy wykorzystaliśmy sieć rzeczną, topografię, formy rzeźby terenu oraz analizy geomorfometryczne wzdłuż przekroju poprzecznego przez przedłuk (z południowego-zachodu na północny-wschód, prostopadłe do osi strefy subdukcji). Dokonaliśmy pomiarów wysokości trzynastu taras rzecznych w terenie oraz cztery datowania kwarcu w osadach aluwialnych teras metodą optycznie stymulowanej luminescencji (OSL), co pozwoliło oszacować długoterminowe tempo wypiętrzania w zakresie od 0,5 do 4,9 mm/rok dla holocenu i najmłodszego plejstocenu. Wyniki te, bazujące na wieku i wysokości teras w różnych punktach sieci drenażowej rzeki Papagayo sugerują zróżnicowane przestrzennie i prawdopodobnie czasowo tempo wcinania rzeki, które wykorzystaliśmy jako przybliżenie tempa wypiętrzania tektonicznego. Tak oszacowane wypiętrzanie wykazuje tendencję wzrostową w kierunku oddalania się od wybrzeża, zaś szczególnie charakter ten jest zauważalny podczas przekraczania sub-równoleżnikowych uskoków skorupowych, głównie uskoków LVF, Dos Arroyos oraz Cacahuatpec, skartowanych podczas poprzednich badań (Gaidzik et al., 2016). Podobną tendencję wzrostową w miarę oddalania się od wybrzeża, a tym samym strefy subdukcji, wcześniej zaobserwowano dla przestrzennego rozkładu tempa ekshumacji (Ducea et al., 2004). Dotyczy ona jednak znacznie dłuższych przedziałów czasowych; późnoczwartorzędowych wartości uzyskanych w naszych badaniach w porównaniu z kenozoicznymi wartościami tempa ekshumacji. Sugeruje to istotny wpływ aktywności tektonicznej tych ostatnich na morfologię, a zwłaszcza na erozję rzeczną na płycie nadjeżdżającej. A zatem sieć rzeczna Papagayo jest w dużym stopniu kształtowana przez procesy związane z cyklem sejsmicznym w holocenie. Jest to szczególnie widoczne w południowej części zlewni, gdzie lewoskrętno-zrzutowe uskoki o przebiegu równoleżnikowym (E–W), przemieszczają koryto głównej rzeki oraz wpływają na tempo wcinania i rozwój erozyjnych teras rzecznych. Uskoki te kompensują część skośnej konwergencji płyt w meksykańskiej strefie subdukcji, co było sugerowane przeze mnie uprzednio (Gaidzik et al., 2016), a następnie potwierdzone metodami geodezyjnymi (Kazachkina et al., 2020) oraz paleosejsmologicznym (Gaidzik et al., 2025).

Ponadto, uzyskane wyniki tempa wypiętrzania korelują się bardzo dobrze z zanikiem sejsmiczności w strefie subdukcji oraz strefą wyraźnego zginania i odginania się płyty subdukującej i przejściem od nachylenia kilku-kilkunastu stopni do geometrii płaskiej płyty (ang. *flat-slab*). To z kolei wskazuje, że przestrzenne zróżnicowanie pionowej deformacji w sektorze Guerrero na płycie nadjeżdżającej, jest silnie uzależnione od uskoków skorupowych, zaś te są silnie kontrolowane przez geometrię i procesy subdukcyjne.

Jakie procesy są zatem główną przyczyną długookresowych deformacji skorupy ziemskiej w późnym czwartorzędzie i późnym kenozoiku? Sugerujemy, że za obserwowane deformacje odpowiada nie jeden, lecz kilka mechanizmów działających z różną intensywnością na różnych etapach cyklu sejsmicznego w strefie subdukcji. Do najważniejszych należą deformacje związane z uwalnianiem momentu sejsmicznego podczas silnych trzęsień ziemi w strefie subdukcji prowadzące do wygięcia płyty nadległej, co skutkuje narastaniem topografii przedłuku w kolejnych cyklach sejsmicznych (Dragert et al., 1994; Klotz et al., 2001; Wesson et al., 2015). Aby wykazać słuszność tego poglądu, zaproponowaliśmy model, pokazujący kosejsmiczną, intersejsmiczną oraz wypadkową deformację na płycie nadjeżdżającej dla różnych scenariuszy i przy współdziale lub braku zjawisk SSE. Model ten sugeruje, iż część deformacji powstających podczas trzęsień typu *megathrust*, zwłaszcza wypiętrzenie przedłuku,

nie jest całkowicie kompensowana i może kumulować się w czasie kolejnych cykli sejsmicznych.

AD. IV. Przestrzenne zróżnicowanie wpływu subdukującej płyty na wypiętrzanie tektoniczne (Ramírez-Herrera, Gaidzik & Forman, 2021)

Podobnie jak w poprzednim przypadku (Ramírez-Herrera et al., 2018), tu również do rekonstrukcji przestrzennego zróżnicowania tektonicznego wypiętrzania w sektorze Guerrero meksykańskiej strefy subdukcji oraz próby określenia roli uskoku skorupowych wykorzystaliśmy terasy rzeczne, tym razem zlokalizowane wzdłuż rzeki Tecpan, w centralnej części analizowanego sektora (Ramírez-Herrera et al., 2021). Idea badań była bardzo zbliżona do wcześniejszych analiz. Wyszliśmy z założenia, iż wypiętrzanie jest dominującym czynnikiem kontrolującym systemy fluwalne w regionach podlegających deformacjom tektonicznym, szczególnie w strefach aktywnych subdukcji na płycie nadjeżdżającej (np. Keller & Pinter, 2002; Burbank & Anderson, 2011). Góry w strefach subdukcji wymuszają wcinanie się rzek, agradację lub zmiany krętości koryt, odzwierciedlając zróżnicowane wypiętrzanie oraz zmienność tempa erozji, intensywności erozji wgłębnej rzek i nachylenia koryt, wynikające z trwających deformacji tektonicznych. W związku z tym krajobraz, a szczególnie analiza podłużnych profili rzecznych, jak również terasy rzeczne, zwłaszcza o charakterze erozyjnym, mogą dostarczać informacji o aktywności tektonicznej danego obszaru (Merritts et al., 1994; Personius, 1995; Pazzaglia & Brandon, 2001; Miller et al., 2012; Ramírez-Herrera et al., 2018; Barnes, 2019).

W niniejszej pracy przeprowadziłem wraz z M. T. Ramirez-Herrera badania terenowe, analizę wskaźników geomorfometrycznych, naloty dronem w celu uzyskania szczegółowego obrazu wybranych teras rzecznych i ich następstwa czasowego oraz pozycji morfologicznej, a także datowanie tarasów wykorzystaniem datowania radiowęglowego oraz OSL. Badania te miały na celu: (1) określenie tempa współczesnych deformacji tektonicznych, (2) identyfikację dowodów aktywności uskoku oraz (3) wyjaśnienie możliwego związku między trwającym, zróżnicowanym wypiętrzaniem a topografią płyty nadległej oraz wpływem geometrii i „chropowatości” płyty subdukującej.

Przeprowadzona analiza morfologii terenu wskazała na wyraźną segmentację rzeki Tecpan w obrębie badanej zlewni z segmentami o znacząco różniących się wartościach wskaźników geomorfometrycznych wskazujących na zróżnicowaną względną aktywność tektoniczną. Granice tych segmentów nierzadko pokrywają się z lokalizacją skartowanych wcześniej potencjalnie aktywnych uskoku skorupowych (Gaidzik et al., 2016). Tempo wypiętrzania tektonicznego oszacowano na podstawie tempa wcinania się rzeki Tecpan, obliczonego poprzez połączenie danych o wysokościach tarasów erozyjnych (ang. *strath terraces*) oraz ich datowania, wzdłuż głównej rzeki. Obliczone tempo wypiętrzania tektonicznego w centralnej części sektora Guerrero w holocenie waha się od około $1 \pm 0,3$ mm/rok do około $5 \pm 0,6$ mm/rok, co jest zgodne z uprzednio postulowaną wysoką aktywnością tektoniczną tego obszaru na podstawie wskaźników geomorfometrycznych (Gaidzik & Ramírez-Herrera, 2017). Wyniki te wykazują istotne zróżnicowanie przestrzenne, tj. rosną w górę biegu rzeki, przede wszystkim skokowo, podczas przekraczania uskoku skorupowych, głównie tych związanych z uskoku LVF, skartowanym w poprzednich pracach (Gaidzik et al., 2016).

Możliwe wyjaśnienia przestrzennej zmienności tempa wypiętrzania tektonicznego są najprawdopodobniej związane z wpływem geometrii oraz urozmaiconej (nierównej) rzeźby dna oceanicznego subdukującej płyty kokosowej. Pozorny wzrost tempa wypiętrzania ku górnym odcinkom zlewni wydaje się być związany z wyginaniem subdukowanej płyty, prowadzącym do pogrubienia skorupy oraz rozwoju ekstensyjnego reżimu tektonicznego w górnej części płyty nadległej. Wysokie tempo wypiętrzania w tym segmencie meksykańskiej strefy subdukcji może być również związane z nierównościami powierzchni płyty kokosowej i subdukcją gór podmorskich, co było sygnalizowane już we wcześniejszych pracach (Černý et al., 2020). Otrzymane wartości tempa wypiętrzania w holocenie na obszarze luki sejsmicznej Guerrero potwierdzają wysoką aktywność tektoniczną tej strefy oraz sugerują, że luki sejsmiczne mogą mieć charakter jedynie przejściowy. Wypiętrzanie oraz przestrzenne zróżnicowanie jego tempa odzwierciedlają wpływ geometrii strefy subdukcji, aktywności uskoku przesuwczych ze składową pionową oraz nierównej topografii dna oceanicznego płyty kokosowej subdukowanej pod uskokowo zdeformowaną litosferę kontynentalną.

AD. V. Geomorfologiczne i paleosejsmiczne dowody na aktywność uskoku wzdłuż uskoku La Venta (Gaidzik et al., 2025)

Praca ta stanowi podsumowanie wielu lat badań prowadzonych przeze mnie w strefie Guerrero, zapoczątkowanych stażem podoktorskim w roku 2014. W pracy tej wykorzystując metody geomorfologiczne, geofizyczne oraz paleosejsmologiczne wykazałem aktywność oraz sejsmogeniczny potencjał LVF w sektorze Agua del Perro. Aktywność tego uskoku była uprzednio postulowana metodami strukturalnymi i morfotektonicznymi (Gaidzik et al., 2016), geomorfometrycznymi (Gaidzik & Ramírez-Herrera, 2017), geodezyjnymi (Kazachkina et al., 2020) oraz zróżnicowaniem wypiętrzania na podstawie teras rzecznych (Ramírez-Herrera et al., 2018, 2021). Uzyskane wyniki wskazują na aktywność sejsmiczną uskoku, uprzednio nie branego pod uwagę w analizach oceny zagrożenia sejsmicznego. Mają one istotne znaczenie dla lokalnej ludności oraz oceny zagrożenia sejsmicznego w obszarze, nawiedzanym zarówno przez katastrofalne trzęsienia ziemi, nierzadko z towarzyszącymi im destrukcyjnymi falami tsunami (np. Ramírez-Herrera et al., 2024), jak również znacznymi ruchami masowymi związanymi przede wszystkim z ekstremalnymi zjawiskami klimatycznymi, jakimi są huragany w tej części globu (np. Gaidzik et al., 2017; Ramírez-Herrera & Gaidzik, 2017).

Zrozumienie potencjalnej aktywności sejsmicznej nieznanych aktywnych uskoku jest kluczowe dla oceny zagrożeń sejsmicznych w przedłukach stref subdukcji. Mimo postępu badań, wiedza na temat trzęsień ziemi wzdłuż uskoku położonych poza granicami płyt tektonicznych, pozostaje niepełna. Jest to szczególnie istotne, iż znaczna część katastrofalnych trzęsień ziemi poza granicami płyt miała miejsce wzdłuż nieznanych uprzednio uskoku, lub takich, których potencjał sejsmogeniczny nie został rozpoznany (England & Jackson, 2011). Stąd mój pomysł, aby skartować i przeanalizować metodami paleosejsmologicznym potencjalnie aktywny LVF (uskok La Venta, zwany też La Venta - Chacalapa) o długości ok. 650 km na płycie nadsubdukcyjnej, którego względną aktywność wykazałem w poprzednich pracach (m.in. Gaidzik et al., 2016; Gaidzik & Ramírez-Herrera, 2017). Podejście to pozwoliło pogłębić wiedzę o uskoku i przejść od oceny jego relatywnej aktywności do bardziej kwantyfikowanych parametrów czaso-przetrzennych przeszłych zdarzeń sejsmicznych.

