

**AUTOREFERAT
PRZEDSTAWIAJĄCY OPIS DOROBKU
I OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH**

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska
Katedra Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej

Kraków 2016

ŻYCIORYS ZAWODOWY

tytuł magistra: 28 lipca 1986
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Geologiczno-Poszukiwawczy
uzyskany tytuł: magister inżynier geolog górniczy
specjalność: hydrogeologia, geologia inżynierska i górnicza

stopień doktora: 28 października 1996
dr nauk o Ziemi w dyscyplinie: geologia
specjalność: hydrogeologia
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska
Praca doktorska: *Prognozowanie migracji substancji chemicznych w wodach podziemnych metodą modelowania numerycznego na przykładzie zbiornika odpadów Żelazny Most*
promotor: dr hab. Stanisław Witczak

zatrudnienie

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica
Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska
Katedra Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej
adiunkt

przebieg pracy zawodowej

01.10.1986 – 30.09.1987, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie – asystent stażysta
01.10.1987 – 30.09.1988 – inżynier, specjalista w zawodzie
01.10.1988 – 15.02.1992 – studia doktoranckie
15.02.1992 – 30.09.1996 – asystent
01.10.1996 do chwili obecnej – adiunkt

OSIĄGNIĘCIE NAUKOWE BĘDĄCE PODSTAWĄ WSZCZĘCIA POSTĘPOWANIA HABILITACYJNEGO

Moje osiągnięcie naukowe po uzyskaniu stopnia doktora (Dz.U. nr 84 z 18.03.2011, poz. 455, art. 16, ust. 2, pkt.1) stanowiące znaczny wkład w rozwój dziedziny nauk o Ziemi w dyscyplinie geologia, w specjalności hydrogeologia, zawarte jest w sześciu publikacjach pod wspólnym tytułem:

Metodyczne aspekty ochrony wód podziemnych przed zagrożeniami stwarzanymi przez różne formy użytkowania terenu

- I-B-1 Witczak S., Duda R., Żurek A., 2007 - *The Polish concept of groundwater vulnerability mapping* [w:] Groundwater Vulnerability Assessment and Mapping [eds.] A.J. Witkowski, A. Kowalczyk & J. Vrba, International Association of Hydrogeologists Selected Papers on Hydrogeology Series, 11:45-59, Taylor & Francis, ISBN 13: 978-0-415-44561-0
- I-B-2 Duda R., Witczak S., Żurek A., 2011 – *Mapa wrażliwości wód podziemnych Polski na zanieczyszczenie 1:500 000. Metodyka i objaśnienia tekstowe*. Ministerstwo Środowiska, Wyd. Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Kraków, 138 p., ISBN 978-83-88927-24-9
- I-B-3 Duda R., Winid B., Zdechlik R., Stępień M., 2013 – *Metodyka wyboru optymalnej metody wyznaczania zasięgu stref ochronnych ujęć zwykłych wód podziemnych, z uwzględnieniem warunków hydrogeologicznych obszaru RZGW w Krakowie*. Wyd. Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Kraków, 154 p. ISBN 978-83-88927-29-4
- I-B-4 Duda R., 2014 a – *The influence of drainage wells barrier on reducing the amount of major contaminants migrating from a very large mine tailings disposal site*. Archives of Environmental Protection, 40(4):87–99. DOI: 10.2478/aep-2014-0041
- I-B-5 Duda R., 2014 b – *Assessment of disposable groundwater resources for hydraulic fracturing of gas shales in the Lublin Basin (eastern Poland)*. Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management, 30(4):79–96. DOI 10.2478/gospo-2014-0032
- I-B-6 Duda R., Macuda J., 2015 – *Feasibility analysis of groundwater abstraction for gas shale fracturing in the Lublin Basin (eastern Poland)*. Archives of Mining Science, 60(1):303-312. DOI 10.1515/amsc-2015-0020.

Cel naukowy prac stanowiących osiągnięcie naukowe, osiągnięte wyniki i omówienie możliwości ich wykorzystania

Wprowadzenie

Zagrożenia antropogeniczne związane z użytkowaniem powierzchni terenu powodują potrzebę wypracowania nowych lub udoskonalenia niektórych istniejących metod ochrony dobrego stanu jakości i wielkości zasobów wód podziemnych. Należy do nich metodyka wykonania mapy podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie w oparciu o nowe kryterium ilościowe, za jakie przyjęto czas wymiany wody w profilu strefy aeracji. Badaniach w których uczestniczyłem, dotyczyły m.in. wypracowania metodyki określenia rozkładu przestrzennego infiltracji efektywnej opadów, wpływającej na czas wymiany wody w strefie aeracji. Mapa wskazująca zróżnicowanie przestrzenne stopnia podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie jest podstawą planowania strategii ochrony wód w ramach planów zagospodarowania przestrzennego.

Elementem ochrony wód związanym z planami użytkowania terenu są strefy ochronne ujęć wód podziemnych, które wyznacza się różnymi metodami. Wybór optymalnej metody skutkuje właściwym zasięgiem strefy, a w konsekwencji właściwie obszarowo dobraną polityką ochrony wód, realizowaną w ramach miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego. Stąd wynika potrzeba opracowania metodyki wyboru optymalnego, w danych warunkach hydrogeologicznych, sposobu wyznaczenia strefy ochronnej ujęcia.

Wydobycie surowców mineralnych jest formą użytkowania powierzchni terenu stwarzającą zagrożenie dla dobrego stanu jakości i ilości zasobów wód podziemnych. Metodyka ochrony wód przez tymi zagrożeniami, pomimo osiągnięć w tym zakresie, nadal w niektórych aspektach wymaga propozycji zmodyfikowanych rozwiązań. Dotyczy to szczególnie ochrony wód przed formami zagospodarowania terenu obejmującymi znaczne powierzchnie i oddziałującymi długotrwale. Takim zagrożeniem w odniesieniu do jakości wód jest składowanie dużych mas odpadów górniczych, powodujące zanieczyszczenie wód podziemnych odciekami. W celu skutecznego ograniczania zanieczyszczenia wód poprzez bariery drenażowe wokół składowisk odpadów wydobywczych, w tym barier drenażu pionowego, potrzebne jest stosowanie obiektywnego i właściwie dobranego do danego typu odpadów kryterium oceny ich efektywności.

Eksploatacja gazu niekonwencjonalnego jest zagrożeniem w odniesieniu do przyszłego stanu rezerwy zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w skali regionalnej. Istotne jest więc wskazanie dopuszczalnej ekologicznie wielkości zasobów wód podziemnych do

wykorzystania w przyszłości przy zagwarantowaniu wystarczających zasobów wody dla społeczności lokalnych. W tym celu potrzebna jest odpowiednia metodyka opracowania modelu prognozującego w określonej perspektywie czasowej stan rezerwy zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w rejonach eksploatacji gazu niekonwencjonalnego.

Zagrożenia wynikające z obu wskazanych form użytkowania terenu mają swoje powiązanie zarówno z koncepcją wykonania mapy podatności wód podziemnych, jak i z metodyką wyboru sposobu wyznaczania stref ochronnych ujęć. Z mapą podatności wód podziemnych wykonaną zarówno w skali przeglądowej, jak i w skali szczegółowej wiąże je ten aspekt, że mapa wskazuje obszary, na których lokalizowanie działalności zagrażającej wodom pierwszego poziomu wodonośnego jest niemożliwe bez skutecznych zabezpieczeń technicznych. Strefy ochronne ujęć wód mają na celu bezpośrednią ochronę części użytkowego poziomu wodonośnego przed zanieczyszczeniem i zmniejszeniem zasobów eksploatacyjnych ujęcia. W tym zakresie tematycznym powiązane są ze sobą badania i cykl przedstawionych publikacji, których jestem współautorem lub autorem, stanowiący moje osiągnięcie naukowe.

Omówienie publikacji

I-B-1 Witczak S., Duda R., Żurek A., 2007 - *The Polish concept of groundwater vulnerability mapping* [w:] Groundwater Vulnerability Assessment and Mapping [eds.] A.J. Witkowski, A. Kowalczyk & J. Vrba, International Association of Hydrogeologists Selected Papers on Hydrogeology Series, 11:45-59, Taylor & Francis, ISBN 13: 978-0-415-44561-0

I-B-2 Duda R., Witczak S., Żurek A., 2011 – *Mapa wrażliwości wód podziemnych Polski na zanieczyszczenie 1:500 000. Metodyka i objaśnienia tekstowe*. Ministerstwo Środowiska, Wyd. Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Kraków, 138 p., ISBN 978-83-88927-24-9

Wypracowanie metodyki wyznaczenia zmienności przestrzennej naturalnej podatności wód podziemnych na potencjalne zanieczyszczenia antropogeniczne, które mogą wynikać z różnych form użytkowania terenu miało charakter naukowo-badawczy. Zespół z Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, w którym uczestniczyłem wraz z prof. Stanisławem Witczakiem i dr inż. Anną Żurek opracowujący założenia metodyczne, współpracował z zespołami pracowników Uniwersytetu Wrocławskiego, Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu i Państwowego Instytutu Geologicznego w Warszawie. Prace realizowane przez firmę *Arcadis-Ekokonrem* na zamówienie Ministra Środowiska rozpoczęto w 2003 r. (poz. III-M-7 w zał.3 - *Wykaz opublikowanych prac naukowych oraz informacja o*

osiągnięciach dydaktycznych, współpracy naukowej i popularyzacji nauki). Prace polegały na przyjęciu wstępnej koncepcji treści i zakresu *Mapy wrażliwości wód podziemnych Polski na zanieczyszczenie w skali 1:500 000* i przygotowaniu odpowiedniej metodyki jej wykonania. Prace zakończyły się osiągnięciem jakim jest koncepcja oszacowania stopnia naturalnej podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie z powierzchni terenu w oparciu o kryterium ilościowe, wraz z przedstawieniem metody i wyniku badania stopnia podatności dla wybranego obszaru pilotowego. Mój wkład i udział procentowy w powstaniu tego osiągnięcia przedstawiłem w poz. **I-B-1** (zał. 3). Jako oryginalne kryterium oceny stopnia podatności przyjęto czas wymiany wody w profilu strefy aeracji tożsamy z czasem migracji pionowej zanieczyszczeń konserwatywnych z powierzchni. Koncepcja zakresu treści *Mapy* zakłada podejście kompleksowe uwzględniające systemy wodonośne istotne dla zaopatrzenia w wodę pitną, tj. pierwszy poziom wodonośny (PPW) oraz główne zbiorniki wód podziemnych (GZWP), a także wody podziemne będące w interakcji z wodami powierzchniowymi i ekosystemami lądowymi zależnymi od wód podziemnych.

W celu uzyskania modelu rozkładu przestrzennego podatności określonej poprzez zmienność przestrzenną czasu wymiany, konieczne jest przyjęcie rozkładu przestrzennego zasilania PPW z infiltracji opadów atmosferycznych. W tym celu podałem koncepcję określenia intensywności zasilania warstwy wodonośnej, jako tożsamej z zasobami odnawialnymi wód podziemnych oszacowanymi dla jednostek hydrogeologicznych wydzielonych w granicach tych głównych użytkowych poziomów wodonośnych (GUPW), które są zarazem PPW, z wykorzystaniem w tym celu arkuszowej *Mapy hydrogeologicznej Polski 1:50 000*. Podałem także koncepcję wykonania i treści planszy będącej mapą podatności wód podziemnych GZWP.

W latach 2010–2011 na zamówienie Ministerstwa Środowiska brałem udział w wznowionych pracach związanych z opracowaniem *Mapy* w celu jej publikacji. Mój wkład i udział procentowy w osiągnięciu będącym wynikiem tych prac przedstawia poz. **I-B-2** w Zał.3. Publikacja łączy w sobie pogłębiony opis zmodyfikowanej w stosunku do pierwotnej (I-B-1) koncepcji rozwiązania zadania badawczego z przedstawieniem zmodyfikowanej w stosunku do pierwotnej metodyki oszacowania czasu wymiany wody w profilu strefy aeracji. Mój udział w osiągnięciu dotyczy m.in. omówienia wyniku modelowania zmienności przestrzennej stopnia wrażliwości wód podziemnych PPW i GZWP w obszarze Polski. Ponadto syntetycznie przedstawiłem zasady czynnej ochrony wód podziemnych podatnych na zanieczyszczenie. Brałem również udział w modyfikacji metodyki wykonania oraz treści mapy podatności wód podziemnych GZWP.

