

Autoreferat

1. **Imię i nazwisko:** SŁAWOMIR SITEK

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

- 18.11.2014** dyplom doktora nauk o Ziemi w zakresie geologii, nadany przez Radę Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach. Tytuł rozprawy: *Influence of natural impact and human activity on groundwater flow in Major Groundwater Basin Gliwice, southern Poland* – praca wyróżniona decyzją Rady Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach. Promotorzy: prof. dr hab. Andrzej Kowalczyk oraz prof. dr Martin Sauter
- 18.07.2006** dyplom magistra geologii, specjalność hydrogeologia i ochrona środowiska wodnego, nadany przez komisję egzaminacyjną Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach. Tytuł pracy: *Model hydrogeologiczny kopalnej doliny Odry w rejonie Raciborza*. Promotor: prof. dr hab. Andrzej Kowalczyk
- 27.06.2005** dyplom magistra geografii, specjalność geomorfologia i paleogeografia czwartorzędu, nadany przez komisję egzaminacyjną Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach. Tytuł pracy: *Stożki aluwialne u podnóża Płaskowyżu Rybnickiego jako wskaźnik erozji gleb*. Promotor: prof. dr hab. Kazimierz Klimek

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

- 01.10.2025 – obecnie** stanowisko: profesor uczelni, Uniwersytet Śląski w Katowicach, Wydział Nauk Przyrodniczych, pełen etat.
- 01.10.2019 – 30.09.2025** stanowisko: adiunkt, Uniwersytet Śląski w Katowicach, Wydział Nauk Przyrodniczych, pełen etat.

- | | |
|--------------------------------|--|
| 15.08.2015 – 30.09.2019 | stanowisko: adiunkt, Uniwersytet Śląski w Katowicach, Katedra Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Wydział Nauk o Ziemi, pełen etat. |
| 01.08.2011 – 30.06.2015 | stanowisko: asystent, Uniwersytet Śląski w Katowicach, Katedra Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Wydział Nauk o Ziemi, 0,9 etatu. |
| 08.12.2007 – 31.07.2011 | stanowisko: asystent, Uniwersytet Śląski w Katowicach, Katedra Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Wydział Nauk o Ziemi, 0,75 etatu. |

- 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.). Omówienie to winno dotyczyć merytorycznego ujęcia przedmiotowych osiągnięć, jak i w sposób precyzyjny określać indywidualny wkład w ich powstanie, w przypadku, gdy dane osiągnięcie jest dziełem współautorskim, z uwzględnieniem możliwości wskazywania dorobku z okresu całej kariery zawodowej.**

Za osiągnięcie naukowe, o którym mowa w art. 219 ust. 1 pkt 2 lit. b ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 r., przedstawiam cykl sześciu powiązanych tematycznie artykułów naukowych poświęconych planowaniu, ocenie ryzyka, monitorowaniu i ocenie efektywności systemów sztucznego zasilania wód podziemnych (MAR). Raporty projektowe, dokumentacje i wdrożenia nie stanowią odrębnych składników osiągnięcia w sensie formalnym, lecz dokumentują zaplecze empiryczne badań oraz ich znaczenie aplikacyjne.

Osiągnięcia, które prezentuję we wniosku habilitacyjnym pod tytułem:

Sztuczne zasilanie wód podziemnych – zintegrowane podejście do identyfikacji obszarów przydatnych, monitoringu, oceny ryzyka oraz efektywności funkcjonowania

stanowi cykl artykułów naukowych opublikowanych w latach 2022–2026 w czasopismach indeksowanych w bazie Journal Citation Reports oraz znajdujących się w komunikacie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego w sprawie wykazu czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych z dnia 5 stycznia 2024 roku:

- A.1. **Sitek, S.**, Kondracka, M., & Janik, K. (2026b). Hydrogeological Characterisation of an Integrated Managed Aquifer Recharge System in Southern Poland Using Electrical Resistivity Tomography. *Geological Quarterly*, 70(2). <https://doi.org/10.7306/gq.1847> (*IF 5-letni 0.8, MNiSW: 100 pkt*)
- A.2. **Sitek, S.**, Janik, K., Piechota, A., Rubin, H., & Witkowski, A. (2026a). Application of GIS-MCDA Methodology for Managed Aquifer Recharge Suitability Mapping in Poland. *Water*, 18(2). <https://doi.org/10.3390/w18020219> (*IF 5-letni 3.3, MNiSW: 100 pkt*)
- A.3. **Sitek, S.**, Janik, K., Wunderlich, A., Jakóbczyk-Karpierz, S., Imig, A., Kondracka, M., Knöller, K., & Rein, A. (2025). Integrated Managed Aquifer Recharge: Assessing the efficiency of riverbank filtration and infiltration ditches for sustainable groundwater management in industrial areas. *Journal of Environmental Management*, 389, 125849. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.125849> (*IF 5-letni 8.6, MNiSW: 200 pkt*)
- A.4. Janik, K., Ślósarczyk, K., & **Sitek, S.** (2024). A study of riverbank filtration effectiveness in the Kępa Bogumiłowicka well field, southern Poland. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 53, 101834. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.101834> (*IF 5-letni 5.3, MNiSW: 100 pkt*)
- A.5. **Sitek, S.**, Janik, K., Dąbrowska, D., Rózkowski, J., Wojtal, G., Mukawa, J., Witkowski, A., & Jakóbczyk-Karpierz, S. (2023). Risk assessment for the prevention of managed aquifer recharge (MAR) facility failure during the operation and the expansion phases. *Journal of Hydrology*, 621, 129591. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129591> (*IF 5-letni 6.9, MNiSW: 140 pkt*)
- A.6. Halytsia, O., Vrachioli, M., Janik, K., **Sitek, S.**, Wojtal, G., Imig, A., Rein, A., & Sauer, J. (2022). Assessing Economic Feasibility of Managed Aquifer Recharge Schemes: Evidence from Cost-benefit Analysis in Poland. *Water Resources Management*, 36, 5241–5258. <https://doi.org/10.1007/s11269-022-03303-0> (*IF 5-letni 4.2, MNiSW: 100 pkt*)

Tabela 1. Podsumowanie wskaźników bibliometrycznych osiągnięcia naukowego na tle pozostałego dorobku

Publikacje	Sumaryczny IF	Sumaryczna liczba punktów MNiSW
Osiągnięcie naukowe	29,1	740
Pozostały dorobek po doktoracie	33,8	1468
Pozostały dorobek przed doktoratem	1,2	68
Łączny dorobek*	64,1	2276

*Wykaz wszystkich publikacji zestawiono w załączniku nr 4 Wykaz osiągnięć naukowych

Prace składające się na osiągnięcie naukowe stanowią opracowania wieloautorskie, dlatego w formie załączników do niniejszego autoreferatu dołączyłem oświadczenia współautorów dotyczące mojego wkładu w powstanie powyższych publikacji naukowych oraz poniżej przedstawionych opracowań będących uzupełnieniem osiągnięcia (zał. nr A1–A10).

Uzupełnieniem powyższego osiągnięcia składającego się na cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych są trzy dodatkowe elementy.

1. Zestawienie wyników prac badawczych związanych z obszarem badań omawianym w cyklu publikacji. Badania zrealizowano w ramach międzynarodowego projektu pt. „Opracowanie zintegrowanego podejścia we wdrażaniu rozwiązań dotyczących gospodarowania dodatkowym zasilaniem wód podziemnych w celu ułatwienia ochrony zasobów wodnych Europy Środkowej zagrożonych zmianami klimatu i konfliktami użytkowników” (akronim: DEEPWATER-CE).

A.7. **Sitek, S.** (red.), (2022). Pilot feasibility study of MAR schemes with integrated environmental approach in porous geological conditions in Poland. <https://programme2014-20.interreg-central.eu/Content.Node/DEEPWATER-CE/O.T3.2-PILOT-FEASIBILITY-STUDY-OF-MAR-Poland.pdf>,

2. Opracowanie dokumentacji niezbędnej do wykonania sieci monitoringu badawczego dla ujęcia „Świerczków” w Tarnowie.

Poniższe opracowania dokumentują przygotowanie i realizację sieci monitoringu badawczego dla ujęcia infiltracyjnego „Świerczków” w Tarnowie. Znaczenie naukowe i aplikacyjne tego monitoringu polegało na stworzeniu podstaw do rozpoznania szczegółowych warunków hydrogeologicznych na ujęciu, oceny oddziaływania sztucznego zasilania wód podziemnych oraz budowy systemu wspierającego bezpieczną eksploatację ujęcia.

A.8. Rubin, K., Rubin, H., **Sitek, S.** (2020). Projekt robót geologicznych na wykonanie sieci 9 otworów obserwacyjnych (piezometry: DW-1p, DW-1g, DW-2p,

DW-2g, DW-3, DW-4, DW-5, DW-6, DW-7) dla monitoringu badawczego wód podziemnych poziomu wodonośnego czwartorzędu w rejonie ujęcia „Świerczków” Tarnowskich Wodociągów sp. z o.o. w Tarnowie.

A.9. Rubin, K., **Sitek, S.**, Janik, K. (2021). Dodatek do projektu robót geologicznych na wykonanie sieci 9 otworów obserwacyjnych (piezometry: DW-1p, DW-1g, DW-2p, DW-2g, DW-3, DW-4, DW-5, DW-6, DW-7) dla monitoringu badawczego wód podziemnych poziomu wodonośnego czwartorzędu w rejonie ujęcia „Świerczków” Tarnowskich Wodociągów sp. z o.o. w Tarnowie.

A.10. Rubin, K., Janik, K., **Sitek, S.**, Rubin H. (2021). Dokumentacja geologiczna z wykonania sieci 9 otworów obserwacyjnych (piezometry: DW-1p, DW-1g, DW-2p, DW-2g, DW-3, DW-4, DW-5, DW-6, DW-7) dla monitoringu badawczego wód podziemnych poziomu wodonośnego czwartorzędu w rejonie ujęcia „Świerczków” Tarnowskich Wodociągów sp. z o.o. w Tarnowie.

3. Wykorzystanie wyników badań oraz doświadczeń projektowych dotyczących sztucznego zasilania wód podziemnych, przedstawianych w cyklu tematycznie powiązanych artykułów naukowych i w materiałach uzupełniających.

Wyniki uzyskane w ramach projektu badawczego i opracowań raportowych zostały rozwinięte w publikacjach naukowych, a ich spójność umożliwiła także praktyczne wdrożenie wypracowanych rozwiązań. Ukazuje to wyraźny związek między dorobkiem naukowym a jego realnym oddziaływaniem poza środowiskiem akademickim, co potwierdzają wdrożenia wypracowanych rozwiązań przez Tarnowskie Wodociągi Sp. z o.o. oraz wykorzystanie wyników z polskiego obszaru pilotażowego jako przykładu dobrych praktyk w wydanym w 2025 roku poradniku nr 39. Komisji Europejskiej pt. „Managed aquifer recharge (MAR) Common implementation strategy for the water framework directive and the floods directive” (zał. nr A11 i A12).

Przedstawione publikacje naukowe i opracowania uzupełniające składają się na spójny oraz konsekwentnie rozwijany nurt mojej działalności naukowej, poświęcony problematyce zarządzania sztucznym zasilaniem wód podziemnych. Badania nad tym zagadnieniem rozpocząłem pod koniec 2017 roku, współtworząc wniosek projektowy do programu Interreg Europa Środkowa, a następnie kierując z ramienia Uniwersytetu Śląskiego pracami badawczymi w projekcie. Po jego zakończeniu kontynuowałem analizę uzyskanych wyników oraz planowałem rozwój dalszych prac badawczych w tym zakresie zarówno w rejonie Tarnowa, jak i w obszarze innych ujęć stosujących techniki sztucznego zasilania. W rezultacie przedstawione osiągnięcie naukowe odzwierciedla moją wieloletnią, systematycznie

prowadzoną pracę badawczą, ukierunkowaną na opracowanie podstaw bezpiecznego i racjonalnego wdrażania, monitorowania oraz oceny efektywności systemów sztucznego zasilania wód podziemnych.

Niezależnie od sześciu artykułów naukowych dotyczących sztucznego zasilania wód podziemnych, jestem również autorem lub współautorem 32 recenzowanych publikacji naukowych, spośród których sześć ukazało się przed uzyskaniem stopnia doktora. Szczegółowy wykaz przedstawiłem w załączniku nr 4. Wykaz osiągnięć naukowych (pkt II.8). Znaczna część tego dorobku dotyczy badań prowadzonych na obszarze Tarnowskich Gór i Głównego Zbiornika Wód Podziemnych Gliwice, stanowiącego strategiczny triasowy zbiornik wód pitnych dla zachodniej części konurbacji górnośląskiej. Drugi nurt badań obejmuje problematykę polarną, realizowaną w rejonie przedpoła lodowca Werenskiolda, w tym prace terenowe prowadzone w latach 2017 i w 2018 roku.

Moje badania w tych dwóch odmiennych obszarach koncentrują się na rozpoznaniu ilościowych i jakościowych zmian wód podziemnych w warunkach narastającej antropopresji oraz określeniu relacji pomiędzy wodami podziemnymi i powierzchniowymi. Badania te prowadzę samodzielnie lub zespołowo, wykonując zarówno prace terenowe, laboratoryjne, jak również modelowe.

Omówienie osiągnięcia naukowego

4.1. Znaczenie sztucznego zasilania wód podziemnych w gospodarowaniu zasobami wodnymi

Sztuczne zasilanie wód podziemnych (z ang. Managed Aquifer Recharge, dalej: MAR) to proces polegający na intencjonalnym zwiększeniu zasilania wód podziemnych, którego efektem ma być osiągnięcie korzyści środowiskowych lub późniejsze odzyskanie wód na potrzeby gospodarcze (Dillon et al., 2019; Zhang et al., 2020). Kluczowym elementem tej definicji jest zarządzanie procesem zasilania warstw wodonośnych, co powoduje, że sztuczne zasilanie wód podziemnych powinno być rozumiane jako kontrolowany, celowy proces, który należy odpowiednio planować, monitorować i nadzorować. W praktyce to właśnie te elementy decydują o skuteczności wdrożeń MAR i możliwości osiągnięcia założonych efektów. Przedmiotem przedstawionego osiągnięcia naukowego są metodyczne podstawy planowania i oceny projektów MAR, ukierunkowane na zwiększenie ich skuteczności oraz możliwość obiektywnej weryfikacji rezultatów.

Problematyka MAR stanowi dynamicznie rozwijający się i wielowątkowy obszar badań (Sprenger et al., 2017; Zhang et al., 2020; Fernández Escalante et al., 2022; Seidl et al., 2024; European Commission: Directorate-General for Environment, 2025). MAR jest klasyfikowany według stosowanej techniki, źródła pozyskiwanej wody do zasilania czy celu, któremu ma służyć. W konsekwencji w literaturze powstaje coraz więcej podtypów MAR, takich jak np. Flood-MAR, Ag-MAR (Kocis & Dahlke, 2017; Levintal et al., 2023; Morrisett et al., 2024).

W prezentowanym cyklu publikacji analizuję głównie dwie techniki MAR powszechnie stosowane w Polsce, tj. infiltrację brzegową i rowy infiltracyjne, w których źródłem wody wykorzystywanej do sztucznego zasilania jest woda powierzchniowa. Głównym celem stosowania tych rozwiązań jest zwiększanie zasobów wód podziemnych na potrzeby gospodarcze, przede wszystkim na potrzeby zaopatrzenia mieszkańców aglomeracji tarnowskiej w wodę pitną.

Znaczenie podjętych badań wykracza poza analizowany przypadek ujęć w rejonie Tarnowa. Ujęcia infiltracyjne odgrywają dużą rolę w zlewniach rzek południowej Polski, m.in. w analizowanej zlewni Dunajca, gdzie lokalne zasoby wód podziemnych są często ograniczone, a pozyskanie alternatywnych źródeł wody o porównywalnej wydajności i jakości jest trudne. W tym obszarze większość ujęć eksploatujących czwartorzędowy poziom wodonośny stanowią

ujęcia infiltracyjne, które odpowiadają za ponad 80% zarówno poboru rzeczywistego, jak i dopuszczalnego. Ujęcia oparte na sztucznym zasilaniu wód podziemnych są również strategicznym elementem systemów zaopatrzenia ludności w wodę w wielu dużych aglomeracjach miejskich w krajach Europy Środkowej m.in. w Berlinie, Pradze, Budapeszcie, Warszawie, Dreźnie, Poznaniu czy we Wrocławiu (Massmann et al., 2008; Nowicki, 2009; Nagy-Kovács et al., 2018; Matusiak et al., 2021; Hrkal et al., 2023). Z tego względu opracowanie metod planowania, monitorowania oraz oceny ryzyka i efektywności systemów MAR ma nie tylko znaczenie lokalne dla bezpieczeństwa wodnego aglomeracji tarnowskiej, lecz także szerszy potencjał aplikacyjny w odniesieniu do ujęć infiltracyjnych funkcjonujących w innych obszarach klimatu umiarkowanego.

Aktualność podjętej problematyki wynika również z wyraźnego rozszerzenia funkcji systemów MAR w ostatnich dekadach. Pierwotnie zastosowanie technik MAR służyło przede wszystkim zwiększaniu zasobów wód podziemnych, natomiast obecnie MAR jest coraz częściej stosowany także w celu poprawy jakości wód podziemnych, minimalizowania ryzyka powodziowego, ograniczania skutków suszy, osiadania terenu, ochrony powiązanych ekosystemów wodnych oraz ekosystemów lądowych zależnych od wód podziemnych, a także ograniczania intruzji wód słonych (Dillon & Arshad, 2016; Dillon et al., 2019, 2020; Zhang et al., 2020; Alam et al., 2021; Wendt et al., 2021; Seidl et al., 2024; Sitek et al., 2025). Coraz powszechniej MAR jest także uznawany za skuteczne narzędzie adaptacji do zmian klimatu, co stanowi jedną z przyczyn globalnego wzrostu liczby projektów MAR. Dillon i in. (2019) wskazują, że wdrażanie projektów MAR wzrasta o około 5% rocznie od lat 60. XX wieku.

Potwierdzeniem zainteresowania MAR globalnie, poza licznymi projektami badawczymi i publikacjami naukowymi są również powstające dokumenty strategiczne oddziałujące na kształt międzynarodowych i krajowych polityk środowiskowych lub stanowiące podstawę do ich formułowania. Raport IPCC (Pörtner et al., 2022) wskazuje na MAR jako przykład rozwiązań opartych na naturze stanowiących ważne działania adaptacyjne związane z wodami podziemnymi zarówno na obszarach wiejskich, jak i miejskich. Również Organizacja Narodów Zjednoczonych ds. Wody w raporcie pt. „Groundwater: Making the invisible visible” (United Nations, 2022) oraz Bank Światowy w raporcie „The Economics of Groundwater in Times of Climate Change” (Rodella et al., 2023) wskazują na MAR jako użyteczne narzędzie gospodarki wodnej stosowane w wielu obszarach w celu poprawy jakości i zwiększenia ilości zasobów wodnych. O rosnącym znaczeniu MAR w Europie świadczy także fakt opracowania w ramach Common Implementation Strategy dokumentu wytycznych Komisji Europejskiej, osadzającego MAR bezpośrednio w systemie wdrażania Ramowej

Dyrektywy Wodnej oraz Dyrektywy Powodziowej (European Commission: Directorate-General for Environment, 2025). Dokument ten zawiera także opisy dobrych praktyk, wśród których jeden został opracowany na podstawie przeprowadzonych przeze mnie badań i doświadczeń nad MAR w Tarnowie na ujęciu wód „Świerczków”, co oznacza, że wyniki badań prowadzonych przeze mnie i współpracujący ze mną zespół zostały wykorzystane nie tylko w publikacjach naukowych i praktyce eksploatacyjnej Tarnowskich Wodociągów, lecz również w procesie formułowania europejskich wytycznych dotyczących stosowania MAR.