W badaniu tym wykorzystałem zdjęcia i modele z drona, numeryczne modele terenu (DEM) na bazie danych lidarowych, obserwacje terenowe oraz badania geofizyczne (tomografia elektrooporowa oraz analizy georadarowe). Uzyskane wyniki pozwoliły zidentyfikować przebieg poszczególnych segmentów LVF oraz wyznaczyć dokładną lokalizację planowanego szurfu paleosejsmologicznego. Sam szurf został wykopany w lutym 2022 roku, prostopadle do przebiegu LVF, w sektorze Agua del Perro, w pobliżu miejscowości Las Piñas. Na podstawie przeprowadzonej interpretacji szurfu oraz pobranych na datowanie radiowęglowe oraz OSL próbek, wyznaczyłem dwa do trzech zdarzeń sejsmicznych zaburzających osady obserwowane w szurfie w ciągu ostatnich 9000 lat. Przemieszczeniu w trakcie zidentyfikowanych trzęsień osiągały średnio ok. 50-80 cm horyzontalnie oraz do ~40 cm w pionie. Najmłodsze zdarzenie sejsmiczne E1 miało miejsce około XIV wieku n.e. i odpowiadało magnitudzie M_w 6,6–6,8. Starszy wstrząs E2 wystąpił pomiędzy 3750 r. p.n.e. a 190–560 r. n.e. i miał podobną, choć potencjalnie nieco niższą magnitudę M_w 6,4–6,6. Dla najstarszego trzęsienia E3, które wystąpiło w przedziale czasowym od 7075 r. p.n.e. do 3750 r. p.n.e. nie udało się zmierzyć przemieszczenia, a zatem również nie było możliwe oszacowanie jego magnitudy. Wyniki te są zgodne z moimi wcześniejszymi oszacowaniami magnitudy (M_w ~6,9; Gaidzik et al., 2016), w których wykorzystałem zależności skalujące (Wells & Coppersmith, 1994), oparte na skartowanych przeze mnie długościach uskoków w segmencie Agua del Perro systemu LVF. Podobnie sytuacja się przedstawia odnośnie zmierzonych i pierwotnie oszacowanych wielkości przemieszczeń podczas poszczególnych trzęsień ziemi. Udokumentowane zdarzenia sejsmiczne obejmują zatem przedział czasowy od 7075 ± 430 r. p.n.e. do XIV wieku n.e. i charakteryzują się stosunkowo niewielkimi różnicami magnitudy (6,4–6,8). Udokumentowane całkowite przemieszczenia dla zdarzeń E1 i E2 wraz z wynikami datowań umożliwiły obliczenie średniego tempa poślizgu (ang. *slip rate*) na ok. 0,08 do $0,18 \pm 0,2$ mm/rok ($0,1 \pm 0,02$ mm/rok dla średniego kąta zanurzenia rys ślizgowych wynoszącego 15°). Uzyskana wartość klasyfikuje LVF jako uskok wolno poruszający się (< 1 mm/rok; np. Rizza et al., 2011; van der Wal et al., 2020). Zakładając, że zdarzenia E2 i E3 wystąpiły w pobliżu środkowej części swoich przedziałów wiekowych, a zdarzenie E1 miało miejsce w czasie zbliżonym do formowania się klina koluwalnego, odstępów rekurencyjne wynosiłyby około 3200 lat pomiędzy E1 i E2 oraz około 3500 lat pomiędzy E2 i E3. Porównywalne czasy rzędu 10^3 lat dla zdarzeń o magnitudzie 6–7 związanych z wolno poruszającymi się uskoki (< 1 mm/rok), raportowano między innymi dla uskoków Bogd i Gorvan Bulag w Mongolii (np. Prentice et al., 2002; Rizza et al., 2011; van der Wal et al., 2020), uskoków skorupowych w Azji Centralnej (np. Campbell et al., 2015; Abdrakhmatov et al., 2016; Walker et al., 2017) i wielu innych.

Szczególnie istotne oprócz samego potwierdzenia sejsmogeniczności LVF było wskazanie źródeł naprężeń, które mogłyby doprowadzić do reaktywacji tej struktury. Uskoki przesuwcze przebiegające sub-równolegle do rowu oceanicznego, takie jak LVF, są powszechne w regionach przedłuku stref subdukcji na płycie nadsubdukcyjnej i powstają w wyniku podziału wektora konwergencji na składową przesuwczą i kompresyjną (Fitch, 1972; McCaffrey et al., 2000). Zjawisko to zaobserwowano w wielu strefach subdukcji o różnym stopniu skośności konwergencji płyt (Fitch, 1972; McCaffrey et al., 2000; Morell et al., 2025). Mechanizm ten został również zaproponowany uprzednio przeze mnie jako przyczyna reaktywacji LVF (Gaidzik et al., 2016). Chociaż strefa subdukcji płyty kokosowej w sektorze

Guerrero jest jedynie nieznacznie skośna (9–14°; Gaidzik et al., 2016), powoduje ona lewoprzesuwowe przemieszczenia fragmentu przedłuku o prędkościach rzędu 5,4–6,3 mm/rok (Kazachkina et al., 2020). Na podstawie obliczeń prędkości GPS oszacowano, że ruch przesuwczy wzdłuż uskoku LVF w regionie Guerrero wynosi 3–5 mm/rok (Ramírez-Herrera i in., 2018; Kazachkina i in., 2020). Tempo poślizgu uzyskane na podstawie badań paleosejsmologicznych w szurfię wskazuje wartości rzędu 0,11–0,66 mm/rok. Rozbieżność pomiędzy ruchem przesuwczym wynikającym ze skośności strefy subdukcji, ruchem przesuwczym wzdłuż LVF obliczonym na podstawie pomiarów GPS oraz tempem poślizgu uzyskanym z szurfi można wyjaśnić tym, że część ruchu przesuwczego jest:

- (1) kompensowana przez mniejsze uskoki skorupowe przebiegające sub-równolegle do rowu oceanicznego (np. uskok Dos Arroyos, uskok Cacahuatpec; zob. Gaidzik i in., 2016), oraz/lub
- (2) uwalniana poprzez SSE lub związane z nimi pełzanie uskoku (ang. *creeping*), zaproponowane przez Kostoglodova i in. (2014), podczas gdy jedynie część deformacji jest rozładowywana podczas trzęsień ziemi powodujących deformacje kosejsmiczne o charakterze pęknięcia powierzchni terenu.

Ten drugi mechanizm ma kluczowe znaczenie dla oceny zagrożenia sejsmicznego, ponieważ jeśli rzeczywiście LVF kompensuje znaczną część swojego budżetu deformacji poprzez powolny poślizg, wynikające z niego zagrożenie sejsmiczne ulega zmniejszeniu (Bürgmann, 2018).

Podczas gdy podział deformacji pomiędzy równoległe uskoki przesuwowe a prostopadłe uskoki inwersyjne w strefie subdukcji może wyjaśniać reaktywację płytkich uskoku skorupowych, możliwość wzajemnych oddziaływań i inicjowania aktywności pomiędzy zdarzeniami subdukcyjnymi a tymi uskokami wprowadza dodatkową złożoność i stanowi dodatkowe źródło naprężeń. Przykłady ze stref subdukcji na świecie, m.in. z Chile i Japonii, pokazują, że aktywność sejsmiczna na płytkich uskoku górnej płyty może być wyzwalana przez megatrzęsienia subdukcyjne (np. Shirzaei et al., 2012; Hicks & Rietbrock, 2015; Hoskins et al., 2021). Kosejsmiczna deformacja oraz następująca po niej deformacja postsejsmiczna mogą prowadzić do dodatkowych zmian naprężeń Coulomba, obejmujących przepływ fluidów zdolny do inicjowania aktywności sejsmicznej na uskoku skorupy górnej płyty, położonych w pewnej odległości od epicentrum trzęsienia subdukcyjnego (Hoskins i in., 2021). Pomimo, iż mechanizm ten w literaturze odnosi się przeważnie do struktur ekstensyjnych; podobny mechanizm może również odnosić się do uskoku przesuwowych ze składową normalną, takich jak LVF. Niestety, ze względu na brak kompletnej bazy danych dotyczącej paleotrzęsień ziemi a tym sektorze, a także z uwagi na ograniczoną precyzję datowania przeszłych wstrząsów, nie jesteśmy w stanie na chwilę obecną przeprowadzić wiarygodnego porównania przestrzenno-czasowego pozwalającego jednoznacznie określić związek pomiędzy trzęsieniami subdukcyjnymi a aktywnością uskoku przedłuku Guerrero. Jedynie najmłodsze zdarzenie E1, datowane na okres pomiędzy 190–560 r. n.e. a 1235–1495 r. n.e., może być czasowo skorelowane z megatrzęsieniem subdukcyjnym ($M > 8$) postulowanym na około 1300 r. n.e. (Ramírez-Herrera et al., 2024). Jednak ograniczenia dokładności datowania uniemożliwiają jednoznaczne potwierdzenie lub wykluczenie, czy najmłodsze zdarzenie na tym uskoku zostało rzeczywiście wywołane przez trzęsienie subdukcyjne.

Biorąc pod uwagę wszystko powyższe oraz położenie samego uskoku, wyniki uzyskane w wyniku przeprowadzonych badań sugerują istotne ryzyko sejsmiczne dla lokalnych społeczności wzdłuż uskoku oraz dla większych miast, takich jak Chilpancingo (> 300 tys. mieszkańców), Acapulco (< 1 mln mieszkańców) i miasto Meksyk (> 20 mln mieszkańców). Badanie wskazuje również na potencjalne zagrożenia dla infrastruktury, w tym zapory La Venta, oraz związane z nimi skutki wtórne, takie jak powodzie i obrywy skalne. Pomimo braku współczesnej instrumentalnie rejestrowanej aktywności sejsmicznej, wyniki jednoznacznie potwierdzają aktywność uskoku w holocenie oraz potencjał sejsmogeniczny odcinka Agua del Perro LVF. Podkreśla to znaczenie rozpoznawania zagrożeń związanych z uskokami skorupowymi w obrębie przedłuków, z dala od granic płyt tektonicznych.

AD. VI. Sprężone procesy tektoniczne i powierzchniowe: wnioski na podstawie średnich (uśrednionych zlewniowo) wskaźników erozji (Gaidzik & Ramírez-Herrera, 2026)

W najnowszym artykule wracam do problemu nierównomiernego czasowo-przestrzennego zróżnicowania aktywności tektonicznej, a w rezultacie ewolucji rzeźby terenu, w tym szczególnie istotnego elementu jakim jest erozja jako pochodna aktywności tektonicznej. Badania te rozpocząłem jeszcze w trakcie stażu podoktorskiego, a zatem na długo przed wykonaniem szurfu paleosejsmologicznego opisanego w poprzednim podrozdziale. Wtedy też wysłałem pierwsze próbki na pomiary koncentracji izotopów kosmogenicznych ^{10}Be z osadów rzek w strefie Guerrero. Publikacja ta stanowi kolejną próbę, podejścia do problemu wzajemnych złożonych powiązań między erozją, wypiętrzaniem tektonicznym oraz klimatem, z wykorzystaniem innych narzędzi badawczych. Jak to już wcześniej sygnalizowałem, kwestie te mają kluczowe znaczenie dla zrozumienia mechanizmów kształtujących ewolucję rzeźby terenu i kontrolujących recykling materiału skorupy ziemskiej. W badaniu tym wykorzystałem uśrednione dla zlewni tempo erozji oparte na koncentracji izotopu ^{10}Be w osadach rzecznych z ośmiu średnich i dużych zlewni w obrębie przedłuku Guerrero. Podstawowym celem było zbadanie wzajemnych oddziaływań litologii, warunków klimatycznych i czynników tektonicznych w kształtowaniu topografii nad strefą subdukcji o spłaszczonej geometrii płyty subdukującej (typu *flat-slab*).

Obliczone tempo erozji dla skali czasowej 10^5 – 10^7 lat mieści się w zakresie od <0,5 do >0,8 mm/rok i wykazuje wyraźny wzrost w kierunku wschodnim. Ten przestrzenny wzorec wydaje się być przede wszystkim kontrolowany przez procesy tektoniczne związane z subdukcją płyty kokosowej pod płytę północnoamerykańską, oraz aktywność sejsmiczną uskoku skorupowych sub-równoległych do rowu oceanicznego o przebiegu W–E, zwłaszcza LVF. Ich aktywność w czwartorzędzie (Gaidzik et al., 2016, 2025; Kazachkina et al., 2020; Ramírez-Herrera et al., 2018, 2021) prawdopodobnie powoduje lokalne wypiętrzanie, wpływające na przestrzenne zróżnicowanie erozji. Potwierdzają to również modele sprężen zwrrotnych, zgodnie z którymi erozja moduluje narastanie naprężeń na uskokach i może sprzyjać aktywności sejsmicznej (Steer et al., 2014). Ponadto zaobserwowany trend odpowiada uprzednio stwierdzonym zmianom tempa ekshumacji (Ducea et al., 2004), a także rosnącej ku wschodowi szybkości konwergencji (DeMets et al., 2010; Gaidzik et al., 2016). Nie bez znaczenia jest też chropowatość subdukującej płyty kokosowej, przechodząc od gładkiej, płaskiej batymetrii w części zachodniej do wyraźnie urzeźbionego dna w segmentach centralnych i wschodnich (Černý et al., 2020). Powyższe obserwacje, w połączeniu z brakiem

istotnej korelacji między parametrami klimatu a obliczonym tempem erozji, sugerują, że głównym czynnikiem kontrolującym erozję są procesy tektoniczne związane z subdukcją. Lokalnie zaobserwowano potencjalny wpływ ekstremalnych zdarzeń opadowych na tempo erozji, szczególnie w mniejszych zlewniach.

Wszystkie powyżej przedstawione wnioski są bardzo istotne z punktu widzenia sektora Guerrero meksykańskiej strefy subdukcji, lecz nie są to najważniejsze wnioski uniwersalne, mogące mieć istotne znaczenie dla innych obszarów. W tym kontekście najbardziej istotne są dwa odkrycia wynikające z przeprowadzonej analizy:

- (1) Zaobserwowany przestrzenny rozkład tempa erozji nie wykazuje korelacji z luką sejsmiczną Guerrero. Sugeruje to, że luka ta odzwierciedla krótkoterminową aktywność sejsmiczną, zarejestrowaną instrumentalnie, a nie długofalową historię tektoniczną i erozyjną regionu. Jest to zatem zjawisko efemeryczne, które jedynie jest zauważalne z uwagi na krótki czas sejsmicznych danych instrumentalnych. Z punktu widzenia geologicznego oraz zagrożenia sejsmicznego nie może być traktowane jako obszar wolny od wstrząsów. Podobne wnioski wynikają z badań paleotsunami w tym regionie (Ramírez-Herrera et al., 2024).
- (2) Stosunkowo niskie tempo erozji może być związane z występowaniem subdukcji typu „flat-slab” w sektorze Guerrero, co jest zgodne z obserwacjami globalnymi. Według nich obszary przedłuku nad spłaszczonymi płytami subdukcyjnymi charakteryzują się obniżonym tempem erozji w porównaniu ze strefami subdukcji o typowym, bardziej stromym kącie zapadania płyty.