W celu uzyskania wiarygodnej zmienności przestrzennej czasu migracji zanieczyszczeń konserwatywnych z powierzchni terenu, konieczne jest przyjęcie prawidłowego rozkładu przestrzennego intensywności infiltracji efektywnej opadów atmosferycznych. Zmienność przestrzenna zasilania nie tylko wpływa na czas migracji pionowej zanieczyszczeń z powierzchni terenu w danym rejonie ale stanowi także objętość wody, w której rozpuszcza się ich ładunek, a więc decyduje o lokalnym stężeniu iniekcji masy zanieczyszczenia do wód podziemnych PPW. Na potrzebę prawidłowego wyznaczenia zróżnicowania przestrzennego infiltracji efektywnej opadów wskazały wcześniejsze badania, w których brałem udział (zał.3., poz. **II-D-3**, **II-E-9**, **II-E-12**). Badania podjęte w celu wyznaczenia zmienności przestrzennej zasilania w zlewniach bilansowych, w oparciu o tylko jeden wskaźnik korygujący opady w celu uzyskania infiltracji efektywnej wykazały jednak, że jest to trudne i może nie dać wyników wystarczająco dobrze dopasowanych do średniego niskiego przepływu rzek w wieloleciu (SNQ_m), równoważnego odpływowi podziemnemu do rzek (zał.3, poz. **II-D-3**, **II-E-15**). Dotyczy to nie tylko obszarów wyżynno-górskich, gdzie jest to szczególnie istotne, ale praktycznie każdych warunków terenowych i różnych sposobów użytkowania terenu.

Osiągnięciem w którego opracowaniu brałem udział jest modyfikacja sposobu określenia zmienności przestrzennej intensywności zasilania w stosunku do przyjętego w pracy I-B-1. Modyfikacja polega na obliczeniu zasilania metodą infiltracyjną z uwzględnieniem czynników wpływających na intensywność infiltracji efektywnej opadów czyli litologii utworów przypowierzchniowych, rodzaju pokrycia i zagospodarowania powierzchni terenu, stopnia nachylenia powierzchni terenu i głębokości występowania zwierciadła wód podziemnych PPW. Przyjęte wartości współczynników korekcyjnych zależnych od wskazanych uwarunkowań zostały częściowo skorygowane w procesie kalibracji zmienności przestrzennej infiltracji w obszarze Polski realizowanej pod kierunkiem prof. Stanisława Witczaka, poprzez jej dopasowanie do odpływu podziemnego do rzek określonego przez Tarkę i innych (2009) dla 22 wybranych zlewni.

Warstwy informacyjne charakteryzujące rozkłady przestrzenne parametrów wpływających na czas migracji pionowej zanieczyszczeń konserwatywnych z powierzchni powstałe w ramach wykonania *Mapy*, są nie tylko podstawą dalszych prac kartograficznych ale także scenariuszowych badań i prognoz w wielu aspektach. Dotyczy to m.in. możliwości wykorzystania rozkładu przestrzennego zasilania do wyznaczenia stref występowania wód podziemnych wrażliwych na zanieczyszczenie azotami, co przedstawili Witczak i inni, 2005 (zał.3. **II-E-9**). Wykorzystanie w podobnym celu warstwy informacyjnej charakteryzującej

przestrzenną zmienność infiltracji efektywnej może również dotyczyć każdego zanieczyszczenia o znanym zróżnicowaniu przestrzennym jego ładunku.

W ramach przyszłych badań zaproponowana metodyka oszacowania przestrzennej zmienności infiltracji może być udoskonalana poprzez wyznaczenie precyzyjniej dopasowanych w wyniku badań empirycznych wartości współczynników wpływających na zmienność przestrzenną zasilania, które przyjęto w trakcie tych prac.

Osiągnięcie jakim jest wypracowana metodyka oszacowania zmienności przestrzennej intensywności zasilania wykorzystano do określenia rozkładu przestrzennego czasu migracji zanieczyszczeń konserwatywnych przez strefę aeracji, będącego kryterium oceny stopnia podatności na *Mapie wrażliwości wód podziemnych w Polsce* w skali 1:500 000. Adresatem *Mapy* są m.in. Regionalne Zarządy Gospodarki Wodnej (RZGW), które mogą ją wykorzystać do identyfikacji problemów związanych z wpływem antropopresji na stan chemiczny wód podziemnych w skali regionalnej, sporządzenia programu zapobiegania zanieczyszczeniu wód i planów zarządzania wodami w regionach wodnych lub ich fragmentach.

I-B-3 Duda R., Winid B., Zdechlik R., Stępień M., 2013 – ***Metodyka wyboru optymalnej metody wyznaczania zasięgu stref ochronnych ujęć zwykłych wód podziemnych, z uwzględnieniem warunków hydrogeologicznych obszaru RZGW w Krakowie.*** Wyd. Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Kraków, 154 p. ISBN 978-83-88927-29-4

Jednym z celów ochrony jakości wód podziemnych jest zapewnienie właściwej ochrony ujęć zwykłych wód podziemnych poprzez wyznaczenie zasięgu terenu ochrony pośredniej strefy ochronnej ujęcia, w uproszczeniu określanego jako *strefa ochronna*. Wody podziemne w celu zbiorowego zaopatrzenia ujmuje się z GUPW, które w wielu rejonach są pierwszymi poziomami wodonośnymi. Ze względu na swoją pozycję hydrostrukturalną poziomy te często cechuje wysoki stopień podatności na zanieczyszczenie antropogeniczne z powierzchni terenu. Z tego powodu wiele ujęć wymaga wyznaczenia strefy ochronnej w celu zachowania jakości ujmowanych wód przed zanieczyszczeniami z potencjalnych ognisk zanieczyszczeń związanych z różnymi sposobami użytkowania terenu. Istnieje kilka metod wyznaczania strefy ochronnej – metody analityczne, metoda graficzna (superpozycji) i modelowanie numeryczne.

W wielu przypadkach wybór właściwej metody wyznaczenia strefy ochronnej ujęcia jest trudny. Wynika to ze zmienności lokalnych warunków hydrogeologicznych oraz takich czynników, jak wydajność studni, typ ujęcia (jednootworowe lub wielootworowe), współdziałanie z innymi ujęciami lub jego brak. Ponadto dotychczasowe wytyczne metodyczne

nie zawierały w wystarczającym stopniu omówienia roli i sposobu oceny czasu migracji pionowej zanieczyszczeń konserwatywnych przez strefę aeracji do ujmowanej warstwy. Czas ten jest miarą ochronnego wpływu nadkładu co wpływa na zasięg projektowanej strefy ochronnej. Stąd też obserwowano w praktyce różne sposoby podejścia do wyznaczenia strefy. Szczególnie dr Andrzej Rodzoch (2004) i prof. Józef Górski (2010) wskazywali na konieczność opracowania nowych wytycznych w zakresie wyznaczania stref. Z tego względu praca **I-B-3**, wykonana pod moim kierunkiem na zamówienie RZGW w Krakowie, ma na celu uzupełnienie luki merytorycznej w tym zakresie poprzez podanie metodyki doboru optymalnego sposobu wyznaczania zasięgu strefy ochronnej. Praca ma również na celu analizę i podanie sposobu uwzględnienia specyficznych czynników hydrogeologicznych determinujących kształt i wielkość strefy, a także uwarunkowań związanych ze współdziałaniem ujęć.

Współpracując z dr inż. Bogumiłą Winid z Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, brałem udział w zaplanowaniu sposobu i kryterium porównania zasięgów stref ochronnych uzyskiwanych wybranymi metodami analitycznymi w celu wskazania optymalnej metody analitycznej do stosowania w prostych warunkach hydrogeologicznych. Zaproponowałem by porównanie odnosiło się do rezultatów wyznaczenia strefy uzyskanych modelowaniem numerycznym, jako rezultatu wzorcowego. Współpracując z dr inż. Robertem Zdechlikiem z Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie brałem udział w określeniu koncepcji przykładu ilustrującego wyznaczania terenu ochrony pośredniej strefy ochronnej ujęcia metodą modelowania numerycznego.

W pracy przedstawiłem kilka zagadnień, których wyjaśnienie i sposób uwzględnienia przy wyznaczaniu stref ochronnych są osiągnięciem, głównie o charakterze stosowanym. Podałem kryteria i sposób wyboru zalecanej metody wyznaczania terenu ochrony pośredniej strefy ochronnej spośród dwóch metod analitycznych, metody graficznej oraz modelowania numerycznego. Jako dwa główne kryteria wyboru wskazałem stopień złożoności warunków hydrogeologicznych i wielkość zasobów eksploatacyjnych ujęcia, a jako kryterium dodatkowe czas przepływu wody w warstwie wodonośnej do ujęcia. Podałem warunki, dla których konieczne jest zastosowanie modelowania numerycznego.

Wskazałem uwarunkowania migracji zanieczyszczeń w wodach podziemnych w złożonych warunkach hydrogeologicznych, głównie związanych z poziomami wodonośnymi o charakterze szczelinowym oraz szczelinowo-krasowym, w skałach o podwójnej porowatości, a także w szczególnym przypadku jakim współdziałanie ujęć. Podałem wskazówki metodyczne wyznaczania stref ochronnych w takich warunkach.

Wyjaśniłem potrzebę przyjmowania zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych ujęcia jako wielkości poboru, dla którego wyznaczana jest strefa. Jednym z ważnych powodów jest mogący wystąpić w przyszłości brak możliwości zwiększenia poboru wody, spowodowany niekorzystnymi zmianami w sposobie użytkowania terenu bezpośrednio poza granicą aktualnie wyznaczonej strefy. Zilustrowałem graficznie potrzebę uwzględnienia na etapie wyznaczania obszaru zasilania ujęcia, dwóch sytuacji szczególnych dotyczących ujęć zlokalizowanych w dolinie rzeki i w pobliżu strefy krawędziowej wysoczyzny.

Praca **I-B-3** może być wykorzystana jako pomoc w wyborze optymalnej metody wyznaczania zasięgu strefy ochronnej ujęcia i w wyznaczeniu strefy wybraną metodą. Wyniki kontynuacji badań mających na celu próbę wskazania najdokładniejszej i optymalnej metody analitycznej wyznaczania strefy ochronnej przedstawia publikacja **II-E-16**.

I-B-4 Duda R., 2014 a – *The influence of drainage wells barrier on reducing the amount of major contaminants migrating from a very large mine tailings disposal site.*
Archives of Environmental Protection, 40(4):87–99. DOI: 10.2478/aep-2014-0041

Ważnym narzędziem ochrony jakości wód podziemnych w otoczeniu ognisk zanieczyszczeń związanych z różnymi formami użytkowania terenu są zabezpieczenia techniczne mające na celu zatrzymanie lub ograniczenie migracji zanieczyszczeń w wodach podziemnych. Zabezpieczenia wymagają oceny skuteczności w ograniczeniu ryzyka degradacji jakości wód. Żeby ocena była miarodajna i obiektywna istotne jest przyjęcie odpowiedniego dla danej formy zabezpieczenia kryterium oceny efektywności. Ma to szczególne znaczenie w warunkach presji wywołanych przez duże i długoletnio (kilkadziesiąt lat lub dłużej) oddziałujące ogniska zanieczyszczenia. Takimi ogniskami są składowiska odpadów górniczych występujące na terenach zagospodarowanych przez przemysł wydobywczy. Tereny te często zajmują znaczne powierzchnie stanowiąc okręgi lub rejony górnicze. Zagrożenie wynika głównie z dużej ilości zdeponowanych odpadów na poszczególnych obiektach, generujących kwaśne lub zasolone odcieki, w zależności od rodzaju deponowanych odpadów.