4.2. Uzasadnienie celu badań

Choć sztuczne zasilanie wód podziemnych w literaturze naukowej, jak również w przytoczonych powyżej dokumentach, jest opisywane najczęściej jako istotne rozwiązanie na problemy związane z odbudową ilościową i jakościową wód podziemnych oraz jako środek adaptacji do zmian klimatu, należy zaznaczyć, że nie wszystkie wdrożenia MAR kończą się długotrwałym sukcesem i oczekiwaną efektywnością, dlatego celem moich badań było dostarczenie narzędzi i rozwiązań, które zwiększają szanse na skuteczne wdrożenie MAR, świadomość ryzyka i ocenę efektywności zastosowania MAR.

Przedstawione do oceny osiągnięcie habilitacyjne stanowi spójny program badawczy poświęcony zarządzaniu sztucznym zasilaniem wód podziemnych, ukierunkowany na weryfikację trzech hipotez badawczych:

Hipoteza 1. Obszary predysponowane do wdrażania rozwiązań opartych na MAR można wiarygodnie wyznaczać na podstawie zintegrowanej analizy kryteriów hydrogeologicznych, środowiskowych i przestrzennych, z wykorzystaniem narzędzi GIS oraz wielokryterialnej oceny przydatności.

Hipoteza 2. Ocena ryzyka w systemach MAR może być prowadzona w sposób usystematyzowany z zastosowaniem metod półościowych i probabilistycznych, a jej wyniki stanowią niezbędną podstawę racjonalnego projektowania, eksploatacji i rozbudowy tych systemów.

Hipoteza 3. Prawidłowa ocena efektywności i weryfikacja przyjętych rozwiązań MAR wymagają zintegrowanego monitoringu ilościowego i jakościowego przy zastosowaniu szczegółowego rozpoznania terenu, łączącego obserwacje hydrogeologiczne, hydrochemiczne, geofizyczne i modelowe.

4.3. Identyfikacja obszarów predysponowanych do wdrażania rozwiązań opartych na MAR

W artykule *Application of GIS-MCDA Methodology for Managed Aquifer Recharge Suitability Mapping in Poland* wykazuję, że zastosowanie wielokryterialnej analizy decyzyjnej wraz z wykorzystaniem systemów informacji geograficznej (GIS-MCDA) może stanowić odpowiednią metodę weryfikacji potencjalnej przydatności obszaru dla sześciu technik MAR: rowy infiltracyjne, infiltracja przez brzeg rzeki/jeziora, magazynowanie wody w warstwie wodonośnej i odzyskiwanie wody z tej warstwy (ASR – aquifer storage and recovery), stawy infiltracyjne, bariery fizyczne podziemne i powierzchniowe (Sitek et al., 2026a).

Opracowana metodologia oceny przydatności została oparta na dwuetapowym schemacie postępowania, obejmującym etap selekcji regionalnej oraz etap szczegółowej oceny lokalnej. W pierwszym etapie wykonuje się mapowanie ogólne (general mapping), którego celem jest odrzucenie obszarów ewidentnie nieprzydatnych oraz wyznaczenie stref potencjalnie odpowiednich do zastosowania sztucznego zasilania wód podziemnych, opierając się na indywidualnych kryteriach dostosowanych do każdej z analizowanych sześciu metod MAR w skali regionalnej.

W drugim etapie przeprowadzono mapowanie szczegółowe (specific mapping) dla obszarów wytypowanych uprzednio jako perspektywiczne. Każdemu parametrowi przypisywano jedną z trzech klas przydatności: niską, umiarkowaną lub wysoką na podstawie liczbowych lub opisowych wartości progowych (Sitek et al., 2026a). W ten sposób uzyskano cząstkowe mapy parametrów. Wraz ze wzrostem szczegółowości analizy zwiększano w tym etapie również liczbę uwzględnianych parametrów oraz wprowadzano ich ważenie z uwzględnieniem wzajemnych oddziaływań, opisanych za pomocą wieloczynnikowego współczynnika wpływu. W końcowym etapie, wykorzystując możliwości programów GIS i narzędzi Weighted Overlay lub Weighted Sum, tworzono końcowe mapy wynikowe pokazujące przestrzenną zmienność przydatności dla analizowanych metod MAR, w badanym obszarze.

Zastosowana metodologia została opracowana w ramach prowadzonego projektu DEEPWATER-CE, w którym wybrano sześć technik MAR, które w warunkach Europy Środkowej są stosowane lub mają największy potencjał do zastosowania. W projekcie brałem udział w pracach zarówno nad wyborem metod MAR do opracowania map przydatności, wyborem analizowanych parametrów, ich wag, jak i wartości granicznych decydujących o ich klasie (Sitek et al., 2026a) przydatności. Zespół badawczy z Uniwersytetu Śląskiego w całym

projekcie był przede wszystkim odpowiedzialny za dwie techniki MAR, tj. rowy infiltracyjne i infiltrację brzegową, dlatego w artykule to właśnie dla tych dwóch metod zostały przeprowadzone badania na drugim etapie opracowanej metodologii.

Na podstawie przeprowadzonych badań dla zlewni Dunajca w granicach Polski wykazałem, że co najmniej jedna z sześciu metod mogłaby zostać zastosowana na ponad 63% zlewni Dunajca, przy zastosowaniu kryteriów pierwszego etapu metodyki (Fig. 1).

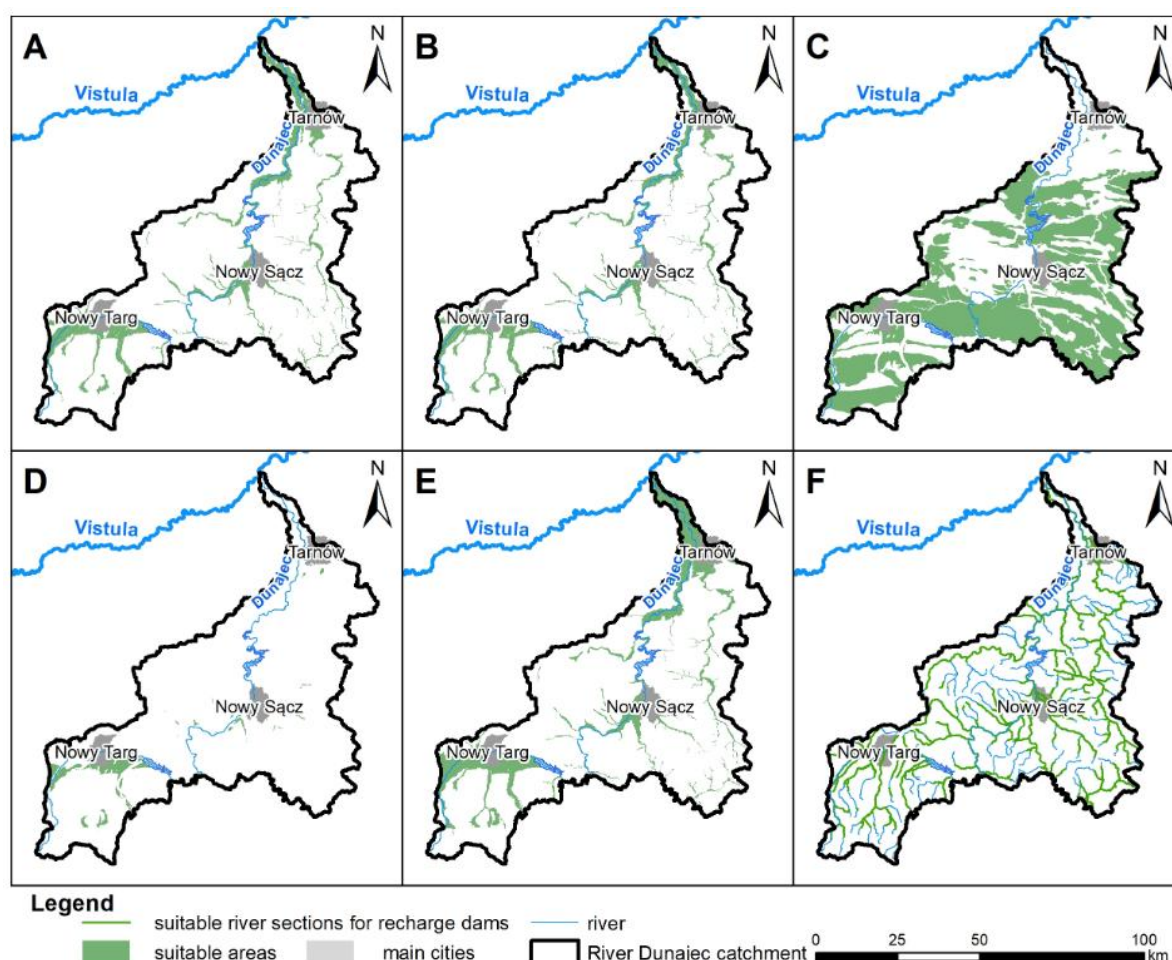


Fig. 1. Mapy przydatności MAR na poziomie ogólnym. Metody: rowy infiltracyjne (A), infiltracja przez brzeg rzeki/jeziora (B), magazynowanie wody w warstwie wodonośnej i odzyskiwanie wody z tej warstwy (C), stawy infiltracyjne (D), bariery fizyczne podziemne (E) i powierzchniowe (F) (Sitek et al., 2026a).

Wybór obszaru do drugiego etapu wynikał z połączenia dwóch przesłanek: po pierwsze, z wyników mapowania ogólnego, które wskazały potencjał wdrożeniowy wybranych metod MAR, a po drugie, z uwarunkowań lokalnych Tarnowa, tj. intensywnego wykorzystania wód podziemnych, stosunkowo niskiej zasobności poziomu czwartorzędowego i rosnącego ryzyka ograniczenia zasilania w warunkach ocieplenia klimatu. Wyniki z przeprowadzonej analizy w oparciu o drugi etap zastosowanej metodyki wskazują, że w zlewni cząstkowej w rejonie Tarnowa dla obydwu analizowanych technik dominuje umiarkowana przydatność,

odpowiednio 83% dla rowów infiltracyjnych i 87% dla infiltracji brzegowej analizowanego terenu (Fig. 2).

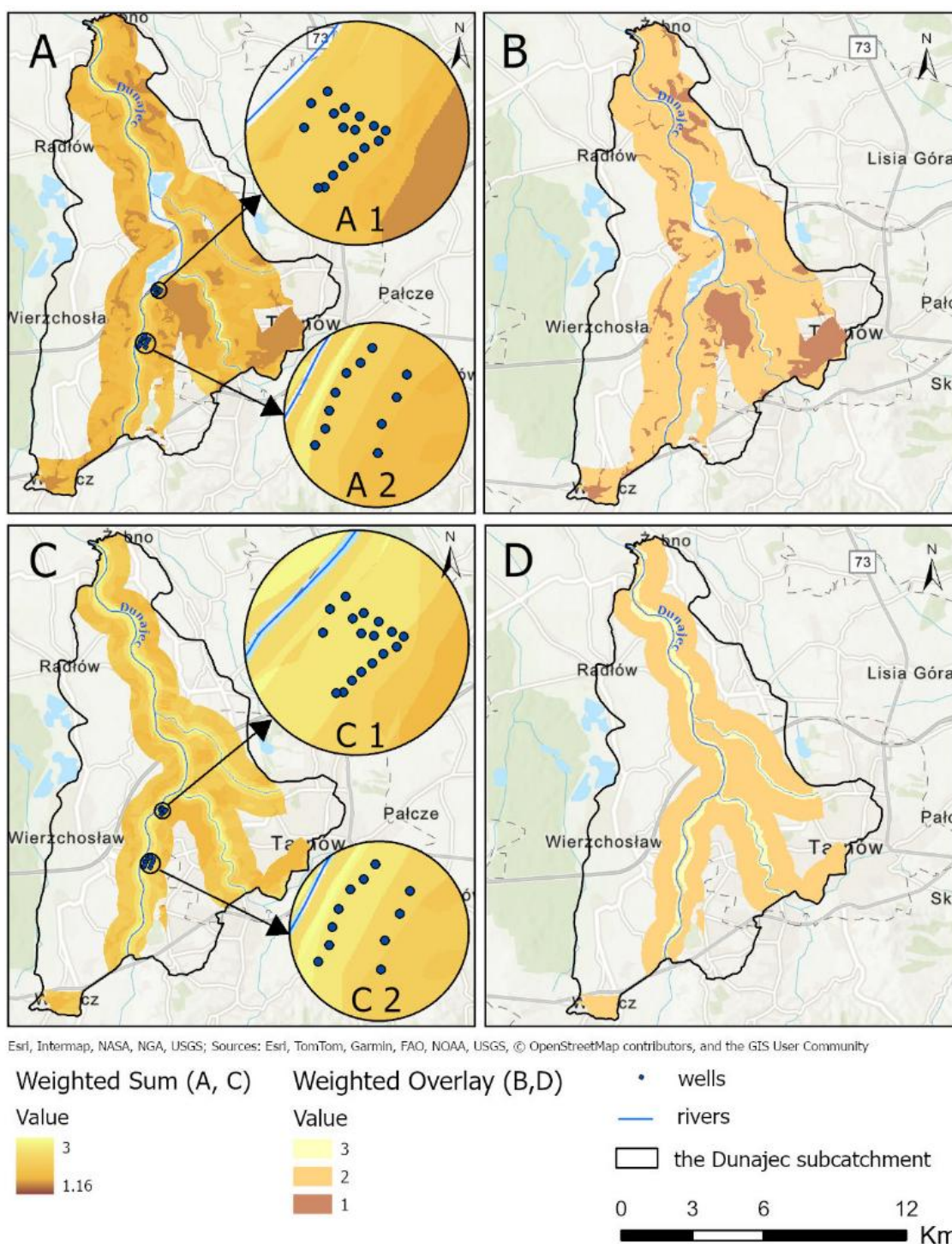


Fig. 2. Ostateczne mapy przydatności dla rowów infiltracyjnych (A,B) i infiltracji brzegowej (C,D) z wykorzystaniem metod Weighted Sum (A,C) oraz Weighted Overlay (B,D). (A1, C1) - ujęcie „Świerczków”, (A2, C2)— ujęcie „Kępa Bogumiłowicka” (Sitek et al., 2026a).

Spośród pojedynczych parametrów największy wpływ na ostateczne wyniki ma bliskość wód powierzchniowych, co wynika z przypisanych wysokich wag odpowiednio 20% i 28% odpowiednio w ocenie przydatności dla rowów infiltracyjnych i infiltracji brzegowej.

Istotność tego parametru bardzo dobrze pokazuje praca studni na ujęciu „Kępa Bogumiłowska” (Janik et al., 2024). W przypadku studni położonych bliżej Dunajca, w odległości 90–125 m od rzeki, niemal 100% dopływających wód pochodzi z infiltracji rzecznej. W drugim pasie studni, oddalonym o około 320–390 m od rzeki, udział infiltracji brzegowej wynosi niespełna 70%, natomiast pozostałe około 30% stanowi dopływ wód podziemnych z południowego wschodu. Różnice te odzwierciedla również wielkość obszaru spływu: 0,14 km² dla studni położonych bliżej rzeki oraz 4,65 km² dla studni bardziej oddalonych. Te obliczenia z badań modelowych znajdują także potwierdzenie w zróżnicowanym składzie chemicznym wód ujmowanych studniami w pasie bliżej i dalej od rzeki (Janik et al., 2024, Janik et al., 2025).

Opracowana i przetestowana metodyka została opracowana dla sześciu technik MAR i opiera się na danych hydrogeologicznych, geologicznych, hydrologicznych oraz środowiskowych. Warto podkreślić, że metoda ta może być łatwo także modyfikowana przez użytkownika do indywidualnych wymagań i preferencji. Chociaż wybierając parametry, kryteria podziału na klasy przydatności, czy wagi sugerowano się dostępnymi informacjami w literaturze dla sześciu analizowanych technik MAR i specyfiką regionu, to użytkownik może pod swoje indywidualne potrzeby lub np. w przypadku ograniczenia dostępności lub jakości danych elastycznie dostosować zarówno liczbę parametrów na dowolnym etapie, wartości progowe dla klas przydatności, czy też wagi przypisane parametrom, nie zmieniając logiki działania samej metody.

Nowość naukowa tej pracy polega na opracowaniu i praktycznej weryfikacji elastycznej, regionalnie adaptowalnej, dwustopniowej metodyki GIS-MCDA do oceny przydatności lokalizacji dla MAR w warunkach charakterystycznych dla Europy Środkowej, w odróżnieniu od większości dotychczasowych badań, które były skoncentrowane na obszarach suchych i półsuchych (Malekmohammadi et al., 2012; Rahman et al., 2012; Zghibi et al., 2020; Sallwey et al., 2019, 2024). Oryginalny wkład pracy obejmuje zatem zarówno rozwinięcie warsztatu metodycznego w zakresie regionalnej oceny predyspozycji dla MAR, jak i wykazanie możliwości praktycznego zastosowania tej procedury w planowaniu działań adaptacyjnych wobec zmian klimatu.

Dzisiejsze narzędzia GIS-owe pozwalają na zaawansowane analizy przestrzenne i wykorzystywanie znacznych zasobów różnorodnych danych, które instytucje środowiskowe w coraz większym zakresie udostępniają w otwartym dostępie. W przypadku pełnej otwartości danych zbieranych i posiadanych przez polskie instytucje takie jak np. m.in. Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy stosunkowo łatwo można zaadaptować

i wdrożyć tę metodykę do wykonania map przydatności w skali całego kraju, a wyniki udostępnić dla decydentów z zakresu gospodarki wodnej, ochrony środowiska oraz dla społeczeństwa. Aby wspierać udostępnianie i eksplorację nowych danych w postaci wykonanych map przydatności pokazujących potencjał do wdrożenia technik MAR w zlewni Dunajca ze szczegółowym uwzględnieniem rejonu Tarnowa, wszystkie opracowane mapy są dostępne na stworzonym do tego celu geoportalu (<https://tiny.pl/byq-6jgx>).

Pod względem potencjału wdrożeniowego można zauważyć, że odpowiednio wykorzystana zaproponowana metoda GIS-MCDA może stanowić niskokosztowe narzędzie wczesnego planowania inwestycji MAR, które może przyczynić się do poprawy ilościowej i jakościowej zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych oraz wzmacniania odporności systemów wodonośnych na presję klimatyczną.

4.4. Ocena ryzyka funkcjonowania i rozbudowy systemów MAR

Wybór obszaru potencjalnie przydatnego do zastosowania MAR stanowi wstępny etap realizacji celu właściwego dla danej techniki MAR, nie przesądza jednak jeszcze o jego osiągnięciu. Istnieje wiele dodatkowych czynników, od których zależy ostateczny sukces obiektu stosującego MAR na różnych etapach jego funkcjonowania. Identyfikacja grup ryzyka, świadomość zagrożeń oraz ocena każdego ryzyka pod kątem dotkliwości i prawdopodobieństwa wystąpienia mogą przyczynić się do długotrwałych korzyści i mniejszej awaryjności metod bazujących na zarządzaniu sztucznym zasilaniem wód podziemnych.

