

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Górnictwa i Geoinżynierii
Katedra Górnictwa Odkrywkowego

Wniosek o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego
w dziedzinie Nauk Technicznych

Dr inż. Krzysztof Polak

AUTOREFERAT W JĘZYKU POLSKIM

**Sprawność hydrauliczna oraz efektywność energetyczna
studziennych systemów ujmowania wód podziemnych**

Kraków, marzec 2019 r.

SPIS TREŚCI

I	ODPIS DYPLOMU DOKTORA NAUK TECHNICZNYCH.....	2
II	AUTOREFERAT W JĘZYKU POLSKIM.....	4
1	DANE OSOBOWE.....	7
1.1	IMIĘ I NAZWISKO	7
1.2	ADRES SŁUŻBOWY	7
1.3	POSIADANE DYPLOMY, STOPNIE NAUKOWE – Z PODANIEM NAZWY MIEJSCA I ROKU UZYSKANIA ORAZ TYTUŁU.....	7
1.4	INFORMACJE O PRZEBIEGU PRACY NAUKOWO-BADAWCZEJ	7
2	WSKAZANIE OSIĄGNIĘCIA WYNIKAJĄCEGO Z ART. 16 UST. 2 USTAWY Z DNIA 14 MARCA 2003 R. O STOPNIACH NAUKOWYCH I TYTUŁE NAUKOWYM ORAZ O STOPNIACH W ZAKRESIE SZTUKI (DZ. U. NR 65, POZ. 595 ZE ZM.)	8
2.1	AUTORZY, TYTUŁY PUBLIKACJI, ROK WYDANIA	8
2.1.1	Klich J., POLAK K., Sobczyński E. <i>Opis metody oceny jakości wykonania i stanu studzien ujęciowych i odwadniających, III Międzynarodowa Konferencja naukowo- techniczna: Zaopatrzenie w wodę miast i wsi, Tom 1., s. 161-176, Poznań 1998 (przed doktoratem)</i>	8
2.1.2	POLAK K., Kaznowska K. <i>Comparison of methods used in Poland for the evaluation of dewatering wells, International Mining Forum, W: Mine safety and efficient exploitation facing challenges of the 21st century: 19–21 September 2010, Huainan, China, Eds. Liu Zegong [et al.]. — London: CRC Press Tylor & Francis Group, cop. 2010. — ISBN: 978-0-415-59896-5. — S. 355–360.....</i>	8
2.1.3	POLAK K., Klich J., Kaznowska K. <i>The method of wells' efficiency estimation, IMWA Congress 2011: Mine Water – Managing the challenges: Proceedings of the 11'th Congress of the International Mine Water Association: Aachen, Germany, 4–11 September 2011, Eds. Thomas R. Rüde, Antje Freund, Christian Wolkersdorfer; IMWA, RWTH Aachen University. — Aachen: RWTH Aachen University. Institute of Hydrogeology, 2011.; ISBN: 978-3-00-035543-1. — S. 153–157</i>	9
2.1.4	POLAK K., Kaznowska K. <i>Porównanie parametrycznych metod oceny stanu studni wierconych, Gaz, Woda, Technika Sanitarna ; ISSN 0016-5352. — 2012 t. 86 nr 1, s. 5–8., pkt. MNiSW = 6.....</i>	9
2.1.5	POLAK K., Kaznowska-Opala K., Pawlecka K., Klich J., <i>Analiza przebiegu próbných pompowań na przykładzie studni badawczej AGH-1, Przegląd Górniczy; ISSN 0033-216X. — 2014 t. 70 nr 10, s. 106–111.; pkt. MNiSW = 6.....</i>	9
2.1.6	POLAK K., <i>Efektywność studni odwadniających, Przegląd Górniczy; ISSN 0033-216X. — 2014 t. 70 nr 10, s. 117–121., pkt. MNiSW = 6.....</i>	9
2.1.7	POLAK K., Kaznowska-Opala K., Pawlecka K., Rózkowski K., Klich J., <i>The assessment of susceptibility on drainage in an aquifer on the basis of pumping tests in a lignite mine —Archives of Mining Sciences; ISSN 0860-7001. — 2015 vol. 60 no. 1, s. 107–121. DOI 10.1515/amsc-2015-0008, IF=0,448, pkt. MNiSW = 14.....</i>	10
2.1.8	POLAK K., Kaznowska-Opala K., Pawlecka K., <i>Causes of Decreased Discharge and Damage to a Dewatering Well's Gravel Coat, Mine Water and Environment, June 2016, Volume 35, Issue 2, pp 120–127. DOI 10.1007/s10230-015-0361-5, IF=1,278, pkt. MNiSW = 15</i>	10
2.1.9	POLAK K., Górecki K., <i>Diagnostyka warunków pracy studni ujęciowej oraz systemu pompowo-tłocznego na podstawie próbnego pompowania, Gaz, Woda, Technika Sanitarna, Sierpień 2016, DOI: 10.15199/17.2016.8.3, pkt. MNiSW = 11</i>	10
2.1.10	POLAK K., <i>Improvement Of Drainage Wells Efficiency, 24th World Mining Congress Proceedings, October 18-21, 2016, Rio de Janeiro /RJ, Brazylia</i>	10
2.1.11	POLAK K., <i>Ocena efektywności renowacji studni głębinowej za pomocą ditlenku węgla, Górnictwo Odkrywkowe, nr 4, 2016; pkt. MNiSW = 7</i>	11