Szczególnie uciążliwe są składowiska odpadów poflotacyjnych deponowanych na mokro w postaci pulpy odprowadzanej z zakładów wzbogacania rudy – funkcjonując jako osadnik nie mają izolacji od podłoża. Podstawową metodą ochrony środowiska wodnego w ich rejonie są pasywne bariery drenażu poziomego. Wraz z rosnącymi wymogami ochrony środowiska coraz częściej stosowana będzie także ochrona aktywna w postaci bariery studni drenażowych wokół obiektu. Podstawowym elementem oceny efektywności takich barier jest ocena szczelności hydraulicznego zamknięcia składowiska. W warunkach skomplikowanej budowy geologicznej

podłoża, o nie w pełni znanych drogach wpływu zanieczyszczonych wód spod składowiska na przedpola, a co za tym idzie niepełnym zamknięciu hydraulicznym, potrzebne są dodatkowe kryteria oceny skuteczności drenażu. Ponadto ze względu na wymóg konsultacji społecznych w trakcie oceny oddziaływania obiektu na środowisko wskazane jest aby kryterium miało cechę łatwego do zrozumienia efektu ekologicznego. Problem ten jest szczególnie istotny w odniesieniu do składowiska odpadów górniczych *Żelazny Most* w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym (LGOM) w południowo-zachodniej Polsce, na które w formie pulpy wylewane są odpady po przeróbce rud miedzi. Jest to jeden z największych na świecie obiektów tego typu – powierzchnia 14 km², objętość odpadów w 2010 r. wynosiła 490 mln m³ i do 2030 r. osiągnie 1 000 mln m³. Zagrożenie jakości wód w otoczeniu obiektu wynika z użycia do hydrotransportu odpadów wysoko zasolonych wód z odwadniania kopalń. Głównymi składnikami zanieczyszczenia wód są chlorki (w 2010 r. średnio 12 400 mg Cl/dm³), siarczany (średnio 2 950 mg SO₄/dm³) oraz sól. Wobec powyższego podjąłem pracę, której celem jest propozycja nowego ilościowego kryterium oceny skuteczności bariery studni drenażowych w ograniczaniu ilości zanieczyszczeń migrujących z tego obiektu w kierunku pobliskich cieków, a następnie określenie wpływu dwudziestoletniej pracy bariery na ochronę środowiska wodnego. Jako kryterium oceny skuteczności bariery przyjąłem efekt określony na podstawie obliczenia ładunków charakterystycznych i dobrze znanych związków chemicznych przejętych barierą, zamiast poszczególnych składników zanieczyszczenia. W tym przypadku zamiast ładunków głównych zanieczyszczeń czyli Cl, Na, SO₄ i Ca, przejętych przez barierę w okresie jej funkcjonowania, ocena dotyczy ujętego ładunku soli (NaCl) oraz gipsu (CaSO₄).

Wynikiem pracy są dane ukazujące efektywność bariery w ujęciu czasowym i przestrzennym. W latach 1991–2010 bariera zatrzymała łączny ładunek głównych zanieczyszczeń po ich przeliczeniu na sól i gips wynoszący odpowiednio 363 523 Mg oraz 119 097 Mg. Osiągnięciem poznawczym badań jest wykazanie, że skuteczność bariery w ograniczaniu transportu zanieczyszczeń systematycznie wzrastała w czasie, a szczególnie w odniesieniu do NaCl. Jest to głównie skutkiem dopływu do studni odcieków o coraz większych stężeniach zanieczyszczeń. Wynika to m.in. stąd, że w ostatnich latach obserwuje się wzrost stężeń chlorków w wodach kopalnianych. W wodach nadosadowych stężenie chlorków wzrosło z poziomu około 6 000 mg/l w 1994 r. do około 12 400 mg/l w 2010 r., a objętość wypompowywanej wody już się nie zwiększa, gdyż bariera osiągnęła docelową liczbę studni. Stężenia te będą w przyszłości jeszcze się zwiększać z powodu rozwoju wydobywania rud miedzi w głębszych partiach złoża zapadającego monoklinalnie w kierunku

północno-wschodnim, a w konsekwencji zwiększenia dopływu wód bardziej słonych. Podobnego zjawiska nie zaobserwowałem w przypadku ładunku CaSO_4 . Powodem jest osiągnięcie stanu równowagi pomiędzy stężeniami jonów Ca i SO_4 w wodzie nadosadowej, a granicą rozpuszczalności minerału, z którego pochodzą. W konsekwencji stężenia SO_4 i Ca w odcieku ujmowanym barierą są stałe w czasie.

Przetawiałem dotychczasową zależność wielkości zatrzymanych przez barierę ładunków SO_4 i Ca wyrażonych jako ładunek CaSO_4 oraz ładunków Cl i Na wyrażonych jako ładunek NaCl, od objętości ujętych odcieków. Podjąłem także próbę wstępnej prognozy korelacji wielkości przejętego przez barierę ładunku NaCl w stosunku do objętości odcieków ujętych barierą w przyszłości. Uzyskane wyniki badań wskazują, że zastosowane kryterium jest dobrym wskaźnikiem efektywności ochrony wód podziemnych barierą drenażową. Wskazane osiągnięcie opisałem w pracy **I-B-4**.

Przyjęte w pracy podejście może być stosowane w ocenach skuteczności barier drenażowych innych składowisk odpadów, w tym wydobywczych, szczególnie w krajach kontynuujących lub rozwijających eksploatację surowców mineralnych. Metodyka pozwala także na oceny wariantowe, w zależności od przyjętych scenariuszy reżimu pracy bariery czy wielkości stężeń głównych zanieczyszczeń zawartych w odciekach.

I-B-5 Duda R., 2014 b – *Assessment of disposable groundwater resources for hydraulic fracturing of gas shales in the Lublin Basin (eastern Poland)*. Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management, 30(4):79–96. DOI 10.2478/gospo-2014-0032

I-B-6 Duda R., Macuda J., 2015 – *Feasibility analysis of groundwater abstraction for gas shale fracturing in the Lublin Basin (eastern Poland)*. Archives of Mining Science, 60(1):303-312. DOI 10.1515/amsc-2015-0020.

Wydobycie gazu niekonwencjonalnego na skalę przemysłową wymaga ze względów ekonomicznych maksymalizacji produkcji co skutkuje zagospodarowaniem w sposób rozporoszony dużych powierzchni terenu. Ze względu na zasięgi formacji skał gazonośnych tereny zagospodarowane w tym celu mogą osiągnąć znaczne rozprzestrzenienie. Problem zagrożenia dobrego stanu dostępnych zasobów wód podziemnych związany z wydobyciem gazu niekonwencjonalnego wynika z ilości wody potrzebnej do szczelinowania hydraulicznego skał gazonośnych, która osiąga w zależności od warunków geologicznych do kilkunastu tysięcy m^3 na jeden otwór produkcyjny. Istotnym jest więc aby rozwój górnictwa gazu nie spowodował pogorszenia stanu ilościowego wód. W tej sytuacji należy wskazać dopuszczalną ekologicznie

wielkość zasobów wód podziemnych do wykorzystania w celu szczelinowania, której wykorzystanie nie wpłynie na pogorszenie stanu wód, przy równoczesnym zagwarantowaniu w przyszłości wystarczającej ilości wody dla społeczności lokalnych.

W pracy **I-B-5** dokonałem prognozy rezerwy gwarantowanych zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych możliwej do wykorzystania m.in. w celu szczelinowania łupków gazonośnych w obszarze koncesyjnym dolnopaleozoicznego basenu lubelskiego, czyli w rejonie kilkunastu koncesji na poszukiwanie i eksploatację gazu. W celu określenia rezerwy zasobów dyspozycyjnych wody założyłem model prognostyczny bilansu wodnogospodarczego, do którego jako dane wejściowe przyjąłem dane z bilansu gwarantowanych zasobów wód podziemnych dla 2030 r. w dorzeczu Wisły według P. Herbicha i E. Przytuły (2012). Prognozę rezerwy zasobów dyspozycyjnych wód oszacowałem dla wydzielonych 12 stref bilansowych, zgodnych obszarowo z JCWPd ich fragmentami znajdującymi się w analizowanym obszarze koncesyjnym, bez stratygraficznego rozdziału na poziomy wodonośne.

Opracowując model prognostyczny, który jest jednym z osiągnięć pracy, przyjąłem założenie konieczności uniknięcia wykazania większej rezerwy zasobów niż mogące wystąpić w rzeczywistości w obszarze badań, co może grozić zezwoleniem na przyszły pobór wody większy niż dozwolony. Potrzebne jest bowiem zagwarantowanie przepływu nienaruszalnego w rzekach i ochrona ekosystemów lądowych zależnych od wód. Dążąc do zwiększenia gwarancji, że przepływ nienaruszalny w rzekach nie zostanie zmniejszony w wyniku poboru wody na cele szczelinowania, w modelu szacunkowo uwzględniłem specyficzne warunki determinujące wielkość prognozowanych zasobów wody w rejonach eksploatacji gazu. Za warunki te uznałem zmniejszenie zasilania wód podziemnych w wyniku zmian klimatu, nierejestrowany pobór wody w gospodarstwach indywidualnych, zapotrzebowanie na wodę związane z rozwojem górnictwa gazu oraz stopień zwrotu do obiegu hydrologicznego wody wykorzystanej do szczelinowania. Dotychczas brak jednoznacznych bezpośrednich badań i danych ilościowych dotyczących wskazanych korelacji, szczególnie w przyjętym obszarze badań. Uznałem więc za dopuszczalne przyjęcie na tym wstępnym etapie modelu prognostycznego wartości współczynników korekcyjnych jako hipotetycznych. Założyłem ponadto, że współczynnik odwzorowujący stopień zwrotu wód podziemnych pobranych w celu szczelinowania do obiegu wody w zlewni jest funkcją stopnia odzysku wody wykorzystanej do szczelinowania w otworze, zależnego od warunków geologicznych, a także ilości odzyskanej cieczy odprowadzonej jako ściek do rzeki.

W celu uwzględnienia niepewności stopnia oddziaływania wskazanych uwarunkowań w 2030 r., model wykonałem dla dwóch scenariuszy, tj. umiarkowanie rygorystycznego

ekologicznie oraz scenariusza rygorystycznego zakładającego duże skutki zmian klimatu i radykalne zwiększenie zapotrzebowania na wodę. Scenariusze odwzorowałem poprzez przyjęcie różnych wartości współczynników korekcyjnych.

Kolejnym osiągnięciem o charakterze stosowanym wynikłym z tej pracy jest wstępna prognoza gwarantowanych zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w obu scenariuszach w 2030 r., w strefach bilansowych rejonu koncesyjnego basenu lubelskiego, a także względne wartości zasobów wyrażone na jednostkę powierzchni, które są szczególnie istotne dla właścicieli koncesji. Bezwzględne wartości zasobów w poszczególnych strefach są niezbędne dla RZGW i administracji lokalnej do kontroli wydawanych pozwoleń wodnoprawnych na pobór wody. Istotne jest aby suma poborów wynikająca z pozwoleń nie przekraczała prognozowanych na modelu gwarantowanych zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych.

Dla właścicieli koncesji istotne są względne wartości zasobów wyrażone na jednostkę powierzchni. Znając powierzchnię koncesji można określić zasoby wody, które mogą być w niej zagospodarowane w ciągu poszczególnych lat rozwoju produkcji gazu. Właściciele koncesji zlokalizowanych w danym obszarze winni dostosować wielkość zapotrzebowania na wodę i tak zaplanować harmonogramy szczelinowań oraz poboru wody w celu jej zmagazynowania aby w danej jednostce czasu nie przeekspluatować zasobów wody. Podałem szacunkowy przykład ilustrujący ten sposób wykorzystania wskazanych na modelu wartości prognozowanych zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych.

W dalszych pracach wskazane jest wykorzystanie proponowanej metodyki w celu określenia prognozowanych zasobów dyspozycyjnych dla parcel bilansowych zgodnych z granicami koncesji na eksploatację gazu niekonwencjonalnego nie tylko w obszarze basenu lubelskiego ale również w rejonach perspektywicznych eksploatacji innego typu gazu np. gazu zamkniętego. Właściciele koncesji uzyskają w ten sposób dane potrzebne do zaplanowania liczby i harmonogramu szczelinowań, co ograniczy ryzyko niezrównoważonego poboru wód podziemnych.