Podsumowanie i Wnioski

Badania aktywności tektonicznej w różnych rejonach globu są prowadzone od lat przez specjalistów z różnych dziedzin nauk o Ziemi wykorzystując rozmaite metody badawcze, szczególnie bazujące na wszechstronnej analizie rzeźby terenu (np. Molnar & England, 1990; Merritts et al., 1994; Marshall & Anderson, 1995; Pazzaglia & Brandon, 2001; Kirby & Whipple, 2001; Keller & Pinter, 2002; Frankel & Pazzaglia, 2005; Wobus et al., 2006; Bull, 2008, 2009; Burbank & Anderson, 2011; Kirby & Whipple, 2012), jak również wszelkie metody paleosejsmologiczne (np. Atwater et al., 2003; Galli et al., 2008; McCalpin, 2009; Goldfinger, 2011; Akyüz et al., 2014; Baize et al., 2015; Walker et al., 2017; McCalpin & Reicherter, 2018; Grube, 2019). Pod tym kątem, moje badania nie są pierwszymi zastosowaniami powyższych metod badawczych do interpretacji tektonicznych. Jednakże, są to nowatorskie badania z dwóch podstawowych powodów:

- (1) Uprzednie podejścia do aktywnej tektoniki zazwyczaj zgłębiają jedno zagadnienie (np. jeden uskok; tempo wcinania; tempo erozji, itp.), nawet jeśli wiąże się to z wykorzystaniem kilku metod badawczych. W swoich badaniach postawiłem sobie za cel możliwie kompleksowe i multidyscyplinarne podejście, wykorzystujące szereg metod wywodzących się z różnych specjalności oraz odnoszących się do odmiennych aspektów aktywności tektonicznej. W tym celu zastosowałem metody 1) geologii strukturalnej, morfotektoniki oraz geodezji (Gaidzik et al., 2016), 2) geomorfologii tektonicznej oraz wskaźniki geomorfometryczne (Gaidzik & Ramírez-Herrera, 2017), 3) analizy rzeźby terenu, w szczególności teras rzecznych i ich datowania, modelowania cyklu sejsmicznego (Ramírez-Herrera et al., 2018, 2021), 4) analiz tempa erozji uśrednionego

dla zlewni, statystyki i analiz porównawczych (Gaidzik & Ramírez-Herrera, 2026), 5) paleosejsmologii, badań w szurfach paleosejsmicznych z datowaniem, geofizyczne (profilowanie elektrooporowe, georadar) oraz analizy DEM opartych na danych LiDAR o wysokiej rozdzielczości (Gaidzik et al., 2025), itp.

- (2) Jest to pierwsze zastosowanie metod geomorfologii tektonicznej oraz paleosejsmologii dla strefy nadsubdukcyjnej meksykańskiej strefy subdukcji, ze szczególnym uwzględnieniem strefy Guerrero, która z różnych względów przed moimi badaniami, stanowiła niemalże „białą plamę” w kontekście wzajemnych zależności pomiędzy tektoniką a rzeźbą terenu.

W tym kontekście, moje badania stanowią istotny wkład w rozwój nauk o Ziemi, po pierwsze pod kątem rozpoznania aktywności tektonicznej, jej zróżnicowania czasowo-przestrzennego w tak bardzo aktywnym sejsmicznie obszarze jakim jest południowo-zachodni Meksyk, ze szczególnym uwzględnieniem zagrożenia sejsmicznego dla ludności lokalnej, zarówno w samym stanie Guerrero, jak i mieście Meksyk. Dotyczy to zwłaszcza identyfikacji i rekonstrukcji historii sejsmicznej uprzednio nierozpoznanego uskoku skorupowego LVF. Po drugie oprócz wpływu lokalnego/regionalnego, badania te stanowią jedną z pierwszych prób tak kompleksowego rozpoznania strefy nadsubdukcyjnej w ramach zależności tektonika-rzeźba terenu, ze szczególnym uwzględnieniem luki sejsmicznej Guerrero i charakteru tego typu stref w kontekście geologiczno-geomorfologicznym.

Do zdecydowanie najważniejszych rezultatów przeprowadzonych badań należy zaliczyć:

- (1) Rozpoznanie, skartowanie i udokumentowanie historii sejsmicznej oraz potencjału sejsmogenicznego uprzednio nierozpoznanego LVF o długości ok. 650 km i potencjale wygenerowania trzęsień ziemi o magnitudzie $M \sim 7,5$ (Gaidzik et al., 2016; Gaidzik & Ramírez-Herrera, 2017; Gaidzik et al., 2025). Jego wpływ na kształtowanie rzeźby terenu podczas badania sieci rzecznej oraz kartowanie i datowanie teras rzecznych przedstawiono w Ramírez-Herrera et al. (2018, 2021). W międzyczasie aktywność tego uskoku potwierdziły również badania geodezyjne (Kazachkina et al., 2020) oraz roje trzęsień ziemi (*earthquake swarm*) i zjawiska powolnego poślizgu w obrębie wschodniego przedłużenia tego uskoku (Fasola et al., 2019).
- (2) Wskazanie wzajemnych zależności i sprzężeń zwrotnych pomiędzy rzeźbą terenu a aktywnością tektoniczną w strefie nadsubdukcyjnej poprzez analizy morfotektoniczne (Gaidzik et al., 2016), geomorfologiczne i geomorfometryczne (Gaidzik & Ramírez-Herrera, 2017), badania teras rzecznych (Ramírez-Herrera et al., 2018, 2021) oraz tempa erozji na podstawie koncentracji izotopów kosmogenicznych we współczesnych osadach rzecznych (Gaidzik & Ramírez-Herrera, 2026). A co istotniejsze powiązanie wyników zależności i obserwowanych prawidłowości oraz czasowo-przestrzennego zróżnicowania z (i) geometrią płyty subdukującej (a zwłaszcza jej wypłaszczeniem oraz przegięciem od poлого nachylonej płyty subdukującej do horyzontalnego ustawienia), (ii) obecnością i aktywnością sejsmiczną uskoku skorupowych, prawdopodobnie związanych z aktywnością samej strefy subdukcji, (iii) cyklem trzęsień ziemi i deformacją, która się akumuluje podczas każdego trzęsienia ziemi, (iv) tempem konwergencji i jego wzrostem z zachodu na wschód, (v) transtensyjnym reżimem w górnej części płyty nadjeżdżającej nad strefą subdukcji, itp.

- (3) Udowodnienie, iż luka sejsmiczna Guerrero, bardzo szeroko omawiana i analizowana w literaturze sejsmologicznej, jako sektor subdukcji, który od ponad 100 lat (ostatni istotny wstrząs o M_w 7,6 miał miejsce w 1911 roku) nie wygenerował trzęsień ziemi (Kostoglodov & Ponce, 1994) jest zjawiskiem tymczasowym, krótkotrwałym z punktu widzenia ewolucji krajobrazu. Uzyskane wyniki wskazują, iż rzeźba terenu, obliczone wskaźniki geomorfometryczne, jak również tempo erozji, wcinania rzek, nie jest niższe, a nierzadko wyższe niż na obszarach poza strefą sejsmiczną, sugerując, iż ta jest tworem efemerycznym i nie oznacza braku silnych subdukcyjnych trzęsień ziemi (np. Gaidzik & Ramírez-Herrera, 2017, 2026; Ramírez-Herrera et al., 2018, 2021). Dodatkowo na silne wstrząsy w tej strefie w holocenie wskazują też badania paleotsunami (Ramírez-Herrera & Urrutia-Fucugauchi, 1999; Ramírez-Herrera et al., 2007, 2011, 2024).
- (4) Wykazanie, iż rzeki, jako najbardziej wrażliwy element morfologii terenu, istotnie reagują na aktywne procesy tektoniczne w strefach subdukcji, zarówno związane z aktywnością uskoków powierzchniowych, jak i głębokimi procesami tektoniki płyt. Pomimo, iż ta zależność była znana już wcześniej to jednak krytyczna analiza zastosowanych wskaźników geomorfometrycznych uwydatniła, iż niektóre z nich (np. całka hipsometryczna, wskaźnik wydłużenia zlewni, współczynnik asymetrii zlewni, wymiar fraktalny sieci drenażowej czy wskaźnik wklęsłości profilu) powszechnie stosowane w badaniach aktywności tektonicznej (np. Keller & Pinter, 2002; Wobus et al., 2006; Kirby & Whipple, 2012; Mahmood & Gloaguen, 2012), ze względu na warunki klimatyczne, zróżnicowanie litologiczne, czy wielkość badanych zlewni mogą nie odzwierciedlać rzeczywistego zróżnicowania aktywności tektonicznej. W efekcie ich interpretacja powinna być zawsze bardzo ostrożna, jak również potwierdzona obserwacjami terenowymi i wynikami innych badań, np. datowania, tempa erozji, itp. (Gaidzik & Ramírez-Herrera, 2017). Podobnie krytyczne podejście do niektórych wskaźników geomorfometrycznych wykazano również w późniejszych, bazującym i odwołującym się do moich badań, np. w pracy na temat aktywności tektonicznej w północno-wschodnich Włoszech i zachodniej Słowenii (Diercks et al., 2023).

Podsumowując, geomorfologia tektoniczna stanowi wszechstronne narzędzie badawcze umożliwiające identyfikację oraz analizę czasowo-przestrzennego zróżnicowania aktywności tektonicznej badanego regionu. Pełne wykorzystanie jej potencjału wymaga jednak zastosowania podejścia multidyscyplinarnego, integrującego wyniki różnych specjalności badawczych, szczególnie w przypadku stosowania względnych metod geomorfometrycznych. Tylko takie podejście pozwala na kompleksową ocenę zróżnicowania aktywności tektonicznej oraz określenie mechanizmów i procesów odpowiedzialnych za obserwowane deformacje, co stanowiło najważniejszy cel opisywanych badań.

Spis literatury:

Abdrakhmatov, K. E., Walker, R. T., Campbell, G. E., Carr, A. S., Elliott, A., Hillemann, C., Hollingsworth, J., Landgraf, A., Mackenzie, D., Mukambayev, A., Rizza, M., & Sloan, R. A. (2016). Multisegment rupture in the 11 July 1889 Chilik earthquake (M_w 8.0–8.3), Kazakh Tien Shan, interpreted from remote sensing, field survey, and paleoseismic trenching. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 121(6), 4615–4640. <https://doi.org/10.1002/2015JB012763>

- Agard, P., Plunder, A., Angiboust, S., Bonnet, G., & Ruh, J. (2018). The subduction plate interface: Rock record and mechanical coupling (from long to short timescales). *Lithos*, 320–321, 537–566. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2018.09.029>
- Akyüz, H. S., Karabacak, V., & Zabcı, C. (2014). Paleoseismic Trenching. In M. Beer, I. A. Kougioumtzoglou, E. Patelli, & I. S.-K. Au (Eds.), *Encyclopedia of Earthquake Engineering* (pp. 1–15). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-36197-5_107-1
- Atakan, K., Midzi, V., Moreno Toiran, B., Vanneste, K., Camelbeeck, T., & Meghraoui, M. (2000). Seismic hazard in regions of present day low seismic activity: Uncertainties in the paleoseismic investigations along the Bree Fault Scarp (Roer Graben, Belgium). *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 20(5), 415–427. [https://doi.org/10.1016/S0267-7261\(00\)00081-6](https://doi.org/10.1016/S0267-7261(00)00081-6)
- Atwater, B. F., Tuttle, M. P., Schweig, E. S., Rubin, C. M., Yamaguchi, D. K., & Hemphill-Haley, E. (2003). Earthquake recurrence inferred from paleoseismology. In *Developments in Quaternary Sciences* (Vol. 1, pp. 331–350). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1571-0866\(03\)01015-7](https://doi.org/10.1016/S1571-0866(03)01015-7)
- Bahadori, A., Holt, W. E., Feng, R., Austermann, J., Loughney, K. M., Salles, T., Moresi, L., Beucher, R., Lu, N., Flesch, L. M., Calvelage, C. M., Rasbury, E. T., Davis, D. M., Potochnik, A. R., Ward, W. B., Hatton, K., Haq, S. S. B., Smiley, T. M., Wootton, K. M., & Badgley, C. (2022). Coupled influence of tectonics, climate, and surface processes on landscape evolution in southwestern North America. *Nature Communications*, 13(1), 4437. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31903-2>
- Baize, S., Audin, L., Winter, T., Alvarado, A., Pilatasig Moreno, L., Taipei, M., Reyes, P., Kauffmann, P., & Yepes, H. (2015). Paleoseismology and tectonic geomorphology of the Pallatanga fault (Central Ecuador), a major structure of the South-American crust. *Geomorphology*, 237, 14–28. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.02.030>
- Barnes, R. (2019). Accelerating a fluvial incision and landscape evolution model with parallelism. *Geomorphology*, 330, 28–39. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.01.002>
- Bekaert, D. P. S., Hooper, A., & Wright, T. J. (2015). Reassessing the 2006 Guerrero slow-slip event, Mexico: Implications for large earthquakes in the Guerrero Gap. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 120(2), 1357–1375. <https://doi.org/10.1002/2014JB011557>
- Bierman, P. R., & Montgomery, D. R. (2013). *Key Concepts in Geomorphology*. W. H. Freeman.
- Bishop, P. (2007). Long-term landscape evolution: Linking tectonics and surface processes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32(3), 329–365. <https://doi.org/10.1002/esp.1493>
- Brocklehurst, S. H., & Whipple, K. X. (2002). Glacial erosion and relief production in the Eastern Sierra Nevada, California. *Geomorphology*, 42(1), 1–24. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(01\)00069-1](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(01)00069-1)
- Bull, W. B. (2008). *Tectonic Geomorphology of Mountains: A New Approach to Paleoseismology*. John Wiley & Sons.
- Bull, W. B. (2009). *Tectonically Active Landscapes*. Wiley-Blackwell.
- Bull, W. B., & McFadden, L. D. (1977). Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. *Proc. 8th Annual Geomorphology Symposium, Geomorphology in Arid Regions*, 115–138.
- Burbank, D. W., & Anderson, R. S. (2011). *Tectonic Geomorphology*. John Wiley & Sons.
- Bürgmann, R. (2018). The geophysics, geology and mechanics of slow fault slip. *Earth and Planetary Science Letters*, 495, 112–134. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2018.04.062>
- Campbell, G. E., Walker, R. T., Abdrakhmatov, K., Jackson, J., Elliott, J. R., Mackenzie, D., Middleton, T., & Schwenninger, J.-L. (2015). Great earthquakes in low strain rate continental interiors: An example from SE Kazakhstan. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 120(8), 5507–5534. <https://doi.org/10.1002/2015JB011925>
- Černý, J., Ramírez-Herrera, M. T., Garcia, E. S., & Ito, Y. (2020). Seafloor morphology along the active margin in Guerrero, Mexico: Probable earthquake implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 102, 102671. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102671>
- Cifuentes, I. L. (1989). The 1960 Chilean earthquakes. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 94(B1), 665–680. <https://doi.org/10.1029/JB094iB01p00665>
- Cisternas, M., Atwater, B. F., Torrejón, F., Sawai, Y., Machuca, G., Lagos, M., Eipert, A., Youlton, C., Salgado, I., Kamataki, T., Shishikura, M., Rajendran, C. P., Malik, J. K., Rizal, Y., & Husni, M.