2.1.12	POLAK K., Interpretacja wyników próbnego pompowania studziennego na podstawie bilansu energii, <i>Technologia Wody</i> , ISSN 2080-1467. — 2017 R. 9 z. 5, s. 40–43, pkt. MNiSW = 5	11
2.1.13	POLAK K., Kaznowska-Opala K., Ocena sprawności hydraulicznej studni głębinowych - studium przypadku, <i>Górnictwo Odkrywkowe</i> , ISSN 0043-2075. — 2018 R. 59 nr 2, s. 63–66, pkt. MNiSW = 7	11
2.1.14	POLAK K., Górecki K., Kaznowska-Opala K. - The dynamics of water wells efficiency reduction and ageing process compensation, <i>Water</i> 2019, 11, 117; DOI:10.3390/w11010117, p. 17.; IF=2.069, pkt. MNiSW = 30	11
2.1.15	Podsumowanie.....	12
2.2	AUTORZY, NAZWA UTWORU, ...	13
2.2.1	POLAK K., Kaznowska-Opala K. – Oprogramowanie SHS (Sprawność Hydrauliczna Studni).....	13
3	OMÓWIENIE CELU NAUKOWEGO PRAC I OSIĄGNIĘTYCH WYNIKÓW WRAZ Z OMÓWIENIEM ICH EWENTUALNEGO WYKORZYSTANIA	14
3.1	IDENTYFIKACJA PROBLEMÓW BADAWCZYCH	14
3.2	NOWA WIEDZA.....	17
3.2.1	Opis funkcjonalny programu komputerowego SHS.....	26
3.3	PODSUMOWANIE	29
4	OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO-BADAWCZYCH, DYDAKTYCZNYCH, POPULARYZATORSKICH.....	31
4.1	DZIAŁALNOŚĆ NAUKOWO-BADAWCZA.....	31
4.1.1	Wykaz realizowanych projektów, prac i ekspertyz naukowo-badawczych	39
4.2	DZIAŁALNOŚĆ DYDAKTYCZNA.....	42
4.3	DOŚWIADCZENIE NAUKOWE ZDOBYTE W KRAJU I ZA GRANICĄ ORAZ DZIAŁALNOŚĆ ORGANIZACYJNA I POPULARYZATORSKA	45
III	WYKAZ PUBLIKACJI STANOWIĄCYCH OSIĄGNIĘCIE NAUKOWE, O KTÓRYM MOWA W ART. 16 UST. 2 USTAWY.....	48
IV	WYKAZ PUBLIKACJI Z BAZY JCR NIEWCHODZĄCYCH W SKŁAD OSIĄGNIĘCIA.....	53
V	WYKAZ PUBLIKACJI SPOZA BAZY JCR NIEWCHODZĄCYCH W SKŁAD OSIĄGNIĘCIA.....	55
VI	WYKAZ MATERIAŁÓW KONFERENCYJNYCH.....	75

SPIS TABEL

TABELA 1. ZESTAWIENIE PUBLIKACJI STANOWIĄCYCH CYKL MONOTEMATYCZNY	12
TABELA 2. PRZYKŁADOWA TABELA DANYCH WRAZ Z PRZYKŁADOWYMI WYNIKAMI Z PRÓBNEGO POMPOWANIA	27
TABELA 3. POLE EDYTOWALNE – SPRAWNOŚĆ BIEŻĄCA.....	28
TABELA 4. ZESTAWIENIE PUBLIKACJI.....	37
TABELA 5. SUMARYCZNY IMPACT FACTOR, LICZBA CYTOWAŃ	38
TABELA 6. PODSUMOWANIE ILOŚCI ZAJĘĆ NA STUDIACH STACJONARNYCH I NIESTACJONARNYCH	42
TABELA 7. NAGRODY	45

SPIS RYSUNKÓW

RYS. 1. INTERFEJS PROGRAMU SHS	25
RYS. 2. SCHEMAT FUNKCJONALNY APLIKACJI.....	29
RYS. 3. BAZA DANYCH SCOPUS	38
RYS. 4. BAZA DANYCH WEB OF SCIENCE.....	38
RYS. 5. BAZA DANYCH GOOGLE SCHOLAR	39

1 DANE OSOBOWE

1.1 IMIĘ I NAZWISKO

Krzysztof Polak

1.2 ADRES SŁUŻBOWY

**Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Górnictwa i Geoinżynierii
Katedra Górnictwa Odkrywkowego
Al. Mickiewicza 30
30-059 Kraków
Tel. 12 617 4494, e-mail: kpolak@agh.edu.pl**

1.3 POSIADANE DYPLOMY, STOPNIE NAUKOWE – Z PODANIEM NAZWY MIEJSCA I ROKU UZYSKANIA ORAZ TYTUŁU

1997 magister inżynier

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Górniczy, kierunek: Górnictwo i Geologia, specjalność: Technika
Odkrywkowej Eksploatacji Złóż
Praca magisterska pt.: *Odbudowa wód wglębnych na obszarach poeksploatacyjnych
KWB Bełchatów*

2005 doktor nauk technicznych

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, dyscyplina: Górnictwo i Geologia Inżynierska
Praca doktorska pt.: *Kształtowanie środowiska wodnego w antropogenicznie przekształconym
górotworze na wybranych przykładach kopalń węgla brunatnego w Polsce*

1.4 INFORMACJE O PRZEBIEGU PRACY NAUKOWO-BADAWCZEJ

1997 – 2005 Wydział Górniczy AGH

Katedra Górnictwa Odkrywkowego
Asystent

2005 – nadal Wydział Górnictwa i Geoinżynierii AGH

Katedra Górnictwa Odkrywkowego
Adiunkt

2 WSKAZANIE OSIĄGNIĘCIA WYNIKAJĄCEGO Z ART. 16 UST. 2 USTAWY Z DNIA 14 MARCA 2003 R. O STOPNIACH NAUKOWYCH I TYTULE NAUKOWYM ORAZ O STOPNIACH W ZAKRESIE SZTUKI (DZ. U. NR 65, POZ. 595 ZE ZM.)

Na osiągnięcie naukowe zatytułowane „**Sprawność hydrauliczna oraz efektywność energetyczna studziennych systemów ujmowania wód podziemnych**” składa się cykl 14 publikacji monotematycznych oraz utworów w postaci oprogramowania komputerowego pn. SHS (*Sprawność Hydrauliczna Studni*).

2.1 AUTORZY, TYTUŁY PUBLIKACJI, ROK WYDANIA

2.1.1 Klich J., POLAK K., Sobczyński E. *Opis metody oceny jakości wykonania i stanu studzien ujęciowych i odwadniających, III Międzynarodowa Konferencja naukowo- techniczna: Zaopatrzenie w wodę miast i wsi, Tom 1., s. 161-176, Poznań 1998 (przed doktoratem)*

Mój udział w opracowaniu publikacji polegał na opracowaniu narzędzia informatycznego do ekstrapolacji danych pochodzących z krótkotrwałych pompowań studziennych, wykonaniu obliczeń weryfikacyjnych, a następnie przygotowaniu opisu przeprowadzonych przeze mnie prac. Mój udział w wydaniu publikacji wynosi 30%.