W tym celu zaproponowałem kompleksową ocenę ryzyka przetestowaną dla funkcjonującego obiektu MAR składającego się z 17 studni zasilanych czterema rowami infiltracyjnymi oraz na drodze infiltracji brzegowej z Dunajca, zlokalizowanego w Tarnowie, na ujęciu „Świerczków” (Sitek et al., 2023). Analizę ryzyka wykonałem dla istniejącego stanu oraz uwzględniając potencjalną rozbudowę ujęcia „Świerczków” o nowe studnie i rów infiltracyjny w części północnej. Zaproponowane rozwiązanie polegało na opracowaniu i praktycznym przetestowaniu użyteczności dwóch metod do oceny ryzyka: ilościowej macierzy ryzyka oraz probabilistycznej oceny ryzyka – analizy drzewa błędów (PRA-FTA) dla obiektów wykorzystujących MAR.

Inspiracją dla wytypowania ryzyk obejmujących czynniki techniczne i nietechniczne była praca Rodríguez-Escales (2018), w której zastosowano metodę bazującą na PRA-FTA dla obiektów MAR w rejonie basenu Morza Śródziemnego. Modyfikując i adaptując metodykę, odrzuciłem te ryzyka, które były nieadekwatne dla warunków Europy Środkowej i Tarnowa.

Część ryzyk została przeddefiniowana tak, aby odpowiadała specyfice badanego obiektu, w którym funkcjonują dwa typy MAR: infiltracja brzegowa i rowy infiltracyjne. Wprowadziłem również dodatkowe ryzyko związane z podwyższonym tłem geochemicznym, wynikającym z sąsiedztwa strefy przemysłowej.

Ponadto dostosowano operatory logiczne i formuły obliczeniowe w analizie PRA-FTA do lokalnych warunków hydrogeologicznych i eksploatacyjnych. Były to więc prace polegające na regionalizacji metody do warunków Europy Środkowej i specyfiki analizowanego obiektu.

W przypadku analizowanego obiektu wyniki uzyskane dwiema metodami, tj. macierzy ryzyka i PRA-FTA, na poziomie ryzyk podstawowych były podobne. Zgodność wyniosła ok. 80%, przy czym była wyższa dla fazy operacyjnej niż dla fazy rozbudowy. Spośród 65 analizowanych ryzyk, 34 okazały się istotne dla fazy eksploatacji istniejącego obiektu, a 31 dla fazy rozbudowy. Wykazałem także, że w obu przypadkach o bezpieczeństwie i efektywności analizowanego systemu MAR decydują przede wszystkim ryzyka techniczne, zwłaszcza dla etapu rozbudowy MAR.

W obu zastosowanych metodach najwyższy poziom ryzyka związany jest z nadmierną zawartością zawieszin w wodzie zasilającej rowy infiltracyjne, która w konsekwencji prowadzi do kolmatacji rowów i ograniczenia skuteczności zasilania warstwy wodonośnej (Sitek et al., 2023). To ryzyko powinno być traktowane priorytetowo w działaniach zaradczych, gdyż wyniki symulacji prognostycznych na wytarowanym modelu numerycznym przepływu wód podziemnych (Sitek et al., 2025) bezsprzecznie pokazują, że kolmatacja rowów prowadzi do zwiększenia napływu większej ilości wód podziemnych od wschodu na ujęcie, gdzie występuje rozległa strefa przemysłowa, negatywnie oddziałująca na jakość wód podziemnych. Obecnie mitygacja tego ryzyka opiera się na cyklicznym czyszczeniu rowów co kilka lat. Przeprowadzone badania mineralogiczne tego drobnoziarnistego osadu wskazują jednoznacznie, że jest to drobnoziarnisty materiał karpacki pochodzący z wód Dunajca, a więc przyczyną kolmatacji jest kolmatacja fizyczna. Wprowadzenie efektywnego wstępnego oczyszczania wód wykorzystywanych do nawadniania rowów mogłoby znacząco ograniczyć ten rodzaj ryzyka.

Istotne jest także ryzyko związane ze zmianą klimatu (susze i epizody intensywnych opadów), które obecnie oceniono jako umiarkowane, lecz które może narastać w przyszłości. Zmienność rozkładów opadów i wzrost średniorocznej temperatury pogarszają stabilność parametrów fizykochemicznych wody w Dunajcu i mogą zwiększać koszty uzdatniania w przyszłości. Wahania poziomu wód w Dunajcu w pobliżu ujęcia wyraźnie także wpływają na zmienność udziału infiltracji brzegowej w ogólnej ilości eksploatowanych wód z ujęcia

(Sitek et al., 2023, 2025). Równie istotnym ryzykiem wpływającym na zagrożenie jakości ujmowanych wód podziemnych jest ryzyko związane z presją przemysłową. Istotnym elementem monitoringu tego ryzyka jest zainicjowana przez mnie koncepcja, a następnie realizacja systemu monitoringu dedykowanego do tego ujęcia, składająca się z sieci dziewięciu nowych piezometrów (Rubin et al., 2020, Rubin et al., 2021a, Rubin et al., 2021b). Szczególną rolę w tym systemie odgrywają piezometry gniazdowe zlokalizowane po wschodniej stronie ujęcia „Świerczków”: DW-1p, DW-1g oraz DW-2p i DW-2g, ponieważ umożliwiają one niezależne monitorowanie dopływających wód podziemnych od wschodu na dwóch głębokościach zarówno w górnej, jak i w dolnej części czwartorzędowej warstwy wodonośnej.

Spośród dwóch zastosowanych metod istotną zaletą macierzy ryzyka jest to, że pozwala szybko uszeregować zagrożenia, wskazując priorytetowe ryzyka do rozwiązania (Fig. 3), natomiast metoda PRA-FTA lepiej odwzorowuje złożone ciągi zdarzeń i pozwala oszacować prawdopodobieństwo awarii całych grup procesów prowadzących do częściowego lub całkowitego zatrzymania systemu. Analiza drzewa błędów ułatwia ponadto wizualizację głównych procesów awaryjnych oraz podział pracy w zespole oceniającym ryzyko według kompetencji specjalistów (Fig. 4).

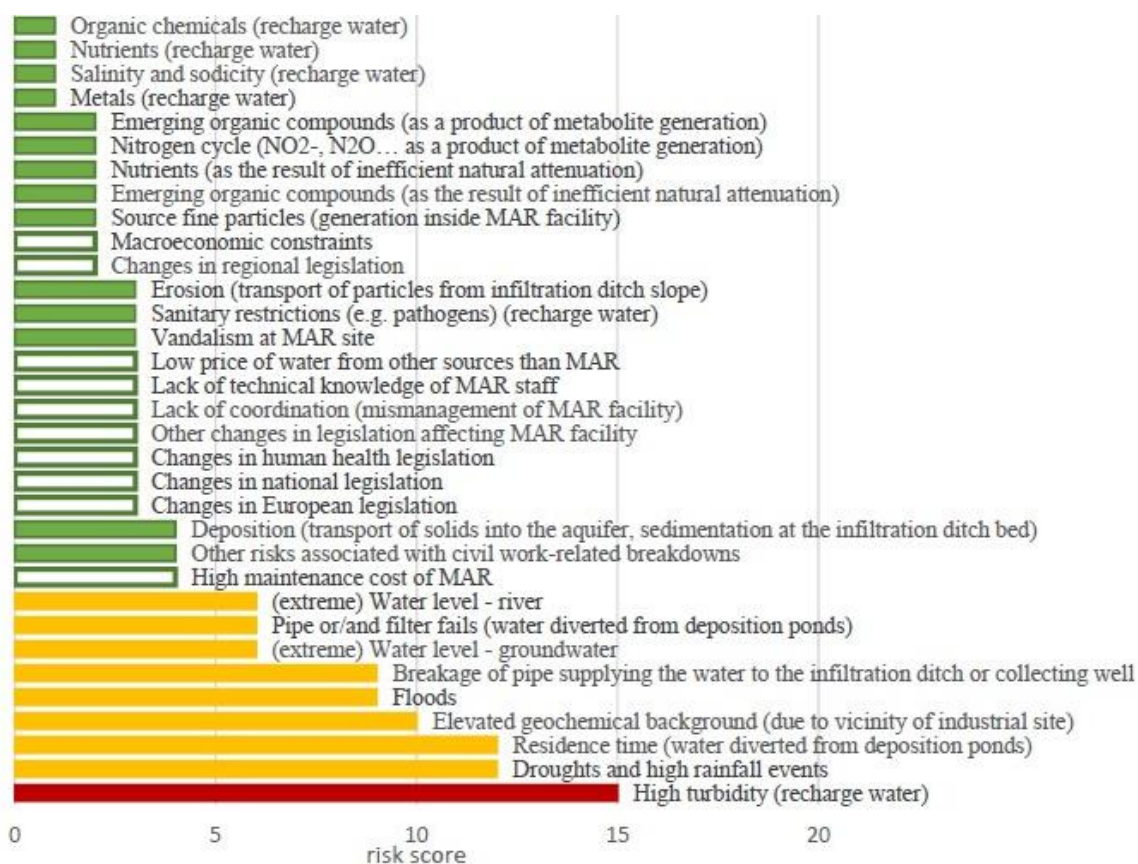


Fig. 3. Uszeregowane ryzyka techniczne i nietechniczne dla ujęcia „Świerczków” w fazie operacyjnej. (Ocena ryzyka: niskie – kolor zielony, średnie – kolor żółty, wysokie – kolor czerwony, wypełnione paski - ryzyko techniczne, niewypełnione paski - ryzyko nietechniczne) (Sitek et al., 2023)

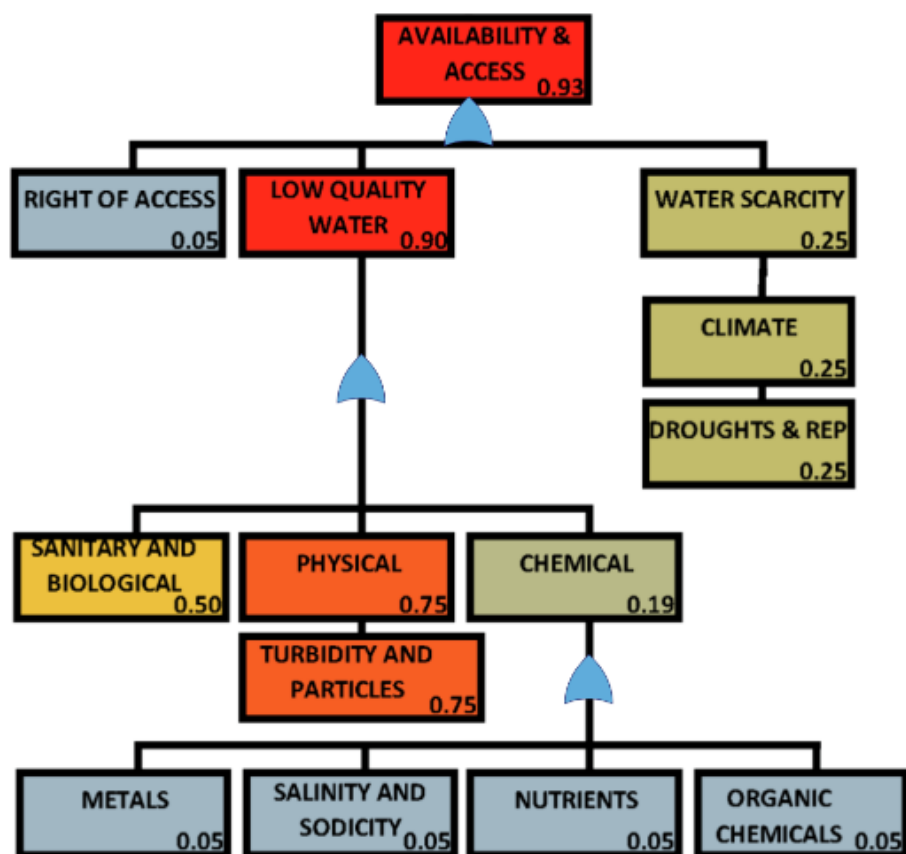


Fig. 4. Fragment drzewa błędów dla etapu rozbudowy, dotyczący dostępności wody dla MAR (całe drzewo błędów – Fig. A.1 w materiałach uzupełniających w artykule, (Sitek et al., 2023).

Wyniki według PRA-FTA wskazują, że choć większość pojedynczych ryzyk oceniono jako niskie, ich kombinacje dają bardzo wysokie prawdopodobieństwo awarii całego systemu, jeśli nie zastosuje się działań zapobiegawczych. Obliczone prawdopodobieństwo awarii systemu MAR wynosi 99,5% w fazie eksploatacji i 99,3% w fazie rozbudowy. Nie oznacza to wyłącznie całkowitego zniszczenia systemu, lecz obejmuje również częściową utratę sprawności i konieczność czasowego zatrzymania pracy.

W Polsce i na poziomie UE brak jest rozporządzeń lub norm bezpośrednio dotyczących procedur oceny ryzyka dla systemów MAR, mimo że takie obiekty istnieją. W tym sensie wykonana praca wypełnia lukę metodyczną i aplikacyjną: dostarcza procedury, które można zastosować w rzeczywistym obiekcie zaopatrzenia ludności w wodę, przy pomocy technik MAR, a badania przeprowadzone w Tarnowie mogą służyć jako przykład dobrej praktyki, w której szeroka ocena ryzyka dla istniejącego obiektu MAR oraz jego planowanej rozbudowy, obejmująca jednocześnie ryzyka techniczne i nietechniczne, została wykonana. Wyniki przeprowadzonego badania mogą też stanowić podstawę aplikacyjną do opracowania planów

naprawczych i lepszego planowania rozbudowy systemu przez Tarnowskie Wodociągi Sp. z o.o.

Zastosowanie dwóch podejść równolegle w analizie ryzyka opartej na macierzy ryzyka i PRA-FTA pozwala równocześnie szybko identyfikować ryzyka priorytetowe oraz rozumieć ich logiczne powiązania i skumulowany efekt dla potencjalnej awarii całego systemu. Szczególnie ważne jest wykazanie, że w przypadku MAR ryzyko nie sprowadza się do pojedynczego zagrożenia, lecz wynika z sekwencji zdarzeń technicznych, jakościowych i środowiskowych.

Praca dostarcza także nowego zestawu danych w postaci usystematyzowanego zestawu ryzyk odnoszących się do konkretnego, działającego obiektu wodociągowego w Polsce. Ponadto, wnosi nową interpretację znaczenia poszczególnych ryzyk: pokazuje, że głównym ograniczeniem sprawności MAR nie musi być sama ilość wody, lecz także jakość wody zasilającej. Badania nad ryzykiem ujawniają także istotną rolę lokalnego kontekstu przemysłowego odpowiedzialnego za podwyższenie tła geochemicznego jako czynnika, który w normalnych warunkach może być ograniczany przez MAR, ale przy zakłóceniach systemu może stać się istotnym zagrożeniem jakościowym dla pracującego ujęcia wody. Dla właściciela ujęcia istotnym elementem jest to, że uzyskane wyniki pozwoliły wskazać te elementy systemu, które wymagają priorytetowych działań prewencyjnych i monitoringu.

Wyniki przeprowadzonej analizy ryzyka dwoma metodami dla funkcjonującego obiektu MAR oraz dla planowanej rozbudowy tego systemu otworzyły dalsze kierunki mojej pracy badawczej związane z monitoringiem ilościowym i jakościowym na ujęciu „Świerczków” oraz modelowaniem przepływu wód podziemnych. W ramach współpracy z Uniwersytetem Technicznym w Monachium oraz Tarnowskimi Wodociągami Sp. z o.o., przygotowując dane i informacje o kierunkach potencjalnej rozbudowy ujęcia, niezbędnych pracach do wykonania i ich kosztach, sporządzono analizę ekonomiczną wykonalności rozbudowy ujęcia, która dowodzi jej opłacalności (Halytsia et al., 2022). We wszystkich trzech wykonanych scenariuszach: konserwatywnym, neutralnym i optymistycznym wartość bieżąca netto pozostawała dodatnia, co oznacza, że projekt rozbudowy wygląda na opłacalny nawet przy mniej korzystnych założeniach. Dodatkowym interesującym badaniem były także informacje z przeprowadzanych wspólnie z TUM badań ankietowych określające, ile mieszkańcy są gotowi dopłacić za stabilne i bezpieczne dostawy wody pitnej, lepszą jakość wód podziemnych i poprawę stanu ekologicznego dzięki rozbudowie systemu MAR w Tarnowie. Wyniki pokazały, że tylko około 1/3 badanych nie chciała nic dopłacać, ale pozostałe osoby godziły się na dopłaty, wiążąc najczęściej swoją gotowość do płacenia z korzyściami dla przyszłych

pokoleń i środowiska, a nie tylko z własnym zużyciem wody. Wynik ten świadczy pozytywnie o społecznej akceptacji rozwiązań opartych na MAR.

4.5. Monitorowanie systemów MAR i ocena ich efektywności w osiąganiu założonych celów ilościowych i jakościowych

Jednym z głównych zagadnień mojej pracy naukowej od 2019 roku jest badanie efektywności pracy ujęć wód, które korzystają ze sztucznego zasilania wód podziemnych. Są to ujęcia komunalne, których działania opierają się na wykorzystaniu infiltracji brzegowej, jak np. ujęcie „Kępa Bogumiłowska” lub połączenie infiltracji brzegowej z rowami infiltracyjnymi lub stawami infiltracyjnymi, odpowiednio ujęcie „Świerczków” w Tarnowie i ujęcie w Zgorzelcu, to ostatnie badane w ramach trwającego projektu CROSSWATER.

W tym celu wykorzystuję liczne metody badań terenowych, laboratoryjnych i modelowych, pozwalające ocenić, czy zastosowanie metod MAR przyczynia się do długotrwałego i stabilnego zwiększenia zasobów wód podziemnych, zarówno w ujęciu ilościowym, jak i jakościowym. Zdobyte doświadczenie pozwoliło mi wypracować metodykę badań umożliwiającą ocenę efektywności funkcjonowania systemów MAR, identyfikację elementów newralgicznych w ich działaniu oraz typowanie studni, w których reakcja na zmiany w funkcjonowaniu MAR może ujawniać się najwcześniej.

Opierając się na wynikach przedstawionych w cyklu tematycznie powiązanych publikacji naukowych i odnosząc się do własnego doświadczenia zdobytego w zakończonym projekcie DEEPWATER-CE, jak i obecnie realizowanym projekcie CROSSWATER, punktem wyjścia do oceny efektywności MAR powinna być zawsze szczegółowa charakterystyka hydrogeologiczna obszaru, gdzie MAR jest lub będzie stosowany. Może ona obejmować, po etapie prac kameralnych opartych na dostępnych materiałach archiwalnych, badania nieinwazyjne, jak np. badania geofizyczne, a także, jeśli istnieją możliwości finansowe, budowę dedykowanej sieci piezometrów, która bardzo często na ujęciach wodociągowych jest niedostatecznie rozwinięta. Odpowiedni monitoring wód podziemnych zwiększa znacząco nasze zrozumienie na temat czynników i procesów, które decydują o ilości i jakości wód ujmowanych na ujęciu, które stosuje metody sztucznego zasilania wód podziemnych.