Osiągnięcie stanowi podstawę dla dalszych prac badawczych, gdyż istotne jest udoskonalenie modelu poprzez określenie dokładniejszych wartości współczynników decydujących o wielkości prognozowanych zasobów dyspozycyjnych wody. Odpowiednie współczynniki winny być wyznaczone na podstawie wypracowanych w tym celu metodyk. Możliwe jest także uzupełnianie modelu o inne czynniki wpływające na wielkość rezerwy zasobów wody w przypadku odmienności warunków geologicznych, klimatycznych, społeczno-gospodarczych czy technologii szczelinowania w innych rejonach.

Kontynuując prace opisane w publikacji I-B-5 wykonałem ocenę możliwości poboru wód podziemnych, m.in. w celu szczelinowania łupków gazonośnych w basenie lubelskim. Osiągnięcia tych badań przedstawia publikacja I-B-6. Przyjąłem podejście polegające na tym, że możliwość poboru wody zostanie przedstawiona poprzez wskazanie reprezentatywnych wydajności jednostkowych studni ujmujących wody GUPW w rejonie badań. Znajomość wartości wydatku jednostkowego umożliwia zaprojektowanie ujęcia stosownie do potrzeb. Ponadto wydatek jednostkowy studni jest daną empiryczną cechującą się wysokim wskaźnikiem pewności i może charakteryzować wodonośność poziomów wodonośnych w skali regionalnej, na co wskazali Witczak i inni, 1999 (zał.3. II-E-5). W celu wyznaczenia typowego zakresu zmienności wydatku jednostkowego przyjąłem metodę J. Krasnego i J. Jetela (Krasny 1993; Jetel, 1995), w której zakres uznany za reprezentatywny wynosi ± 1 odchylenie standardowe od mediany określone na wykresie skumulowanej częstości wystąpienia zmiennej.

Dane o maksymalnych wydajnościach studni i związanych z nimi depresjach zestawione są w objaśnieniach do arkuszy *Mapy hydrogeologicznej Polski* (MhP) w skali 1: 200 000 i 1:50000. Ze względu na wielkość powierzchni analizowanego obszaru koncesyjnego określenie typowego zakresu zmienności wydajności jednostkowej studni oparłem o dane zestawione w 7 arkuszach MhP w skali 1: 200 000 obejmujących ten obszar. Uzyskane wyniki w odniesieniu do skał kredy górnej wskazują, że w granicach arkuszy „Łuków”, „Lublin” i „Rzeszów” typowe wydatki jednostkowe studni zawierają się w przedziale od 1.1 do 110 m³/h/1m. W obszarach arkuszy „Włodawa”, „Chełm” i „Tomaszów Lubelski” typowe wydatki jednostkowe nie przekraczają 40 m³/h/1m. Wydajności jednostkowe studni zafiltrowanych w utworach trzeciorzędu i czwartorzędu analizowane łącznie dla całego obszaru koncesyjnego basenu lubelskiego są mniejsze i zawierają się w przedziałach odpowiednio od 0.8 do 20 oraz od 1.0 do 10 m³/h/1m.

Na podstawie zastosowanego podejścia może być obliczany przewidywany pobór wód podziemnych. Jest to konieczne do takiego zaplanowania harmonogramu poboru wody w celu jej zmagazynowania na potrzeby szczelinowania aby w danej jednostce czasu nie przeeksploatować dostępnej rezerwy dyspozycyjnych zasobów wód podziemnych.

OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO-BADAWCZYCH

Moja praca naukowa dotyczyła zagadnień hydrogeologii stosowanej, głównie w zakresie metodyki ochrony wód podziemnych przed antropopresją, szczególnie w skali ponadlokalnej i regionalnej, obejmując cztery główne kierunki badawcze:

1. modelowanie numeryczne migracji zanieczyszczeń w wodach podziemnych,
2. określanie rozkładu przestrzennego stężeń tych wskaźników jakości wód podziemnych, które można korelować z antropopresją,
3. ocena antropogenicznych oddziaływań na stan jakości wód podziemnych i ich skutków.
4. szacowanie rezerw zasobów wód podziemnych możliwych do wykorzystania między innymi na potrzeby hydroszczelinowania skał zbiornikowych gazu niekonwencjonalnego.

Ponadto w obszarze hydrogeologii stosowanej zajmowałem się takimi aspektami, jak

- A. wyznaczenie bezpiecznej głębokości mrożenia górotworu dla potrzeb głębinienia szybów,
- B. kartografia hydrogeologiczna.

ad 1. Modelowanie numeryczne migracji zanieczyszczeń w wodach podziemnych

W latach 1987-1990 brałem udział w badaniach Centralnego Programu Badań Podstawowych 04.10.09. *Strategia ochrony głównych zbiorników wód podziemnych w Polsce* pod kierunkiem prof. Antoniego S. Kleczkowskiego z Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, zadanie *Doskonalenie metodyki prognozowania zmian jakości wód podziemnych*, jako współwykonawca w temacie badawczym *Dobór i testowanie optymalnych modeli migracji zanieczyszczeń* pod kierunkiem prof. Stanisława Witczaka z Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. Realizując wskazane hierarchicznie cele, moja praca w etapie II dotyczyła podzadania *Przygotowanie wybranych programów do zadań związanych z ochroną wód podziemnych*, w ramach którego testowałem program CXTFIT (*Parker, van Genuchten, 1984*) stosowanego do identyfikacji parametrów migracji masy substancji w wodach podziemnych, poprzez dopasowanie empirycznych wyników zmiany stężenia masy w zależności od czasu eksperymentu lub od odległości od miejsca iniekcji po określonym czasie, do teoretycznych modeli transportu masy, odpowiednio typu *flux* lub *resident*, w warunkach ruchu jednoosiowego. Wyniki prac wskazały, że program jest przydatny do identyfikacji parametrów migracji masy w badaniach laboratoryjnych i terenowych.

Prace w etapach III-V, w których brałem udział jako współwykonawca, polegały na ilościowym określeniu skali dyspersji numerycznej będącej błędem numerycznego rozwiązania równania transportu masy w wodach podziemnych. Do eksperymentu porównawczego wybrano standardową metodę różnic skończonych (FDM) oraz metodę Random-Walk (współrzędnych wędrujących) opartą na założeniu o losowym charakterze przemieszczania się cząstek masy spowodowanego dyspersją hydrodynamiczną w ośrodku wodonośnym, przyjmując różne rozmiary pojedynczego bloku obliczeniowego przy różnych wartościach stałej dyspersji. Jako poziom odniesienia przyjęto wynik rozwiązania analitycznego uzyskanego przez dopasowanie parametrów migracji jednym z modeli typu *resident* uwzględnianych w programie CXTFIT. Wyniki badań wskazały, że wielkość błędu zależy od metody numerycznego rozwiązania równania transportu masy (w szczególności problemy numeryczne dotyczą metody FDM) oraz że błąd numeryczny rośnie wraz ze zwiększaniem rozmiarów bloków obliczeniowych modelu i wielkością kroku czasowego obliczeń podczas symulacji prognostycznej. Ma to znaczenie zwłaszcza w zagadnieniach rzeczywistych o skali lokalnej i ponadlokalnej. Omówienie osiągnięć badań z poszczególnych etapów zebrano w niepublikowanych dokumentacjach prac badawczych (zał.3. **II-F-1**).

Rozwinięciem tych prac były badania polegające na ocenie wpływu dyspersji numerycznej na wynik symulacji procesu migracji masy metodą FDM, szczególnie w skali regionalnej wymuszającej dyskretyzację obszaru badań na bloki obliczeniowe o rozmiarach rzędu stu kilkudziesięciu – kilkuset metrów. Jako obiekt badań wybrałem rejon wschodniego przedpola składowiska odpadów poflotacyjnych, zaliczanych do odpadów wydobywczych górnictwa rud miedzi *Żelazny Most* w LGOM. Stwierdziłem, że przy realnym w skali rzeczywistej wymiarze bloków $\Delta x > 2\alpha$ (gdzie α to stała dyspersji hydrodynamicznej, wynosząca w typowych warunkach od kilkunastu do kilkudziesięciu metrów) dyspersja numeryczna na tyle istotnie wpływa na wynik prognozy, że konieczne jest dodatkowe oszacowanie ilościowe rozmiaru tego błędu. Omówienie badań zawiera publikacja **II-E-1**.

W latach 1988-1994 wraz z prof. Stanisławem Witczakiem brałem udział w opracowaniu kilku kompleksowych ocen oddziaływania składowiska odpadów rud miedzi *Żelazny Most* w LGOM, na wody podziemne i powierzchniowe wraz z przygotowaniem koncepcji ich ochrony. Zagrożenie wynika z wielkości obiektu – największe składowisko odpadów w Europie, nie jest izolowane od podłoża i ciągle narasta objętość odpadów deponowanych w technologii mokrej. Badania dotyczyły prognozy zasięgu zanieczyszczenia wód podziemnych w zależności od zmiennych w czasie warunków brzegowych zadania, jak np. sposób mokrego deponowania odpadów poflotacyjnych, miąższość i skład granulometryczny

odpadów (zmienny w układzie pionowym i poziomym) czy obecność drenaży poziomych na składowisku i w jego otoczeniu. Ocena taka mogła być wykonana tylko poprzez eksperymentalne symulacje prognostyczne wykonane na modelu numerycznym obiektu i jego otoczenia. Symulacje prognostyczne oprócz dostarczenia wiedzy o zasięgu zanieczyszczenia wód podziemnych w określonej przyszłości, pozwalają także na wariantowe symulacje skuteczności możliwych do technicznej realizacji działań chroniących wody lub ograniczających ich zanieczyszczenie. Osiągnięcie będące wynikiem badań opisano w pracy **II-E-2**. Mój główny wkład w badaniach polegał na

- zebraniu i opracowaniu części danych potrzebnych do wykonania eksperymentów polegających na symulacjach numerycznych migracji masy chlorków będących głównym składnikiem wód słonych, na modelu numerycznym warunków hydrogeologicznych przepływu wód podziemnych i przesączania wód nadosadowych przez odpady (powierzchnia objęta modelem 121 km²),
- wykonaniu wariantowych symulacji numerycznych metodą FDM procesu migracji chlorków na przedpolach obiektu w zależności od wydajności bariery studni drenażowych wokół zbiornika lub braku bariery.

Materiał badawczy zebrany podczas wskazanych prac wykorzystałem do pracy doktorskiej pt. *Prognozowanie migracji substancji chemicznych w wodach podziemnych metodą modelowania numerycznego na przykładzie zbiornika odpadów Żelazny Most*, opracowanej pod opieką naukową prof. Stanisława Witczaka.

Po uzyskaniu stopnia doktora kontynuowałem pracę związaną z modelowaniem migracji chlorków w rejonie składowiska *Żelazny Most*. Chlorki są głównym składnikiem słonych wód kopalnianych będących nośnikiem w procesie hydrotransportu odpadów na to składowisko. Zmienność w czasie warunków funkcjonowania obiektu, przy równoczesnej poprawie rozpoznania skomplikowanej, glacitektonicznej budowy geologicznej i zmiennej w czasie rozbudowie bariery drenażu pionowego wpływającej na zmianę kierunków przepływu wód zasolonych, powodowały potrzebę aktualizacji oceny prognozowanego wpływu obiektu na środowisko wodne i skuteczności działań ograniczających rozptył wód zasolonych. Równocześnie wraz z pojawieniem się metody linii prądu (metody charakterystyk – MOC) numerycznego rozwiązania równania transportu masy w wodach podziemnych, pozwalającej istotnie ograniczyć lub wręcz wyeliminować wpływ dyspersji numerycznej na dokładność prognozy, zastosowałem tę metodę do badań symulacyjnych. Wyniki osiągnięcia opisano w publikacjach **II-A-1** oraz **II-E-14** (zał. 6). Osiągnięcie miało znaczenie aplikacyjne poprzez ocenę skuteczności wdrażanych działań zabezpieczających i wskazanie dalszych działań

technologicznych w celu ochrony wód. Ma to znaczenie kluczowe w świetle co najmniej kilkunastoletniego dalszego deponowania odpadów wydobywczych na tym obiekcie.