2.1.2 POLAK K., Kaznowska K. *Comparison of methods used in Poland for the evaluation of dewatering wells, International Mining Forum, W: Mine safety and efficient exploitation facing challenges of the 21st century: 19–21 September 2010, Huainan, China, Eds. Liu Zegong [et al.]. — London: CRC Press Tylor & Francis Group, cop. 2010. — ISBN: 978-0-415-59896-5. — S. 355–360*

Mój udział w opracowaniu publikacji polegał na zaplanowaniu eksperymentu badawczego na platformie badawczej, nadzór nad eksperymentem badawczym, wykonaniu obliczeń metodami opisanymi w literaturze, porównaniu uzyskanych wyników, a także sformułowaniu wniosków z przeprowadzonych prac, przygotowaniu tłumaczenia oraz manuskryptu pracy. Mój udział w wydaniu publikacji wynosi 60%.

- 2.1.3 POLAK K., Klich J., Kaznowska K. *The method of wells' efficiency estimation*, IMWA Congress 2011: Mine Water – Managing the challenges: Proceedings of the 11'th Congress of the International Mine Water Association: Aachen, Germany, 4–11 September 2011, Eds. Thomas R. Rüde, Antje Freund, Christian Wolkersdorfer; IMWA, RWTH Aachen University. — Aachen: RWTH Aachen University. Institute of Hydrogeology, 2011.; ISBN: 978-3-00-035543-1. — S. 153–157**

Mój udział w przygotowaniu publikacji polegał na objaśnieniu istoty opracowanej metody badawczej oraz wykazaniu jej użyteczności w warunkach operacyjnych, a także przygotowaniu dyskusji oraz wniosków końcowych. Mój udział w opracowaniu publikacji wynosi 60%.

- 2.1.4 POLAK K., Kaznowska K. *Porównanie parametrycznych metod oceny stanu studni wierconych*, Gaz, Woda, Technika Sanitarna ; ISSN 0016-5352. — 2012 t. 86 nr 1, s. 5–8., pkt. MNiSW = 6**

Mój udział w przygotowaniu publikacji polegał na przygotowaniu wprowadzenia, graficznej prezentacji metod interpretacji wyników próbnych pompowań, przygotowaniu dyskusji wyników, a także wniosków końcowych. Mój udział w opracowaniu publikacji wynosi 60%.

- 2.1.5 POLAK K., Kaznowska-Opala K., Pawlecka K., Klich J., *Analiza przebiegu próbnych pompowań na przykładzie studni badawczej AGH-1*, Przegląd Górniczy; ISSN 0033-216X. — 2014 t. 70 nr 10, s. 106–111.; pkt. MNiSW = 6**

Mój udział w publikacji polegał na przeprowadzeniu analizy możliwości diagnozowania układu pompowego podczas wielostopniowego pompowania próbnego, omówieniu wyników przykładowego testu hydraulicznego przeprowadzonego z zastosowaniem zaproponowanej metodyki badawczej, a także opracowaniu wniosków końcowych. Mój udział w przygotowaniu publikacji wynosi 60%.

- 2.1.6 POLAK K., *Efektywność studni odwadniających*, Przegląd Górniczy; ISSN 0033-216X. — 2014 t. 70 nr 10, s. 117–121., pkt. MNiSW = 6**

Publikacja samodzielna, mój wkład obejmował dokonanie identyfikacji elementów technicznych wyposażenia studni głębinowej wraz z określeniem przebiegu charakterystyk sprawności zasadniczych elementów składowych, opracowanie metodyki ich wyznaczania oraz obliczania sprawności ogólnej głębinowego ujęcia wody. Mój udział w przygotowaniu całości materiału do druku wynosi 100%.

- 2.1.7 POLAK K., Kaznowska-Opala K., Pawlecka K., Różkowski K., Klich J., *The assessment of susceptibility on drainage in an aquifer on the basis of pumping tests in a lignite mine* — Archives of Mining Sciences; ISSN 0860-7001. — 2015 vol. 60 no. 1, s. 107–121. DOI 10.1515/amsc-2015-0008, IF=0,448, pkt. MNiSW = 14**

Mój udział w przygotowaniu publikacji polegał na przeprowadzeniu analizy rozkładu parametru opisującego oporność hydrauliczną ośrodka wodonośnego w wybranym zbiorze wyników próbnych pompowań, opracowaniu klasyfikacji podatności ośrodka wodonośnego na odwodnienie oraz wykazanie możliwości wykorzystania tej klasyfikacji w projektowaniu systemów odwadniania studziennego w górnictwie odkrywkowym węgla brunatnego, w szczególności w planowaniu wyprzedzenia oraz gęstości siatki rozmieszczenia otworów odwadniających. Mój udział w przygotowaniu publikacji wynosi 60%.

- 2.1.8 POLAK K., Kaznowska-Opala K., Pawlecka K., *Causes of Decreased Discharge and Damage to a Dewatering Well's Gravel Coat, Mine Water and Environment*, June 2016, Volume 35, Issue 2, pp 120–127. DOI 10.1007/s10230-015-0361-5, IF=1,278, pkt. MNiSW = 15**

Mój udział w przygotowaniu publikacji polegał na pozyskaniu materiału do badań, zaplanowaniu eksperymentu badawczego, polegającego na porównaniu własności hydraulicznych żwirowych okładzin filtracyjnych, przeprowadzeniu testów hydraulicznych na stanowisku badawczym w laboratorium, a także opracowaniu uzyskanych wyników i podsumowaniu pracy. Mój udział w przygotowaniu publikacji wynosi 70%.