- (2005). Predecessors of the giant 1960 Chile earthquake. *Nature*, 437(7057), 404–407. <https://doi.org/10.1038/nature03943>
- Codilean, A. T., Bishop, P., & Hoey, T. B. (2006). Surface process models and the links between tectonics and topography. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 30(3), 307–333. <https://doi.org/10.1191/0309133306pp480ra>
- DeCelles, P. G., Ducea, M. N., Kapp, P., & Zandt, G. (2009). Cyclicity in Cordilleran orogenic systems. *Nature Geoscience*, 2(4), 251–257. <https://doi.org/10.1038/ngeo469>
- DeMets, C., Gordon, R. G., & Argus, D. F. (2010). Geologically current plate motions. *Geophysical Journal International*, 181(1), 1–80. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2009.04491.x>
- Diercks, M.-L., Grützner, C., Welte, J., & Ustaszewski, K. (2023). *Challenges and Limits of Remote Sensing of Active Tectonics in the Slowly Deforming Karst Landscape of W Slovenia and Ne Italy* (SSRN Scholarly Paper 4350086). <https://doi.org/10.2139/ssrn.4350086>
- Dragert, H., Hyndman, R. D., Rogers, G. C., & Wang, K. (1994). Current deformation and the width of the seismogenic zone of the northern Cascadia subduction thrust. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 99(B1), 653–668. <https://doi.org/10.1029/93JB02516>
- Ducea, M. N., Valencia, V. A., Shoemaker, S., Reiners, P. W., DeCelles, P. G., Campa, M. F., Morán-Zenteno, D., & Ruiz, J. (2004). Rates of sediment recycling beneath the Acapulco trench: Constraints from (U-Th)/He thermochronology. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 109(B9). <https://doi.org/10.1029/2004JB003112>
- England, P., & Jackson, J. (2011). Uncharted seismic risk. *Nature Geoscience*, 4(6), 348–349. <https://doi.org/10.1038/ngeo1168>
- Fasola, S. L., Brudzinski, M. R., Holtkamp, S. G., Graham, S. E., & Cabral-Cano, E. (2019). Earthquake swarms and slow slip on a sliver fault in the Mexican subduction zone. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(15), 7198–7206. <https://doi.org/10.1073/pnas.1814205116>
- Fitch, T. J. (1972). Plate convergence, transcurrent faults, and internal deformation adjacent to Southeast Asia and the western Pacific. *Journal of Geophysical Research (1896-1977)*, 77(23), 4432–4460. <https://doi.org/10.1029/JB077i023p04432>
- Frankel, K. L., & Pazzaglia, F. J. (2005). Tectonic geomorphology, drainage basin metrics, and active mountain fronts. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 28(1), 7–21.
- Gaidzik, K., Mendecki, M., & Kázmér, M. (2024). Historical earthquakes in the Holy Cross Mountains, Poland, true or false? Unveiling insights through archaeoseismology. *Quaternary Science Reviews*, 344, 108960. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2024.108960>
- Gaidzik, K., & Ramírez-Herrera, M. T. (2017). Geomorphic indices and relative tectonic uplift in the Guerrero sector of the Mexican forearc. *Geoscience Frontiers, Special Issue: Deep Seated Magmas and Their Mantle Roots*, 8(4), 885–902. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2016.07.006>
- Gaidzik, K., Ramírez-Herrera, M. T., Bunn, M., Leshchinsky, B. A., Olsen, M., & Regmi, N. R. (2017). Landslide manual and automated inventories, and susceptibility mapping using LIDAR in the forested mountains of Guerrero, Mexico. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), 1054–1079. <https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1292560>
- Gaidzik, K., Ramírez-Herrera, M. T., & Kostoglodov, V. (2016). Active Crustal Faults in the Forearc Region, Guerrero Sector of the Mexican Subduction Zone. *Pure and Applied Geophysics*, 173(10), 3419–3443. <https://doi.org/10.1007/s00024-015-1213-8>
- Gaidzik, K., & Ramírez-Herrera, M.-T. (2026). Coupled tectonic and surface processes in the Guerrero forearc, Mexico: Insights from the basin-averaged erosion rates. *Earth and Planetary Science Letters*, 679, 119896. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2026.119896>
- Gaidzik, K., Ramírez-Herrera, M.-T., Domínguez, L. A., Coca, O., Forman, S. L., Vargas-Espinosa, V., & Arenas, L. F. (2025). Geomorphic and paleoseismic evidence for active faulting along La Venta Fault, Guerrero, Mexican subduction Forearc. *Geomorphology*, 485, 109869. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2025.109869>
- Galli, P., Galadini, F., & Pantosti, D. (2008). Twenty years of paleoseismology in Italy. *Earth-Science Reviews*, 88(1–2), 89–117. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2008.01.001>
- Giaconia, F., Booth-Rea, G., Martínez-Martínez, J. M., Azañón, J. M., Pérez-Peña, J. V., Pérez-Romero, J., & Villegas, I. (2012). Geomorphic evidence of active tectonics in the Sierra Alhamilla (eastern Betics, SE Spain). *Geomorphology*, 145–146, 90–106. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.12.043>

- Goldfinger, C. (2011). Submarine paleoseismology based on turbidite records. *Annual Review of Marine Science*, 3, 35–66. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-120709-142852>
- Grube, A. (2019). Palaeoseismic structures in Quaternary sediments, related to an assumed fault zone north of the Permian Peissen-Gnutz salt structure (NW Germany) – Neotectonic activity and earthquakes from the Saalian to the Holocene. *Geomorphology*, 328, 15–27. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.12.004>
- Guillot, S. (2026). Linking seismic geochemical and geodynamic perspectives with subduction processes. *Critical Insights in Geochemistry and Geophysics*, 1(1), 2632383. <https://doi.org/10.1080/29932092.2026.2632383>
- Gutscher & Lallemand. (1999). Birth of a major strike-slip fault in SW Japan. *Terra Nova*, 11(5), 203–209. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3121.1999.00247.x>
- Hack, J. (1973). Stream-profile analysis and stream-gradient index. *US Geological Survey Journal of Research*, 1(4), 421–429.
- Hare, P. W., & Gardner, T. W. (1985). Geomorphic Indicators of Vertical Neotectonism along Converging Plate Margins, Nicoya Peninsula Costa Rica. *Tectonic Geomorphology. Proceedings of the 15th Annual Binghamton Geomorphology Symposium*, 123–134.
- Hicks, S. P., & Rietbrock, A. (2015). Seismic slip on an upper-plate normal fault during a large subduction megathrust rupture. *Nature Geoscience*, 8(12), 955–960. <https://doi.org/10.1038/ngeo2585>
- Holzer, T. L., & Savage, J. C. (2013). Global Earthquake Fatalities and Population. *Earthquake Spectra*, 29(1), 155–175. <https://doi.org/10.1193/1.4000106>
- Hoskins, M. C., Meltzer, A., Font, Y., Agurto-Detzel, H., Vaca, S., Rolandone, F., Nocquet, J.-M., Soto-Cordero, L., Stachnik, J. C., Beck, S., Lynner, C., Ruiz, M., Alvarado, A., Hernandez, S., Charvis, P., Regnier, M., Leon-Rios, S., & Rietbrock, A. (2021). Triggered crustal earthquake swarm across subduction segment boundary after the 2016 Pedernales, Ecuador megathrust earthquake. *Earth and Planetary Science Letters*, 553, 116620. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2020.116620>
- Iglesias, A., Singh, S. K., Castro-Artola, O., Pérez-Campos, X., Corona-Fernandez, R. D., Santoyo, M. A., Espíndola, V. H., Arroyo, D., & Franco, S. I. (2022). A Source Study of the Mw 7.0 Acapulco, Mexico, Earthquake of 8 September 2021. *Seismological Research Letters*, 93(6), 3205–3218. <https://doi.org/10.1785/0220220124>
- Kazachkina, E., Kostoglodov, V., Cotte, N., Walpersdorf, A., Ramirez-Herrera, M. T., Gaidzik, K., Husker, A., & Santiago, J. A. (2020). Active 650-km Long Fault System and Xolapa Sliver in Southern Mexico. *Frontiers in Earth Science*, 8. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2020.00155>
- Kazama, M., & Noda, T. (2012). Damage statistics (Summary of the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake damage). *Soils and Foundations, Special Issue on Geotechnical Aspects of the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake*, 52(5), 780–792. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2012.11.003>
- KEEFER, D. K. (1984). Landslides caused by earthquakes. *GSA Bulletin*, 95(4), 406–421. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1984\)95<406:LCBE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1984)95<406:LCBE>2.0.CO;2)
- Keller, E. A., & Pinter, N. (2002). *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape*. Prentice Hall.
- Kirby, E., & Whipple, K. (2001). Quantifying differential rock-uplift rates via stream profile analysis. *Geology*, 29(5), 415–418. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2001\)029<0415:QDRURV>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2001)029<0415:QDRURV>2.0.CO;2)
- Kirby, E., & Whipple, K. X. (2012). Expression of active tectonics in erosional landscapes. *Journal of Structural Geology*, 44, 54–75. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2012.07.009>
- Klotz, J., Khazaradze, G., Angermann, D., Reigber, C., Perdomo, R., & Cifuentes, O. (2001). Earthquake cycle dominates contemporary crustal deformation in Central and Southern Andes. *Earth and Planetary Science Letters*, 193(3), 437–446. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(01\)00532-5](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(01)00532-5)
- Koshimura, S., Hayashi, S., & Gokon, H. (2014). The impact of the 2011 Tohoku earthquake tsunami disaster and implications to the reconstruction. *Soils and Foundations*, 54(4), 560–572. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2014.06.002>

- Kostoglodov, V., Cotte, N., Walpersdorf, A., Husker, A., & Santiago, J. A. (2014). Mysterious SSE of the Guerrero land. *Roceedings of the Annual Meeting of the Mexican Geophysical Union*. Annual Meeting of the Mexican Geophysical Union, Puerto Vallarta, Mexico.
- Kostoglodov, V., & Ponce, L. (1994). Relationship between subduction and seismicity in the Mexican part of the Middle America Trench. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 99(B1), 729–742. <https://doi.org/10.1029/93JB01556>
- Lallemant, H., & Oldow, J. (2000). Active displacement partitioning and arc-parallel extension of the Aleutian volcanic arc based on Global Positioning System geodesy and kinematic analysis. *Geology*, 28, 739–742. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2000\)28<739:ADPAAE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2000)28<739:ADPAAE>2.0.CO;2)
- Lange, D., Cembrano, J., Rietbrock, A., Haberland, C., Dahm, T., & Bataille, K. (2008). First seismic record for intra-arc strike-slip tectonics along the Liquiñe-Ofqui fault zone at the obliquely convergent plate margin of the southern Andes. *Tectonophysics*, 455(1), 14–24. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2008.04.014>
- Lowry, A., Larson, K., Kostoglodov, V., & Sanchez Zamora, O. (2005). *The fault slip budget in Guerrero, southern Mexico*. 200, 1–15.
- Magni, V., Király, Á., Lynner, C., Avila, P., & Gill, J. (2025). Mantle flow in subduction systems and its effects on surface tectonics and magmatism. *Nature Reviews Earth & Environment*, 6(1), 51–66. <https://doi.org/10.1038/s43017-024-00612-3>
- Mahmood, S. A., & Gloaguen, R. (2012). Appraisal of active tectonics in Hindu Kush: Insights from DEM derived geomorphic indices and drainage analysis. *Geoscience Frontiers*, 3(4), 407–428. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2011.12.002>
- Malamud, B. D., Turcotte, D. L., Guzzetti, F., & Reichenbach, P. (2004). Landslides, earthquakes, and erosion. *Earth and Planetary Science Letters*, 229(1), 45–59. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2004.10.018>
- Marshall, J. S., & Anderson, R. S. (1995). Quaternary uplift and seismic cycle deformation, Península de Nicoya, Costa Rica. *GSA Bulletin*, 107(4), 463–473. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1995\)107<0463:QUASCD>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1995)107<0463:QUASCD>2.3.CO;2)
- McCaffrey, R. (2009). The Tectonic Framework of the Sumatran Subduction Zone. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 37(Volume 37, 2009), 345–366. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.031208.100212>
- McCaffrey, R., Zwick, P. C., Bock, Y., Prawirodirdjo, L., Genrich, J. F., Stevens, C. W., Puntodewo, S. O., & Subarya, C. (2000). Strain partitioning during oblique plate convergence in northern Sumatra: Geodetic and seismologic constraints and numerical modeling. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105(B12), 28363–28376. <https://doi.org/10.1029/1999JB900362>
- McCalpin, J. (Ed.). (2009). *Paleoseismology* (2nd ed). Academic Press.
- McCalpin, J., & Reicherter, K. (2018). Introduction to the special issue: Paleoseismology, active tectonics and archaeoseismology. *Geomorphology*, 326. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.11.001>
- Melnick, D., Bookhagen, B., Strecker, M. R., & Echtler, H. P. (2009). Segmentation of megathrust rupture zones from fore-arc deformation patterns over hundreds to millions of years, Arauco peninsula, Chile. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 114(B1). <https://doi.org/10.1029/2008JB005788>
- Merritts, D. J., Vincent, K. R., & Wohl, E. E. (1994). Long river profiles, tectonism, and eustasy: A guide to interpreting fluvial terraces. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 99(B7), 14031–14050. <https://doi.org/10.1029/94JB00857>
- Miller, S. R., Baldwin, S. L., & Fitzgerald, P. G. (2012). Transient fluvial incision and active surface uplift in the Woodlark Rift of eastern Papua New Guinea. *Lithosphere*, 4(2), 131–149. <https://doi.org/10.1130/L135.1>
- Molnar, P., & England, P. (1990). Late Cenozoic uplift of mountain ranges and global climate change: Chicken or egg? *Nature*, 346(6279), Article 6279. <https://doi.org/10.1038/346029a0>
- Morell, K. D. (2016). Seamount, ridge, and transform subduction in southern Central America. *Tectonics*, 35(2), 357–385. <https://doi.org/10.1002/2015TC003950>
- Morell, K. D., Gilroy, K., Finley, T., & Harriehausen, N. (2025). Subduction Zone Obliquity Dictates Global Trench-Parallel Inner Forearc Deformation. *AGU Advances*, 6(1), e2024AV001468. <https://doi.org/10.1029/2024AV001468>