Praca II-E-13 jest wprowadzeniem do publikacji II-E-14 i jest podsumowaniem wyników wieloletnich badań warunków przesiąkania słonych wód nadosadowych w obrębie składowiska odpadów wydobywczych *Żelazny Most* i przepływu wód podziemnych wraz z zanieczyszczeniami konserwatywnymi, w których brałem udział.

ad 2. Określanie rozkładu przestrzennego stężeń tych wskaźników jakości wód podziemnych, które można korelować z antropopresją

W latach 1993-1994 brałem udział jako współwykonawca w realizacji projektu *Groundwater quality monitoring of the Upper Vistula River Basin (Monitoring jakości wód podziemnych w dorzeczu Górnej Wisły)* finansowanego przez EU w ramach PHARE - Regional Environmental Sector No P-UV/2 1992-1994 (kierownik prof. Stanisław Witczak z Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie). Strategia ochrony wód podziemnych przed antropopresją w skali regionalnej, oprócz wiedzy o jakości wody określanej punktowo w otworach badawczych ujmujących wody zagrożone, tj. o czasie pionowej migracji zanieczyszczeń konserwatywnych z powierzchni do monitorowanego zbiornika krótszym niż 25 lat, wymaga także wiedzy o rozkładzie przestrzennym stężeń tych wskaźników jakości wody, które można korelować z antropopresją. Jednak żeby przedstawiony kartograficznie rozkład był wiarygodny, winien być określony według procedury interpolacyjnej uwzględniającej zarówno czynnik losowy naturalnej zmienności przestrzennej stężenia badanego wskaźnika, jak i czynnik nielosowy, czyli w tym wypadku antropogeniczne lokalne lub rozproszone ogniska zanieczyszczenia. Ponadto ze względu na regionalną skalę badania oraz ograniczoną liczbę punktów obserwacyjnych obraz zmienności przestrzennej winien być uzupełniony o mapę błędu oceny badanego parametru. Metodą spełniającą te warunki jest modelowanie geostatystyczne z interpolacyjną procedurą krigingu.

Moja praca polegała na interpretacji aktualnego rozkładu przestrzennego stężeń wybranych wskaźników jakości wód podziemnych w zlewni górnej Wisły, m.in. Cl, SO₄, N-NO₃, Pb, K, HPO₄ których stężenia, przekraczające naturalne tło hydrogeochemiczne, mogą świadczyć o wpływie antropopresji. W tym celu wykonałem programem GeoEAS (*Englund, Sparks, 1991*) modelowania geostatystyczne zmienności przestrzennej wskazanych wskaźników jakości wód i mapy błędu oszacowania tej zmienności. Wskazane osiągnięcie

o charakterze poznawczym przedstawiono w niepublikowanej dokumentacji prac badawczych (zał.3. **II-F-2**).

Uczestniczyłem także w badaniach dotyczących aplikacyjnego znaczenia monitoringu wód podziemnych w ochronie wód podziemnych i powierzchniowych, a związanych z tezą prof. Stanisława Witczaka, że oprócz bezpośredniego efektu badań, wyniki regionalnego monitoringu wód podziemnych (RMWP) stanowią podstawę informacji o jakości zasobów wód rzecznych w okresach najbardziej krytycznych, tj. odpowiadających średniemu niskiemu przepływowi (*SNQ*). Posiada to szczególne znaczenie w obszarach, gdzie zaopatrzenie na wodę pokrywane jest z wód powierzchniowych, wskazując ewentualną potrzebę ich dodatkowego uzdatniania. Jest także przydatne do oceny stopnia zagrożenia zbiorników wód powierzchniowych eutrofizacją, jeśli badanie dotyczy azotanów.

Badanie możliwości wykorzystania wyników RMWP w celu oceny jakości odpływu podziemnego do rzek wykonano na przykładzie siarczanów jako wskaźnika przestrzennych zanieczyszczeń pochodzących z immisji atmosferycznej oraz z rolnictwa. Badania będące moim osiągnięciem polegały na wykonaniu geostatystycznego modelu rozkładu przestrzennego stężeń SO_4 w wodach podziemnych płytkich systemów krążenia w obszarze zlewni górnej Wisły z zastosowaniem procedury krigingu. Uzyskany rezultat potwierdzono niezależną metodą ilościową opartą o oszacowanie stężenia jonów SO_4 w płytkich wodach podziemnych, w wyniku rozpuszczenia atmosferycznego SO_2 w infiltrującej wodzie opadów. Osiągnięcie badań przedstawiono w publikacji **II-E-4** (zał. 6).

Praktyczne znaczenie i możliwość wykorzystania osiągnięcia winno wzrastać w przyszłości ponieważ jakość wód powierzchniowych może coraz bardziej zależeć od jakości bazowego odpływu podziemnego w czasie trwania coraz dłuższych okresów z przepływami niskimi w rzekach lub zbliżonymi do przepływów nienaruszalnych. Będzie to skutkiem zmniejszenia intensywności zasilania płytkich systemów wodonośnych w wyniku ocieplenia klimatu i zanikania w tym okresie odpływu podpowierzchniowego, przy równoległej postępującej poprawie stopnia oczyszczenia ścieków. W efekcie wzrośnie potrzeba działań mających na celu ochronę jakości wód podziemnych przed antropopresją przestrzenną, szczególnie pochodzenia rolniczego i z obszarów wiejskich oraz z dużych i długotrwałych lokalnych ognisk zanieczyszczeń, do których należą składowiska odpadów.

ad. 3. Ocena antropogenicznych oddziaływań na stan jakości wód podziemnych i ich skutków

W latach 1993-1994 wraz z dr inż. Anną Żurek z Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie jako głównym wykonawcą zadania, brałem udział w realizacji grantu *Metodyczne podstawy ochrony wód podziemnych* - projekt KBN 9-0615-91-01,1 (kierownik prof. Antoni S. Kleczkowski). Prace dotyczyły opracowania metodyki uzyskania modelu służącego do przestrzennej oceny stopnia degradacji jakości wód podziemnych pod wpływem czynników antropogenicznych w skali ponadlokalnej, a szczególnie presji pochodzenia rolniczego. Uzyskane wyniki badań przedstawia publikacja **II-D-1**.

Podjęcie opracowane przez dr inż. Annę Żurek zaproponowałem do zastosowania w celu oceny skutków presji na jakość wód podziemnych dla wskazania JCWPd zagrożonych nieosiągnięciem celów środowiskowych Ramowej Dyrektywy Wodnej UE (RDW). Podejście to zastosowano w pracach badawczych grantu pt. *Identyfikacja antropogenicznych oddziaływań na wody podziemne i ich skutków wraz ze wskazaniem części wód podziemnych zagrożonych nieosiągnięciem celów środowiskowych określonych prawem na przykładzie zlewni Raby* (PBZ-KBN 061/T07/2001). Badania realizował zespół wykonawców z Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Andrzeja Szczepańskiego, w tym szczególnie mgr inż. Magdalena Paszkiewicz w ramach badań do swojego doktoratu. Grant był elementem szerszego programu badawczego *Metodyczne podstawy narodowego planu zintegrowanego rozwoju gospodarki wodnej w Polsce*. Ocena oddziaływań i skutków istotnych presji wraz ze wskazaniem JCWPd zagrożonych nieosiągnięciem celów środowiskowych jest wymogiem gospodarki wodnej w myśl RDW. Na podstawie wytycznych metodycznych opracowanych przez Gręplowską i innych (2004), za istotne oddziaływanie uznano takie przestrzenne i rozproszone presje na wody podziemne, jak immisja NO_3 pochodzenia rolniczego i z obszarów wiejskich oraz immisja SO_4 z atmosfery.

Osiągnięciem badań w których uczestniczyłem jest wypracowanie metodyki wskazania JCWPd o słabym stanie chemicznym i w efekcie zagrożonych nieosiągnięciem celów środowiskowych RDW, zastosowanej w zagadnieniu praktycznym czyli dla obszaru pilotowego badań za jaki wybrano zlewnię Raby. Brałem udział w opracowaniu koncepcji rozwiązania takich problemów metodycznych, jak

- sposób uzyskania modelu w postaci mapy konturowej aktualnego rozkładu przestrzennego stężeń NO_3 i SO_4 w wodach podziemnych do oceny skutku istotnych presji wynikających ze sposobu użytkowania terenu,

- identyfikacja ognisk zanieczyszczeń o charakterze obszarowym emitujących do wód podziemnych ładunki NO_3 i SO_4
- sposób ilościowego określenia zróżnicowanego przestrzennie wpływu ze strony tych ognisk na jakość wód.

Brałem również udział w zaplanowaniu eksperymentów polegających na symulacji numerycznej skutków istotnych presji na stan chemiczny wód w perspektywie do 2015 r.

W ocenach dotyczących zagrożenia i ochrony wód w zlewniach rzek, tj. w skali regionalnej, istotna jest zarówno dostępność wiarygodnych danych źródłowych niezbędnych do procedury obliczeniowej, jak i efektywność obliczeń stężeń zanieczyszczeń migrujących do wód podziemnych z powierzchni terenu. Ostateczny efekt prac uzyskano w wyniku zastosowania mojej propozycji

- wykorzystania dostępnych aspektowych opracowań kartograficznych, takich jak mapa stężenia azotanów w wodzie odpływającej z profilu glebowego czy mapa mokrej depozycji atmosferycznej ładunku wybranych wskaźników jakości wód,
- przetworzenia tych map w środowisku GIS z uwzględnieniem mapy zagospodarowania terenu opracowanej w systemie *CORINE Land Cover*,
- odpowiedniego przeliczenia z uwzględnieniem zmiennego przestrzennie zasilania poziomu wodonośnego z opadów atmosferycznych.

Uzyskano w ten sposób rozkład przestrzenny immisji NO_3 oraz SO_4 do PPW w zlewni Raby czyli oddziaływania, których skutki w określonym horyzoncie czasowym są następnie prognozowane poprzez symulacje numeryczne. Omówienie prac zakończonych tym osiągnięciem przedstawia praca Duda i inni, 2006 (**II-D-3** zał. 6). Ponieważ RDW wymaga analizy presji i wskazania zagrożonych JCWPd w dorzeczach rzek krajów UE w celu podjęcia działań ochronnych istnieje możliwość, że przedstawiona metodyka będąca elementem gospodarki wodnej skierowanej na ochronę jakości wód zostanie zastosowana w tym zakresie.

Doświadczenia zebrane podczas tych prac wskazały na potrzebę korekty zastosowanego sposobu ilościowego określenia ładunku azotu przemieszczającego się z powierzchni terenu do wód podziemnych PPW. Podczas kolejnych badań realizowanych wraz z mgr inż. Magdaleną Paszkiewicz i dr inż. Robertem Zdechlikiem, zaproponowałem modyfikację podejścia przyjętego w badaniach zakończonych publikacją II-D-3. Modyfikacja polegała m.in. na wykorzystaniu danych statystycznych o zużyciu nawozów mineralnych w regionach administracyjnych, strukturze i liczebności pogłowia zwierząt hodowlanych w badanym regionie, z uwzględnieniem powierzchni użytków rolnych. Z pogłowia hodowli w danym obszarze wynika ilość ładunku azotu zawartego w nawozach naturalnych.

Wzorując się na pracach innych badaczy, wprowadziłem korektę czasową momentu początkowego prognostycznej symulacji migracji masy NO_3 w poziomie wodonośnym, uwzględniającą uśredniony w obszarze badanego regionu czas pionowego przemieszczania się NO_3 z powierzchni terenu poprzez strefę aeracji. Przesunięcie czasowe stosowane jest w odniesieniu do okresu, z którego przyjmuje się dane do obliczeń ładunku azotu rozpuszczonego w strumieniu infiltrujących wód opadowych. Przyjąłem ponadto, że moment końcowy eksperymentu prognostycznego na modelu numerycznym, winien być związany z rokiem, dla którego dokonuje się cyklicznych analiz oraz korekt planów gospodarki wodnej w dorzeczach w UE. Przedstawione osiągnięcie czyli prognozę stężeń NO_3 w wodach podziemnych zlewni Raby w 2021 r. opisano w pracy **II-E-12** (zał. 6). Kierunkiem dalszych badań w omawianym zakresie może być porównanie wyników modelowania uzyskanych proponowanym sposobem, z wynikami modelowania uzyskanymi na podstawie innych sposobów obliczenia zróżnicowanego przestrzennie łącznego ładunku azotu migrującego do wód podziemnych, w celu wypracowania metody optymalnej.