- 2.1.9 POLAK K., Górecki K., *Diagnostyka warunków pracy studni ujęciowej oraz systemu pompowo-tłocznego na podstawie próbnego pompowania, Gaz, Woda, Technika Sanitarna*, Sierpień 2016, DOI: 10.15199/17.2016.8.3, pkt. MNiSW = 11**

Mój udział w przygotowaniu publikacji polegał na scharakteryzowaniu założeń metodycznych, wykorzystanych podczas dokonywania kompleksowej oceny głębinowego ujęcia wody, a także opracowaniu wyników testu hydraulicznego oraz wniosków wypływających ze zrealizowanych badań polowych. Mój udział w przygotowaniu publikacji wynosi 60%.

- 2.1.10 POLAK K., *Improvement Of Drainage Wells Efficiency*, 24th World Mining Congress Proceedings, October 18-21, 2016, Rio de Janeiro /RJ, Brazylia**

Publikacja samodzielna, mój wkład obejmował opis przyjętych założeń w zastosowanej metodyce badawczej, a także interpretację wyników próbnych pompowań w odniesieniu do czterech typowych charakterystyk studni, tj. najczęściej spotykanego przypadku prawidłowego doboru agregatu

pompowego oraz przypadków przewymiarowania sprzętu pompowego, omówieniu przykładów pochodzących z testów hydraulicznych studni głębinowych, a także opracowaniu wyników obliczeń oraz przeprowadzeniu ich analizy. Mój udział w przygotowaniu publikacji wynosi 100%.

2.1.11 POLAK K., Ocena efektywności renowacji studni głębinowej za pomocą ditlenku węgla, *Górnictwo Odkrywkowe*, nr 4, 2016; pkt. MNiSW = 7

Publikacja samodzielna, mój wkład obejmował omówienie metody renowacji studni przy wykorzystaniu płynnego CO₂, opracowaniu wyników poszczególnych serii testów badawczych, ocenie skuteczności renowacji w oparciu o obliczenia energochłonności, a następnie oszacowaniu dynamiki degradacji studni. Mój udział w przygotowaniu publikacji wynosi 100%.

2.1.12 POLAK K., Interpretacja wyników próbnego pompowania studziennego na podstawie bilansu energii, *Technologia Wody*, ISSN 2080-1467. — 2017 R. 9 z. 5, s. 40–43, pkt. MNiSW = 5

Publikacja samodzielna, mój wkład obejmował omówienie przyjętych założeń oraz opis rozwiązania, przeprowadzenie wywodu, analizę wyników badań polowych stanowiących prezentację, a zarazem dowód na poprawność przyjętych założeń oraz sposobu wnioskowania. Mój udział w przygotowaniu publikacji wynosi 100%.

2.1.13 POLAK K., Kaznowska-Opala K., Ocena sprawności hydraulicznej studni głębinowych - studium przypadku, *Górnictwo Odkrywkowe*, ISSN 0043-2075. — 2018 R. 59 nr 2, s. 63–66, pkt. MNiSW = 7

Mój udział w przygotowaniu publikacji polegał na przygotowaniu charakterystyk omawianych przypadków, interpretacji rezultatów prac polowych, a także wniosków i zaleceń wyływających z przeprowadzonej analizy wyników obliczeń. Mój udział w przygotowaniu publikacji wynosi 80%.

2.1.14 POLAK K., Górecki K., Kaznowska-Opala K. - *The dynamics of water wells efficiency reduction and ageing process compensation*, *Water* 2019, 11, 117; DOI:10.3390/w11010117, p. 17.; IF=2.069, pkt. MNiSW = 30

Mój udział w przygotowaniu publikacji polegał na opracowaniu koncepcji pracy, analizie stanu wiedzy, zdefiniowaniu założeń do modelu analitycznego, weryfikacji opracowanego wzorca starzenia studni oraz możliwości kompensacji tego procesu, opracowanie studium przypadku, a także sformułowanie wniosków końcowych, wstępne oraz końcowe przygotowanie treści manuskryptu, odpowiedzi na uwagi recenzentów, końcowe przygotowanie manuskryptu do druku. Mój udział w przygotowaniu publikacji wynosi 60%.

2.1.15 Podsumowanie

Przedstawiony cykl publikacji składa się zasadniczo z 13 artykułów. Do cyklu, jako uzupełnienie tematyczne, a zarazem wprowadzenie, dołączono dodatkowo jedną pracę opublikowaną przed doktoratem. Sześć z czternastu wymienionych artykułów opublikowano w języku angielskim. Syntetyczne zestawienie publikacji zawiera tabela 1.

Tabela 1. Zestawienie publikacji stanowiących cykl monotematyczny

Rodzaj osiągnięcia	Samodzielnie	We współautorstwie	Razem
Publikacje w czasopismach z bazy JCR	-	3	3
Rozdziały w książkach i monografiach	-	1	1
Publikacje w j. polskim spoza bazy JCR	3	4	7
Materiały konferencyjne w j. angielskim	1	1	2
Materiały konferencyjne w j. polskim	-	- (1*)	- (1*)
Razem	4	9 (10*)	13 (14*)

*Klich J., Polak K., Sobczyński E. *Opis metody oceny jakości wykonania i stanu studzien ujęciowych i odwadniających*, III Międzynarodowa Konferencja naukowo-techniczna: Zaopatrzenie w wodę miast i wsi, Tom 1., s. 161-176, Poznań 1998; artykuł powstał przed doktoratem, zaliczany do cyklu publikacji monotematycznych

Wymienione prace opublikowano w czasopismach:

- *Gaz, Woda, Technika Sanitarna* (2)
- *Przegląd Górniczy* (2)
- *Górnictwo Odkrywkowe* (2)
- *Technologia Wody* (1)
- *Archives of Mining Sciences = Archiwum Górnictwa* (1)
- *Mine Water and Environment* (1)
- *Water* (1)

Ponadto artykuły publikowano w materiałach konferencyjnych, w tym konferencji krajowej przed doktoratem (1), oraz materiałach konferencji zagranicznych (2).

We wszystkich publikacjach, zestawionych w tabeli 1. i powstałych po doktoracie, byłem autorem głównym lub jedynym autorem. Oświadczenia współautorów dotyczące ich wkładu w powstanie publikacji zostały zamieszczone w załączniku nr 7.