- Ortiz, M., Singh, S. K., Kostoglodov, V., & Pacheco, J. (2000). Source areas of the Acapulco-San Marcos, Mexico earthquakes of 1962 (M 7.1; 7.0) and 1957 (M 7.7), as constrained by tsunami and uplift records. *Geofísica Internacional*, 39, 337–348. <https://doi.org/10.22201/igeof.00167169p.2000.39.4.244>
- Ouchi, S. (1985). Response of alluvial rivers to slow active tectonic movement. *GSA Bulletin*, 96(4), 504–515. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1985\)96<504:ROARTS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1985)96<504:ROARTS>2.0.CO;2)
- Pazzaglia, F. J., & Brandon, M. T. (2001). A Fluvial Record of Long-term Steady-state Uplift and Erosion Across the Cascadia Forearc High, Western Washington State. *American Journal of Science*, 301(4–5). <https://doi.org/10.2475/ajs.301.4-5.385>
- Personius, S. F. (1995). Late Quaternary stream incision and uplift in the forearc of the Cascadia subduction zone, western Oregon. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 100(B10), 20193–20210. <https://doi.org/10.1029/95JB01684>
- Plafker, G. (1970). *Tectonics of the March 27, 1964, Alaska Earthquake*. U.S. Government Printing Office.
- Prentice, C. S., Kendrick, K., Berryman, K., Bayasgalan, A., Ritz, J. F., & Spencer, J. Q. (2002). Prehistoric ruptures of the Gurvan Bulag fault, Gobi Altay, Mongolia. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 107(B12), ESE 1-1-ESE 1-18. <https://doi.org/10.1029/2001JB000803>
- Ramírez-Herrera, M. T., Corona, N., Černý, J., Gaidzik, K., Sugawara, D., Forman, S. L., Machain-Castillo, M. L., & Gogichaishvili, A. (2024). Tsunami deposits highlight high-magnitude earthquake potential in the Guerrero seismic gap Mexico. *Communications Earth & Environment*, 5(1), 198. <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01364-0>
- Ramírez-Herrera, M. T., Cundy, A., Kostoglodov, V., Carranza-Edwards, A., Morales, E., & Metcalfe, S. (2007). Sedimentary record of late-Holocene relative sea-level change and tectonic deformation from the Guerrero Seismic Gap, Mexican Pacific Coast. *The Holocene*, 17(8), 1211–1220. <https://doi.org/10.1177/0959683607085127>
- Ramírez-Herrera, M. T., & Gaidzik, K. (2017). La Pintada landslide—A complex double-staged extreme event, Guerrero, Mexico. *Cogent Geoscience*, 3(1), 1356012. <https://doi.org/10.1080/23312041.2017.1356012>
- Ramírez-Herrera, M. T., Gaidzik, K., Forman, S., Kostoglodov, V., Bürgmann, R., & Johnson, C. W. (2018). Relating the long-term and short-term vertical deformation across a transect of the forearc in the central Mexican subduction zone. *Geosphere*, 14(2), 419–439. <https://doi.org/10.1130/GES01446.1>
- Ramírez-Herrera, M. T., Gaidzik, K., & Forman, S. L. (2021). Spatial Variations of Tectonic Uplift—Subducting Plate Effects on the Guerrero Forearc, Mexico. *Frontiers in Earth Science*, 8. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2020.573081>
- Ramírez-Herrera, M. T., Kostoglodov, V., & Urrutia-Fucugauchi, J. (2011). Overview of Recent Coastal Tectonic Deformation in the Mexican Subduction Zone. *Pure and Applied Geophysics*, 168(8), 1415–1433. <https://doi.org/10.1007/s00024-010-0205-y>
- Ramírez-Herrera, M.-T., & Urrutia-Fucugauchi, J. (1999). Morphotectonic zones along the coast of the Pacific continental margin, southern Mexico. *Geomorphology*, 28(3), 237–250. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(99\)00016-1](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(99)00016-1)
- Rehak, K., Strecker, M. R., & Echtler, H. P. (2008). Morphotectonic segmentation of an active forearc, 37°–41°S, Chile. *Geomorphology*, 94(1), 98–116. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.05.002>
- Rizza, M., Ritz, J.-F., Braucher, R., Vassallo, R., Prentice, C., Mahan, S., McGill, S., Chauvet, A., Marco, S., Todbileg, M., Demberel, S., & Bourlès, D. (2011). Slip rate and slip magnitudes of past earthquakes along the Bogd left-lateral strike-slip fault (Mongolia). *Geophysical Journal International*, 186(3), 897–927. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2011.05075.x>
- Satake, K., & Atwater, B. F. (2007). Long-Term Perspectives on Giant Earthquakes and Tsunamis at Subduction Zones*. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 35(Volume 35, 2007), 349–374. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.35.031306.140302>
- Schellart, W. P. (2008). Overriding plate shortening and extension above subduction zones: A parametric study to explain formation of the Andes Mountains. *Geological Society of America Bulletin*, 120(11–12), 1441–1454. <https://doi.org/10.1130/B26360.1>

- Schellart, W. P. (2023). Subduction Zones: A Short Review. In J. C. Duarte (Ed.), *Dynamics of Plate Tectonics and Mantle Convection* (pp. 321–355). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85733-8.00009-3>
- Schumm, S. A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *GSA Bulletin*, 67(5), 597–646. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67\[597:EODSAS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2)
- Senatorski, P. (2023). Sejsmiczność, trzęsienia ziemi i lingwistyka. *Przegląd Geofizyczny*, 68(3–4), 185–198. <https://doi.org/10.32045/PG-2023-042>
- Shirzaei, M., Bürgmann, R., Oncken, O., Walter, T. R., Victor, P., & Ewiak, O. (2012). Response of forearc crustal faults to the megathrust earthquake cycle: InSAR evidence from Mejillones Peninsula, Northern Chile. *Earth and Planetary Science Letters*, 333–334, 157–164. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2012.04.001>
- Soto, D. M., Mann, P., Escalona, A., & Wood, L. J. (2007). Late Holocene strike-slip offset of a subsurface channel interpreted from three-dimensional seismic data, eastern offshore Trinidad. *Geology*, 35(9), 859–862. <https://doi.org/10.1130/G23738A.1>
- Steer, P., Simoes, M., Cattin, R., & Shyu, J. B. H. (2014). Erosion influences the seismicity of active thrust faults. *Nature Communications*, 5(1), 5564. <https://doi.org/10.1038/ncomms6564>
- Stein, S. (2007). Approaches to continental intraplate earthquake issues. In S. Stein & S. Mazzotti, *Continental Intraplate Earthquakes: Science, Hazard, and Policy Issues*. Geological Society of America. [https://doi.org/10.1130/2007.2425\(01\)](https://doi.org/10.1130/2007.2425(01))
- Stein, S., Liu, M., Camelbeeck, T., Merino, M., Landgraf, A., Hintersberger, E., & Kübler, S. (2017). Challenges in assessing seismic hazard in intraplate Europe. *Geological Society, London, Special Publications*, 432(1), 13–28. <https://doi.org/10.1144/SP432.7>
- Stokes, M., Mather, A. E., Belfoul, A., & Farik, F. (2008). Active and passive tectonic controls for transverse drainage and river gorge development in a collisional mountain belt (Dades Gorges, High Atlas Mountains, Morocco). *Geomorphology, Impact of Active Tectonics and Uplift on Fluvial Landscapes and Drainage Development*, 102(1), 2–20. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.06.015>
- Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *GSA Bulletin*, 63(11), 1117–1142. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[1117:HAAOET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2)
- Strahler, A. N. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basin and channel networks. In *Handbook of Applied Hydrology* (pp. 439–476). McGraw-Hill.
- Taylor, F. W., Frohlich, C., Lecolle, J., & Strecker, M. (1987). Analysis of partially emerged corals and reef terraces in the central Vanuatu arc—Comparison of contemporary coseismic and nonseismic with Quaternary vertical movements. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, (92), 4905–4933.
- van der Wal, J. L. N., Nottebaum, V. C., Gailleton, B., Stauch, G., Weismüller, C., Batkhashig, O., Lehmkuhl, F., & Reicherter, K. (2020). Morphotectonics of the northern Bogd fault and implications for Middle Pleistocene to modern uplift rates in southern Mongolia. *Geomorphology*, 367, 107330. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107330>
- Walker, R. T., Wegmann, K. W., Bayasgalan, A., Carson, R. J., Elliott, J., Fox, M., Nissen, E., Sloan, R. A., Williams, J. M., & Wright, E. (2017). The Egiin Davaa prehistoric rupture, central Mongolia: A large magnitude normal faulting earthquake on a reactivated fault with little cumulative slip located in a slowly deforming intraplate setting. *Geological Society, London, Special Publications*, 432(1), 187–212. <https://doi.org/10.1144/SP432.4>
- Wallace, R. (1968). *Notes on stream channels offset by the San Andreas fault, southern Coast Ranges, California*. 11, 6–21.
- Wang, Z. (2011). Seismic Hazard Assessment: Issues and Alternatives. *Pure and Applied Geophysics*, 168(1), 11–25. <https://doi.org/10.1007/s00024-010-0148-3>
- Wells, D. L., & Coppersmith, K. J. (1994). New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84(4), 974–1002. <https://doi.org/10.1785/BSSA0840040974>
- Wesson, R. L., Melnick, D., Cisternas, M., Moreno, M., & Ely, L. L. (2015). Vertical deformation through a complete seismic cycle at Isla Santa María, Chile. *Nature Geoscience*, 8(7), 547–551. <https://doi.org/10.1038/ngeo2468>

- Wobus, C., Whipple, K. X., Kirby, E., Snyder, N., Johnson, J., Spyropolou, K., Crosby, B., & Sheehan, D. (2006). Tectonics from topography: Procedures, promise, and pitfalls. In S. D. Willett, N. Hovius, M. T. Brandon, & D. M. Fisher, *Tectonics, Climate, and Landscape Evolution*. Geological Society of America. [https://doi.org/10.1130/2006.2398\(04\)](https://doi.org/10.1130/2006.2398(04))
- Wyss, M., & Brune, J. N. (1967). The Alaska earthquake of 28 March 1964: A complex multiple rupture. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 57(5), 1017–1023. <https://doi.org/10.1785/BSSA0570051017>

d) Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Tematyka moich pozostałych badań obejmuje rozmaite zagadnienia dotyczące tektoniki, geologii strukturalnej, geomorfologii, powierzchniowych ruchów masowych, a także paleo- i archeosejsmologii, zarówno w strefach subdukcji, jak i obszarach wewnątrzpłytyowych (ang. *intraplate settings*) Do najważniejszych tematów należą: (i) ewolucja rzeźby terenu oraz aktywna tektonika na płycie nadsubdukcyjnej w peruwiańskiej strefie subdukcji, (ii) historyczne trzęsienia ziemi w świetle badań archeosejsmologicznych, (iii) powierzchniowe ruchy masowe i podatność osuwiskowa, (iv) multidyscyplinarne podejście do badań paleotsunami na meksykańskim wybrzeżu pacyficznym oraz (v) inne zagadnienia związane z tektoniką i analizą strukturalną, w których brałem udział jako członek zespołów badawczych.

(i) ewolucja rzeźby terenu oraz aktywna tektonika na płycie nadsubdukcyjnej w peruwiańskiej strefie subdukcji.

Badania naukowe w Peru prowadzę od 2008 roku, kiedy po raz pierwszy pojechałem do tego kraju w ramach Polskich Wypraw Naukowych do Peru jako student ostatniego roku studiów magisterskich na zaproszenie Profesora Jerzego Żaby (UŚ), ówczesnego promotora pracy magisterskiej oraz Profesora Andrzeja Paulo z AGH w Krakowie. Początkowo badania te skupiały się na zagadnieniach geologii strukturalnej (np. Żaba et al., 2012; *Annales Societatis Geologorum Poloniae*), czy szeroko pojętej mineralogii (np. Ciesielczuk et al., 2013; *Journal of South American Earth Sciences*; doi.org/10.1016/j.jsames.2012.06.016).

Po stażu podoktorskim na Narodowym Autonomicznym Uniwersytecie Meksyku (UNAM), kiedy moje zainteresowania naukowe przesunęły się w kierunku aktywnej tektoniki, rozpocząłem badania z zakresu geomorfologii tektonicznej oraz powiązania rzeźby terenu i aktywności sejsmicznej z aktywnością wulkaniczną w znanym sobie z poprzednich wypraw rejonie rzeki Colca w południowym Peru w strefie nadsubdukcyjnej. Od 2021 jestem kierownikiem projektu OPUS „Ewolucja rzeźby i aktywna tektonika w Andach Środkowych” (2020/39/B/ST10/00042), w ramach którego wraz z międzynarodowym zespołem badawczym prowadzimy badania w tym niezwykle interesującym miejscu na Ziemi, jak również innych miejscach Peruwiańskiej strefy subdukcji. Stosując szeroki wachlarz metod badawczych w ostatnich latach udało się:

- Powiązać okresową aktywizację powolnych ruchów masowych w Dolinie Colca z aktywnością sejsmiczną, jak również zastaną siecią uskoków skorupowych (Gaidzik et al., 2020; *Journal of Mountain Science*; doi.org/10.1007/s11629-020-6099-y).
- Wskazać sejsmogeniczny potencjał aktywnych uskoków skorupowych oraz dowiązać ich przebieg w morfologii terenu ze zidentyfikowanymi instrumentalnie trzęsieniami ziemi z ostatnich 30 lat wykorzystując w tym celu tzw. sejsmolineamenty, wraz z implikacjami dla szacowania zagrożenia sejsmicznego (Gaidzik & Więsek, 2021; *Journal of South*

American Earth Sciences; doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103303). Na podstawie przeprowadzonej analizy lineamentów bazującej na obrazach satelitarnych i DEM, wykazano, że uskoki na tym obszarze mogą generować trzęsienia ziemi o maksymalnej magnitudzie rzędu M_w 7,3–7,4, głównie o charakterze ekstensyjnym z poziomym rozciąganiem prostopadłym do osi rowu oceanicznego. Reaktywacja tych struktur może być związana z: (1) podziałem naprężeń w skośnej strefie subdukcji (ang. *strain partitioning in the oblique subduction zone*), (2) sejsmiczną aktywnością skorupową indukowaną przez trzęsienia subdukcyjne, (3) ekstensją w strefach maksymalnego wypiętrzania nad subdukującą płytą i/lub (4) aktywnością wulkaniczną.