Doświadczenia zebrane podczas prac badawczych w których uczestniczyłem, jak również doświadczenia innych badaczy, w tym szczególnie prof. Stanisława Witczaka czy zespołu badawczego prof. Stanisława Staśko z Uniwersytetu Wrocławskiego, wskazały na potrzebę prawidłowego przyjęcia zmienności przestrzennej infiltracyjnego zasilania poziomu wodonośnego będącego przedmiotem modelowania. Jest to konieczne w trzech związanych ze sobą aspektach metodyki oceny zagrożenia i ochrony wód podziemnych przed zanieczyszczeniem w wyniku różnego użytkowania terenu, tzn. w celu uzyskania:

- właściwego bilansu oraz układu zwierciadła wód podziemnych na modelu hydrodynamicznym poziomu wodonośnego będącego przedmiotem badań, model ten jest podstawą prognostycznego modelowania lateralnej migracji masy zanieczyszczenia w płytkich wodach podziemnych,
- właściwego stężenia iniekcji masy zanieczyszczenia rozpuszczonej w objętości wody infiltrującej z powierzchni poprzez strefę aeracji do PPW, w którym przebiega następnie migracja,
- czasu wymiany wody w strefie aeracji tożsamego z czasem migracji pionowej zanieczyszczeń konserwatywnych przez tą strefę do PPW.

Przykład wykorzystania zmiennego przestrzennie zasilania, określonego w celu obliczenia czasu migracji pionowej zanieczyszczeń konserwatywnych dla wskazania stopnia naturalnej podatności wód podziemnych, na potrzeby wyznaczenia lub weryfikacji stref wrażliwych na zanieczyszczenie azotanami wskazano w pracy **II-E-9**. Jednak wykorzystanie rozkładu

przestrzennego zasilania, określonego w ramach wykonania *Mapy wrażliwości wód podziemnych* zarówno w skali przeglądowej jak i szczegółowej, może dotyczyć określenia zmienności przestrzennej stężenia dowolnego zanieczyszczenia rozpuszczonego w strumieniu wód zasilającym PPW.

Uzyskanie wiarygodnego rozkładu przestrzennego zasilania poprzez zastosowanie w tym celu metody infiltracyjnej nie jest łatwe ponieważ bazuje na parametrach silnie zmiennych czasowo (opady) oraz przestrzennie (opady i litologia utworów powierzchniowych). W celu wyznaczenia zmienności przestrzennej zasilania wód podziemnych za pomocą metody infiltracyjnej wskazałem w ramach badań dotyczących w pilotowej zlewni rzeki Raby na konieczność określenia rozkładu przestrzennego opadów atmosferycznych z dodatkowym uwzględnieniem ich zróżnicowania w zależności od wysokości położenia stacji pomiarowej oraz rzeźby terenu, co jest istotne w rejonach wyżynno-górskich. Następnym elementem było zaplanowanie określenia wartości wskaźników infiltracji efektywnej dla utworów odsłaniających się na powierzchni terenu badanej zlewni, poprzez eksperymentalne dopasowanie zasilania do wielkości odpływu podziemnego do rzek, określonego hydrologiczną metodą Wundta w kontrolowanych zlewniach cząstkowych. Osiągnięciem tych badań jest oszacowanie wskaźników infiltracji efektywnej dla trzech typów piaskowcowo-lupkowych utworów fliszu karpackiego i innych utworów pokrywowych w zlewni Raby, co przedstawiono w publikacji **II-D-3**. Wyniki będące osiągnięciem dalszych badań w tym zakresie, realizowanych w dwóch zlewniach badawczych zachodniej części zlewni górnej Wisły, zakończonych oszacowaniem wartości wskaźników infiltracji efektywnej typowych utworów powierzchniowych w celu oceny wielkości infiltracyjnego zasilania wód podziemnych przedstawia publikacja **II-E-15** (zał. 6).

Innym przedmiotem badań prowadzonych w ramach grantu pt. *Identyfikacja antropogenicznych oddziaływań na wody podziemne i ich skutków wraz ze wskazaniem części wód podziemnych zagrożonych nieosiągnięciem celów środowiskowych określonych prawem na przykładzie zlewni Raby*, była obszarowa ocena aktualnego stanu chemicznego wód podziemnych w tej zlewni wykonana zgodnie z wymogami RDW w odniesieniu do JCWPd. Brałem udział w zaplanowaniu eksperymentu porównawczego mającego na celu wykazanie jak na uzyskany rezultat wpływa sposób podziału zlewni na JCWPd czyli obszary, dla których wykonywana jest uśredniona ocena obszarowa, a także liczba punktów obserwacyjnych wykorzystywanych do oceny. W trakcie badań brałem udział w porównywaniu wyników oceny obszarowej przeprowadzonej dla wariantów dotyczących liczby i lokalizacji punktów obserwacyjnych wykorzystanych do badań, a także liczby i zasięgu JCWPd poddanych ocenie.

Analiza wyników badań wykazała istotną różnicę otrzymanych ocen klasy jakości wody w poszczególnych JCWPd, co w konsekwencji skutkuje różnicą w ostatecznej obszarowej ocenie stanu chemicznego wody w JCWPd. Ma to znaczenie dla będącej konsekwencją oceny stanu chemicznego wód, właściwej i odpowiednio skierowanej lokalizacyjnie strategii ochrony wód podziemnych w planach gospodarki wodnej w dorzeczeniach, obejmującej także korekty w planach zagospodarowania przestrzennego. Wskazano na potrzebę rewizji dotychczasowej metodyki wyznaczania JCWPd w kierunku większego ich zróżnicowania, a także lepszego dopasowania do podziału dorzeczy na części wód powierzchniowych i wymogów zlewniowego zarządzania wodą. Wskazano także na celowość wydzielenia odrębnych JCWPd na takich fragmentach aktualnie istniejących części, gdzie ocena w punktach obserwacyjnych wykazuje przekroczenia wartości progowych dobrego stanu chemicznego. W obecnie stosowanej procedurze oceny obszarowej, polegającej na uśrednianiu wartości z wszystkich punktów monitoringu w całej JCWPd, takie punkty zanikają statystycznie jako skutek przewagi liczebności punktów o dobrym stanie. Powoduje to brak podejmowania działań naprawczych w zasięgu całej JCWPd, w więc także w małych rejonach o lokalnym lub mało obszarowym wpływie antropopresji już wykrytym przez monitoring. Przedstawione osiągnięcia opisano w pracy **II-D-3**. Wyniki badań mogą być jedną z wytycznych w rewizji dotychczasowego wydzielenia JCWPd, nie tylko w Polsce ale również w innych krajach. Winno to dotyczyć wyodrębniania z aktualnych JCWPd małych fragmentów, gdzie występują wody o niskiej jakości czyli słabym stanie chemicznym, w celu podjęcia działań naprawczych skupionych tylko na tym obszarze. Wpłynie to na efektywność działań i na ich aspekt ekonomiczny.

W latach 2000–2001 brałem udział w początkowych badaniach międzynarodowego projektu pt. *Natural Baseline Quality in European Aquifers. A Basis for Aquifer management – BASELINE* (kierownik prof. Stanisław Witczak), w ramach V PR oraz w wspomagającym polskim projekcie KBN typu SPUB pt. *Naturalne standardy jakości europejskich wód pitnych – podstawa gospodarowania zasobami zbiorników wód podziemnych*. Międzynarodowe badania dążyły do określenia jednolitego w Unii Europejskiej naturalnego standardu jakości wód pitnych, poprzez wykazanie typowych stężeń makro- i mikroskładników w wodzie dobrze izolowanych zbiorników wodonośnych o typie porowym, które z racji długiego czasu migracji zanieczyszczeń konserwatywnych z powierzchni terenu, nie były zanieczyszczenie antropogeniczne. Wartości stężeń wskaźników jakości wody w tych zbiornikach stanowią poziom bazowy, powyżej którego zaznacza się wpływ antropopresji.

Na wstępnym etapie badań polski zespół badawczy jako naturalny standard jakości wód podziemnych uznał zakres stężeń badanych składników wód podziemnych w przedziale ± 1

odchylenia standardowego od mediany, w próbkach wody pobranych w dwóch wytypowanych zbiornikach. W celu oszacowania naturalnego standardu jakości wód zaproponowano metodę polegającą na odczycie z wykresów częstości skumulowanej punktów przecięcia modeli liniowych aproksymujących log-normalny rozkład zmienności stężeń badanych makro- i mikrośladników wód podziemnych, z liniami odpowiadającymi zakresowi zmienności przyjętemu za reprezentatywny. Kolejnym osiągnięciem badań było uzyskanie wstępnego oszacowania tego standardu na podstawie zawartości 38 makro- i mikrośladników w wodzie dwóch badanych zbiorników wodonośnych. Przedstawione osiągnięcia opisano w pracy **II-E-6**. W następnych latach badania te były wieloaspektowo pogłębiane przez innych naukowców w ramach dalszych prac badawczych w projektach *BASELINE* i *BRIDGE*. Badania dotyczące naturalnych standardów jakości wód podziemnych, w których brałem udział na etapie wstępnym projektu *BASELINE*, zastosowana metoda i uzyskane wstępne wyniki naturalnych stężeń makro- i mikrośladników wód podziemnych zostały w następnych latach przez inne zespoły badawcze pogłębiane metodycznie i w zakresie poznawczym. Były jedną z podstaw dalszych badań zakończonych wypracowaniem optymalnej metody określenia tła hydrogeochemicznego i wyznaczenia jego zakresu dla badanych śladników wody.

ad 4. Szacowanie rezerw zasobów wód podziemnych mogących być wykorzystanymi między innymi na potrzeby hydroszczelinowania skał zbiornikowych gazu niekonwencjonalnego

W latach 2014-2015 w interdyscyplinarnym zespole kierowanym przez dr inż. Sylwestra Tyszewskiego z Politechniki Warszawskiej, pracowałem w zadaniu *WP2.2 Przygotowanie cyfrowych map dyspozycyjnych zasobów wód*, będącym częścią tematu: *Zaopatrzenie w wodę szczelinowania hydraulicznego* (kierownik prof. Marek Nawalany z Politechniki Warszawskiej). Temat jest elementem grantu NCBiR *Przyjazne środowisku i wykonalne z ekonomicznego punktu widzenia technologie gospodarowania wodą, ściekami i odpadami przy wydobyciu gazu z łupków (EKOLUPKI)*, wchodzącego w pakiet programów badawczych *Blue Gas - Polski Gaz Łupkowy*.

Wydobycie gazu niekonwencjonalnego winno być zgodne z zasadami zrównoważonego rozwoju i ochrony środowiska. W związku z tym, należy określić dopuszczalną ekologicznie wielkość zasobów wód podziemnych możliwych do wykorzystania w celu hydroszczelinowania skał zbiornikowych gazu. Chodzi tu o ilość, która nie wpłynie na pogorszenie stanu ekologicznego wód podziemnych i powierzchniowych, przy

równoczesnym zagwarantowaniu w przyszłości wystarczającej ilości wody dla społeczności lokalnych. Badania w których uczestniczyłem miały na celu określenie rezerwy dostępnych zasobów wód podziemnych do wykorzystania m.in. na potrzeby szczelinowania.

Metodykę opracowania bilansu wodnogospodarczego wód podziemnych z uwzględnieniem oddziaływań z wodami rzek w rejonach wodnogospodarczych podali Herbich i inni (2013). W ramach grantu brałem udział w adaptacji tej metodyki w celu oszacowania rezerw zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w zlewniach bilansowych wód powierzchniowych. Zestawiłem bilans wodnogospodarczy wód podziemnych wraz ze wskazaniem ich rezerwy w zlewniach bilansowych i zlewniach jednolitych części wód powierzchniowych obszaru pilotowego badań w warunkach poboru wody ujęciami w wysokości dopuszczonej wydanymi pozwoleniami wodnoprawnymi. Rezerwę określiłem w stosunku do zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych ustalonych w dokumentacjach hydrogeologicznych i gwarantowanych zasobów dyspozycyjnych określonych przez Herbicha i Przytułę (2012) w *Bilansie wodnogospodarczym wód podziemnych w dorzeczu Wisły*. Zasoby dostępne gwarantowane wód podziemnych są to zasoby możliwe do zagospodarowania z zachowaniem wymogów środowiskowych w warunkach niskiego zasilania wód podziemnych z infiltracji opadów w okresie kilkuletniej suszy (Herbich i Przytuła 2012). Wyniki oceny przedstawiono również na mapie rezerw zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w obszarze pilotowym położonym w granicach basenu bałtyckiego na Pomorzu Gdańskim, w wariantach odnoszących się do zasobów ustalonych w dokumentacjach i zasobów gwarantowanych. Wyniki przedstawiono w raporcie **II-F-4** (zał. 6 - zawiera trzy rozdziały raportu, w których opracowaniu brałem udział; raport opublikowano w wersji elektronicznej).