Ocena mojego dorobku publikacyjnego z uwzględnieniem danych scientometrycznych (stan na dzień 8.02.2019 r.) dla publikacji zawiera:

- **Sumaryczny współczynnik wpływu, tzw. „Impact Factor”: 3,795.**
- **Sumaryczną ilość punktów wg punktacji czasopism MNiSW wg roku opublikowania pracy: 107**

2.2 AUTORZY, NAZWA UTWORU,

2.2.1 POLAK K., Kaznowska-Opala K. – Oprogramowanie SHS (*Sprawność Hydrauliczna Studni*)

Mój udział w opracowaniu programu polegał na przygotowaniu procedur obliczeniowych, opracowaniu wyjątków, procedury oceny istotności wyników obliczeń, kryteriów oceny parametrów hydraulicznych, przedziałów tej oceny, określeniu treści komunikatów, kalibracji wersji testowej programu oraz weryfikacji wyników działania programu. Odpowiedzialny byłem także za przygotowanie tłumaczenia programu do wersji anglojęzycznej. Mój wkład w przygotowanie końcowej wersji oprogramowania wynosi 75%.

3 OMÓWIENIE CELU NAUKOWEGO PRAC I OSIĄGNIĘTYCH WYNIKÓW WRAZ Z OMÓWIENIEM ICH EWENTUALNEGO WYKORZYSTANIA

3.1 IDENTYFIKACJA PROBLEMÓW BADAWCZYCH

Wydobycie wód podziemnych na całym świecie wciąż rośnie. Szacuje się, że w ciągu pół wieku, tj. w latach 1960-2010, wolumen poboru wód podziemnych podwoił się¹. Rośnie wciąż liczba studni głębinowych, co jest wynikiem nie tylko rosnącego zapotrzebowania na wodę, ale także zmniejszania się wydajności istniejących studzien z biegiem czasu. Podobnie bowiem jak inne urządzenia techniczne, studnie głębinowe podlegają procesom starzenia i degradacji. Aktualny stan techniczny studni głębinowej można opisać za pomocą wskaźnika sprawności. Sprawność studni zdefiniowana została pierwotnie przez Rorabaugh, jako stosunek depresji teoretycznej do pozornej przy założeniu, że w otworze studziennym nie występuje przepływ turbulentny². Walton zdefiniował sprawność jako stosunek teoretycznej wydajności jednostkowej do rzeczywistej wydajności jednostkowej studni³. Bierschenk stwierdził natomiast, że sprawność otworu studziennego można zdefiniować jako stosunek depresji teoretycznej do depresji zmierzonej (pozornej) wewnątrz odwiertu. W swojej pracy przedstawił on liczne przykłady krzywych sprawności obliczonych na podstawie próbnych pompowań przeprowadzonych w otworach studziennych wykonanych w krajach bliskiego wschodu⁴. O sprawności studni decyduje zatem wielkość zeskoku hydraulicznego powstającego wskutek występowania strat hydraulicznych w strefie otworowej.

Straty hydrauliczne w otworze studziennym oraz jego najbliższym sąsiedztwie można wyznaczyć za pomocą testu próbnego pompowania. Zależność pomiędzy depresją pozorną (obniżeniem zwierciadła wody w studni) S a natężeniem przepływu Q opisuje się najczęściej w literaturze wzorem zaproponowanym przez Rorabaugh:

$$S = BQ + CQ^N \quad (1.)$$

gdzie:

- B współczynnik oporu hydraulicznego przy przepływie laminarnym przez ośrodek wodonośny [L/T²],
- C współczynnik oporu hydraulicznego przy przepływie turbulentnym w strefie otworowej [L²/T⁵]
- N wykładnik potęgi, którego wartość zazwyczaj mieści się od 1 do 3.5.

¹ Wada, Y.; van Beek, L.P.H.; van Kempen, C.M.; Reckman, J.W.T.M.; Vasak, S.; Bierkens, M.F.P. Global depletion of groundwater resources. *Geophys. Res. Lett.* 2010, 37, L20402, doi:10.1029/2010GL044571.

² Rorabaugh, M.J. Graphical and Theoretical Analysis of Step Drawdown Test of Artesian Well. *Proc. Am. Soc. Civ. Eng.* 1953, 79, 1–23.

³ Walton, W.C. Ground-Water Hydraulics as an Aid to Geologic Interpretation. *Ohio J. Sci.* 1955, 55, 13–20.

⁴ Bierschenk, W.H. *Determining Well Efficiency by Multiple Step-Drawdown Tests*; International Association of Scientific Hydrology Publication: London, UK, 1964; pp. 493–507.

Wartość wykładnika potęgi w powyższym równaniu sugeruje, że w strefie otworowej mogą występować przepływy o nieustalonym charakterze, bowiem przepływ burzliwy (turbulentny) opisywany jest wykładnikiem potęgi równym 2. Uznawane za przypadek szczególny równania (1.), jest równanie zaproponowane pierwotnie przez Jacob'a⁵, w którym wykładnik potęgi równy jest 2, tj.:

$$S = BQ + CQ^2 \quad (2.)$$

Mackie, cytowany przez Atkinsona i in.⁶ dokonał przeglądu wyników ponad dwudziestu starannie przeprowadzonych testów pompowania próbnego w szczelinowych ośrodkach wodonośnych i stwierdził, że wyniki testów można zaklasyfikować do jednej z trzech kategorii, w których zależność pomiędzy depresją jednostkową S/Q a natężeniem przepływu Q jest:

1. liniowa (wykładnik potęgi równy 1),
2. wielomianowa (wykładnik potęgi równy 2),
3. wielomianowa (wykładnik potęgi *różny* od 2).

Wyniki badań Motyki i Wilka⁷, dotyczące wyznaczenia zasięgu strefy nieliniowego przepływu, uzyskane na podstawie kilkudziesięciu próbnych pompowań w studniach wywierconych w skałach szczelinowanych wskazują, że promień zasięgu występowania przepływu burzliwego wynosi zwykle od 0,5 do 5,0 m, choć w większości przypadków nie przekracza 1 m. Atkinson i in.⁸ wnioskuje, że wzrost prędkości przepływu powoduje zwiększenie zasięgu występowania reżimu turbulentnego, co powoduje zmianę wykładnika potęgowego we wzorze Rorabaugh'a.