- Określić skład chemiczny i izotopowy wód termalnych w rejonie Colca i na tej podstawie wskazać źródła fluidów i ich pochodzenie oraz oszacować temperaturę potencjalnego zbiornika geotermalnego, a także wskazać wzajemne powiązania między wodami termalnymi a aktywnością tektoniczną i wulkaniczną (Tyc et al., 2022; *Journal of Volcanology and Geothermal Research*; doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2022.107513). Analizy wykazały, iż dominujące wody termalne bogate w chlorki (głównie chlorek sodu) mają pochodzenie meteoryczne, jednak ulegają dojrzewaniu w zbiorniku geotermalnym, prawdopodobnie zasilanym przez gazy magmowe i wypływają w Kanionie i Dolinie Colca, wykazując zróżnicowane właściwości hydrogeochemiczne. Szacowana temperatura zbiornika wynosi 180–200°C, a dla najgorętszych źródeł i gejzerów osiąga ok. 240°C. Badane źródła termalne wykazują wyraźną przestrzenną korelację z aktywnymi, sejsmogenicznymi uskokami skorupowymi o przebiegu W–NW, obejmującymi uskoki normalne i przesuwcze. Struktury te pełnią jednocześnie rolę barier dla infiltrujących wód meteorycznych, oraz dróg migracji i ascenzji roztworów hydrotermalnych i gazów ku powierzchni.
- Wykazać powiązania pomiędzy aktywnością tektoniczną i wulkaniczną, a rozwojem pokryw trawertynowych i ewolucją zjawisk krasowych skutkujących powstaniem jaskiń i rozległych zapadlisk w rejonie Huambo (Tyc et al., 2024; *International Journal of Speleology*; doi.org/10.5038/1827-806X.53.2.2503). Analizy speleologiczne, geomorfologiczne, mineralogiczne, izotopowe oraz strukturalne wykazały, iż struktury krasowe mogły powstać w wyniku speleogenezy SAS związanej z kwasem siarkowym (*Sulfuric acid speleogenesis, SAS*), w związku z aktywnością wulkaniczną kompleksu Ampato-Sabancaya oraz obecnością aktywnych uskoków skorupowych, które działały jako drogi migracji roztworów hydrotermalnych bogatych w CO_2 i H_2S .
- Scharakteryzować interakcje między płytkimi trzęsieniami ziemi w płycie nadsubdukcyjnej oraz ocenić wpływ inflacji magmowej na zdarzenia sejsmiczne poprzez analizę transferu statycznych naprężeń Coulomba wywołanych przez wybrane największe trzęsienia ziemi w latach 1991–2022 (Woszczycka et al., 2024; *Seismological Research Letters*; doi.org/10.1785/0220230261). Uzyskane wyniki potwierdzają tektoniczne pochodzenie większości trzęsień ziemi w regionie Colca. Chociaż zmiana naprężeń Coulomba spowodowana przez silne trzęsienia ziemi miała większy wpływ niż ta wynikająca z inflacji magmowej, transfer naprężeń Coulomba wydaje się nie być czynnikiem dominującym w określaniu występowania i lokalizacji trzęsień ziemi na tym obszarze. Wyniki wskazują, że większość uskoków źródłowych analizowanych trzęsień

ziemi nie została przybliżona do stanu krytycznego w wyniku dodatniego transferu naprężeń Coulomba wywołanego aktywnością sejsmiczną lub inflacją magmową.

- Zidentyfikować mezozoiczno-kenozoiczne zdarzenia geologiczne zachodzące w Kordylierze Zachodniej w Andach Peruwiańskich poprzez szczegółową analizę automorficznych skaleni i towarzyszących im minerałów w kredowych wapieniach Ashua z rejonu rzeki Colca (Ciesielczuk et al., 2026; *GSA Bulletin*; doi.org/10.1130/B38538.1).

Ponadto dzięki współpracy z naukowcami z Instytutu Geologiczno-Górniczego i Metalurgicznego (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, INGEMMET) w Peru, brałem udział również w badaniach aktywnej tektoniki, głównie metodami paleosejsmologicznymi oraz archeosejsmologicznymi, w innych rejonach Peru. Do najważniejszych osiągnięć należy zaliczyć:

- Wykazanie na podstawie sześciu szurfów paleosejsmicznych, iż zdarzenia sejsmiczne wywoływane w czwartorzędzie przez system uskoku Incapuquio doprowadzały czasami do reaktywacji całego systemu, innym razem jedynie poszczególnych segmentów. Te większe zdarzenia reaktywujące cały system uskoku czasowo pokrywają się z erupcjami pliniańskimi wulkanu Misti oraz dużymi osuwiskami w przedłuku andyjskim, co sugeruje możliwość interakcji między uskokami skorupy ziemskiej, wulkanizmem oraz redystrybucją naprężeń związaną z subdukcyjnym cyklem sejsmicznym (Benavente et al., 2025; *Tectonophysics*; doi.org/10.1016/j.tecto.2025.230877).
- Udowodnienie metodami archeosejsmologicznymi i paleosejsmologicznymi, iż „tajemnicze” opuszczenie przez ludzi stanowiska Pikillaqta w Dolinie Cusco około 900 r. n.e., miało związek z dwoma skorupowymi trzęsieniami ziemi datowanymi na okres 770–900 r. n.e. oraz 856–988 r. n.e. na podstawie danych z szurfów paleosejsmicznych. Zdarzenia te, występując jednocześnie lub w krótkim odstępie czasu, wywołały kryzys oraz zidentyfikowany w strefie archeologicznej spływ gruzowy, który doprowadził do opuszczenia tego miejsca (García et al., 2025; *Geoarchaeology*; doi.org/10.1002/gea.70033).
- Udowodnienie, że aktywność gigantycznych osuwisk wzdłuż zachodnich zboczy Andów Centralnych wzrasta w okresach interglacjalnych, sugerując, że zmiany klimatu w przeszłości, szczególnie przejścia z warunków hiper-suchych do długotrwale bardziej wilgotnych, odgrywały kluczową rolę w aktywności dużych osuwisk. W tym celu wydatowano osiem gigantycznych paleoosuwisk koncentrujących się na zachodnich zboczach Andów Centralnych, wykorzystując datowanie czasu ekspozycji metodą nuklidów kosmogenicznych (Delgado et al., 2025; *Journal of South American Earth Sciences*; doi.org/10.1016/j.jsames.2024.105290).

(ii) historyczne trzęsienia ziemi w świetle badań archeosejsmologicznych

Ocena zagrożenia sejsmicznego dla wybranego obszaru w dominującym stopniu zależy od jakości, kompletności i wiarygodności sejsmicznych danych wejściowych (Gaidzik et al., 2024). Większość analiz opiera się jednak wyłącznie lub głównie na danych instrumentalnych, które obejmują zazwyczaj bardzo krótki przedział czasu, maksymalnie około 100 lat, przy czym dla większości obszarów świata dostępne są serie danych obejmujące jedynie 30–50 lat obserwacji. Przy pewnych założeniach, tak krótki okres może być uznany za relatywnie

reprezentatywny dla stref subdukcji, choć nawet tam często nie obejmuje największych trzęsień ziemi, charakteryzujących się długimi okresami rekurencji. Natomiast w przypadku wewnątrzpłytkowych obszarów o niskim tempie deformacji, gdzie odstępy czasowe pomiędzy znaczącymi wstrząsami mogą wynosić setki lub nawet tysiące lat (Stein, 2007; Stein et al., 2017), instrumentalny zapis sejsmiczny nie jest reprezentatywny dla rzeczywistej aktywności sejsmicznej. Z tego względu wykorzystuje się metody paleosejsmologiczne. Podejście to ma jednak dwa podstawowe ograniczenia. Po pierwsze, w przypadku najmłodszych zdarzeń rozdzielczość czasowa tych metod bywa niewystarczająca, przez co często nie uzyskuje się informacji o historycznych trzęsieniach ziemi. Po drugie, metody paleosejsmologiczne nie pozwalają na detekcję wstrząsów związanych ze ślepyimi uskoki (ang. *blind faults*), które nie manifestują się na powierzchni terenu. W tym kontekście istotnym uzupełnieniem katalogów sejsmicznych mogą być badania archeosejsmologiczne. Pomimo licznych niejednoznaczności interpretacyjnych dostarczają one bowiem cennych informacji o historycznych i prehistorycznych trzęsieniach ziemi, szczególnie na obszarach o ograniczonym instrumentalnym zapisie sejsmicznym. W ostatnich kilku latach prowadziłem tego typu badania w różnych obszarach, od stref subdukcji po obszary wewnątrzpłytkowe, bazując zarówno na danych archiwalnych/historycznych, strefach archeologicznych, jak również monumentach historycznych, np. kościołach, czy zamkach. Badania te pozwoliły mi wykazać potencjalną aktywność sejsmiczną w czasach średniowiecznych i późniejszych w rejonie Gór Świętokrzyskich (Gaidzik et al., 2024; *Quaternary Science Reviews*; doi.org/10.1016/j.quascirev.2024.108960) oraz wzdłuż uskoku Børglum w Skandynawii, stanowiącego element strefy T-T (Gaidzik & Kázmér, 2023; *Quaternary Science Reviews*; doi.org/10.1016/j.quascirev.2022.107933). Ponadto uczestniczyłem w badaniach archeosejsmologicznych podczas prac terenowych i/lub interpretacji zebranych danych, które to analizy pozwoliły:

- (1) wykazać obecność destrukcyjnego trzęsienia ziemi w roku 1541 w Wyszegradzie na Węgrzech, co ma istotne implikacje dla proponowanego miejsca postawienia tamy na Dunaju (Kázmér et al., 2021; *Seismological Research Letters*; doi.org/10.1785/0220210058),
- (2) udowodnić aktywność sejsmiczną przez ostatnie dwa tysiące lat wzdłuż uskokuw perydriatyckiego i Sawy, wykorzystując budowle średniowieczne oraz z czasów rzymskich zlokalizowane obecnie w Austrii, Słowenii, Chorwacji i Włoszech, (Kázmér & Gaidzik, 2024; *Geosciences*; doi.org/10.3390/geosciences14120331), między innymi wskazać na silne trzęsienie ziemi jakie nawiedziło rzymską osadę Celje (obecnie Słowenia) przed 350 AD, (Kázmér et al., 2023; *Quaternary*; doi.org/10.3390/quat6010010) oraz udowodnić uprzednio nieznany wstrząs z 1440 AD, który nawiedził i w znacznym stopniu zniszczył Istrię (Chorwacja). W tym celu przebadaliśmy Bazylikę Eufrazjusza w Poreču (Kázmér & Gaidzik, 2026; *Alpine and Mediterranean Quaternary*; doi.org/10.26382/AMQ.2026.02),
- (3) udowodnić aktywność sejsmiczną we wnętrzu płyty arabskiej, wraz z określeniem wieku, intensywności i potencjalnego źródła stwierdzonych trzęsień ziemi, na podstawie analiz obiektów w Jordanii, Syrii, Iraku czy Omanie (np. Kázmér et al., 2023; *Quaternary International*; doi.org/10.1016/j.quaint.2023.05.016; Kázmér et al., 2024; *Environmental*

- (4) zasugerować silne trzęsienie ziemi, które spowodowało znaczne wypiętrzenie terenu (ok. 1 m), w początku VIII wieku w południowych Indiach, na podstawie różnicy w poziomie pomiędzy świątynią w Mahabalipuram i później wybudowaną studnią, a także na podstawie użyteczności lub jej braku dla zbudowanego kanału oraz mostu: obecny poziom kanału jest tak wysoki, iż most jest całkowicie zbędny, przy niemalże braku zmian względnego poziomu morza to sugeruje trzęsienie ziemi (Kázmér et al., 2022; *Quaternary International*; doi.org/10.1016/j.quaint.2022.02.014).

(iii) powierzchniowe ruchy masowe i podatność osuwiskowa

Oprócz badań *stricto* związanych z tektoniką i geologią strukturalną, w ramach stażu podoktorskiego, brałem udział w opracowaniu nowego protokołu do wykonywania semi-automatycznych map podatności osuwiskowej dla Meksyku w różnych skalach w zależności od dostępności materiałów wejściowych. Wyniki tych badań i zaproponowana metodologia, została zaprezentowana na spotkaniach z decydentami w Meksyku i zaaplikowana w powstających atlasach zagrożeń dla wybranych stanów Meksyku, jak również opublikowana w czasopismach naukowych. Do najważniejszych wyników należy zaliczyć samą zaproponowaną metodologię wykorzystującą do obliczeń podatności osuwiskowej regresję logistyczną, zaś do szkolenia algorytmu inwentaryzację manualną lub automatyczną na podstawie tzw. metody połączonych konturów (*Contour Connection Method, CCM*) (Gaidzik et al., 2017; *Geomatics, Natural Hazards and Risk*; doi.org/10.1080/19475705.2017.1292560). Metoda ta bazowała głównie na danych w wysokiej rozdzielczości (LiDAR). Aby pokazać zależność zaproponowanej metodyki od rozdzielczości i jakości użytych danych, przeprowadziłem dalszą szczegółową analizę i ocenę wpływu różnic danych wejściowych na jakość i poprawność wynikowych map podatności osuwiskowej, wskazując iż istotne znaczenie ma zarówno baza danych, rozdzielczość DEM, sposób identyfikacji osuwisk jak i metoda opróbowania. Dobór odpowiedniej metodyki i danych wejściowych zależy jednak przede wszystkim od przeznaczenia i skali wykonywanej analizy (Gaidzik & Ramírez-Herrera, 2021; *Scientific Reports*; doi.org/10.1038/s41598-021-98830-y). Ponadto w ramach badań osuwiskowych skupiłem się bardziej szczegółowo na jednym konkretnym osuwisku, które miało miejsce 16 września 2013 r. i spowodowało 71 ofiar śmiertelnych oraz zniszczyło znaczną część wioski La Pintada. Dzięki zastosowaniu technik teledetekcyjnych z wykorzystaniem LiDAR DEM oraz obrazów wysokiej rozdzielczości i modelowi SfM (*Structure from Motion*), kartowaniu terenowemu, wywiadom ze świadkami zdarzenia, testom geotechnicznym materiału koluwalnego z osuwiska oraz analizie stateczności zbocza, wykazaliśmy, iż osuwisko w La Pintada było złożonym, dwufazowym zdarzeniem, spowodowanym intensywnymi czterodniowymi opadami deszczu związanymi z huraganem Manuel, jak również brakiem pokrywy roślinnej oraz podcinaniem podstawy zbocza. Ponadto sugerujemy, że wzrost intensywności ekstremalnych burz przyczynia się do zwiększenia liczby osuwisk w tym regionie (Ramírez-Herrera & Gaidzik, 2017; *Cogent Geoscience*; doi.org/10.1080/23312041.2017.1356012), co ma istotne implikacje na przyszłość, co potwierdziły bardzo powszechne i katastrofalne osuwiska związane z kolejnym huraganem Otis

z 2023 roku (Ramírez-Herrera et al., 2025; *Global and Earth Surface Processes Change*; doi.org/10.1016/j.gespch.2025.100004).