W ramach prac zwróciłem uwagę na celowość wykorzystania informacji o potencjalnej wydajności studni wierconych, zawartej na arkuszach MhP w skali 1:50 000, dla wskazania właścicielom koncesji na eksploatację gazu lokalizacji obszarów o korzystnych warunkach hydrogeologicznych dla budowy własnych ujęć. Obszary takie można wskazywać w zasięgu rejonu wodnogospodarczego i w granicach koncesji. Propozycję zilustrowałem na przykładzie zlewni pilotowej oraz na fragmencie koncesji *Stara Kiszewa*, wytypowanej przez partnera przemysłowego jako pilotowa.

Wyniki oszacowania rezerwy zasobów wód podziemnych w obszarze pilotowym zostaną wykorzystane przez partnera przemysłowego grantu. Raport z pracy będzie przygotowany również w wersji angielskiej, istnieje więc możliwość szerszego wykorzystania jej wyników.

ad A. Wyznaczanie bezpiecznej głębokości mrożenia górotworu dla potrzeb głębenia szybów

W przyszłości wydobywanie surowców mineralnych obejmie złoża perspektywiczne i rezerwowe. W celu udostępnienia złóż, transportu ludzi, sprzętu i urobku konieczne jest głębenie szybów. Jedną z metod głębenia jest zamrażanie górotworu na odcinku gdzie dopływ wód podziemnych do drążonego wyrobiska oraz warunki geotechniczne nie pozwalają na bezpieczne wykonywanie robót górniczych. Na podstawie literatury zestawilem czynniki wpływające na wyznaczenie bezpiecznej głębokości zamrażania górotworu w zawodnionych skałach zwięzłych. Korzystając z doświadczenia zebranego podczas wyznaczania głębokości zamrażania dla bezawaryjnie zgłębnionych dwóch szybów w LGOM, zaproponowałem kryteria oceny warunków hydrogeologiczno-geomechanicznych górotworu i etapowy algorytmiczny tok procesu określenia bezpiecznej głębokości zamrażania górotworu. Przyjąłem cztery podstawowe kryteria ilościowe dotyczące dopuszczalnych wartości dwóch parametrów hydrogeologicznych - współczynnika filtracji (k) i porowatości ogólnej (n) oraz dwóch parametrów geomechanicznych - wskaźnika spękania rdzenia wiertniczego (RQD) i współczynnika zwięzłości skał Protodiakonowa (f_d). Przyjęte kryteria oceny odnoszą się do wartości maksymalnej dla k i n lub minimalnej dla RQD i f_d oraz do ich wartości średniej spośród prezentowanych w wynikach badań w otworach rozpoznawczych. Takie podejście wynika z potrzeby uwzględnienia heterogeniczności górotworu, szczególnie o charakterze szczelinowym. Przyjąłem także kryterium dodatkowe, tj. wystąpienie odpływu płuczki wiertniczej w otworze badawczym, w zakresie głębokości odpowiadającym ocenianemu poziomowi wodonośnemu. Zastosowanie algorytmu postępowania w celu określenia głębokości mrożenia zilustrowałem na schematycznym profilu. Metodyka może być zastosowana szczególnie gdy głębenie szybu ma przebiegać w warunkach cechujących się naporem hydrostatycznym wody rzędu kilku MPa. Przedstawione osiągnięcie opisałem w pracy **II-A-2**. Ze względu na uniwersalny charakter kryteriów oceny przedstawiony sposób określenia głębokości zamrażania górotworu dla potrzeb głębenia szybów w trudnych warunkach hydrogeologicznych i geotechnicznych może być stosowany nie tylko w LGOM, ale także w innych okręgach górniczych.

ad B. Kartografia hydrogeologiczna

Mapa hydrogeologiczna Polski – główny użytkowy poziom wodonośny

W latach 1996-1997 dołączyłem do dwóch zespołów opracowujących arkusze MhP – *główny użytkowy poziom wodonośny*, w skali 1:50000, zadania zamówionego przez Ministerstwo Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, a koordynowanego przez Państwowy Instytut Geologiczny - PIB. Arkusze *Kraków*, *Olkusz* i *Ogrodzieniec* obejmują obszary o złożonych warunkach hydrogeologicznych, dodatkowo znajdujące się pod wpływem antropopresji lub drenażu górniczego (III-M-2, III-M-3, III-M-4).

Jednym z celów opracowania MhP w skali szczegółowej jest określenie zmiennej przestrzennej wodonośności GUPW. Wodonośność ma podstawowe znaczenie dla lokalizacji ujęć wody. Doświadczenie zdobyte podczas opracowania mapy nasunęły prof. Stanisławowi Witczakowi koncepcję, aby charakterystykę wodonośności GUPW oprzeć na wydatku jednostkowym studni. Parametr ten jest dobrze skorelowany z przewodnością ujmowanego poziomu wodonośnego, co potwierdzono na przykładzie empirycznych danych dotyczących fragmentów dwóch GUPW o różnych typach hydrogeologicznych (porowym i szczelinowo-krasowym) w zasięgu arkusza *Kraków*. Osiągnięcie opisano w publikacji **II-E-5**. Pozwala ono przyjąć zarówno na MhP jak również na dowolnej mapie hydrogeologicznej, nowe rozwiązanie polegające na tym, że typowy zakres zmienności empirycznego wydatku jednostkowego wykonanych studni, przedstawiony graficznie na wykresie częstości skumulowanej, stanowiłaby charakterystykę wodonośności poziomów użytkowych. Zakres ten oszacowywany jest zgodnie z metodą J. Krasnego (Krasny, 1993). Dodatkowo informacja ta winna być wzbogacona o charakterystykę stopnia zróżnicowania ośrodka hydrogeologicznego, według propozycji prof. Stanisława Staśki (1996).

Opisane w pkt. 3, badania związane z oceną skutków antropopresji na modelu migracji masy w wodach podziemnych zlewni Raby, wymagały wcześniej kalibracji modelu hydrodynamicznego. Doświadczenia uzyskane podczas prac opisanych powyżej, wskazały na celowość zastosowania metody J. Krasnego wiążącej przewodność ośrodka z wydatkiem jednostkowym studni, w celu oszacowania typowego zakresu zmienności przewodności różnych struktur wodonośnych wydzielonych w zlewni Raby, w tym trzech kompleksów piaskowcowych i piaskowcowo-lupkowych fliszu karpackiego tego rejonu. Zaproponowałem aby kalibrację modelu numerycznego wykonać poprzez przestrzenne dopasowanie zmienności wartości przewodności w granicach struktur lito-stratygraficznych wydzielonych na modelu, w przedziale zmienności oszacowanym metodą J. Krasnego. Osiągnięcie wynikłe w ramach

tych prac oprócz cechy poznawczej mające także cechę aplikacyjną przedstawia publikacja **II-E-11** (zał. 6). Ostateczny wynik kalibracji wskazanym sposobem modelu numerycznego przepływu wód podziemnych w zlewni Raby przedstawiono w pracy **II-D-3**.

Mapa wrażliwości wód podziemnych na zanieczyszczenie

W latach 2004–2011 brałem udział wraz z dr inż. Anną Żurek i dr inż. Joanną Karlikowską (Akademia im. Jana Długosza w Częstochowie) w pracach zespołu pod kierunkiem prof. Stanisława Witczaka w celu opracowania *Mapy wrażliwości wód podziemnych na zanieczyszczenie w skali 1:500 000*. Wykonanie mapy prowadzone było na zlecenie Ministerstwa Środowiska przez firmę *Arcadis–Ekokonrem* w szerszym zespole autorów (**III-M-9**). W latach 2010–2011 w kilku zespołach opracowujących mapę dla poszczególnych regionów wodnych, wykonano pod redakcją naukową prof. Stanisława Witczaka zmodyfikowaną dwuplanszową mapę wieloaspektową (*Plansza 1 – Podatność wód podziemnych pierwszego poziomu wodonośnego na zanieczyszczenia z powierzchni terenu; Plansza 2 – Podatność na zanieczyszczenie Głównych Zbiorników Wód Podziemnych*). Byłem członkiem zespołu wykonującego mapę w granicach RZGW w Krakowie (**II-D-4**).

W latach 2009-2013, głównie z dr inż. M. Paszkiewicz, opracowałem trzy arkusze MhP – *pierwszy poziom wodonośny oraz wrażliwość na zanieczyszczenie i jakość wód* (PPW-WJ) w skali 1:50000, zadania zamówionego przez Ministerstwo Środowiska, a koordynowanego przez Państwowy Instytut Geologiczny - PIB. Arkusze *Ogrodzieniec, Olkusz i Skala* (III-M-10, III-M-11, III-M-12) obejmują obszary o złożonych warunkach hydrogeologicznych (ośrodek szczelinowo–krasowy).

Podsumowanie

Osiągnięcie naukowe będące podstawą wszczęcia postępowania habilitacyjnego

Osiągnięcia prac, które realizowałem głównie w zakresie hydrogeologii stosowanej dotyczą metodyki ochrony wód podziemnych przed zagrożeniami antropogenicznymi stwarzanymi przez różne formy użytkowania terenu. Przyjęcie metody infiltracyjnej z uwzględnieniem czynników wpływających na wielkość zasilania w celu oceny jego zmienności przestrzennej pozwala na prawidłowe określenie rozkładu przestrzennego czasu wymiany wody w profilu strefy aeracji, tożsamego z czasem pionowej migracji zanieczyszczeń konserwatywnych. Ponieważ czas ten jest kryterium ilościowym oceny stopnia naturalnej podatności płytkich wód

podziemnych na zanieczyszczenie, pozwala to w konsekwencji uzyskać wiarygodną mapę wrażliwości wód podziemnych na zanieczyszczenie antropogeniczne w badanym obszarze. Ma to aspekt praktyczny wspomagając decyzję o odpowiedniej strategii ochrony wód podziemnych przed potencjalnym zagrożeniem zależnym od sposobu użytkowania terenu. Znajomość prawidłowego rozkładu przestrzennego infiltracji służy także do wiarygodnego wyznaczania obszarów o zróżnicowanym stężeniu dowolnego zanieczyszczenia o znanym ładunku iniekcji masy, w strumieniu wody zasilającej płytkie systemy krążenia wód podziemnych.

Przyjęcie takich kryteriów jak złożoność warunków hydrogeologicznych, wielkość zasobów eksploatacyjnych ujęcia i czas przepływu wody w warstwie wodonośnej do ujęcia pozwala na wybór optymalnej metody wyznaczenia strefy ochronnej ujęcia wód podziemnych. Podane wskazówki metodyczne i uwarunkowania migracji zanieczyszczeń w poziomach wodonośnych o charakterze szczelinowym i szczelinowo-krasowym, w skałach o podwójnej porowatości i w przypadku współdziałania ujęć pozwalają na prawidłowe wyznaczenie stref ochronnych ujęć, będących istotnym elementem ochrony wód podziemnych.

Wyniki badań wskazują, że zastosowane kryterium oceny efektywności bariery drenażowej wokół składowiska odpadów na podstawie obliczenia ładunków charakterystycznych i dobrze rozpoznawalnych związków chemicznych przejętych barierą, zamiast poszczególnych składników zanieczyszczenia, jest dobrym i przejrzystym wskaźnikiem skuteczności ochrony wód. Przyjęte podejście może być stosowane w ocenach efektywności barier drenażowych wokół różnych ognisk zanieczyszczeń. Pozwala także na oceny wariantowe, w zależności od przyjętych scenariuszy reżimu pracy bariery czy wielkości stężeń głównych zanieczyszczeń zawartych w odciekach.