4.5.1. Budowa sieci monitoringu badawczego

Na ujęciu „Świerczków” w Tarnowie, w obszarze prowadzonych prac badawczych, wykonano dedykowaną sieć monitoringu wód podziemnych (Rubin et al., 2020, Rubin et al.,

2021a, Rubin et al., 2021b). Na podstawie wstępnych badań terenowych, obejmujących m.in. badania geofizyczne, pomiary położenia i wahań zwierciadła wód podziemnych oraz analizę jakości wód i udostępnionych materiałów archiwalnych, a także z uwzględnieniem uwarunkowań prawnych, zdecydowałem, że lokalizacja dziewięciu piezometrów powinna umożliwiać monitorowanie strefy dopływu wód podziemnych do ujęcia od wschodu, strefy mieszania się wód infiltrujących z wodami podziemnymi oraz obszaru perspektywicznej rozbudowy ujęcia, położonego bezpośrednio na północ od obecnych studni eksploatacyjnych.

Dodatkowo wyposażenie części studni eksploatacyjnych i nowych piezometrów w rejestratory umożliwiające pomiary zwierciadła wód podziemnych i temperatury z wysoką rozdzielczością czasową, a częściowo także przewodności elektrolitycznej właściwej, dostarcza danych o wysokiej wartości poznawczej. Rejestratory te umożliwiają zobrazowanie szybkości reakcji analizowanego systemu wodonośnego na pojedyncze zdarzenia, takie jak np. zmiany poziomu wody w Dunajcu (Sitek, 2022). Rozwiązania w zakresie monitoringu wysokiej rozdzielczości, przyjęte i przetestowane na ujęciu „Świerczków”, były następnie wdrażane z moim udziałem również na ujęciu „Kępa Bogumiłowicka” (Janik et al., 2025), a obecnie są rozwijane także w ramach projektu CRossWATER, którym kieruję.

Transferowalność wypracowanej metodyki monitoringu została potwierdzona w listopadzie 2025 r. w Zgorzelcu, gdzie wdrożono kompleksowy system ciągłego monitoringu wód podziemnych i powierzchniowych. System ten jest obecnie wykorzystywany operacyjnie przez lokalne przedsiębiorstwo wodociągowe i wspiera podejmowanie decyzji dotyczących bezpiecznej oraz zrównoważonej pracy ujęcia. Potwierdza to, że opracowane przeze mnie rozwiązania mają charakter nie tylko poznawczy, lecz także wdrożeniowy i mogą być powtarzalnie stosowane w innych warunkach hydrogeologicznych.

W kontekście niniejszego osiągnięcia kluczowe znaczenie miało jednak zastosowanie tej metodyki na ujęciu „Świerczków”. Odpowiednio zaprojektowana lokalizacja monitoringu badawczego oraz wyposażenie piezometrów i części studni w rejestratory danych o wysokiej rozdzielczości czasowej mogą stanowić podstawę systemu wczesnego ostrzegania przed zmianami efektywności działania sztucznego zasilania. Obserwacje stanu ilościowego i jakościowego prowadzone w piezometrach zlokalizowanych w środkowej części ujęcia (DW-5, DW-6 i DW-7) pozwalają śledzić zmiany związane z funkcjonowaniem systemu MAR, natomiast piezometry strefowe DW-1p, DW-1g, DW-2p i DW-2g (Fig. 5) oraz istniejący wcześniej piezometr U-14 umożliwiają monitorowanie potencjalnych zagrożeń wynikających z obecności strefy przemysłowej sąsiadującej z ujęciem od wschodu.

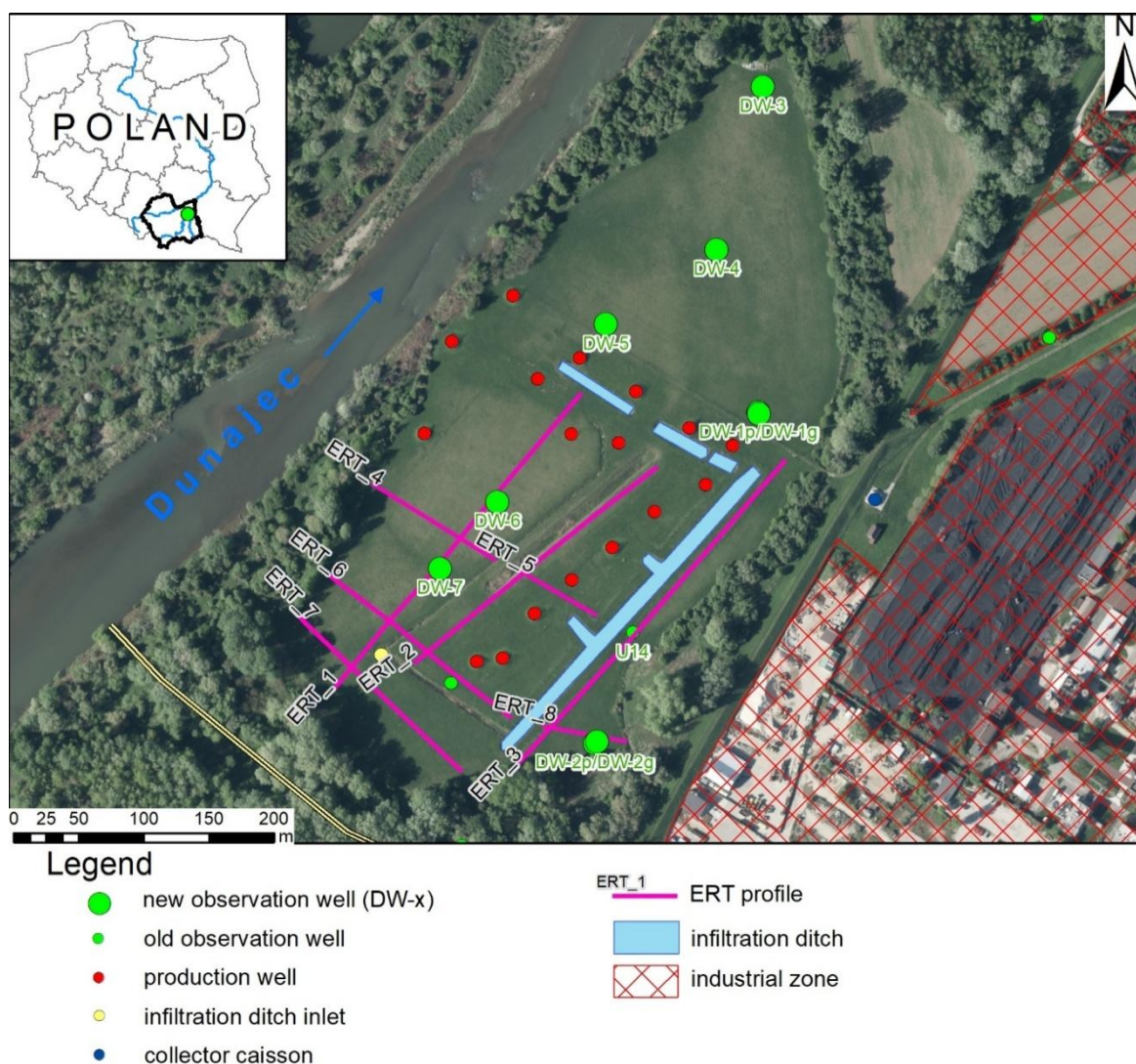


Fig. 5. Lokalizacja nowych piezometrów i profili ERT w rejonie ujęcia Świerczków.

Dzięki budowie sieci monitoringu badawczego pozyskano nowe, szczegółowe dane punktowe dotyczące głębokości zalegania stropu i spągu czwartorzędowych żwirów i piasków budujących ujmowaną warstwę wodonośną o zwierciadle swobodnym. Dziewięć nowych piezometrów istotnie poszerzyło również wiedzę o jakości wód podziemnych oraz umożliwiło bardziej precyzyjne określenie lokalnych kierunków przepływu rodzimych wód podziemnych. Pozwoliło to na wstępne wyznaczenie zasięgu występowania wód pochodzących z infiltracji brzegowej oraz rowów infiltracyjnych. Dane pozyskane w ramach monitoringu badawczego wykorzystano następnie w dalszych pracach obejmujących badania modelowe oraz do określenia proporcji mieszania się wód podziemnych i powierzchniowych w studniach eksploatacyjnych (Sitek et al., 2025).

Szczególnie istotne okazały się wyniki uzyskane dla piezometrów zlokalizowanych w północnej części badanego obszaru, bezpośrednio przyległej do obecnego ujęcia

i rozpatrywanej jako teren potencjalnej jego rozbudowy. Ich lokalizacja pozwoliła ustalić aktualną jakość wód oraz rozpoznać potencjalne zagrożenia związane z przyszłą eksploatacją tego obszaru, wynikające m.in. z negatywnego oddziaływania pobliskiej hałdy węgla wykorzystywanego przez elektrociepłownię. Uwidacznia się to zarówno w znacząco podwyższonej przewodności wód w piezometrze DW-3 (około 1800 $\mu\text{S}/\text{cm}$), jak i we wzroście stężeń siarczanów, chlorków oraz azotanów, wyraźnie odbiegających od wartości obserwowanych stężeń w wodach studni eksploatacyjnych, które w znacznej części ujmują wody pochodzące ze sztucznej infiltracji (Sitek, 2022).

4.5.2. *Badania geofizyczne jak element rozpoznania systemu MAR*

Skuteczność oraz bezpieczeństwo eksploatacji systemów sztucznego zasilania poziomów wodonośnych są bezpośrednio uzależnione od szczegółowego rozpoznania struktury ośrodka wodonośnego i warunków hydrogeologicznych wpływających na lokalne możliwości magazynowania wody, kierunki rozprzestrzeniania się strumienia wód infiltrujących oraz lateralny napływ wód podziemnych. W pracy opublikowanej w *Geological Quarterly* (Sitek et al., 2026b), wykazałem przydatność tomografii elektrooporowej w połączeniu z danymi archiwalnymi z otworów oraz z wynikami monitoringu wód podziemnych jako narzędzia do bardzo szczegółowej charakterystyki hydrogeologicznej eksploatowanego systemu MAR w Tarnowie. Takie zintegrowane podejście badawcze pozwala przejść od rejestracji geoelektrycznej do hydrogeologicznej interpretacji struktur geologicznych i stref pozostających pod wpływem sztucznego zasilania, co uważam za zasadniczą wartość poznawczą tej pracy.

Pomiary ERT przeprowadzone na ujęciu „Świerczków” umożliwiły szczegółowe rozpoznanie struktur podpowierzchniowych do głębokości 10-13 m przy profilach o długości 54-66 m, a dla pozostałych dłuższych profili 110-260 m, głębokość penetracji wyniosła około 24 m. Kontrasty w wartościach oporności elektrycznej wraz z danymi z kart otworów umożliwiły na całej długości przekrojów ERT (Fig. 5), wydzielenie trzech stref o kluczowym znaczeniu, tj. i) strefy aeracji, ii) strefy saturacji oraz iii) stropową partię osadów mioceńskich wyznaczających spąg analizowanego poziomu wodonośnego.

Ujęcie „Świerczków” cechuje się specyficznymi warunkami hydrogeologicznymi, wynikającymi z występowania czwartorzędowej warstwy wodonośnej o bardzo wysokiej przewodności hydraulicznej, lecz stosunkowo niewielkiej miąższości. Badania geofizyczne umożliwiły wskazanie miejsc, w których strop warstwy wodonośnej znajduje się bliżej powierzchni terenu, oraz rozpoznanie lokalnych obniżień jej spągu. Informacje te mają istotne

znaczenie praktyczne, ponieważ mogą wspierać decyzje dotyczące lokalizacji rowów infiltracyjnych, wytypowania najkorzystniejszych miejsc do wykonania nowych studni eksploatacyjnych oraz dalszej rozbudowy systemu monitoringu wód podziemnych. Technika ERT stanowi zatem użyteczne narzędzie optymalizacji systemów MAR, wspierające właściwe rozmieszczenie studni i rowów infiltracyjnych, ograniczanie kosztów inwestycji oraz zwiększanie efektywności rozwiązań opartych na sztucznym zasilaniu wód podziemnych.

Cechą charakterystyczną dla tego obszaru okazały się relatywnie wysokie wartości oporności elektrycznej (do 1000-1500 Ωm) obserwowane w obrębie nasyconego czwartorzędowego poziomu wodonośnego na ujęciu „Świerczków”, które wymagają interpretacji zarówno w kontekście lokalnych warunków litologicznych, jak i hydrochemicznych. W tym przypadku czwartorzędowa warstwa wodonośna na całym obszarze jest podobnie wykształcona i zbudowana głównie z gruboziarnistych piasków i żwirów oraz otoczków. Badane osady charakteryzują się bardzo niskim udziałem frakcji ilastej, co potwierdzają profile otworów archiwalnych, wyniki badań próbek osadów podczas wierceń piezometrów, jak i rezultaty z próbnych pompowań (wartości współczynników filtracji, $k \approx 10^{-3}$ m/s) (Wojtal, 2013; Sitek et al., 2025). Takie warunki litologiczne ograniczają przewodnictwo powierzchniowe i skutkują wysoką opornością objętościową nawet przy pełnym nasyceniu wodą.

Za szczególnie istotny rezultat opublikowanej pracy (Sitek et al., 2026b) uznaję wykazanie, że za zróżnicowanie wartości oporności elektrycznej w obrębie wysoko rezystywnego poziomu wodonośnego odpowiada sztuczne zasilanie wód podziemnych. Umożliwiło to odróżnienie stref pozostających pod wpływem wyraźnej sztucznej infiltracji wód powierzchniowych w ramach działania MAR od obszarów na ujęciu, gdzie wody podziemne wykazują dopływ bardziej zmineralizowanych wód rodzimych ze strony strefy przemysłowej. Takie intensywne zasilanie poziomu wodonośnego w wyniku sztucznej infiltracji znajduje najwyraźniejsze odzwierciedlenie na profilach ERT_1 i ERT_2 w centralnej części ujęcia, gdzie zmierzona oporność elektryczna w centralnych i północnych częściach przekrojów ERT jest najwyższa i wyraźnie różni się od tej obserwowanej w południowych częściach warstwy wodonośnej, gdzie dopływa woda podziemna o podwyższonej mineralizacji (Fig. 6).

W mojej ocenie wynik zastosowania metody ERT, opisanego na przykładzie ujęcia „Świerczków” ma znaczenie szersze niż wyłącznie lokalne studium przypadku, ponieważ pokazuje, że stosowanie metody tomografii elektrooporowej może być efektywnie

wykorzystywane do identyfikacji przestrzennego zasięgu oddziaływania różnych źródeł zasilania systemów hydrogeologicznych i badania efektywności sztucznej infiltracji.

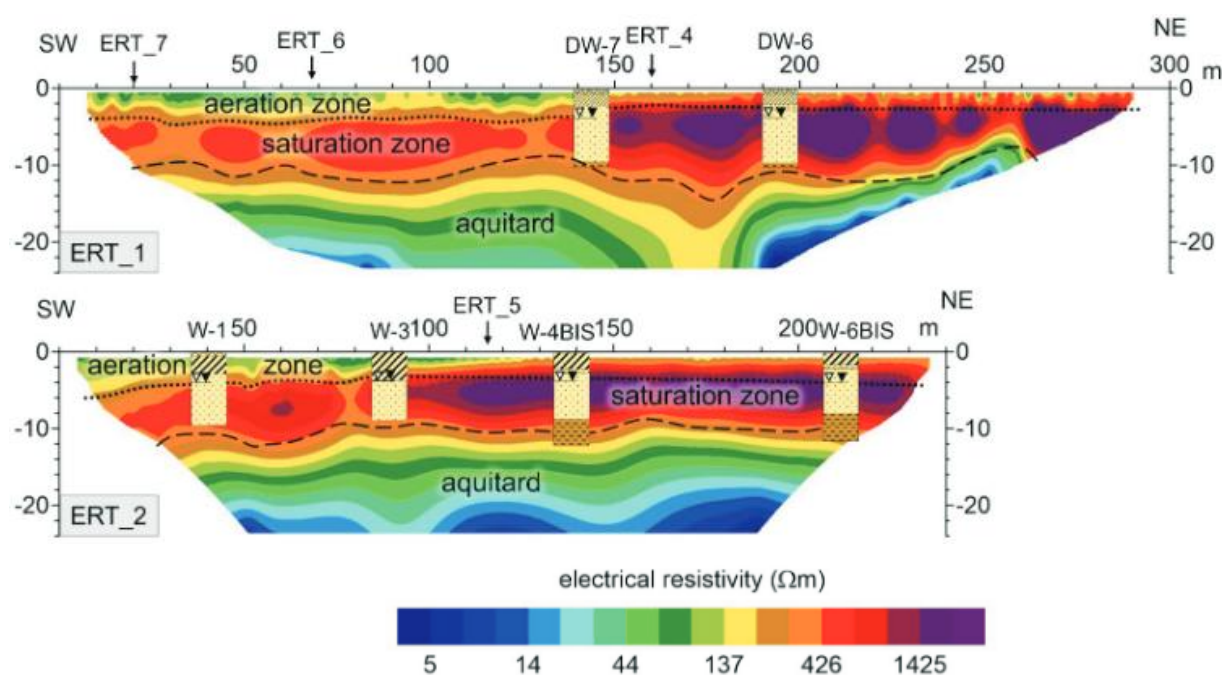


Fig. 6. Wyniki pomiarów elektrooporowych. Na wszystkich profilach ERT linia kropkowana wskazuje granicę między strefą nienasyconą a strefą nasyconą; linia przerywana wskazuje granicę między strefą nasyconą a warstwą nieprzepuszczalną. Do obu profili zastosowano jednolitą skalę kolorów odpowiadającą oporności elektrycznej. Obszary zaznaczone kreskowaniem na odwiertach od góry oznaczają odpowiednio: DW-7 (gleba; glina piaszczysta; żwir, piasek i otoczaki; il); DW-6 (gleba; glina piaszczysta; żwir, piasek i otoczaki; il); W-1 (gleba; glina piaszczysta; żwir z piaskiem i otoczkami); W-3 (gleba; glina piaszczysta; żwir z piaskiem i otoczkami); W-4BIS (gleba, pył/glina piaszczysta; żwir piaszczysty i otoczaki, il), W-6BIS (gleba, pył/glina piaszczysta; żwir piaszczysty i otoczaki, il) (Sitek et al., 2026b)

Przedstawione wyniki badań geofizycznych w artykule (Sitek et al., 2026b) jak również dodatkowe profile ERT wykonane w ramach projektu DEEPWATER-CE (Sitek, 2022), stanowiły także wartościowy materiał na potrzeby przeprowadzenia badań modelowych. Uzyskane dane o miąższości osadów i położeniu zwierciadła wody były przydatne na etapie od powstawania modelu koncepcyjnego, poprzez jego budowę i weryfikację w programie, co ostatecznie przyczynia się do zwiększenia wiarygodności symulacji modelowych i redukcji niepewności prognoz hydrogeologicznych.

4.5.3. Modelowanie przepływu wód podziemnych jako narzędzie oceny efektywności MAR

Badania modelowe umożliwiły mi sprawdzenie wielu wariantów funkcjonowania systemów sztucznego zasilania wód podziemnych stosowanych na ujęciach w rejonie Tarnowa oraz przewidywanie potencjalnych skutków hydrodynamicznych i jakościowych, których

weryfikacja w skali rzeczywistej byłaby niemożliwa lub bardzo trudna. Z tego względu modelowanie jest powszechnie wykorzystywane na wszystkich etapach wdrażania systemów MAR: od planowania, przez rozbudowę, po optymalizację ich funkcjonowania (Ringleb et al., 2016; Umar et al., 2017).