(iv) multidyscyplinarne podejście do badań paleotsunami na meksykańskim wybrzeżu pacyficznym

Oprócz wyżej wymienionych tematów badawczych, w czasie od doktoratu brałem udział w wielu innych projektach, zespołach badawczych, których rezultaty albo zamykały się w pojedynczych publikacjach, albo nie stanowiły głównego nurtu moich dociekań naukowych. Do tego typu badań należą badania związane z poszukiwaniem dowodów osadów paleotsunami na pacyficznym wybrzeżu Meksyku, głównie w sektorze Guerrero (Ramírez-Herrera et al., 2024; *Communications Earth & Environment*; doi.org/10.1038/s43247-024-01364-0) i Oaxaca (Coca et al., 2025; *Marine Geology*; doi.org/10.1016/j.margeo.2025.107617), jak również wykazanie, iż w warunkach klimatu tropikalnego (np. zachodnie wybrzeża Meksyku) w celu potwierdzenia obecności osadów paleotsunami konieczne jest zastosowanie wielu wskaźników (proxy) (Ramírez-Herrera et al., 2017; *Geofísica Internacional*; doi.org/10.19155/geofint.2017.056.1.4). Szczególnie istotne okazały się badania w strefie Guerrero, które potwierdziły obecność przedhistorycznych i historycznych subdukcyjnych megatrzęsień ziemi i związanych z nimi paleotsunami w obrębie luki sejsmicznej Guerrero, wskazując na efemeryczność tej strefy, związanej z krótkim zakresem danych instrumentalnych (Ramírez-Herrera et al., 2024; *Communications Earth & Environment*; doi.org/10.1038/s43247-024-01364-0), co sugerowały inne moje badania włączone do cyklu (Gaidzik et al., 2016; Gaidzik & Ramírez-Herrera, 2017, 2026; Ramírez-Herrera et al., 2018, 2021).

(v) inne zagadnienia związane z tektoniką i analizą strukturalną

Dodatkowa tematyka związana jest z badaniami aktywnej tektoniki w strefach wewnątrzpłytowych, czyli zastosowaniu analogicznych metod, jakie stosowałem w rejonach nadsubdukcyjnych, ale do obszarów wolno deformowanych (ang. *low deformation rates areas*), np. Karpaty Zewnętrzne (Godziek & Gaidzik, 2020; *Journal of Mountain Science*; doi.org/10.1007/s11629-020-6121-4), czy basen podhalański (Szczygieł et al., 2026; *Geomorphology*; doi.org/10.1016/j.geomorph.2025.110134). W pierwszych badaniach analiza morfometryczna sugeruje silny związek rzeźby terenu z odziedziczonymi strukturami tektonicznymi, jak również potencjalnie aktywnymi w czwartorzędzie strukturami. Natomiast badania na Podhalu obejmujące szurf paleosejsmiczny wraz z badaniami geofizycznymi i geomorfologicznymi wskazują na występowanie prawoskrętno-zrutowego uskoku aktywnego w rejonie Brzegów o przebiegu NNW-SSE, który stanowi uskok antytetyczny w stosunku do głównego uskoku lewoskrętnego o przebiegu NE-SW.

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

– Projekty krajowe:

- Kierownik projektu NCN OPUS: Ewolucja rzeźby i aktywna tektonika w Andach Środkowych, 06.2021-06.2027
- Opiekun naukowy doktoranta w projekcie NCN PRELUDIUM: Czynniki wywołujące i potencjalne interakcje aktywności sejsmicznej i wulkanicznej w regionie rzeki Colca, Andy Środkowe, południowe Peru (kierownik mgr Marta Woszczycka), 01.2025-01.2028
- Wykonawca w projekcie NCN OPUS: Odkrywanie ukrytej bioróżnorodności post-paleozoicznych liliowców na wschodnim brzegu Pantalassy - ocena wpływu mezozoicznej rewolucji morskiej na ich preferencje batymetryczne (kier. Prof. dr hab. Mariusz Salamon), 06.2024-06.2027
- Wykonawca w projekcie NCN OPUS LAP: Wielopoziomowe (multi-proxy) badania procesów dedolomityzacji i związanej z nimi speleogenezy w środkowej Słowenii z implikacjami dla zrozumienia początkowych etapów mineralizacji siarczkowej w południowej Polsce (kierownik dr hab. Justyna Ciesielczuk Prof. UŚ), 09.2021-09.2026
- Przed doktoratem: wykonawca w projektach:
 - Badania mezostrukturalne i mikrotektoniczne dla arkusza Limanowa (1017) Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski (SMGP) w skali 1: 50 000 (NB-20/PIG/08 i NB-04-B-022-09, PIG, 2008-2009, kierownik Prof. Jerzy Żaba);
 - Analiza tektoniczna rdzeni wiertniczych (Projekt Badawczy Ministerstwa Środowiska: Opracowanie modelu budowy geologicznej podłoża pokrywy osadowej polskiej części platformy wschodnioeuropejskiej, 21.2101.0010.0, 2011, PIG-PIB, kierownik: Prof. Jerzy Żaba);
 - Badania mezostrukturalne rdzeni wiertniczych (Projekt Badawczy Zamawiany Ministerstwa Środowiska: Historia oraz geneza zdarzeń termicznych w basenie polskim i jego osadowym podłożu – ich znaczenie dla rekonstrukcji procesów generowania węglowodorów, PIG, PIB, 2010-2012, kierownik Prof. Jerzy Żaba);
 - Tektonika południowej strefy kontaktowej masywu granitoidowego Karkonoszy w rejonie Karpacza (Grant badawczy promotorski N N307 244339, 2010-2012, kierownik Prof. Jerzy Żaba).
- Projekty zagraniczne i współpraca międzynarodowa:
 - 06.2026-04.2027. Wykonawca/wolontariusz. INASIA: Czy to ludzie współcześni? Inicjalny górny paleolit w zachodniej części Azji Centralnej (*Were They Modern Humans? The Problem of the Initial Upper Palaeolithic in West Central Asia; INASIA*).

Grant Consolidator European Research Council (ERC). Kierownik: dr. hab. Małgorzata Kot prof. ucz, Centrum Nowych Technologii UW;

- 01.2024-12.2026. Wykonawca. TACOS – Tektonika wybrzeża wzdłuż meksykańskiej krawędzi konwergentnej: zintegrowane podejście badawcze (*TACOS – Tectónica Costera a lo largo del Margen Convergente Mexicano: Un Enfoque Integral de Investigación*). Projekt PAPIIT. Kierownik: Prof. María Teresa Ramírez-Herrera;
- 01.2021-12.2023. Wykonawca. Badania paleosejsmiczne wzdłuż meksykańskiej strefy subdukcji i domniemany uskok La Venta we wschodnim sektorze Guerrero i Oaxaca: Czy w przeszłości dochodziło do dużych trzęsień ziemi? (*Exploración paleosísmica a lo largo del tramo costero de subducción mexicana y de la falla inferida de La Venta en el sector Este de Guerrero y Oaxaca: ¿Ocurrieron grandes sismos en el pasado?*). Projekt PAPIIT. Kierownik: Prof. María Teresa Ramírez-Herrera;
- 08.2018-05.2023. Wykonawca. Od cyklu sejsmicznego do długotrwałych deformacji tektonicznych w strefie przedłukowej meksykańskiej strefy subdukcji (*Del ciclo sísmico a la deformación tectónica de largo plazo en el antearco de la zona de subducción mexicana*). Projekt CONACYT. Kierownik: Prof. María Teresa Ramírez-Herrera;
- 01.2017-12.2019. Wykonawca. Przestrzenna i czasowa zmienność deformacji tektonicznej na płycie nadjeżdżającej w sektorze Guerrero – meksykańska strefa subdukcji (*Variaciones espaciales y temporales de deformación tectónica de la placa superior en el sector de Guerrero - zona de subducción mexicana*). Projekt PAPIIT. Kierownik: Prof. María Teresa Ramírez-Herrera;
- 03.2016-09.2016. Wykonawca. Zastosowanie modeli LiDAR w szacowaniu zagrożenia i kartowaniu podatności osuwiskowej w obszarach górskich stanów Guerrero oraz miasta Meksyk (*Aplicación de LiDAR en la Evaluación del Peligro y Cartografía de la Susceptibilidad por deslizamientos en áreas montañosas de la Ciudad de México y Guerrero*). Projekt CONACYT-INEGI nr 209243. Kierownik: Prof. María Teresa Ramírez-Herrera;
- 03.2014-02.2016. Kierownik projektu *Aktywna tektonika, morfotektonika i analiza naprężeń dla populacji uskoków wzdłuż pacyficznego wybrzeża Meksyku* (*Active tectonics, Morphotectonics and Stress Analysis of Fault Populations along the Pacific Coast of Mexico*). Program DGAPA-UNAM;
- 03.2014-02.2016. Wykonawca. Deformacje aktywnej tektoniki wzdłuż pacyficznego wybrzeża Meksyku (*Active Tectonic Deformation along the Pacific Coast of Mexico*).

Grant Conacyt-SEP Ciencia Básica (nr 129456). Kierownik: María Teresa Ramírez-Herrera.

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

a) Osiągnięcia dydaktyczne

- Promotorstwo:

- **Prace magisterskie:**

Mgr Marta Woszczycka: *Transfer naprężeń Coulomba a sejsmiczność w rejonie rzeki Colca, Andy Środkowe, południowe Peru*

Mgr Kevin Sánchez García: *Variations in relative tectonic activity in the Colca River drainage basin, Central Andes, Peru*

Mgr Katarzyna Podsiadły: *Sejsmolineamenty jako metoda wyznaczania uskoków sejsmogenicznych - wybrane przykłady z Pacyficznego Wybrzeża Meksyku*

Mgr Malwina Więsek: *Płytkie uskoki sejsmogeniczne w południowym Peru w świetle analizy SLAM*

Mgr Cezary Krzosa: *Współczesne deformacje terenu w rejonie Noctis Labyrinthus na Marsie*

Mgr Jessica Ociepka: *Zagrożenia związane z aktywnością wulkanu Colima, Meksyk*

Mgr Krzysztof Markiewicz: *Tektonika płaszczowiny magurskiej w rejonie Zawoi*

Mgr Michał Celeban: *Morfotektonika regionu Valles Marineris na Marsie na podstawie analizy zdjęć satelitarnych*

- **Prace inżynierskie:**

Inż. Łukasz Gajur: *Inwentaryzacja osuwisk i szacowanie podatności osuwiskowej w zlewni rzeki Colca (Peru)*

Inż. Oliwia Wawrzynek: *Aktywność wulkaniczna i sejsmiczna wulkanu El Misti w południowym Peru*

Inż. Janusz Godziek: *Wpływ tektoniki na rozwój rzeźby zlewni Soły (Karpaty Zewnętrzne)*

Inż. Paulina Nowak: *Aktywność wulkanu Popocatepetl w Meksyku i związane z nią geozagrożenia*

- **Prace licencjackie:**

Lic. Julia Sukiennik: *Ewolucja rzeźby terenu w rejonie Kasei Valles*

Lic. Maciej Rudawski: *Budowa geologiczna Sudetów Wschodnich*

Lic. Katarzyna Wrona: *Porównanie meksykańskiej i peruwiańskiej strefy subdukcji*

Lic. Katarzyna Podsiadły: *Aktywność tektoniczna meksykańskiej strefy subdukcji*

Lic. Krzysztof Markiewicz: *Pozycja strukturalna płaszczowiny magurskiej, Karpaty Zewnętrzne*

- Recenzent:

- 2 prace doktorskie:

Dr Uroš Novak: *Tectonic structures in karst: case studies from western Slovenia (Tektonske strukture na krasu: izbrani primeri iz zahodne Slovenije)*; 16.10.2025, University of Nova Gorica, Słowenia, promotor Prof. Stanka Šebela.

Dr. Oswaldo Coca Domínguez: *Reconstrucción de sismos pasados y probables tsunamis en la costa de Río Grande, Oaxaca*; 23.06.2025, Narodowy Autonomiczny Uniwersytet Meksyku (Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM), México, promotor Prof. María Teresa Ramírez-Herrera.

- 11 prac magisterskich (10 prac na Uniwersytecie Śląskim oraz jedna na Narodowym Autonomicznym Uniwersytecie Meksyku)
- 2 prace licencjackie (Uniwersytet Śląski oraz Narodowy Autonomiczny Uniwersytet Meksyku)

- Dydaktyka:

rok akademicki	prowadzone zajęcia: (w)-wykłady; (l)-laboratoria; (t)-praktyki terenowe; (e)-zajęcia w języku angielskim, *zajęcia autorskie
2008/2009	Wybrane problemy geologii strukturalnej (l)
2009/2010	Wybrane problemy geologii strukturalnej (l)
2010/2011	Analiza mezostrukturalna (l), Geotektonika i astrogeologia (l), Wybrane problemy geologii strukturalnej (l), Tektonika i geologia strukturalna (l)
2011/2012	Geologia regionalna Polski (l), Geotektonika i astrogeologia (l), Wybrane problemy geologii strukturalnej (l), Tektonika i geologia strukturalna (l)
2012/2013	Geotektonika i astrogeologia (w, l), Wybrane problemy geologii strukturalnej (l), Tektonika i geologia strukturalna (l, t), Wykłady specjalne (w)
2013/2014	Tektonika i geologia strukturalna (l), Tectonics and Structural Geology (e)
2016/2017	Geotektonika i astrogeologia (l), Wybrane problemy geologii strukturalnej (l), Tectonics and Structural Geology (l, w, e), Ćwiczenia terenowe – Tektonika (t), GIS i telegеоinformatyka w geologii (l), Podstawy geologii (l)
2017/2018	Geologia regionalna świata (w), Wybrane problemy geologii strukturalnej (w, l), Tektonika i geologia strukturalna (w, l), Tectonics and Structural Geology (l, w, e), GIS i telegеоinformatyka w geologii (l, e), GIS w analizie geozagrożeń i zarządzaniu kryzysowym (w), Geozagrożenia w Polsce i na świecie (l), Ćwiczenia terenowe – Tektonika (t), Ćwiczenia