W 1998 roku, w publikacji 2.1.1. zaliczonej do cyklu monotematycznego stanowiącego osiągnięcie naukowe, zaproponowano opis zjawiska rozwoju strefy turbulencji wokół studni. Analiza kilkudziesięciu próbnych pompowań wielostopniowych wykazała, że w każdym otworze studziennym wraz ze wzrostem prędkości przepływu mogą wystąpić następujące po sobie **stany pracy**:

1. przepływ przez ośrodek wodonośny oraz strefę otworową odbywa się w reżimie laminarnym, co obserwowane jest przy względnie małych prędkościach przepływu,
2. w strefie otworowej przepływ odbywa się w reżimie turbulentnym, natomiast przepływ przez ośrodek wodonośny odbywa się w reżimie laminarnym,
3. zasięg strefy turbulencji przechodzi do strefy okołotworowej warstwy wodonośnej.

⁵ Jacob, C.E. Drawdown test to determine effective radius of artesian well. *Trans. Am. Soc. Civ. Eng.* **1947**, 112, 1047–1064.

⁶ Atkinson, L.C.; Gale, J.E.; Dudgeon, C.R. New Insight to the Step-Drawdown Test in Fractured-Rocks Aquifers *Appl. Hydrogeol.* **1994**, 2, 9–18.

⁷ Motyka, J.; Wilk, Z. Zastępczy promień strefy nieliniowej filtracji wokół studni zgłębionej w skałach szczelinowo-krasowych *Przegląd Geologiczny* **1984**, 32, 90–94.

⁸ Atkinson, L.C.; Kemping, P.G.; Wright, J.C.; Liu, H. The Challenges of Dewatering at the Victor Diamond Mine in Northern Ontario, Canada. *Mine Water Environ.* **2010**, 29, 99–101, doi:10.1007/s10230-010-0109-1.

Powyższy opis jest zgodny z pracami Motyka i Wilk (1984) oraz Mackie (za Atkinson i in., 1994). Stwierdzono jednak, że za wzrost oporu przepływu nie jest odpowiedzialny wykładnik potęgowy N , a zmienna wartość współczynnika oporu hydraulicznego przy przepływie turbulentnym. Turbulencje mogą mieć zmienny zasięg i przechodzić przy wzroście wydajności studni ze strefy otworowej (C) do przyotworowej (C'), przy czym $C' > C$.

Stwierdzenie występowania opisanych trzech stanów pracy zasadniczo jest możliwe dla każdej studni, jednakże w praktyce jest to trudne do zarejestrowania przy wykorzystaniu jednego agregatu pompowego. Wynika to z ograniczonego zakresu parametrów pracy głębinowych agregatów pompowych. W praktyce najczęściej test próbnego pompowania prowadzony jest przy wykorzystaniu jednego agregatu pompowego i umożliwia rejestrację zmian parametrów w zakresie jednego lub dwóch stanów pracy otworu studziennego. Stwierdzenie to znajduje uzasadnienie w publikacji 2.1.11, w której omówiono test próbnego pompowania studziennego, zrealizowanego przy pomocy dwóch różnych agregatów pompowych, o różnych zakresach pracy. Przeprowadzone badanie umożliwiło zarejestrowanie pełnej charakterystyki studni, tj. od przepływów minimalnych do maksymalnych.

Prawdopodobieństwo prawidłowej identyfikacji stanu pracy otworu studziennego rośnie wraz z ilością stopni, na którym przeprowadzono pompowanie próbne. Temat ten rozwinęto szerzej w pracach 2.1.2 oraz 2.1.4. Przedmiotem badań była studnia głębinowa AGH-1, w której przeprowadzono serię klasycznych, jedno i trójstopniowych próbnych pompowań badawczych, a także pompowań wielostopniowych. Wszystkie testy wykonywano w tych samych warunkach hydrogeologicznych. Interpretacja uzyskanych pomiarów, przy wykorzystaniu najczęściej opisywanych w literaturze metod, zarówno analitycznych (2.1.2) jak i graficznych (2.1.4) pozwoliła na dokonanie ich oceny porównawczej.

Uzyskane wyniki w skali półtechnicznej potwierdzone następnie zostały w warunkach przemysłowych. W pracy 2.1.3 przedstawiono wyniki testu badawczego przeprowadzonego w warunkach operacyjnych, tj. w studni odwadniającej w kopalni węgla brunatnego.

Założenia przedstawione w pracy 2.1.1 znalazły także potwierdzenie w publikacji⁹, w której omówiono wyniki serii próbnych pompowań studziennych dla utworów wodonośnych o strukturze nieskonsolidowanej. Zauważono, że w strefie otworowej ruch jest turbulentny, nawet przy małym natężeniu przepływu. Natomiast przyrost depresji pozornej na kolejnych stopniach pompowania próbnego jest wynikiem zwiększania turbulencji w strefie otworowej, co skutkuje wzrostem oporów przepływu i zarazem strat hydraulicznych. Uznano więc, że zjawisko w sposób wystarczający, a zarazem zupełny opisuje równanie Jacob'a (2.).

Przepływ wody w warstwie wodonośnej o strukturze porowej może odbywać się w reżimie turbulentnym tylko dla utworów o dużej porowatości (np. w żwirach czy otoczakach), przy jednocześnie niskiej wartości wskaźnika nierównomierności uziarnienia, a także w ośrodkach szczelinowo-krasowych. Oznacza to, że w przypadku ośrodków wodonośnych

⁹ Shekhar, S. An approach to interpretation of step drawdown tests. *Hydrogeol. J.* **2006**, 14, 1018–1027, doi:10.1007/s10040-005-0016-x

nieskonsolidowanych ruch turbulentny występuje zazwyczaj bezpośrednio w strefie otworowej, natomiast w ośrodkach wodonośnych szczelinowych i szczelinowo-krasowych strefa turbulencji rozwija się w niewielkiej odległości od osi studni, nie przekraczając odległości kilku metrów od jej osi.