Wiarygodność wyników badań modelowych i analiz przeprowadzonych na podstawie symulacji prognostycznych zależy w dużym stopniu od stopnia rozpoznania modelowanego obszaru. Dlatego przeprowadzone przeze mnie badania modelowe poprzedziłem skrupulatnie zaplanowanym monitoringiem obejmującym szczegółowe badania terenowe, geofizyczne, hydrochemiczne i hydrodynamiczne (Sitek, 2022), częściowo omówione powyżej.

Zastosowane badania modelowe umożliwiły dokładną ocenę efektywności działania MAR w rejonie Tarnowa ze szczególnym uwzględnieniem ujęcia „Świerczków”. Opracowany przeze mnie model przepływu wód podziemnych, oparty na rozwiązaniu równań filtracji metodą elementów skończonych dla przyjętych parametrów i warunków brzegowych, dostarczył jednoznacznych wyników obliczeń. Jednakże każdy model numeryczny pozostaje obarczony niepewnością, wynikającą z braku możliwości bezpośredniego pomiaru niektórych parametrów i konieczności ich szacowania. Ze względu na znaczenie modelu dla wnioskowania o efektywności MAR na ujęciu „Świerczków” jego kalibrację poza standardową procedurą analizy poprawności bilansu czy porównaniem zwierciadła zmierzonego w terenie ze zwierciadłem obliczonym na modelu, zweryfikowano także z wykorzystaniem znaczników środowiskowych. Podejście to umożliwiło weryfikację kierunków przepływu wód do poszczególnych studni na ujęciu, wyznaczonych na podstawie modelu numerycznego. Skład izotopowy i chemiczny wód oznaczono w ramach rocznego monitoringu prowadzonego w projekcie DEEPWATER-CE. Ponieważ zastosowanie pojedynczego wskaźnika chemicznego może prowadzić do uproszczonych lub błędnych wniosków (Covatti & Grischek, 2021), walidację modelu oparto na kompleksowej interpretacji danych chemicznych, obejmującej izotopy azotanów, stabilne izotopy wody, jony główne, w tym chlorki i siarczany, oraz jon amonowy, parametr będący charakterystycznym lokalnym zanieczyszczeniem analizowanych wód podziemnych.

Opracowany trójwymiarowy model obszaru o powierzchni 15 km² obejmował funkcjonowanie dwóch ujęć stosujących MAR tj. „Świerczków” i „Kępa Bogumiłowicka”, które odpowiadają odpowiednio za 41% i 53% całkowitego poboru odwzorowanego w modelu. Analiza wykazała wyraźne różnice w udziale infiltracji rzecznej pochodzącej z Dunajca w wodzie ujmowanej przez oba ujęcia. Dla ujęcia „Kępa Bogumiłowicka” udział ten wynosił 85%, natomiast dla ujęcia „Świerczków” wody bezpośrednio infiltrujące przez brzeg Dunajca

wynoszą około 37%. Różnica ta wynika przede wszystkim z charakteru technicznego obu systemów: „Kępa Bogumiłowicka” jest typowym ujęciem infiltracyjnym opartym tylko na infiltracji brzegowej (Janik et al., 2024, 2025), podczas gdy na ujęciu „Świerczków” współdziałają infiltracja brzegowa i rowy infiltracyjne.

Symulacje prognostyczne, które wykonałem dla przepływów odpowiadających piętemu i dziewięćdziesiątemu piątemu percentylowi obserwacji z wodowskazu na Dunajcu w Zgłobicach wskazały, że w ujęciu „Świerczków” udział wód Dunajca w wodzie ujmowanej zmienia się od około 32,5% przy niskich przepływach do niespełna 44% przy wysokich stanach wody. Oznacza to, że udział infiltracji rzecznej pozostaje silnie zależny od aktualnych warunków hydrologicznych, co ma istotne znaczenie dla oceny bezpieczeństwa eksploatacji ujęcia i wpływu filtracji brzegowej na poszczególne studnie (Fig. 7).

Dominującym składnikiem bilansu zasilania ujęcia „Świerczków” są rowy infiltracyjne, które odpowiadają za 61% wody ujmowanej przez ujęcie. Przeprowadzone przez mnie badania wykazały, że rowy infiltracyjne pełnią podwójną funkcję; z jednej strony zasilają studnie eksploatacyjne, dostarczając średnio około 4300 m³/d, z drugiej zaś strony ograniczają migrację zanieczyszczeń z obszaru przemysłowego. Szczególne znaczenie ma najdłuższy rów infiltracyjny, położony wzdłuż wschodniej granicy ujęcia, o długości około 280 m, którego funkcjonowanie prowadzi do lokalnego podpiętrzenia zwierciadła wód podziemnych i wytworzenia lokalnej bariery hydraulicznej modyfikującej kierunki przepływu wód podziemnych. W efekcie napływ zanieczyszczonych wód podziemnych na teren ujęcia został ograniczony do około 2% ilości ujmowanej wody przez studnie. Badania modelowe umożliwiły tym samym ilościowe wydzielenie trzech głównych komponentów zasilania ujęcia „Świerczków” oraz wykazanie, że zastosowany system MAR pełni nie tylko funkcję zwiększania zasobów, lecz również funkcję ochronną. Skuteczność tego rozwiązania pozostaje jednak silnie uzależniona od zachowania odpowiedniej sprawności technicznej rowów infiltracyjnych.

Zastosowanie analizy exit probability (Molson & Frind, 2012) w programie FEFLOW dla studni ujęcia „Świerczków” w programie FEFLOW pozwoliło wyznaczyć obszar spływu wód do ujęcia o powierzchni około 0,77 km². Strefa ta ma kształt wąski i wydłużony, a jej istotna część pokrywa się z obszarem przemysłowym (Fig. 7). Pomimo niewielkiego udziału naturalnego dopływu podziemnego, komponent ten ma istotne znaczenie dla jakości wody ujmowanej.

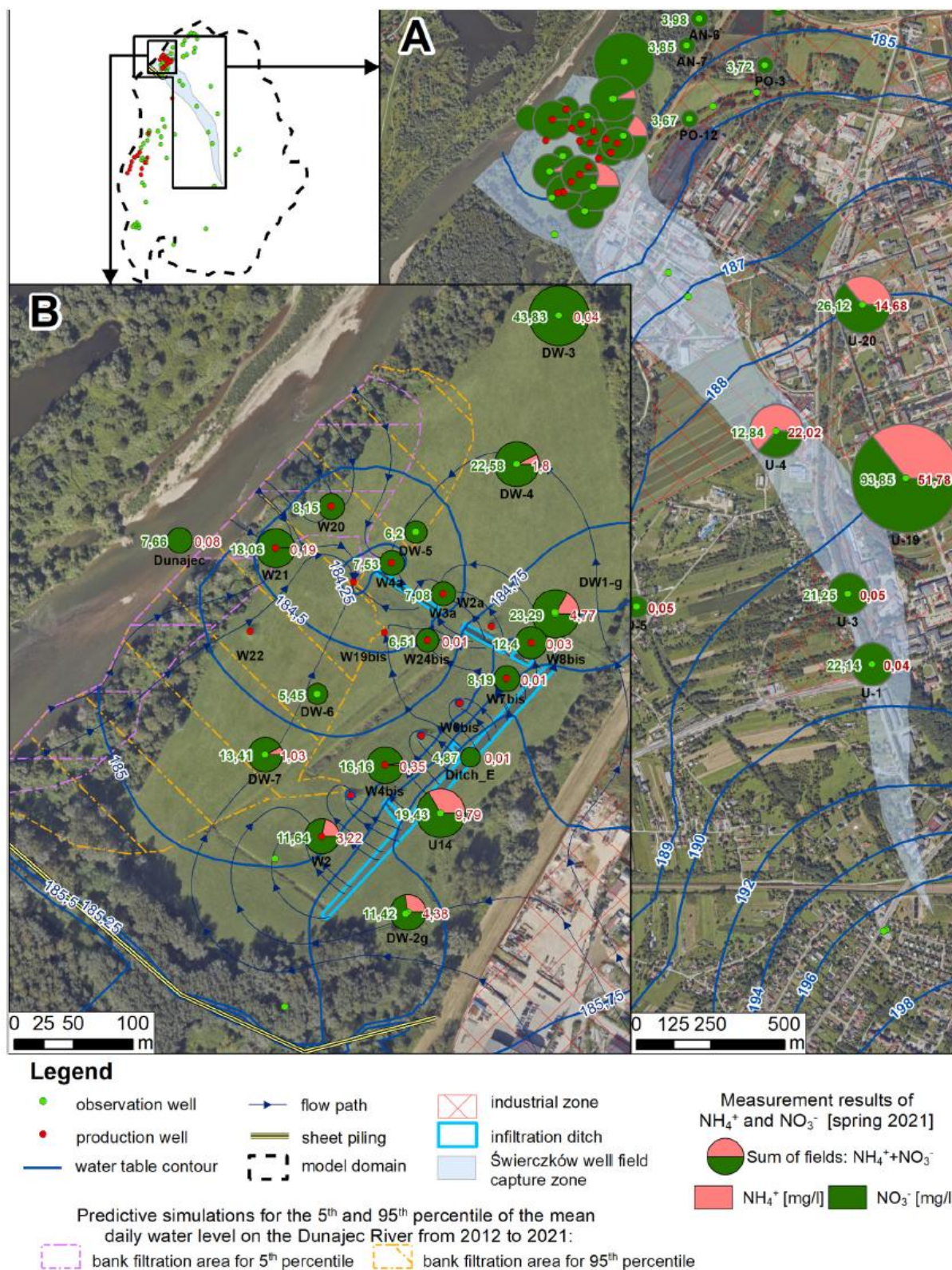


Fig. 7. Wyniki modelowania rozkładu zwierciadła wód podziemnych w obszarze spływu wód do ujęcia (A) oraz na ujęciu „Świerczków” (B), wraz ze zmierzonymi stężeniami NH_4^+ i NO_3^- w wybranych lokalizacjach wiosną 2021 r., (Sitek et al., 2025).

Symulacje wykazały, że pogorszenie sprawności rowów infiltracyjnych, spowodowane kolmatacją ich dna lub obniżeniem poziomu wody, prowadzi do poszerzenia strefy dopływu

oraz zwiększenia udziału wód podziemnych napływających z terenów przemysłowych, w tym z obszarów silnie zanieczyszczonych (Fig. 8). Wyniki te pokazują, że ocena efektywności MAR nie może więc ograniczać się tylko do ilości zasobów, lecz musi obejmować także kontrolę dróg przepływu wód i migracji zanieczyszczeń. Symulacje przeprowadzone na modelu numerycznym pokazują, że w przypadku pogorszenia się efektywności działania rowów infiltracyjnych jedne z pierwszych zagrożonych studni będą studnie zlokalizowane w południowo-wschodniej części ujęcia (studnia W1 i W2).

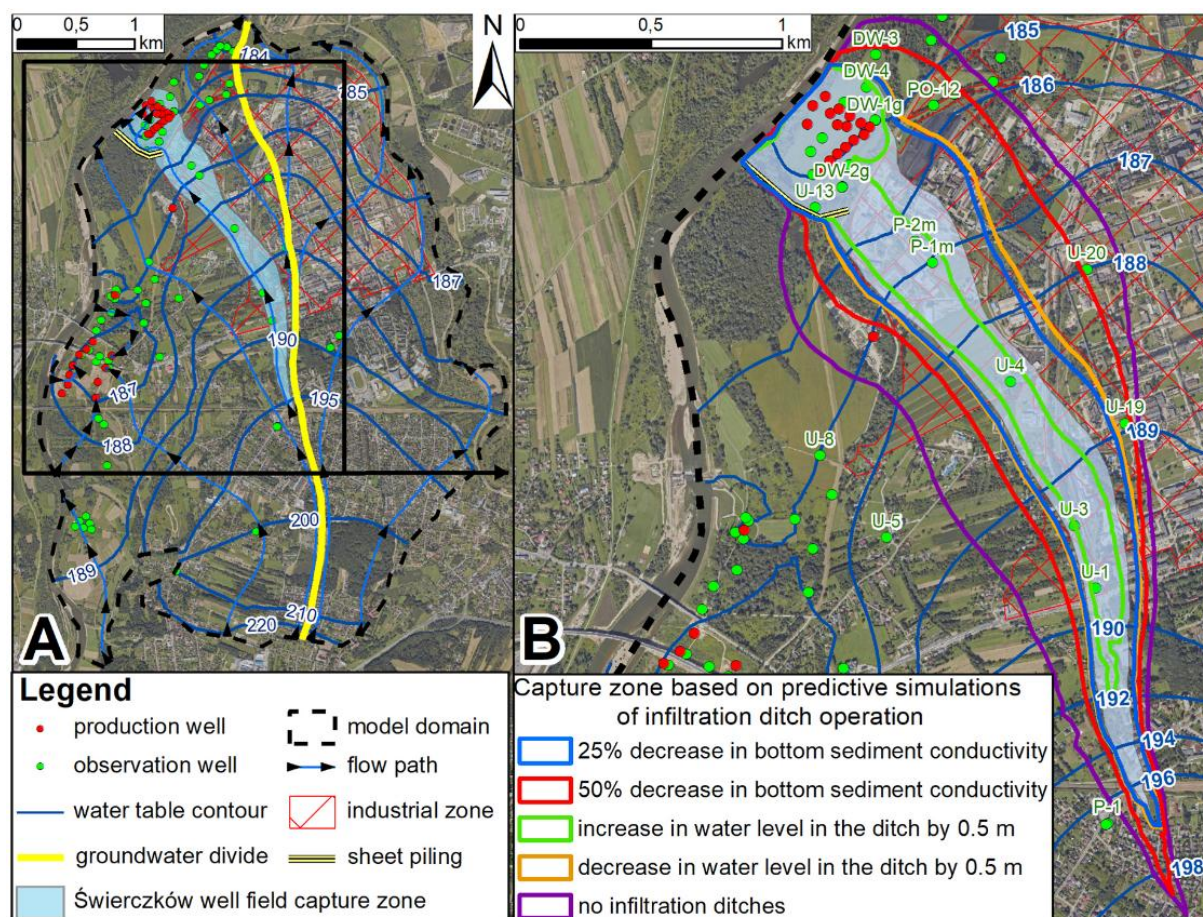


Fig. 8. Potencjalne zmiany obszaru sływu wód do ujęcia „Świerczków” oparte na wybranych symulacjach prognostycznych działania rowów infiltracyjnych (Sitek et al., 2025).

Badania modelowe wykazały, że spadek efektywności technicznej rowów infiltracyjnych na ujęciu „Świerczków” bezpośrednio obniża bezpieczeństwo pracy całego ujęcia, zarówno pod względem ilościowym, jak i jakościowym. Utrzymanie wysokiej sprawności rowów powinno zatem stanowić priorytet. Ma to szczególne znaczenie w świetle obserwowanych i prognozowanych zmian klimatycznych w rejonie Tarnowa, obejmujących wzrost temperatury, nierównomierny rozkład opadów w ciągu roku oraz większą częstość opadów ekstremalnych. Zmiany te mogą zwiększać zmienność zasilania rzeczno i prowadzić do większej niestabilności warunków zasilania ujęcia ze strony Dunajca, co dodatkowo

wzmacnia potrzebę utrzymania rowów infiltracyjnych w dobrym stanie technicznym. Potencjalnym działaniem adaptacyjnym mogłoby być wykorzystanie retencji zbiornikowej w zlewni Dunajca do stabilizacji wielkości przepływu, jednak możliwości tego rozwiązania mogą być częściowo ograniczane przez postępującą sedymentację wybranych zbiorników (Pieron et al., 2021; Absalon et al., 2023).

4.5.4. Znaczniki hydrochemiczne i izotopowe w ocenie źródeł zasilania i mieszania wód

Zastosowane znaczniki hydrochemiczne i izotopowe, poza tym że stanowiły niezależne narzędzie weryfikacji modelu numerycznego, dostarczyły również informacji o źródłach zasilania studni i stopniu mieszania się rodzimych wód podziemnych z wodami pochodzącymi z dwóch stosowanych technik MAR infiltracji brzegowej i rowów infiltracyjnych. Badania izotopów stabilnych wody wykazały, że piezometr U14 reprezentuje lokalne wody podziemne i charakteryzuje się najbardziej stabilnym składem izotopowym w cyklu rocznym. W przeciwieństwie do wód z piezometru, wody z Dunajca i rowów infiltracyjnych wykazywały wyraźną sezonową zmienność, co uniemożliwiło ilościowe oszacowanie udziału źródeł prostymi modelami mieszania, lecz pozwoliło na jakościowe rozróżnienie studni zdominowanych zasilaniem przez wodę powierzchniową i studni o charakterze mieszanym (Fig. 9). Wyniki te pozostają zgodne z kierunkami przepływu wyznaczonymi na modelu numerycznym. Położenie próbek wody względem lokalnej linii wód opadowych wskazywało ponadto na szybkie zasilanie infiltracyjne bez wyraźnego wpływu parowania.

Badanie z zastosowaniem izotopów stabilnych wody na ujęciu „Świerczków” potwierdziło ich praktyczną przydatność do identyfikacji źródeł zasilania i weryfikacji modelu przepływu wód podziemnych, dlatego w kolejnych latach badanie to zostało zaimplementowane także na ujęciu „Kępa Bogumiłowicka” (Janik et al., 2025).

Uzupełnieniem tych badań były analizy izotopów azotanów, prowadzone we współpracy z Uniwersytetem Technicznym w Monachium oraz UFZ w Halle. Wyniki wykorzystano do identyfikacji źródeł azotanów oraz do wsparcia interpretacji mieszania dwóch odmiennych źródeł zasilania w wybranych studniach eksploatacyjnych. Większość analizowanych studni lokowała się pomiędzy wartościami charakterystycznymi dla rodzimych wód podziemnych reprezentowanych przez piezometr U14 a wartościami dla wód związanych z zasilaniem powierzchniowym, co potwierdziło spójność interpretacyjną z wynikami analiz izotopów stabilnych wody oraz z koncepcją hydrodynamiczną systemu. Na podstawie analizy składu izotopowego azotanów można sformułować także wniosek o istotnym znaczeniu praktycznym: prawidłowo funkcjonujące rowy infiltracyjne ograniczają dopływ silnie

zanieczyszczonych wód, w tym z obszaru najwyższych stężeń azotanów w rejonie piezometru U19 (Fig. 7) i jednocześnie sprzyjają rozcieńczaniu stężeń azotanów w studniach eksploatacyjnych.