	terenowe – Terenowe metody geologiczne w analizie zagrożeń środowiskowych (t), Ćwiczenia specjalizacyjne DKG (l, t)
2018/2019	Wybrane problemy geologii strukturalnej (l), Tektonika i geologia strukturalna (l), Tectonics and Structural Geology (l, w, e), GIS i telegeoinformatyka w geologii (l, e), GIS w analizie geozagrożeń i zarządzaniu kryzysowym (w), Geozagrożenia w Polsce i na świecie (l), Ćwiczenia terenowe – Terenowe metody geologiczne w analizie zagrożeń środowiskowych (t), Ćwiczenia specjalizacyjne DKG (l, t), Indywidualne ćwiczenia terenowe/laboratoryjne (l, t), Pracownia magisterska (l), Tektonika struktur nieciągłych (l), Wykłady specjalne (w), Analiza i wizualizacja danych geologicznych (l), Geotektonika i astrogeologia (l), Pracownia inżynierska (l), Seminarium inżynierskie (l)
2019/2020	Analiza rdzeni wiertniczych (l), Wybrane problemy geologii strukturalnej (w, l), Tektonika i geologia strukturalna (l, w), Tectonics and Structural Geology (l, w, e), Ćwiczenia terenowe - Tektonika i geologia strukturalna (t), Tectonics and Structural Geology (l, w, e), GIS i telegeoinformatyka w geologii (l, e), GIS w analizie geozagrożeń i zarządzaniu kryzysowym (w), Geozagrożenia w Polsce i na świecie (l), Ćwiczenia terenowe – Terenowe metody geologiczne w analizie zagrożeń środowiskowych (t), Ćwiczenia specjalizacyjne DKG (l, t), Wykłady specjalne DKG 2 (w), Analiza i wizualizacja danych geologicznych (l), Geotektonika i astrogeologia (l), Zagrożenia geologiczne (l), Pracownia magisterska DKG 1 (l)
2020/2021	Wybrane problemy geologii strukturalnej (w, l), GIS i telegeoinformatyka w geologii (l), GIS in Geology (w, l, e), Geozagrożenia II – GIS w analizie geozagrożeń i zarządzaniu kryzysowym (w), Ćwiczenia terenowe – Kartowanie geologiczne (t), Ćwiczenia specjalizacyjne DKG (l, t), Field classes related to the MSc subject (l, e), MSc diploma laboratory (l, e), MSc seminar (l, e), Wykłady specjalne DKG 2 (w), Geologia planetarna (w, l), Geotektonika i astrogeologia (l)
2021/2022	GIS in Geology (w, l, e), Ćwiczenia specjalizacyjne DKG (l, t), MSc diploma laboratory (l, e), MSc seminar (l, e), Geologia planetarna (w, l), Geotektonika i astrogeologia (w, l), Rozwój tektoniczny basenów sedimentacyjnych (w, l)
2022/2023	Superpozycja struktur geologicznych (w, l), Tektonika i geologia strukturalna (w, l), Wykłady specjalne DKG 2 (w), Geologia planetarna (w, l), Pracownia magisterska (l), Seminarium magisterskie (l), Geotektonika i astrogeologia (w, l)
2023/2024	Ćwiczenie terenowe – Tektonika i geologia strukturalna (t), Tektonika i geologia strukturalna (w, l, e), Geologia planetarna (w, l), Indywidualne dyplomowe ćwiczenia terenowe/laboratoryjne (l, t), seminarium, Krytyczna synteza współczesnych osiągnięć naukowych (w), Superpozycja struktur geologicznych (w)
2024/2025	Ćwiczenie terenowe – Tektonika i geologia strukturalna (t), Tektonika i geologia strukturalna (w, l, e), seminarium (l), Krytyczna synteza współczesnych osiągnięć naukowych (w), Superpozycja struktur geologicznych (w), Zagrożenia geologiczne (w), Warsztat metodyczny (w)

2025/2026	Analiza strukturalna fałdów (w, l), Ćwiczenie terenowe – Tektonika i geologia strukturalna (t), Tektonika i geologia strukturalna (w, l, e), Geologia planetarna (w, l), Seminarium (l), Superpozycja struktur geologicznych (w), Zagrożenia geologiczne (w), Aktualne wyzwania badawcze (w), Współczesne metody datowania wydarzeń geologicznych (w)
-----------	---

- Nagrody, wyróżnienia i inne:

- Wyróżnienie JM Rektora Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach za doskonałą dydaktykę w roku akademickim 2023/2024 w kategorii: Praca z osobami studiującymi lub uczącymi się w szkole doktorskiej
- Prowadzenie tutoringu w latach 2018, 2019 oraz 2020 zakończonego abstraktami konferencyjnymi, aktywnym udziałem studentów w konferencjach oraz opublikowanym jednym artykułem naukowym
- Współprowadzenie zajęć na Narodowym Autonomicznym Uniwersytecie Meksyku (UNAM) z zakresu Geomorfologii Tektonicznej, Aktywnej Tektoniki i Analizy Numerycznych Modeli Terenu w wysokiej rozdzielczości w 2018 roku (wykłady, laboratorium i ćwiczenia terenowe, w języku angielskim i hiszpańskim);
- Uzyskanie Grantu Rektora UŚ dla najlepszych studentów przez Panią Oliwię Wawrzynek, piszącą pracę inżynierską pod moją opieką;
- Opublikowanie dwóch artykułów przez studentów jako rezultat swoich prac magisterskich oraz inżynierskich pisanych pod moją opieką:
 - Woszczycka, M., **Gaidzik, K.**, Ancasí Figueroa, R. M., Mendecki, M., & Benavente, C. (2024). Unraveling the complex interplay: exploring the relationships between seismic and volcanic activities in the Colca River area using the Coulomb Stress Transfer. *Seismological Research Letters*, 95(4), 2464-2484. <https://doi.org/10.1785/0220230261>
 - Godziek, J., & **Gaidzik, K.** (2020). Assessment of tectonic control on the development of low mountains moderate relief in the Outer Carpathians (Southern Poland). *Journal of Mountain Science*, 17(10), 2297-2320. <https://doi.org/10.1007/s11629-020-6121-4>

b) Osiągnięcia organizacyjne

- Współorganizacja VIII Warsztatów Geomorfologii Strukturalnej, 10-12.10.2025 w Olsztynie k. Częstochowy, organizowanych przez Komisję Geomorfologii Strukturalnej Stowarzyszenia Geomorfologów Polskich

- Udział w Komitecie organizacyjnym międzynarodowej konferencji naukowej 27th Meeting of the Petrology Group of the Mineralogical Society of Poland: Gangue rocks: insights from nature, anthropogene, laboratory and Solar System, 20-23.10.2022 w Rudach
- Współorganizacja Studenckich Warsztatów „Zagrożenia środowiska – osuwiska, hydrogeologia, zanieczyszczenia” Geohazard Student Workshop 2018, 13-15 czerwca 2018, Ustroń, w ramach programu GeoHazardSilesia
- Organizacja wizyty dra Nathana J. Lyonsa z Uniwersytetu Tulane (Tulane University, Department of Earth and Environmental Sciences, New Orleans, LA, USA) i współorganizacja kursu związanego z modelowaniem procesów geologicznych i geomorfologicznych „*Building Numerical Models to Explore Geohazard Hypotheses*” w dniach 5.06.2018-09.06.2018 na Wydziale Nauk o Ziemi UŚ
- Opiekun Studenckiego Koła Naukowego Geologów UŚ od 2017 roku
- Koordynator na WNP UŚ do spraw stypendiów UNESCO od 2019 do 2023 roku
- Członek Zespołu ds. Współpracy Międzynarodowej Wydziału Nauk Przyrodniczych
- Pełnione funkcje:
 - Członek rady naukowej Instytutu Nauk o Ziemi UŚ od 10.2022
 - Kierownik zespołu badawczego na IZoZ UŚ od 01.01.2026
 - Polskie Towarzystwo Geologiczne od 2022
 - Mars Society Polska od 2012
 - American Geophysical Union od 2014
 - Terrestrial Processes, Deposits & History (TERPRO) od 2019
 - Review Editor w Frontiers in Earth Sciences; Redaktor tomu specjalnego: Extensional Basins Associated with Collisional Tectonics: Pasquaré Mariotto, F., & Gaidzik, K. (2022). Extensional basins associated with collisional tectonics. Frontiers in Earth Science, 10, 1066834, <https://doi.org/10.3389/feart.2022.1066834> - <https://www.frontiersin.org/research-topics/35972/extensional-basins-associated-with-collisional-tectonics/magazine>.
 - Redaktor tematyczny w Open Geosciences (De Gruyter) od 2017 do 2023 roku
- c) Osiągnięcia popularyzacyjne
 - Publikacje:

- Gałaś, A., Kalicki, T., Paulo, A., Gałaś, S., Benavente, M., Flakus, A., & Gaidzik, K., 2024. Ocalić najgłębszy kanion. ACADEMIA. Magazyn Polskiej Akademii Nauk, 1(77), 60-65. DOI: 10.24425/academiaPAN.2024.150044
- Gałaś, A., Kalicki, T., Paulo, A., Gałaś, S., Benavente, M., Flakus, A., & Gaidzik, K., 2024. Preserving the World's Deepest Canyon. ACADEMIA. The magazine of the Polish Academy of Sciences, 1(81), 60-64. DOI: 10.24425/academiaPAS.2024.150236
- Gaidzik K., Ciesielczuk J., Fabiańska M., Misz-Kennan M., 2021. Jak powstały marsjańskie sferule? Jedna z największych zagadek geologii Marsa. ACADEMIA. Magazyn Polskiej Akademii Nauk, 2(66), 20-23. DOI: 10.24425/academiaPAN.2021.137529
- Gaidzik, K., Ciesielczuk, J., Fabiańska, M., Misz-Kennan, M., & Kennan, P. S., 2021. Exploring One of the Biggest Mysteries of Martian Geology. ACADEMIA. The magazine of the Polish Academy of Sciences, 2(70), 20-23. DOI: 10.24425/academiaPAS.2021.139443
- Gaidzik K., Ciesielczuk J., Ciesielczuk M., Tyc A., Żaba J., 2018. Powrót do Kanionu Colca. Gazeta Uniwersytecka UŚ, 5 (255), 12-13. <https://gazeta.us.edu.pl/node/421703>
- Gaidzik K., 2014. Największy odpust świata. Zeszyty Rokitnickie, 3, 12-13.
- Gaidzik K., Ciesielczuk J., Żaba J., 2013/2014. Badania w Kanionie Colca. Gazeta Uniwersytecka UŚ, 18. <https://gazeta.us.edu.pl/node/274191>
- Gaidzik K., Ciesielczuk J., Żaba J., 2013. Badania w Kanionie Colca. Gazeta Uniwersytecka UŚ, 4 (204), 15-17. <https://gazeta.us.edu.pl/node/271981>
- Gaidzik K., 2012. Nasi w Peru. Zeszyty Rokitnickie, 1, 11-12.
- *Publikacje powstałe przy moim udziale, o mnie, lub jako wywiad:*
 - Galas J., 2026. Śladami aktywnej geologii w dolinie rzeki Colca. Gazeta Uniwersytecka UŚ, 5 (335), 14-15. <https://gazeta.us.edu.pl/node/438333>
 - Jamal, S., 2024. Science on the edge: how extreme outdoor skills enhanced our fieldwork. Nature, 631(8021), 695-697. doi: <https://doi.org/10.1038/d41586-024-02311-x> (wywiad na temat badań prowadzonych w ekstremalnych warunkach z udziałem specjalistycznej wiedzy i umiejętności udzielony dziennikarzowi pracującemu dla Nature stanowił bazę do napisania artykułu opublikowanego w 2024 roku).
 - Kłoskiewicz M., 2023. Gdy ziemia się trzęsie. Gazeta Uniwersytecka UŚ, 3 (313), 16-17. <https://gazeta.us.edu.pl/node/434073>

- Kłoskiewicz M., 2023. Badania procesów powstawania jaskiń. *Gazeta Uniwersytecka UŚ*, 4 (314), 16-17. <https://gazeta.us.edu.pl/node/434073>
- Sztuka M., 2022. Geolodzy korygują Długosza. *Gazeta Uniwersytecka UŚ*, 4 (294), 14-15. <https://gazeta.us.edu.pl/node/430413>
- Kłoskiewicz M., 2017. Tu osunie się Ziemia. *Gazeta Uniwersytecka UŚ*, 7 (247), 16-17. <https://gazeta.us.edu.pl/node/419533>
- Wykłady i aktywności:
 - Wykłady popularno-naukowe: Wykłady dla uczniów szkoły podstawowej (14.06.2022), gimnazjum (12.07.2025) oraz lokalnej społeczności i władz (11.07.2025) w Huambo, Peru: „*Expediciones Científicas Polacas a Perú (región del Colca)*”, 14.06.2022.
 - Prezentacje, wykłady i rozmowy z burmistrzami miejscowości w Peru zlokalizowanych w rejonie rzeki Colca w czasie badań terenowych w 2017, 2022, 2023, 2024 i 2025 r. (np. Huambo, Cabanaconde, Llahuar, Lari, Canocota).
 - Wykłady popularno-naukowe na zaproszenie w Salezjańskim Zespole Szkół Publicznych w Zabrzu w 2013 roku.
 - Wykłady na temat geologii, geomorfologii i kultury Meksyku podczas Tygodnia Meksykańskiego organizowanego przez Studenckie Koło Naukowo-Podróżnicze „Denali”, Instytut Nauk o Ziemi, UŚ, 26.03.2026.
 - Notatki na stronie głównej Instytutu Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego oraz w mediach społecznościowych na platformie X (uprzednio Twitter) oraz stronie facebook INoZ UŚ na temat prowadzonych badań terenowych, publikowanych prac, wystąpień konferencyjnych, itp.
 - Wykład proszony w ramach Drugich Makroregionalnych Warsztatów Szkoleniowych: Nauki o Ziemi „Odkrywając Skarby Ziemi: Przeszłość, Teraźniejszość i Przyszłość” (*Segundo Taller de Capacitación Macroregional: Ciencias de la Tierra „Explorando los Tesoros de la Tierra: Pasado, Presente y Futuro”*) skierowany do studentów, jak i zatrudnionych w administracji samorządowej oraz organizacjach związanych z przeciwdziałaniem katastrofom naturalnym w Peru, pt. „Evolución del paisaje y tectónica activa en el área de Colca”, 25.08.2024.

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

Nagrody:

- Nagrody JM Rektora UŚ za działalność naukową: 2018, 2019, 2022, 2024
- Nagrody JM Rektora UŚ za działalność dydaktyczną 2024
- Wyróżnienie w naukowym konkursie fotograficznym „Nauki o Ziemi w obiektywie” w 2024 roku

Przed doktoratem:

- Nagroda za najlepszą prezentację podczas międzynarodowej konferencji naukowej w 2010 roku *Cloudberry Conference on Karkonosze Mts. Research*
- Wyróżnienie JM Rektora Uniwersytetu Śląskiego dla doktorantów osiągających sukcesy naukowe w 2012

Inne:

- Ukończone studia podyplomowe *Menedżer Projektu Badawczo-Rozwojowego*, Wyższa Szkoła Bankowa w Poznaniu, 2013

.....
(podpis wnioskodawcy)