Biorąc pod uwagę powyższe, sprawność otworu studziennego można obliczyć jako stosunek strat hydraulicznych występujących przy przepływie laminarnym do rzeczywistych (zmierzonych) strat ciśnienia w otworze studziennym. Oznacza to, że niezależnie od rodzaju ośrodka wodonośnego (porowy, porowo-szczelinowy, szczelinowy, szczelinowo-krasowy) oraz od typu otworu studziennego (filtrowy, bezfiltrowy) uniwersalnym i wiarygodnym wskaźnikiem oceny stanu hydraulicznego jest współczynnik sprawności.

3.2 NOWA WIEDZA

Obecnie najczęściej stosowanym kryterium hydraulicznym oceny stanu studni głębinowych jest współczynnik C. Parametr zalecany jest przez Polską Normę **PN-G-02318/1994 - Studnie wiercone - Zasady projektowania, wykonania i odbioru**. Jednakże określone w niej dopuszczalne wartości odnoszą się do studni nowych. Warto zauważyć, że w rzeczywistości parametr ten jest jedną ze składowych, decydujących o sprawności studni. W związku z tym nie może być on stosowany jako kryterium oceny stanu hydraulicznego studni w praktyce eksploatacyjnej. W trakcie pracy otworu studziennego, podobnie jak strefa otworowa, degradacji ulegać może także strefa przyotworowa. Stan hydrauliczny tej strefy decyduje o wydajności oraz depresji w warunkach ustalonych dopływu wody z ośrodka wodonośnego do studni. W związku z tym, do oceny stanu hydraulicznego studni eksploatowanych zaproponowano w pracy 2.1.5 stosowanie współczynnika sprawności. Omówione zostały tam także wyniki obliczeń, które wskazują na niedoskonałości dotychczas wykorzystywanych metod prowadzenia próbnych pompowań. Znalazło to następnie odzwierciedlenie w publikacjach Macuda i in.¹⁰.

W związku z powyższym zdefiniowałem nowe założenia metodyczne. W pracy 2.1.5 określiłem pojęcie sprawności ogólnej ujęcia jako iloczynu sprawności: studni oraz agregatu pompowego. Mając na uwadze wyniki doświadczenia badawczego, przedstawiono przypadek przewymiarowania parametrów agregatu pompowego w stosunku do dopuszczalnych parametrów pracy studni. Wyniki testów laboratoryjnych wskazują, że w przypadku przewymiarowania agregatu pompowego możliwe jest dostosowanie parametrów poprzez regulację czynną, tj. z zastosowaniem przetwornic częstotliwości. Efektem tego jest dostosowanie charakterystyk sprawności studni oraz agregatu pompowego,

Macuda, J., Styrkowiec, E. **2016**: The technical and technological aspects of commissioning a new intake wells, *AGH Drilling, Oil, Gas*, Vol. 33, no. 3, p. 641-649

Macuda J., Styrkowiec E., **2017**: Many years' extraction of groundwater in the context of established usable groundwater reserves, *AGH Drilling*, vol 34., no. 2. DOI:dx.doi.org/10.7494/drill.2017.34.2.419

Macuda J., Styrkowiec E., Rajpold W., **2018**: Impact of wells reconstruction on their operational parameters, *AGH Drilling*, vol. 35, no. 1, DOI:10.7494/drill.2018.35.1.335

przez co wzrasta sprawność ogólna pracy głębinowego ujęcia wody. W pracy zaproponowano również zastosowanie charakterystyki sprawności hydraulicznej jako kryterium oceny stanu hydraulicznego wszystkich studni, w tym także studni eksploatowanych (tzn. nienowych). W odróżnieniu od współczynnika C , który zaleca się do stosowania jako kryterium odbioru nowych studni, wskaźnik sprawności hydraulicznej jest parametrem uniwersalnym możliwym do zastosowania na każdym etapie eksploatacji obiektu technicznego, w tym także jako kryterium odbioru studni nowych.

Zagadnienie to rozwinięto w publikacji 2.1.6, w której omówione zostały elementy składowe głębinowego ujęcia wody, posiadające własne krzywe sprawności. Ogólnie, wpływ na efektywność pracy ujęcia mają wszystkie elementy techniczne i nietechniczne ujęcia, w tym w szczególności: ośrodek wodonośny, orurowanie i zafiltrowanie otworu wiertniczego, wyposażenie maszynowe oraz armatura hydrauliczna. Zdefiniowano ogólnie sposób określania sprawności systemowej oraz określono metodykę doboru warunków współpracy poszczególnych elementów systemu. Wynikiem przedstawionych rozważań jest twierdzenie, że poszczególne elementy głębinowego ujęcia wody mają wpływ na sprawność ogólną (systemową) ujęcia, a prawidłowy dobór parametrów eksploatacji umożliwia wydłużenie tzw. czasu życia otworu studziennego. Przeprowadzona analiza pracy głębinowych studni odwadniających wskazuje, że przewymiarowanie agregatu pompowego skutkuje zmniejszoną efektywnością, prowadzącą nie tylko do strat energetycznych, ale także do przyspieszonej degradacji elementów technicznych studni i nietechnicznych ośrodka wodonośnego.

Jak wspomniano powyżej, ważnym czynnikiem decydującym o sprawności studni jest współczynnik oporu hydraulicznego przepływu laminarnego w ośrodku wodonośnym B . Wskaźnik ten determinuje dopuszczalne parametry eksploatacyjne studni głębinowej, a więc stanowi kluczową informację przy doborze sprzętu pompowego. W publikacji 2.1.7 określono metodykę oceny własności hydraulicznych ośrodka wodonośnego i omówiono zmienność parametru oporności hydraulicznej ośrodka B w zależności od własności hydrogeologicznych oraz lokalizacji otworu studziennego w leju depresji kopalni. Dla osiągniętego celu omówiono wyniki próbnych pompowań badawczych jakie przeprowadzano w jednej z kopalń węgla brunatnego. Na podstawie uzyskanych wyników obliczeń zdefiniowano hydrauliczną klasyfikację podatności ośrodka wodonośnego na odwodnienie, która uwzględnia zarówno konieczne wyprzedzenia robót odwadniających względem postępu frontu urabiania nadkładu, a także gęstość siatki otworów studziennych.