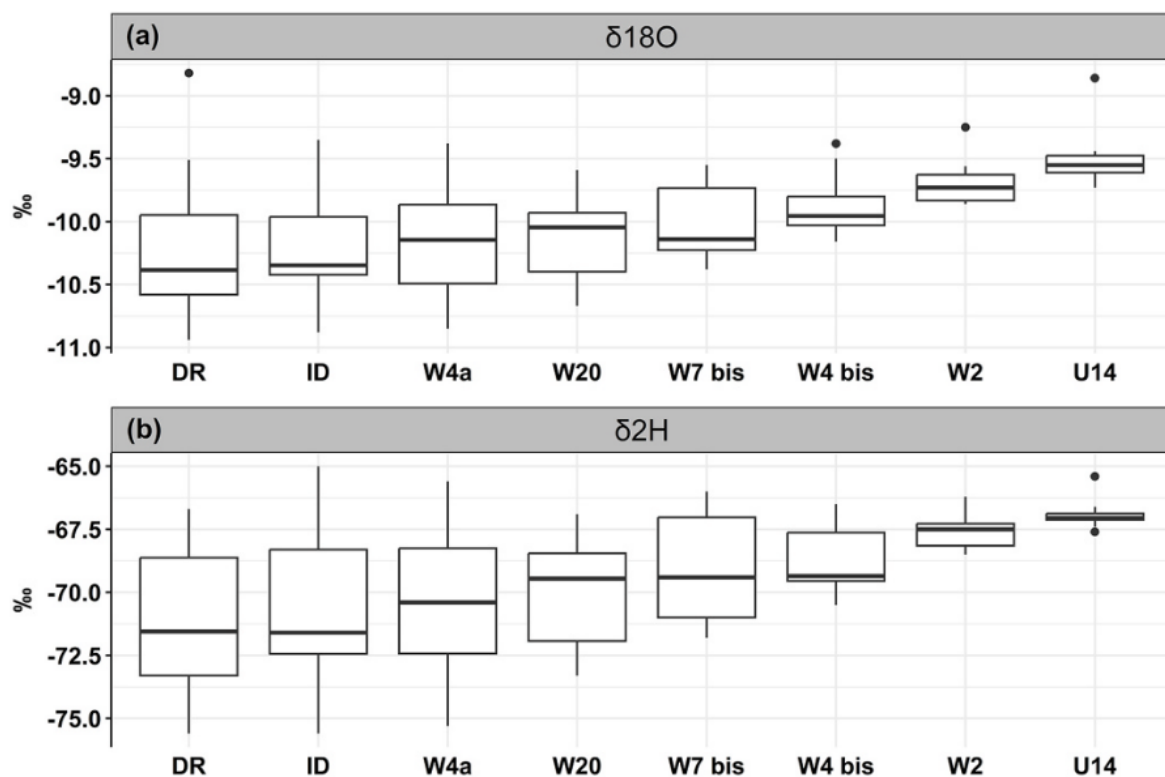


Fig. 9. Wykresy pudełkowe przedstawiające wartości $\delta^{18}O$ (a) oraz δ^2H (b) dla rzeki Dunajec (DR), rowów infiltracyjnych (ID), studni eksploatacyjnych oraz piezometru obserwacyjnego U14. Dolna i górna krawędź pudełka odpowiadają odpowiednio pierwszemu i trzeciemu kwartyłowi. Pozioma linia wewnątrz pudełka oznacza medianę dla danego punktu obserwacyjnego. Górny „wąs” rozciąga się od górnej krawędzi pudełka do największej wartości nieodległej o więcej niż $1,5 \times IQR$ od tej krawędzi (gdzie IQR oznacza rozstęp międzykwartyłowy, czyli różnicę między trzecim a pierwszym kwartyłem). Dolny „wąs” rozciąga się od dolnej krawędzi pudełka do najmniejszej wartości oddalonej najwyżej o $1,5 \times IQR$ od tej krawędzi. Dane wykraczające poza końce wąsów, określone jako wartości odstające, przedstawiono indywidualnie w postaci czarnych punktów, (Sitek et al., 2025).

Istotnym ograniczeniem stosowania badań izotopowych nadal pozostają koszty, a także ograniczona dostępność laboratoriów w Polsce. W opublikowanych badaniach (Sitek et al., 2025) wykazałem, że użyteczną alternatywę interpretacyjną mogą stanowić proste modele mieszania oparte na regularnych oznaczeniach jonów głównych (Cl^- , SO_4^{2-}) i innych wskaźników wyraźnie różnicujących człony źródłowe. W badanym systemie szczególnie przydatny okazał się jon amonowy, gdyż jego stężenia w wodach powierzchniowych były bardzo niskie, natomiast w wodach podziemnych reprezentowanych przez piezometr U14 wyraźnie podwyższone. Należy jednak podkreślić, że nie jest to składnik idealnie konserwatywny i jego zastosowanie w innych systemach może być ograniczone. Jednak w płytkich systemach wodonośnych zbudowanych z materiałów gruboziarnistych,

charakteryzującymi się krótkimi czasami przebywania tak jak w przypadku rejonu Tarnowa, dominującym mechanizmem kształtującym stężenie jonu amonowego jest mieszanie, a nie inne procesy np. biogeochemiczne (Buss et al., 2004; Böhlke et al., 2006).

Cl^- , SO_4^{2-} i NH_4^+ okazały się zatem tanimi, użytecznymi wskaźnikami potwierdzającymi dominację wód pochodzących z technik MAR w eksploatowanych studniach ujęcia „Świerczków”. Ostrożność interpretacyjną należy jednak zachować w przypadku pojedynczych anomalnych wartości znaczników w analizowanej serii pomiarów. Przykładowo, w studni zlokalizowanej blisko Dunajca epizod zimowego wzrostu chlorków pochodzących z odładzania dróg zaburzył interpretację, prowadząc do zawyżonego oszacowania udziału składowej wód podziemnych. Z tego względu dobrą praktyką, obok podawania procentowych udziałów mieszania się wód, jest również prezentowanie przedziałów niepewności.

4.6. Podsumowanie osiągnięcia naukowego i jego wkład w rozwój hydrogeologii

Przedstawiony cykl publikacji stanowi spójny program badawczy, którego zasadniczym rezultatem jest opracowanie i weryfikacja zintegrowanego podejścia metodycznego do planowania, oceny ryzyka, monitorowania i oceny efektywności systemów sztucznego zasilania wód podziemnych. Podejście to obejmuje kolejno: identyfikację obszarów predysponowanych do wdrażania MAR, ocenę ryzyka funkcjonowania i rozbudowy tych systemów, szczegółowe rozpoznanie hydrogeologiczne oraz monitoring i ocenę rzeczywistej skuteczności ilościowej i jakościowej.

Za najważniejszy wkład naukowy przedstawionego osiągnięcia uważam wykazanie, że skuteczne i bezpieczne wdrażanie MAR wymaga podejścia holistycznego, obejmującego nie tylko ocenę możliwości zwiększania zasobów wód podziemnych, lecz także kontrolę dróg przepływu wód, migracji zanieczyszczeń oraz ryzyk ograniczających długoterminową sprawność systemu. Przeprowadzone badania pozwoliły rozwinąć warsztat metodyczny przez zintegrowanie analiz przestrzennych GIS-MCDA, oceny ryzyka, monitoringu wysokiej rozdzielczości, badań hydrochemicznych i izotopowych, tomografii elektrooporowej oraz modelowania numerycznego. Istotne jest przy tym, że metody te nie zostały zastosowane jako niezależne narzędzia, lecz jako elementy procedury służącej rozpoznawaniu, weryfikacji i optymalizacji funkcjonowania systemów MAR.

Oryginalność przedstawionych badań polega także na regionalizacji i praktycznej weryfikacji podejść rozwijanych w badaniach nad MAR dla warunków klimatu umiarkowanego. W odróżnieniu od wielu dotychczasowych badań koncentrujących się na

obszarach suchych i półsuchych, czego przykładem jest opracowanie i weryfikacja dwustopniowej metodyki GIS-MCDA do oceny przydatności lokalizacji dla sześciu technik MAR. Istotnym elementem osiągnięcia jest również opracowanie i zastosowanie procedury oceny ryzyka dla rzeczywistego obiektu MAR. Ma to szczególne znaczenie, ponieważ w Polsce i na poziomie Unii Europejskiej brak jest dedykowanych rozporządzeń jasno określających sposób prowadzenia oceny ryzyka dla systemów sztucznego zasilania wód podziemnych. W tym kontekście łączne zastosowanie półilościowej macierzy ryzyka oraz probabilistycznej analizy drzewa błędów PRA-FTA stanowi wkład metodyczny i aplikacyjny. Pozwoliło ono nie tylko uszeregować zagrożenia według ich znaczenia, lecz także rozpoznać sekwencje zdarzeń mogących prowadzić do częściowej lub całkowitej awarii systemu MAR.

Za jeden z najważniejszych wyników interpretacyjnych uznaję wykazanie, że głównym ograniczeniem efektywności MAR na przykładzie ujęcia „Świerczków” może być nie tylko dostępność wody, lecz także jakość wody zasilającej oraz sprawność techniczna infrastruktury. Identyfikacja kolmatacji rowów infiltracyjnych jako kluczowego ryzyka technicznego pokazała, że utrzymanie ich wysokiej sprawności powinno stanowić najważniejszy priorytet. Badania modelowe wykazały jednocześnie, że rowy infiltracyjne na ujęciu pełnią podwójną funkcję: zasobową, ponieważ są dominującym składnikiem bilansu zasilania ujęcia, oraz ochronną, ponieważ ograniczają migrację zanieczyszczonych wód podziemnych z obszaru przemysłowego. W ten sposób wykazano, że ocena efektywności MAR nie może ograniczać się do bilansu ilościowego, lecz musi obejmować również analizę dróg przepływu wód i potencjalnej migracji zanieczyszczeń.

Ważnym rezultatem przedstawionych badań było także ilościowe wydzielenie głównych komponentów zasilania ujęcia „Świerczków”, obejmujących zasilanie z rowów infiltracyjnych, infiltrację brzegową oraz dopływ wód podziemnych z obszaru pozostającego pod presją przemysłową. Integracja modelowania numerycznego ze znacznikami hydrochemicznymi i izotopowymi zwiększyła wiarygodność interpretacji wyników z modelu i pozwoliła zweryfikować rzeczywiste kierunki dopływu wód do studni eksploatacyjnych. Wykazano również przydatność tomografii elektrooporowej do identyfikacji przestrzennego zasięgu oddziaływania sztucznej infiltracji oraz do rozpoznania stref dopływu bardziej zmineralizowanych wód podziemnych. Elementy te wzmacniają znaczenie przedstawionego osiągnięcia jako wkładu w rozwój metod kompleksowej oceny funkcjonowania systemów MAR.

Istotnym aspektem mojego osiągnięcia jest również jego wymiar aplikacyjny. Wyniki badań zostały wykorzystane w praktyce eksploatacyjnej ujęcia „Świerczków” w Tarnowie.

Wypracowane rozwiązania, w tym metodyka monitoringu wysokiej rozdzielczości, ocena ryzyka i modelowanie scenariuszowe, mają charakter transferowalny i mogą być stosowane także na innych ujęciach infiltracyjnych. Potwierdzeniem tego potencjału jest wykorzystanie doświadczeń z Tarnowa jako przykład dobrych praktyk w europejskich wytycznych dotyczących MAR (European Commission: Directorate-General for Environment, 2025).

W mojej ocenie przedstawione osiągnięcie naukowe dokumentuje konsekwentnie rozwijany i rozpoznawalny nurt badawczy, którego rezultaty wnoszą istotny wkład do rozwoju hydrogeologii, zwłaszcza w zakresie gospodarowania zasobami wód podziemnych, oceny bezpieczeństwa eksploatacji ujęć infiltracyjnych oraz adaptacji systemów zaopatrzenia w wodę do presji antropogenicznej i zmian klimatu. Jego szczególna wartość polega na dostosowaniu współczesnych kierunków badań nad MAR do warunków Europy Środkowej i klimatu umiarkowanego, gdzie ujęcia infiltracyjne stanowią istotny element systemów zaopatrzenia ludności w wodę. W tym ujęciu sztuczne zasilanie wód podziemnych nie jest traktowane wyłącznie jako technika zwiększania zasobów wodnych, lecz jako zintegrowany, monitorowany i zarządzany system adaptacji do zmian klimatu.

4.7. Literatura cytowana w omówieniu osiągnięcia naukowego

- Absalon, D., Matysik, M., & Pieron, Ł. (2023). Evaluation of Pressure Types Impacted on Sediment Supply to Dam Reservoirs: Selected Examples of the Outer Western Carpathians Catchments Area. *Water*, 15(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/w15030597>
- Alam, S., Borthakur, A., Ravi, S., Gebremichael, M., & Mohanty, S. K. (2021). Managed aquifer recharge implementation criteria to achieve water sustainability. *Science of The Total Environment*, 768, 144992. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.144992>
- Böhlke, J. K., Smith, R. L., & Miller, D. N. (2006). Ammonium transport and reaction in contaminated groundwater: Application of isotope tracers and isotope fractionation studies. *Water Resources Research*, 42(5). <https://doi.org/10.1029/2005WR004349>
- Buss, S. R., Herbert, A. W., Morgan, P., Thornton, S. F., & Smith, J. W. N. (2004). A review of ammonium attenuation in soil and groundwater. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 37(4), 347–359. <https://doi.org/10.1144/1470-9236/04-005>
- Covatti, G., & Grischek, T. (2021). Sources and behavior of ammonium during riverbank filtration. *Water Research*, 191, 116788. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116788>
- Dillon, P., & Arshad, M. (2016). Managed Aquifer Recharge in Integrated Water Resource Management. In A. J. Jakeman, O. Barreteau, R. J. Hunt, J.-D. Rinaudo, & A. Ross (Eds.),

- Integrated Groundwater Management: Concepts, Approaches and Challenges (pp. 435–452). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-23576-9_17
- Dillon, P., Fernández Escalante, E., Megdal, S. B., & Massmann, G. (2020). Managed Aquifer Recharge for Water Resilience. *Water*, 12(7), 1846. <https://doi.org/10.3390/w12071846>
- Dillon, P., Stuyfzand, P., Grischek, T., Lluria, M., Pyne, R. D. G., Jain, R. C., Bear, J., Schwarz, J., Wang, W., Fernandez, E., Stefan, C., Pettenati, M., van der Gun, J., Sprenger, C., Massmann, G., Scanlon, B. R., Xanke, J., Jokela, P., Zheng, Y., ... Sapiano, M. (2019). Sixty years of global progress in managed aquifer recharge. *Hydrogeology Journal*, 27(1), 1–30. <https://doi.org/10.1007/s10040-018-1841-z>
- European Commission: Directorate-General for Environment. (2025). Managed aquifer recharge (MAR): Common implementation strategy for the water framework directive and the floods directive. Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2779/9703167>
- Fernández Escalante, E., Henao Casas, J. D., San Sebastián Sauto, J., & Calero Gil, R. (2022). Monitored and Intentional Recharge (MIR): A Model for Managed Aquifer Recharge (MAR) Guideline and Regulation Formulation. *Water*, 14(21), Article 21. <https://doi.org/10.3390/w14213405>
- Halytsia, O., Vracholi, M., Janik, K., Sitek, S., Wojtal, G., Imig, A., Rein, A., & Sauer, J. (2022). Assessing Economic Feasibility of Managed Aquifer Recharge Schemes: Evidence from Cost-benefit Analysis in Poland | Water Resources Management. *Water Resources Management*, 36, 5241–5258. <https://doi.org/10.1007/s11269-022-03303-0>
- Hrkal, Z., Adomat, Y., Rozman, D., & Grischek, T. (2023). Efficiency of micropollutant removal through artificial recharge and riverbank filtration: Case studies of Káraný, Czech Republic and Dresden-Hosterwitz, Germany. *Environmental Earth Sciences*, 82(6), 155. <https://doi.org/10.1007/s12665-023-10785-7>
- Janik, K., Rein, A., & Sitek, S. (2025). Towards efficient management of riverbank filtration sites: New insights on river–groundwater interactions from environmental tracers and high-resolution monitoring. *Hydrology and Earth System Sciences*, 29(21), 5893–5911. <https://doi.org/10.5194/hess-29-5893-2025>
- Janik, K., Ślósarczyk, K., & Sitek, S. (2024). A study of riverbank filtration effectiveness in the Kępa Bogumiłowska well field, southern Poland. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 53, 101834. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.101834>

- Kocis, T. N., & Dahlke, H. E. (2017). Availability of high-magnitude streamflow for groundwater banking in the Central Valley, California. *Environmental Research Letters*, 12(8), 084009. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa7b1b>
- Levintal, E., Kniffin, M. L., Ganot, Y., Marwaha, N., Murphy, N. P., & Dahlke, H. E. (2023). Agricultural managed aquifer recharge (Ag-MAR)—a method for sustainable groundwater management: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 53(3), 291–314. <https://doi.org/10.1080/10643389.2022.2050160>
- Malekmohammadi, B., Ramezani Mehrian, M., & Jafari, H. R. (2012). Site selection for managed aquifer recharge using fuzzy rules: Integrating geographical information system (GIS) tools and multi-criteria decision making. *Hydrogeology Journal*, 20(7), 1393–1405. <https://doi.org/10.1007/s10040-012-0869-8>
- Massmann, G., Sültenfuss, J., Dünnbier, U., Knappe, A., Taute, T., & Pekdeger, A. (2008). Investigation of groundwater residence times during bank filtration in Berlin: A multi-tracer approach. *Hydrological Processes*, 22(6), 788–801.
- Matusiak, M., Dragon, K., Gorski, J., Kruc-Fijałkowska, R., & Przybyłek, J. (2021). Surface water and groundwater interaction at long-term exploited riverbank filtration site based on groundwater flow modelling (Mosina-Krajkowo, Poland). *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 37, 100882. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100882>
- Molson, J. W., & Frind, E. O. (2012). On the use of mean groundwater age, life expectancy and capture probability for defining aquifer vulnerability and time-of-travel zones for source water protection. *Journal of Contaminant Hydrology*, GQ10: Groundwater Quality Management in a Rapidly Changing World, 127(1), 76–87. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2011.06.001>
- Morrisett, C. N., Van Kirk, R. W., & Null, S. E. (2024). Can Agricultural Managed Aquifer Recharge (Ag-MAR) Recover Return Flows Under Prior Appropriation in a Warming Climate? *Water Resources Research*, 60(8), e2023WR036648. <https://doi.org/10.1029/2023WR036648>
- Nagy-Kovács, Z., László, B., Simon, E., & Fleit, E. (2018). Operational Strategies and Adaptation of RBF Well Construction to Cope with Climate Change Effects at Budapest, Hungary. *Water*, 10(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/w10121751>
- Nowicki, Z. (red.). (2009). *Wody podziemne miast Polski*. Wyd. Państwowy Instytut Geologiczny.