Zastosowany model prognostyczny bilansu wodnogospodarczego wód podziemnych stanowi jedną z podstaw ochrony dobrego stanu ilościowego wód podziemnych i zachowania przepływu nienaruszalnego w rzekach. Model pozwala na wariantowe oszacowanie rezerwy zasobów wody dostępnej do wykorzystania w zadanej perspektywie czasowej, w zależności od przyjętych scenariuszy dotyczących poboru wody, warunków klimatycznych wpływających na zasilanie, stopnia zwrotu wykorzystanej wody i uwarunkowań wynikających ze specyfiki użytkowania terenu. Efektem praktycznym uzyskanym na przyjętym modelu jest wstępna dwuscenariuszowa prognoza gwarantowanych zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych do 2030 r., w strefach bilansowych rejonu koncesyjnego eksploatacji gazu łupkowego w basenie lubelskim. Osiągnięcie stanowi podstawę dla dalszych badań w celu określenia z większym stopniem pewności wartości przyjętych współczynników decydujących

o wielkości prognozowanych zasobów dyspozycyjnych wody. Model może być udoskonalony o inne współczynniki decydujące o wielkości rezerwy zasobów wód podziemnych odzwierciedlające specyficzne warunki użytkowania powierzchni terenu w dowolnym obszarze badań.

Możliwość poboru wód podziemnych, może być wskazana poprzez zakres zmienności wydajności jednostkowej studni ujmujących wody głównego użytkowego poziomu wodonośnego określony na podstawie danych dołączonych do arkuszowych map hydrogeologicznych. Na tej podstawie można obliczyć przewidywaną wielkość poboru wód podziemnych pojedynczą studnią, np. w celu hydroszczelinowania skał gazonośnych w przyjętym obszarze. Umożliwia to takie zaplanowanie harmonogramu poboru wody aby w danej jednostce czasu nie przeekspluatować dostępnej rezerwy zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych.

Ważniejsze pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze

Moje osiągnięcia w zakresie metodyki ochrony wód podziemnych, szczególnie w skali ponadlokalnej i regionalnej, dotyczą niektórych aspektów prawidłowego określenia wpływu antropopresji przestrzennej na stan jakości wód i ich skutków oraz wykorzystania wyników monitoringu wód podziemnych jako informacji do wykorzystania w celu oceny jakości zasobów wód rzecznych w okresach trwania średnich niskich przepływów.

Wiarygodne modele rozkładu przestrzennego stężeń wskaźników antropopresji przestrzennej w wodach podziemnych płytkich systemów krążenia opracowane na podstawie wyników monitoringu są przydatne do oceny jakości odpływu podziemnego do rzek. Jakość wód rzek w czasie trwania okresów z przepływami niskimi może w przyszłości coraz bardziej zależeć od jakości bazowego odpływu podziemnego. Będzie to skutkiem ocieplenia klimatu i zmniejszenia intensywności zasilania płytkich systemów wodonośnych, co wpłynie na wzrost stężeń zanieczyszczeń w strumieniu infiltrujących wód zasilających te systemy. W efekcie wzrośnie rola działań chroniących jakość wód podziemnych przed antropopresją przestrzenną, szczególnie pochodzenia rolniczego oraz lokalnych ognisk zanieczyszczeń.

W celu właściwej identyfikacji wpływu na wody podziemne antropopresji wynikającej ze sposobu użytkowania terenu i jej skutków wraz ze wskazaniem części wód podziemnych zagrożonych nieosiągnięciem celów środowiskowych przydatne są wskazane sposoby

- uzyskania modelu w postaci mapy konturowej aktualnego rozkładu przestrzennego stężeń wskaźników antropopresji przestrzennej w wodach podziemnych,

- identyfikacji ognisk zanieczyszczeń o charakterze obszarowym,
- określenia zróżnicowanego przestrzennie wpływu tych ognisk na jakość wód poprzez obliczenie stężeń zanieczyszczeń migrujących z powierzchni terenu z zastosowaniem mapy zagospodarowania terenu i odpowiedniego przeliczenia z uwzględnieniem zmiennego przestrzennie zasilania pierwszego poziomu wodonośnego z infiltracji opadów.

Prawidłowy rozkład przestrzenny infiltracji efektywnej uzyskany metodą, w wypracowaniu której brałem udział, jest konieczny w celu uzyskania wiarygodnego:

- zróżnicowania przestrzennego stężenia iniekcji masy zanieczyszczenia rozpuszczonego w strumieniu wód zasilającym płytkie poziomy wodonośne,
- czasu wymiany wody w strefie aeracji tożsamego z czasem migracji pionowej zanieczyszczeń konserwatywnych do pierwszego poziomu wodonośnego.

Czynniki te są niezbędne dla prawidłowo zaplanowanej przestrzennie strategii ochrony wód podziemnych w skali ponadlokalnej i regionalnej, a w konsekwencji ochrony także wód rzek.

Uczestniczyłem w wykazaniu zależności pomiędzy uzyskanym rezultatem obszarowej oceny klasy jakości wody i w konsekwencji stanu chemicznego wody w częściach wód podziemnych (JCWPd), a sposobem podziału zlewni na te części i liczbą punktów obserwacyjnych przyjętych do oceny. Wskazuje to na celowość wyodrębniania z aktualnych częściach wód podziemnych takich obszarowo ograniczonych rejonów, gdzie ocena w punktach obserwacyjnych wykazuje słaby stan chemiczny, w celu podjęcia działań naprawczych skupionych tylko na tych rejonach.

Udział w projektach badawczych. Brałem udział w 13 projektach - przed doktoratem w 3 projektach krajowych, w tym 1 finansowanym przez UE; po doktoracie w 10 projektach badawczych, w tym 8 krajowych i 2 międzynarodowych projektach finansowych przez UE (szczegółowy opis w zał.3 *Wykaz opublikowanych prac naukowych oraz informacja o osiągnięciach dydaktycznych, współpracy naukowej i popularyzacji nauki*).

Nagrody za działalność naukową. Otrzymałem 2 nagrody Rektora Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie za osiągnięcia naukowe – 1 zespołową i 1 indywidualną.

Recenzje. Recenzowałem 8 manuskryptów publikacji w czasopiśmie *Environmental Monitoring and Assessment* o IF 1,679. Recenzowałem jako ekspert 2 wnioski projektów badawczych w ramach Polsko-Norweskiego Funduszu Badań Naukowych.

Ważniejsze osiągnięcia z zakresu dorobku dydaktycznego, organizacyjnego, popularyzacji nauki, współpracy z przemysłem i opracowań wykonanych na zamówienie Ministerstwa Środowiska

(pełny wykaz wraz z charakterystykami znajduje się w Zał. 3)

- Uczestniczyłem w 3 edukacyjnych programach finansowanych przez UE.
- Brałem udział w komitetach organizacyjnych 2 krajowych konferencji naukowych.
- W zakresie dydaktyki i kształcenia kadr opracowałem lub zmodyfikowałem 12 programów przedmiotów dla studiów stacjonarnych i niestacjonarnych zarówno w trybie jednolitym, jak i dla studiów I oraz II stopnia na kierunkach studiów: *Inżynieria Środowiska*, *Ochrona Środowiska* oraz *Górnictwo i Geologia*. Brałem udział w opracowaniu lub modyfikacji programów studiów dla specjalności: *Hydrogeologia i geologia inżynierska* na kierunku Górnictwo i Geologia, *Ochrona wód i geotechnika środowiska* na kierunku Inżynieria Środowiska, *Ochrona środowiska wodno-gruntowego* na kierunku Ochrona Środowiska.
- Uczestniczyłem w pracach zespołu programowego studiów - praca w Komisji ds. Krajowych Ram Kształcenia (KRK) Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH w latach 2011-2012 przy opracowaniu nowych programów studiów I i II stopnia zgodnych z KRK, w szczególności dotyczących kierunku *Inżynieria Środowiska* – udział w opracowaniu efektów kształcenia dla studiów I oraz II stopnia, udział w przygotowaniu programu studiów na studiach inżynierskich oraz programu studiów dla specjalności *Hydrogeologia stosowana i geotechnika* na studiach magisterskich. Działalność została nagrodzona dyplomem uznania Dziekana WGGiOŚ AGH w 2013 r.; od 2013 r. członek Komisji ds. Jakości Kształcenia na WGGiOŚ AGH.
- Opracowałem i prowadziłem zajęcia w ramach 3 studiów podyplomowych realizowanych przez Akademię Górniczo-Hutniczą (na każdym ze studiów inny przedmiot).
- W ramach opieki naukowej nad studentami byłem promotorem 61 i recenzentem 27 prac magisterskich oraz opiekunem 17 projektów inżynierskich.
- W zakresie popularyzacji nauki miałem współudział w przygotowaniu 6 referatów opublikowanych w materiałach naukowo-technicznych konferencji branżowych.
- Uczestniczyłem w opracowaniu branżowej *Instrukcji obsługi wierceń hydrogeologicznych* na zamówienie Ministerstwa Środowiska
- Uczestniczyłem w pracach 2 krajowych konsorcjów badawczych.
- Jako współautor lub główny autor opracowałem na zamówienie Ministerstwa Środowiska 3 arkusze *Mapy hydrogeologicznej Polski (MhP)* - główny użytkowy poziom wodonośny w

skali 1:50000 wraz z objaśnieniami oraz 3 arkusze *MhP* - *wrażliwość na zanieczyszczenie i jakość wód* w skali 1:50000 wraz z objaśnieniami.

- W ramach współpracy z przemysłem brałem udział w 10 i kierowałem 3 pracami badawczymi na zlecenie KGHM Polska Miedź S.A.
- W ramach współpracy z organami administracji przygotowałem 2 ekspertyzy dot. dla Małopolskiego Regionalnego Programu Operacyjnego na zlecenie Urzędu Marszałkowskiego Województwa Małopolskiego i koreferat do dokumentacji hydrogeologicznej określającej warunki hydrogeologiczne w związku z ustanawianiem obszarów ochronnych GZWP na zamówienie Ministerstwa Środowiska.



Zestawienie dorobku naukowo-badawczego

Dorobek naukowo-badawczy	Przed doktoratem	Po doktoracie	Suma
Sumaryczna ilość publikacji naukowych	5	23	28
Czasopisma z listy JCR (lista "A" MNiSW)		5	5
Czasopisma inne niż z bazy JCR (lista "B")	2	6	8
Recenzowane materiały konferencyjne krajowe	2	6	8
Monografie		2	2
Rozdział w monografii, mapa wieloaspektowa	1	3	4
Opracowania zbiorowe, dokumentacje prac badawczych - publikowane		1	1
Opracowania zbiorowe, dokumentacje projektów badawczych - niepublikowane	2	1	3
Sumaryczna liczba punktów wg MNiSW		153	153
Sumaryczny Impact Factor (IF) zgodnie z rokiem opublikowania		1,395	1,395
Sumaryczny <i>Impact Factor</i> uwzględniający IF czasop. <i>Archives of Mining Science</i> za 2013 r.		2,611	2,611
Liczba cytowań wg Web of Science (WoS) łącznie / cytowania obce / autocytacje		16 / 9 / 7	16 / 9 / 7
Liczba cytowań wg bazy Scopus łącznie / cytowania obce / autocytacje		22 / 17 / 5	22 / 17 / 5
Liczba cytowań wg bazy BazTech łącznie / cytowania obce / autocytacje		22 / 13 / 9	22 / 13 / 9
Liczba cytowań wg połączonych danych z baz Web of Science, Scopus i BazTech (bez autocytacji)		29	29
Indeks Hirscha wg bazy Web of Science		1	1
Indeks Hirscha wg bazy Scopus wyliczony samodzielnie		2	2
Indeks Hirscha wg połączonych danych zawartych w bazach: Web of Science, Scopus i BazTech (bez autocytacji)		3	3
Publikacje i referaty popularyzujące naukę, recenzowane instrukcje branżowe	1	7	8
Udział w projektach badawczych jako wykonawca	3	10	13
Aktywny udział w konferencjach krajowych (referat lub poster)	1	6	7
Aktywny udział w konferencjach międzynarodowych (referat lub poster)	3	6	9
Opracowania, dokumentacje prac badawczo-rozwoj., instrukcje, arkusze map, ekspertyzy, itp.	3	20	23
Recenzje artykułów naukowych w czasopiśmie z listy JCR		8	8
Promotor prac magisterskich		61	61
Recenzent prac magisterskich		27	27
Opiekun projektów inżynierskich		17	17

Duda