- Pieron, Ł., Absalon, D., Habel, M., & Matysik, M. (2021). Inventory of Reservoirs of Key Significance for Water Management in Poland—Evaluation of Changes in Their Capacity. *Energies*, 14(23), Article 23. <https://doi.org/10.3390/en14237951>
- Pörtner, H.-O., Roberts, D. C., Tignor, M. M. B., Poloczanska, E. S., Mintenbeck, K., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., Okem, A., & Rama, B. (Eds.). (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Rahman, M. A., Rusteberg, B., Gogu, R. C., Lobo Ferreira, J. P., & Sauter, M. (2012). A new spatial multi-criteria decision support tool for site selection for implementation of managed aquifer recharge. *Journal of Environmental Management*, 99, 61–75. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.01.003>
- Rodríguez-Escales, P., Canelles, A., Sanchez-Vila, X., Folch, A., Kurtzman, D., Rossetto, R., Fernández-Escalante, E., Lobo-Ferreira, J.-P., Sapiano, M., SanSebastián, J., Schüth, C. (2018). A risk assessment methodology to evaluate the risk failure of managed aquifer recharge in the Mediterranean Basin. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 22 (6), 3213–3227. <https://doi.org/10.5194/hess-22-3213-2018>.
- Ringleb, J., Sallwey, J., & Stefan, C. (2016). Assessment of Managed Aquifer Recharge through Modeling—A Review. *Water*, 8(12), 579. <https://doi.org/10.3390/w8120579>
- Rodella, A.-S., Zaveri, E., & Bertone, F. (2023). The Hidden Wealth of Nations: The Economics of Groundwater in Times of Climate Change. <https://doi.org/10.1596/39917>
- Rubin, K., Janik, K., Sitek, S., & Rubin, H. (2021). Dokumentacja geologiczna z wykonania sieci 9 otworów obserwacyjnych (piezometry: DW-1p, DW-1g, DW-2p, DW-2g, DW-3, DW-4, DW-5, DW-6, DW-7) dla monitoringu badawczego wód podziemnych poziomu wodonośnego czwartorzędu w rejonie ujęcia „Świerczków” Tarnowskich Wodociągów sp. z o.o. w Tarnowie.
- Rubin, K., Rubin, H., & Sitek, S. (2020). Projekt robót geologicznych na wykonanie sieci 9 otworów obserwacyjnych (piezometry: DW-1p, DW-1g, DW-2p, DW-2g, DW-3, DW-4, DW-5, DW-6, DW-7) dla monitoringu badawczego wód podziemnych poziomu wodonośnego czwartorzędu w rejonie ujęcia „Świerczków” Tarnowskich Wodociągów sp. z o.o. w Tarnowie.
- Rubin, K., Sitek, S., & Janik, K. (2021). Dodatek do projektu robót geologicznych na wykonanie sieci 9 otworów obserwacyjnych (piezometry: DW-1p, DW-1g, DW-2p, DW-2g, DW-3, DW-4, DW-5, DW-6, DW-7) dla monitoringu badawczego wód podziemnych

- poziomu wodonośnego czwartorzędu w rejonie ujęcia „Świerczków” Tarnowskich Wodociągów sp. z o.o. w Tarnowie.
- Sallwey, J., Bonilla Valverde, J. P., Vázquez López, F., Junghanns, R., & Stefan, C. (2019). Suitability maps for managed aquifer recharge: A review of multi-criteria decision analysis studies. *Environmental Reviews*, 27(2), 138–150. <https://doi.org/10.1139/er-2018-0069>
- Sallwey, J., Ongdas, N., Al-Hosban, M., & Stefan, C. (2024). Mapping the potential for managed aquifer recharge in Kazakhstan. *Central Asian Journal of Water Research*, 10(2), 95–116.
- Seidl, C., Wheeler, S. A., & Page, D. (2024). Understanding the global success criteria for managed aquifer recharge schemes. *Journal of Hydrology*, 628, 130469. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130469>
- Sitek, S. (red.). (2022). Pilot feasibility study of MAR schemes with integrated environmental approach in porous geological conditions in Poland. <https://programme2014-20.interreg-central.eu/Content.Node/DEEPWATER-CE/O.T3.2-PILOT-FEASIBILITY-STUDY-OF-MAR-Poland.pdf>.
- Sitek, S., Janik, K., Dąbrowska, D., Rózkowski, J., Wojtal, G., Mukawa, J., Jarosław Witkowski, A., & Jakóbczyk-Karpierz, S. (2023). Risk assessment for the prevention of managed aquifer recharge (MAR) facility failure during the operation and the expansion phases. *Journal of Hydrology*, 621, 129591. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129591>
- Sitek, S., Janik, K., Piechota, A., Rubin, H., & Witkowski, A. J. (2026). Application of GIS-MCDA Methodology for Managed Aquifer Recharge Suitability Mapping in Poland. *Water*, 18(2), 219. <https://doi.org/10.3390/w18020219>
- Sitek, S., Janik, K., Wunderlich, A., Jakóbczyk-Karpierz, S., Imig, A., Kondracka, M., Knöller, K., & Rein, A. (2025). Integrated Managed Aquifer Recharge: Assessing the efficiency of riverbank filtration and infiltration ditches for sustainable groundwater management in industrial areas. *Journal of Environmental Management*, 389, 125849. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.125849>
- Sitek, S., Kondracka, M., & Janik, K. (2026). Hydrogeological characterisation of an integrated Managed Aquifer Recharge system in southern Poland using Electrical Resistivity Tomography. *Geological Quarterly*, 70–72; 10.7306/gq.1847. <https://doi.org/10.7306/gq.1847>
- Sprenger, C., Hartog, N., Hernández, M., Vilanova, E., Grützmacher, G., Scheibler, F., & Hannappel, S. (2017). Inventory of managed aquifer recharge sites in Europe: Historical

- development, current situation and perspectives. *Hydrogeology Journal*, 25(6), 1909–1922.
<https://doi.org/10.1007/s10040-017-1554-8>
- Umar, D. A., Ramli, M. F., Aris, A. Z., Sulaiman, W. N. A., Kura, N. U., & Tukur, A. I. (2017). An overview assessment of the effectiveness and global popularity of some methods used in measuring riverbank filtration. *Journal of Hydrology*, 550, 497–515.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.05.021>
- United Nations. (2022). The United Nations World Water Development Report 2022: Groundwater: Making the invisible visible. UNESCO.
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380721>
- Wendt, D. E., Van Loon, A. F., Scanlon, B. R., & Hannah, D. M. (2021). Managed aquifer recharge as a drought mitigation strategy in heavily-stressed aquifers. *Environmental Research Letters*, 16(1), 014046. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abcfe1>
- Wojtal, G. (2013). Formowanie się składu chemicznego wód podziemnych w warunkach antropopresji przemysłowej na przykładzie infiltracyjnego ujęcia wody „Świerczków” dla miasta Tarnowa. Praca doktorska. Uniwersytet Śląski w Katowicach.
- Zghibi, A., Mirchi, A., Msaddek, M. H., Merzougui, A., Zouhri, L., Taupin, J.-D., Chekirbane, A., Chenini, I., & Tarhouni, J. (2020). Using Analytical Hierarchy Process and Multi-Influencing Factors to Map Groundwater Recharge Zones in a Semi-Arid Mediterranean Coastal Aquifer. *Water*, 12(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/w12092525>
- Zhang, H., Xu, Y., & Kanyerere, T. (2020). A review of the managed aquifer recharge: Historical development, current situation and perspectives. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, Integrated Water Resources Development and Management: Leaving No One Behind for Water Security in Eastern and Southern Africa.*, 118–119, 102887.
<https://doi.org/10.1016/j.pce.2020.102887>

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

Moja aktywność naukowa po uzyskaniu stopnia doktora jest prowadzona nie tylko w jednostce macierzystej, ale w istotnej części realizowana jest dzięki współpracy zagranicznej. Formy tej współpracy obejmowały: zagraniczny staż naukowy, udział w przygotowywaniu wniosków projektowych i realizację międzynarodowych projektów, przygotowywanie wspólnych publikacji, udział w warsztatach i grupach networkingowych oraz długoterminową

współpracę z zespołami badawczymi. Aktywność ta ma charakter trwały i przyniosła wymierne efekty naukowe w postaci publikacji, raportów z projektów, wystąpień konferencyjnych, rozwoju metod badawczych oraz możliwości poszerzenia zakresu prowadzonych badań własnych.

5.1. Trzymiesięczny staż naukowy na Uniwersytecie Technicznym w Dreźnie, wrzesień – listopad 2022.

Nawiązanie współpracy naukowej z dr Catalin Stefan, kierownikiem grupy badawczej ds. kontrolowanego sztucznego zasilania wód podziemnych (INOWAS). Dr Stefan jest wybitnym fachowcem zajmującym się zawodowo technikami sztucznego zasilania wód podziemnych. W ramach stażu wspólnie pracowaliśmy nad opracowaniem i złożeniem wniosku projektowego (pt. MULTIMAR - Enabling resilient agriculture through multifunctional aquifer recharge solutions) do programu Water4all. Podczas pobytu testowałem rozwiązania numeryczne dedykowane dla MAR opracowane przez grupę badawczą z wykorzystaniem platformy INOWAS i wymieniliśmy się doświadczeniami na temat możliwości modelowania numerycznego tych systemów. Część programów z platformy INOWAS zaimplementowałem do modułów dydaktycznych z zakresu modelowania wód podziemnych.

Szczegółowy wykaz staży naukowych przed doktoratem zestawilem w punkcie II.6.2 i II.6.3 w dokumencie nr 4 wykaz osiągnięć naukowych.

5.2. Współpraca z Instytutem Zarządzania Wodami Podziemnymi na Uniwersytecie Technicznym w Dreźnie.

Staż badawczy w 2022 roku zainicjował nawiązanie długotrwałej współpracy badawczej, kontynuowanej do chwili obecnej. Współpraca ta z dr Catalin Stefan obejmuje między innymi zaproszenie do networkingu i udziału w 2025 roku, w ramach Europejskiego Sojuszu Uniwersytetów EUTOPIA w konferencji i dyskusji nad doborem ram i wskaźników służących do oceny wpływu MAR na zrównoważony rozwój. Nasza współpraca umożliwiła także krótką wymianę studencką i udział studenta kierunku Aquamatyka, Pana Piotra Lichograj, w warsztatach z modelowania wód podziemnych dla studentów i doktorantów, zdobycie mikropunktów ECTS i prezentację swoich założeń pracy magisterskiej przed międzynarodową społecznością uczestników.

Ponadto w ramach nawiązanej współpracy z instytutem rozpocząłem współpracę z dr Dianą Burghardt, co umożliwiło mi wzięcie udziału w szkoleniu w zakresie metodyki prowadzenia badań izotopowych w hydrologii w lipcu 2023 roku w Dreźnie oraz nawiązanie trwałych kontaktów w zakresie oznaczeń izotopów stabilnych w wodach. Współpraca jest kontynuowana do dziś w ramach wspólnych prac w projekcie CRossWATER.

Nawiązany kontakt z dr Zhao Chen z tego samego instytutu zaowocował po powrocie do kraju rozpoczęciem prac nad przygotowaniem wspólnego wniosku projektowego i złożeniem go w 2024 roku do programu Interreg Polska-Saksonia i uzyskaniem dofinansowania. Realizacja prac badawczych w projekcie CRossWATER rozpoczęła się w styczniu 2025 roku i potrwa do końca 2027 roku. W ramach projektu dotychczas opracowano jeden wspólny raport z prac. Wstępne uzyskane wspólne wyniki były już prezentowane na konferencji w Lipsku tego roku przez dr Chen oraz wspólnie podczas wykładu dla studentów w grudniu 2025 roku.

5.3. Projekty prowadzone we współpracy międzynarodowej

Do najważniejszych aktywności naukowych w moim życiorysie w zakresie współpracy międzynarodowej zaliczają się również wspólnie przygotowywane i prowadzone projekty badawcze. Po uzyskaniu stopnia doktora brałem udział w przygotowaniu sześciu wniosków w międzynarodowych konsorcjach projektowych. Zrealizowałem trzy projekty, kierując jednym: projekt DEEPWATER-CE i byłem wykonawcą w dwóch projektach: boDEREC-CE i PROLINE-CE. Od stycznia 2025 wraz z Uniwersytetem Technicznym w Dreźnie realizuję kolejny projekt CRossWATER, w którym pełnię rolę kierownika ze strony Uniwersytetu Śląskiego. Projekty te ze względu na swoją specyfikę łączą zarówno uczelnie i instytuty badawcze (łącznie 10), jak również inne instytucje, np. firmy wodociągowe, agencje rządowe i środowiskowe czy jednostki samorządu terytorialnego. Współpraca obejmowała zarówno wspólną pracę nad realizacją zadań przewidzianych w projekcie, jak i nadzorowanie wybranych zadań i pakietów zadań. Wyniki z tych prac są w postaci raportów, poradników, strategii i są dostępne w trybie otwartym na stronach tych projektów. Część wypracowanych rozwiązań w projektach była także przeprowadzona w formie warsztatów dla interesariuszy, czy konferencji podsumowujących projekty, za każdym razem wypracowując w konsorcjach wspólnie zakres i sposób prezentacji wyników. Najszersza i długotrwała współpraca w ramach instytucji naukowych uczestniczących w wykonywanych projektach i kontynuowana po ich zakończeniu dotyczy Uniwersytetu Technicznego w Monachium, gdzie współpracuję z dr Arno Reinem.

Współpraca z TUM skupia się głównie wokół tematyki MAR i zaowocowała dotychczas trzema wspólnymi publikacjami (Halytsia et al., 2022; Janik et al., 2025; Sitek et al., 2025).

5.4. Udział w pracach CIS Working Group on Groundwater przy Komisji Europejskiej

W latach 2023-2025 współpracowałem z grupą roboczą ds. wód podziemnych przy Komisji Europejskiej (CIS Working Group on Groundwater), biorąc udział w pracach nad przygotowaniem poradnika dotyczącego sztucznego zasilania wód podziemnych pt. Managed Aquifer Recharge (MAR) – Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive and the Floods Directive. Guidance Document No. 39. Istotnym rezultatem tej aktywności było wykorzystanie doświadczeń i wyników uzyskanych w projekcie DEEPWATER-CE przy opracowaniu tego dokumentu. W ramach 44. spotkania grupy wygłosiłem referat na temat wyników z przeprowadzonych działań i prac w projekcie DEEPWATER-CE. Udział ten traktuję jako potwierdzenie aplikacyjnego i międzynarodowego znaczenia prowadzonych przeze mnie badań w obszarze MAR.

Szczegółowy wykaz wszystkich projektów naukowych zestawilem w rozdziale nr II, w punktach nr 4 i nr 10 w dokumencie nr 4 pt. Wykaz osiągnięć naukowych.

5.5. Współpraca z Uniwersytetem Wrocławskim

Współpraca naukowa z dr. Łukaszem Stachnikiem z Uniwersytetu Wrocławskiego ma charakter wieloletni i koncentruje się na problematyce hydrogeochemii obszarów glacialnych, ze szczególnym uwzględnieniem funkcjonowania zlewni lodowcowej lodowca Werenskiöld. Efektem tej współpracy są dwie wspólne publikacje naukowe oraz wystąpienia konferencyjne, realizowane w ramach szerszych zespołów badawczych łączących pracowników reprezentujących Uniwersytet Śląski (dr D. Ignatiuk, dr A. Piechota, mgr K. Stachniak) i Uniwersytet Wrocławski, a także partnerów zagranicznych.

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

6.1. Osiągnięcia dydaktyczne

Istotnym elementem mojej działalności akademickiej jest praca dydaktyczna, realizowana nieprzerwanie od 2006 roku. W tym okresie uczestniczyłem zarówno

w prowadzeniu, jak i opracowywaniu oraz współtworzeniu licznych modułów zajęć (zał. A.13), a także w kształtowaniu programów kształcenia na kierunkach geologia i geologia stosowana. Brałem również udział w tworzeniu nowych kierunków studiów, w tym Aquamatyka – interdyscyplinarne gospodarowanie środowiskami wodnymi (studia II stopnia) oraz Gospodarka wodna – aquamatyka (studia I stopnia).

W celu podnoszenia własnych kompetencji uczestniczyłem w szkoleniach i kursach z zakresu dydaktyki akademickiej oraz specjalistycznych warsztatach, rozwijając umiejętności wykorzystywane zarówno w pracy dydaktycznej, jak i badawczej, w szczególności w obszarze modelowania numerycznego oraz interpretacji badań izotopowych.

Wysoką jakość prowadzonej przeze mnie działalności dydaktycznej potwierdzają corocznie uzyskiwane bardzo wysokie oceny w ankietach studenckich.

6.1.1. Opieka nad studentami prac dyplomowych Wydziału Nauk Przyrodniczych, Uniwersytetu Śląskiego

Promotor prac magisterskich:

1. Kingsley Onyenwere, temat: *Development of suitability maps for the potential location of Managed Aquifer Recharge in groundwater body PLGW200048 in Central Poland*, rok obrony 2023, geografia.
2. Piotr Chudzik, temat: *Model hydrogeologiczny czwartorzędowego piętra wodonośnego w rejonie kopalni Maczki-Bór w Sosnowcu*, rok obrony 2019, geologia
3. Klaudia Baszczyńska, temat: *Model hydrogeologiczny czwartorzędowego piętra wodonośnego w rejonie Raciborza*, rok obrony 2020, geologia

Promotor prac inżynierskich:

1. Konrad Sitek, temat: *Opracowanie projektu robót geologicznych na wykonanie studni głębinowej ujmującej górnokredowy poziom wodonośny w gminie Solec-Zdrój, w województwie świętokrzyskim*, rok obrony 2026, geologia stosowana.
2. Marcin Walkowiak, temat: *Jakość wód podziemnych w obszarze spływu wód do ujęcia „Kępa Bogumiłowicka”*, rok obrony 2026, geologia stosowana.
3. Adam Micuła, temat: *Identyfikacja potencjalnie przydatnych obszarów dla zastosowania metod dodatkowego zasilania wód podziemnych w powiecie cieszyńskim*, rok obrony 2024, geologia stosowana.

4. Natalia Czerwień, temat: *Określenie współczynnika filtracji gruntów nasypowych w rejonie zrekultywowanego składowiska odpadów w północnej części Dąbrowy Górniczej*, rok obrony 2020, geologia stosowana.
5. Jakub Copik, temat: *Wpływ eksploatacji wód podziemnych na krążenie wód w GZWP Gliwice*, rok obrony 2019, geologia stosowana.
6. Marta Dąbrowska, temat: *Modelowanie przepływu wód podziemnych w czwartorzędnym piętrze wodonośnym w rejonie ujęć infiltracyjnych dla miasta Tarnowa*, rok obrony 2019, geologia stosowana.
7. Karolina Kościeszka, temat: *Czasowe i przestrzenne rozprzestrzenienie tri- i tetrachloroetenu w rejonie Tarnowskich Gór*, rok obrony 2019, inżynieria zagrożeń środowiskowych.
8. Karolina Mita, temat: *Model krążenia wód podziemnych w warunkach intensywnego drenażu górniczego w triasowej niecce bytomskiej*, rok obrony 2019, geologia stosowana.

Promotor prac licencjackich:

1. Piotr Chudzicki, temat: *Możliwości odzwierciedlenia migracji zanieczyszczeń na modelach numerycznych*, rok obrony 2017, geologia.
2. Klaudia Baszczyńska, temat: *Możliwość odzwierciedlenia przepływu wód podziemnych na modelach numerycznych*, rok obrony 2017, geologia.
3. Rafał Orzechowski, temat: *Zarządzanie wybranymi danymi hydrogeologicznymi dla zbiornika GZWP Gliwice z wykorzystaniem oprogramowania HydroGeoAnalyst*, rok obrony 2016, geologia.

6.1.2. *Promotor pomocniczy prac doktorskich na Wydziale Nauk Przyrodniczych, Uniwersytetu Śląskiego*

1. dr inż. Rafał Ulańczyk, temat rozprawy: *Modelling of water and pollution balance in the Small Vistula River basin*, nadanie tytułu doktora w 2020 r.
2. mgr Krzysztof Janik, temat rozprawy: *Ocena funkcjonowania ujęć infiltracyjnych w oparciu o metody znacznikowe i monitoring wysokiej rozdzielczości wybranych parametrów środowiska wodnego na przykładzie ujęcia „Kępa Bogumiłowicka”*, planowany termin obrony 2026 r.

6.1.3. Recenzje prac dyplomowych studentów Wydziału Nauk Przyrodniczych, Uniwersytetu Śląskiego:

1. Sześć prac magisterskich.
2. Dwie prace inżynierskie.
3. Sześć prac licencjackich.

6.1.4. Prowadzone zajęcia i autorskie moduły dydaktyczne w Uniwersytecie Śląskim, w latach 2006-2026

Istotnym elementem mojej aktywności akademickiej jest wieloletnia i zróżnicowana działalność dydaktyczna prowadzona na studiach I i II stopnia, na jednolitych studiach magisterskich oraz sporadycznie na studiach doktoranckich i na studiach podyplomowych. Obejmowała ona zarówno zajęcia podstawowe z hydrogeologii i ochrony środowiska, jak i przedmioty specjalistyczne związane z modelowaniem procesów filtracji, ochroną wód podziemnych, gospodarką wodną, geoinformacją, wizualizacją danych przestrzennych oraz komputerowym modelowaniem zjawisk przyrodniczych. Prowadzone przeze mnie zajęcia były realizowane na kierunkach geologia, geologia stosowana, geofizyka, inżynieria zagrożeń środowiska, ochrona środowiska, Aquamatyka – interdyscyplinarne gospodarowanie środowiskami wodnymi oraz Geographic Information Systems. Szczególnie istotne było dla mnie włączanie do dydaktyki metod i narzędzi wykorzystywanych w pracy badawczej, w tym modelowania hydrogeologicznego, analiz przestrzennych GIS oraz pracy z oprogramowaniem FEFLOW czy AutoCAD. W przedmiotach z zakresu modelowania treści kształcenia są mojego autorstwa. Szczegółowe zestawienie przedmiotów zestawiono w załączniku (zał. A.13).

6.1.5. Działania dydaktyczne prowadzone poza swoją macierzystą uczelnią:

1. Politechnika Śląska, studia podyplomowe: Zarządzanie gospodarką wodną i ochroną wód – wody: interdyscyplinarne podejście. Prowadzony przedmiot: Podstawy modelowania i gospodarowania zasobami wód podziemnych, styczeń 2026 r.
2. Uniwersytet Techniczny w Dreźnie. Zajęcia ze studentami podczas pobytu w 2022 roku. Opieka nad studentem Cesar Espinosa, uczestnikiem studiów magisterskich: Groundwater and Global Change, zajęcia z analizy danych z wykorzystaniem GIS w okresie: IX–XI 2022.

6.1.6. Inne osiągnięcia dydaktyczne

1. Ukończenie Szkoły Tutorów Akademickich Collegium Wratislaviense w 2016 r.

2. Dwukrotne prowadzenie indywidualnych zajęć tutoringowych, w ramach programu „Tutoring dla najlepszych studentów Uniwersytetu Śląskiego”
3. Prowadziłem zajęcia warsztatowe z zakresu praktycznego zastosowania modelowania 2D i 3D w ochronie zasobów i jakości wód podziemnych dla studentów Instytutu Nauk o Ziemi w roku 2023 w ramach projektu JEDEN UNIWERSYTET – WIELE MOŻLIWOŚCI. Program Zintegrowany – edycja II.
4. W ramach programu ERASMUS+ Student Mobility for Traineeships byłem także opiekunem doktorantki Kamili Hodasová z Uniwersytetu Komeńskiego w Bratysławie w 2019 roku.
5. Mentor studenckiego grantu badawczego Pana Marcina Walkowiaka pt. Wpływ zagospodarowania terenu na jakość wód podziemnych w rejonie Tarnowa w ramach studenckich grantów badawczych europejskiego miasta nauki.
6. Wyróżnienie JM Rektora Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach za doskonałą dydaktykę w roku akademickim 2022/2023 (kategoria „Praca ze studentami lub doktorantami”)
7. Nagroda Indywidualna III stopnia za działalność organizacyjną i dydaktyczną (2016),

6.2. Osiągnięcia organizacyjne

Moja aktywność organizacyjna koncentrowała się na działaniach wspierających rozwój badań, kształcenia oraz funkcjonowania środowiska akademickiego.

6.2.1. Funkcje pełnione w macierzystej jednostce

1. Pomysłodawca i lider powołania nowego zespołu badawczego: Wody podziemne pod wpływem antropopresji, w Instytucie Nauk o Ziemi na Uniwersytecie Śląskim w Katowicach od 2023 roku
2. Członek Rady Wydziału Nauk o Ziemi, Uniwersytetu Śląskiego w latach 2016-2019.
3. Członek Rady Dydaktycznej kierunku Aquamatyka – interdyscyplinarne gospodarowanie środowiskami wodnymi od listopada 2020 roku
4. Członek Rady Dydaktycznej kierunku: geologia; geologia stosowana od września 2024 roku
5. Członek Komisji Rekrutacyjnej Wydziału Nauk o Ziemi w latach 2018-2019
6. Członek Komisji Rekrutacyjnej Wydziału Nauk Przyrodniczych w latach 2019-2024

7. Opiekun studentów dla kierunku Geologia stosowana (2015-2020), dla kierunku Aquamatyka - interdyscyplinarne gospodarowanie środowiskami wodnymi (2022-2024)

6.2.2. Organizacja wydarzeń naukowych

1. Organizacja konferencji i warsztatów naukowych. Mój udział obejmował organizację trzech konferencji międzynarodowych w 2013, 2015 i 2018 roku, udział w organizacji V, VI i VII międzynarodowych warsztatów dla młodych hydrogeologów w latach 2014-2016 oraz dwóch konferencji krajowych w roku 2009 i 2012. W przygotowywaniu tych wydarzeń moja rola obejmowała przede wszystkim udział w Komitecie organizacyjnym w charakterze członka, raz sekretarza, raz wiceprzewodniczącego i dwa razy uczestniczyłem jako członek komitetu naukowego.
2. Organizacja dwudniowych warsztatów dla społeczności Wydziału pt. „Dynamic of Subsurface Flow of Groundwater, Hydrocarbons and Sequestered CO₂: Physics and Field Examples” w czerwcu 2015 r.
3. Organizacja warsztatów z modelowania wód podziemnych dla uczestników międzynarodowych warsztatów dla młodych hydrogeologów w czerwcu 2015 r.
4. Organizacja z afiliacją Uniwersytetu Śląskiego przy współpracy z DHI Academy szkolenia z zakresu modelowania wód podziemnych. Odpowiedzialność za merytoryczne przygotowanie i przeprowadzenie trzydniowego szkolenia, luty 2016 r.

6.2.3. Aktywność w towarzystwach i gremiach

1. Członek Stowarzyszenia Hydrogeologów Polskich od 2011 r.
2. Członek Międzynarodowego Stowarzyszenia Hydrogeologów od 2013 r.
3. Członek Polskiego Komitetu Narodowego Międzynarodowego Stowarzyszenia Hydrogeologów, funkcja sekretarza w zarządzie PKN-IAH w latach 2013-2016
4. Członek komitetu naukowego w Centrum badań obiektów Światowego Dziedzictwa UNESCO w Tarnowskich Górach od 2025 r.

6.2.4. Organizacja infrastruktury dydaktyczno-badawczej

1. Pozyskanie środków w projekcie pt. Platforma Analiz i Archiwizacji Danych, w ramach której stworzyłem nowoczesne stanowisko komputerowe z oprogramowaniem do badań modelowych w hydrogeologii.
2. Organizacja pracowni modelowania matematycznego ze środków KNOW w 2016 roku.

3. Nawiązanie współpracy z firmą DHI-Polska w zakresie pozyskiwania oprogramowania na potrzeby prac dyplomowych studentów.

6.2.5. *Aktywność recenzencka w ocenie nauki*

1. Recenzent wniosku projektowego dla Swiss National Science Foundation w 2024 roku.
2. Wykonanie łącznie 14 recenzji dla takich czasopism naukowych jak: Applied Sciences, Geologos, Groundwater for Sustainable Development, Journal of Hydrology Regional Studies, Przegląd Geologiczny, Sustainability, Urban Water Journal, Water oraz Water Resources Management.

6.3. Osiągnięcia popularyzujące naukę

6.3.1. *Wydarzenia popularnonaukowe*

1. „GeoPiknik na Żylecie”, popularnonaukowe wydarzenie promujące nauki o Ziemi. Trzykrotny udział w latach 2023-2025, współprowadzenie edukacyjnego stoiska pokazowego pt. „Kącik Hydrogeologa”.
2. Przygotowanie i prowadzenie warsztatów dla przedstawicieli Jednostek Samorządów Terytorialnego województwa śląskiego w ramach projektu Śląskie Centrum Klimatu, maj 2026.

6.3.2. *Upowszechnianie wiedzy o sztucznym zasilaniu wód podziemnych*

Wszystkie poniżej przedstawione działania miały na celu zwiększenie świadomości różnorodnych interesariuszy o zaletach stosowania sztucznego zasilania wód podziemnych oraz zwiększyć zainteresowanie wynikami projektów DEEPWATER-CE i CRossWATER.

1. Organizacja spotkania inauguracyjnego projekt DEEPWATER-CE i współpracę z interesariuszami projektu – Sosnowiec, 30.09.2019 r. (45 uczestników)
2. Udział w konferencji prasowej podczas spotkania projektowego organizowanego w Katowicach 20 listopada 2019 r. na temat celów projektu i czym jest sztuczne zasilanie wód podziemnych. <https://www.youtube.com/watch?v=58ZnzLkUdv0&t=3s>
3. Warsztaty tematyczne: Podstawy MAR i analiza już istniejących przypadków dobrych praktyk/rozwiązań w obiektach stosujących MAR, 15 października 2020 r. (58 uczestników) <https://www.youtube.com/watch?v=kn3ykkCbN34&t=78s>

4. Warsztaty tematyczne: Zastosowanie wypracowanych narzędzi służących odpowiedniemu doborowi metody dodatkowego zasilania dla potencjalnego obszaru, 22 listopada 2020 r. (38 uczestników)
<https://www.youtube.com/watch?v=jJkKPDJ2U6I&t=15s>
5. Warsztaty tematyczne: Pilotażowe Analizy Wykonalności na potrzeby opracowania rekomendacji politycznych, 19 października 2021 r. (69 uczestników)
<https://www.youtube.com/watch?v=EVBurMYEQp4&t=6537s>
6. Wywiad dla telewizji Tarnowska.TV o prowadzonych badaniach wód podziemnych w Tarnowie w dniu 22 marca 2021 r.
<https://www.tarnowska.tv/artykul/7511,naukowcy-badaja-ujecie-wody-w-tarnowie>
7. Organizacja we współpracy z Tarnowskimi Wodociągami spotkania z interesariuszami projektu DEEPWATER-CE w siedzibie Tarnowskich Wodociągów wraz z zorganizowaniem wycieczki na ujęcie „Świerczków” w celu przedstawienia informacji z prac z polskiego obszaru pilotażowego w dniu 24 września 2021 (35 uczestników)
8. Organizacja seminarium podsumowującego wyniki projektu DEEPWATER-CE dla interesariuszy projektu w 28 lutego 2022 r. (67 uczestników)
9. Przygotowanie scenariusza do filmu promującego MAR i projekt DEEPWATER-CE
<https://www.youtube.com/watch?v=IVq59pYKxjk>
10. Artykuł w czasopiśmie „Gazeta Uniwersytecka Uniwersytetu Śląskiego”. Miesięcznik Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach <https://gazeta.us.edu.pl/node/426103>
11. Przeprowadzenie wykładu on-line dla studentów z Czech i Niemiec wraz z dr Zhao Chen w serii „Water Without Borders” pt. „Transboundary groundwater management for a climate-resilient water supply in the European City of Görlitz-Zgorzelec grudzień 2025.
12. Współorganizacja spotkania rozpoczynającego projekt CRossWATER i współpracę z interesariuszami projektu w Gorlitz 21 marca 2025 r.
<https://www.radiowroclaw.pl/articles/view/149494/Woda-na-wage-zlota-Zgorzelec-i-Gorlitz-przygotowuja-sie-na-zmiany-klimatyczne>
13. Informacje z badań w projektach, którymi kierowałem lub kieruję obecnie, są także popularyzowane w internecie na stronie internetowej Instytutu Nauk Ziemi (<https://tiny.pl/32r1bnp9c>), na fanpage-u Wydziału Nauk Przyrodniczych (https://tiny.pl/gq_gnmrn6) oraz na platformie LinkedIn (<https://tiny.pl/fm0msp6fj>).

6.3.3. Publikacje popularnonaukowe i branżowe

1. Lukač Reberski, J., Selak, A., De Vito-Francesco, E., Allabashi, R., Handl, S., Czekaj, J., Ślósarczyk, K., Sitek, S., Kuráž, M., Mursaikova, M., Brenčič, M., Vidmar, I., Chiogna, G., Ziliotto, F., Zinser, R., Adomat, Y., Tugnoli, F., & Ricciardi, G. (2022). Modelling of Emerging Contaminants : [chapter 5]. W: J. Lukač Reberski & A. Selak (Redaktorzy), MONOGRAPH of the boDEREC-CE project „Board for Detection and Assessment of Pharmaceutical Drug Residues in Drinking Water - Capacity Building for Water Management in CE” (s. 108–138). Croatian Geological Survey.
2. Sitek, S. (2020). Hydrogeologia Gliwic. W: Wodociągi i kanalizacja w Gliwicach historia i współczesność (s. 22–33). Wydawnictwo Prasa i Książka Grzegorz Grzegorek.
3. Stachniak, K., & Sitek, S. (2019). Realizacja europejskiego projektu Interreg Europa Środkowa DEEPWATER CE w Polsce. Hydrogeologia : czasopismo Stowarzyszenia Hydrogeologów Polskich (SHP), 3/4, Artykuł 1/2. https://hydrogeolodzy.pl/wordpress/wp-content/uploads/2022/09/Hydrogeologia-z4_5-28-32.pdf
4. Sztuka, M., & Sitek, S. (2020). Recovering Rainwater. No Limits, (2), 20–21. https://doi.org/10.31261/no_limits.2020.2.07

6.3.4. Udział w konferencjach popularyzująco-eksperckich i branżowych

1. Konferencja "Wody podziemne. Jak dbać o nasz ukryty skarb?" Ekoenergia Silesia S.A., Górnośląskie Przedsiębiorstwo Wodociągów S.A. Katowice, 9.10.2025 r.
Referat: *Jak chronić to, czego nie widać? Odnawianie zasobów wód podziemnych, badania i monitoring ujęć infiltracyjnych* (wykład na zaproszenie).
2. Konferencja regionalna Interreg na Dolnym Śląsku. Urząd Marszałkowski Województwa Dolnośląskiego, Wrocław, 20.06.2026 r.
Referat: *Wyzwania i zagrożenia wynikające ze zmiany klimatu, ochrony środowiska i zarządzania wodami podziemnymi*.
3. Konferencja podsumowująca ostatnie 5 lat naukowej współpracy pomiędzy Uniwersytetem Śląskim a Tarnowskimi Wodociągami, Tarnów, 22.05.2024 r.
Referat: *Badania modelowe przepływu wód podziemnych w rejonie Tarnowa, ze szczególnym uwzględnieniem ujęcia „Świerczków”*.
4. 44th CIS-groundwater working group meeting, Madryt, 10-11.10.2023 r.

Referat: *Outcomes of the DEEPWATER-CE project.*

5. III Ogólnopolska Konferencja Użytkowników Oprogramowania MIKE firmy DHI, Otwock, 25-26.09.2019 r.

Referat: *Zastosowanie modelowania wód podziemnych w praktyce.*

6. Otwarte Seminarium Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych, 25.10.2016 r.

Referat: *Modelowanie świata wody w narzędziach MIKE powered by DHI*

7. II Ogólnopolska Konferencja Użytkowników Oprogramowania MIKE firmy DHI, Katowice, 04-06.10.2016 r.

Referat: *Wpływ urbanizacji i obszarów pogórnich na zasilanie wód podziemnych na przykładzie rejonu Tarnowskich Gór.*

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

7.1. Wdrożenia wyników badań i współpraca z otoczeniem społeczno-gospodarczym

Istotnym elementem mojej działalności naukowej jest wdrażanie wyników badań w praktyce gospodarki wodnej. W ramach współpracy z Tarnowskimi Wodociągami opracowałem i współwdrożyłem system monitoringu wód podziemnych oparty na sieci piezometrów i pomiarach wysokiej rozdzielczości, wspierający zarządzanie ujęciem i ocenę jego bezpieczeństwa. Rozwiązania te zostały następnie zaadaptowane w innych lokalizacjach, w tym na ujęciu „Orzeszkowa” w Zgorzelcu, gdzie wdrożono kompleksowy system monitoringu wykorzystywany operacyjnie przez lokalne przedsiębiorstwo wodociągowe (zał. A.11 i A.14). Działania te realizowane były głównie w ramach pozyskanego finansowania z projektów międzynarodowych DEEPWATER-CE i CRossWATER, pozyskanego wsparcia z MNiSW w ramach Projektów Międzynarodowych Współfinansowanych zmniejszających wkład własny oraz w wyniku pozyskania środków w ramach wewnętrznych konkursów Instytutu Nauk o Ziemi pt. „Małe projekty” w latach 2024 i 2025.

7.2. Ekspertyzy, dokumentacje i opracowania aplikacyjne

W ramach działalności aplikacyjnej byłem współautorem dziesięciu prac badawczych wykonywanych na Uniwersytecie Śląskim w Katowicach. Były to m.in. ekspertyzy, projekty

i dokumentacje hydrogeologiczne oraz opracowania kartograficzne. Wszystkie opracowania zestawiono w punkcie III.5. w załączniku nr 4. Wykaz osiągnięć naukowych.

7.3. Wykorzystanie wyników badań w procesach decyzyjnych

Udostępnione wyniki z prac modelowych z rejonu Tarnowa były wykorzystane w ekspertyzie GEAQUA dotyczącej wpływu Małej Elektrowni Wodnej Ostrów na wody podziemne w rejonie Tarnowa (zał. A.15).

7.4. Działalność ekspercka i udział w dokumentach strategicznych

Udział ekspercki w CIS Working Group on Groundwater i wkład w opracowanie Guidance Document No. 39 Komisji Europejskiej. W ramach tych prac wykorzystywane były doświadczenia i wyniki badań prowadzonych przeze mnie w Polsce, w szczególności na obszarze ujęcia w Tarnowie, co stanowi przykład transferu wiedzy z poziomu badań naukowych do dokumentów o znaczeniu europejskim.

Jestem również głównym autorem opisu wpływu działalności naukowej na funkcjonowanie społeczeństwa i gospodarki w ramach trzeciego kryterium ewaluacji dla Instytutu Nauk o Ziemi pt. „Zwiększanie bezpieczeństwa wodnego i rozwoju społeczno-gospodarczego dzięki zarządzaniu sztucznym zasilaniem wód podziemnych”.

7.5. Współpraca z sektorem gospodarczym i instytucjami publicznymi

Moja działalność naukowa była realizowana we współpracy z podmiotami sektora gospodarczego oraz instytucjami publicznymi odpowiedzialnymi za zarządzanie zasobami wodnymi i ochronę środowiska. Współpraca ta obejmowała zarówno działania badawcze przy realizacji projektów, działania szkoleniowe oraz działania eksperckie przy wykonywaniu zleconych prac badawczych. W szczególności współpracowałem z przedsiębiorstwami wodociągowymi (m.in. Tarnowskie Wodociągi Sp. z o.o., PWiK „Nysa” Sp. z o.o., Górnośląskie Przedsiębiorstwo Wodociągów S.A.), jednostkami administracji publicznej (Urząd Miasta Zgorzelec, Wody Polskie), instytucjami badawczymi (Państwowy Instytut Geologiczny – PIB), a także podmiotami sektora prywatnego w zakresie modelowania wód podziemnych (DHI-POLSKA).

7.6. Nagrody i wyróżnienia naukowe

Nagroda Zespołowa Rektora I Stopnia w uznaniu osiągnięć badawczych na rzecz Wydziału Nauk Przyrodniczych w 2025 roku.

.....
(podpis wnioskodawcy)