Skutki przewymiarowania wydajności otworu studziennego przedstawiono w pracy 2.1.8, w której omówiono wyniki badań własności hydraulicznych żwirowych okładzin filtrów studziennych, wykorzystywanych w kopalniach węgla brunatnego. Test przeprowadzono dla okładziny filtrowej wydobytej z otworu studziennego oraz – porównawczo - dla nowej okładziny filtrowej o takim samym uziarnieniu. W trakcie likwidacyjnych prac demontażowych w terenie stwierdzono dezintegrację okładziny filtrowej, piaszczenie otworu oraz powstanie kawerny wokół uszkodzonego odcinka okładziny filtra studziennego. Badania hydrauliczne w laboratorium poprzedzono analizą zapisu parametrów pracy,

z którego wynikało, że w pewnym przedziale czasu studnia eksploatowana była z prędkościami przepływu w strefie przyotworowej większymi od dopuszczalnych. Wyniki badań laboratoryjnych wskazały na radykalne zmniejszenie przepuszczalności okładziny filtrowej po 10 latach pracy otworu studziennego, a znaczne zmniejszenie porowatości i wzrost prędkości przepływu wody skutkowało dezintegracją okładziny żwirowej oraz przedwczesną likwidacją studni.

Przedstawione rozważania poprowadziły do stwierdzenia, że prawidłowa praca otworu studziennego uzależniona jest od sprawności elementów składowych, przy czym niezawodność pracy systemu uzależniona jest głównie od stanu technicznego elementu, którego sprawność najbardziej odbiega od sprawności początkowej. Uszkodzenia w jednym z elementów systemu mogą powodować także dysfunkcyjną pracę elementów pozostałych, powodując nieodwracalne zmiany starzeniowe, a w efekcie końcowym awarię systemu. Niezwykle zatem ważną sprawą dla utrzymania wysokiego poziomu niezawodności jest bieżąca diagnostyka stanu hydraulicznego elementów technicznych studni. W publikacji 2.1.12 przedstawiono w sposób uogólniony podstawy metodyczne diagnostyki studni głębinowych. W celu rozwiązania problemu badawczego, do równania bilansu energii (Bernoulliego) podstawiono równanie Jacob'a (2.). Dla określenia strat energii rozszerzyłem układ pomiarowy o dodatkowy pomiar ciśnienia w dowolnie wybranym przekroju układu tłocznego. Rozwiązaniem kompletnym jest pomiar ciśnienia na króćcu tłocznym pompy, co umożliwia jednoznaczne określenie jej stanu hydraulicznego. Ze względu na ograniczenia praktyczne oraz wysokie koszty wspomnianego rozwiązania, pomiar ciśnienia może odbywać się np. na głowicy otworu. Takie rozwiązanie jest wystarczające, jeśli tylko próbne pompowanie pomiarowe odbywa się przy wykorzystaniu agregatu pompowego o znanej charakterystyce, np. podczas jego uruchomienia po zainstalowaniu w studni głębinowej. Biorąc pod uwagę powyższe zapisać można ogólną postać równania bilansu ciśnień:

$$A_1 - C_1 Q^2 = (C + C_2) Q^2 + BQ + A + p/\gamma \quad (3.)$$

gdzie:

- B, C jak w równaniu (1.),
- A wysokość geometryczna podnoszenia [L],
- C₂ współczynnik strat hydraulicznych w rurociągu tłocznym [T²/L⁵],
- A₁ maksymalna wysokość podnoszenia pompy [L],
- C₁ współczynnik strat hydraulicznych pompy [T²/L⁵],
- p/γ wysokość ciśnienia (dławienia) w układzie tłocznym [L].

W trakcie próbnego pompowania, z wykorzystaniem agregatu pompowego o znanej charakterystyce przepływu, określa się parametry hydrauliczne studni C i B, przy czym przebieg funkcji depresji określany jest dla wszystkich punktów zgodnych z przyjętym opisem zjawiska (2.). Oznacza to, że otwór studzienny współpracuje z ośrodkiem wodonośnym, w co najwyżej drugim stanie pracy, tzn. gdy pole turbulencji ograniczone jest

przestrzennie do strefy otworowej. W takim przypadku jedyną niewiadomą, łatwą do wyznaczenia po przeprowadzeniu próbnego pompowania, jest wartość C_2 .

Warto zwrócić uwagę, że wartość p/γ wyraża wysokość ciśnienia w dowolnym punkcie wysokościowym układu tłocznego. W przypadku pomiaru ciśnienia na głowicy otworu wartość pomiaru jest sumą: pozostałej do pokonania geometrycznej wysokości podnoszenia, dynamicznych strat hydraulicznych, ale także dławieniowych strat ciśnienia w układzie tłocznym. Konkludując powyższe stwierdzić można, że układ pompowo-tłoczny jest w równowadze bilansowej wówczas, gdy na najwyższym stopniu pompowania próbnego:

- a.) straty dławieniowe równe są zero,
- b.) depresja w studni jest skorelowana z zależnością Jacob'a,
- c.) agregat pompowy pracuje z wydajnością odpowiadającą maksymalnej sprawności *BEP* (*ang. Best Efficiency Point*),
- d.) studnia głębinowa posiada odpowiednio wysoki współczynnik sprawności (zależnie od typu konstrukcji studni i rodzaju ośrodka wodonośnego).

Jeżeli jeden z tych warunków nie jest spełniony oznacza to, że w układzie występują straty hydrauliczne, których wyeliminowanie poprawi sprawność ogólną układu, jego efektywność oraz niezawodność. Co więcej, jeśli ustabilizowanie pracy układu wymaga jego regulacji, oznacza to, że tracone są w nim zasoby energii.

W publikacji 2.1.9 przedstawiono rozwiązanie problemu badawczego na wybranym przykładzie przemysłowym. Badania diagnostyczne wykonano w eksploatowanej studni wodociągowej, którą wyposażono w rozszerzony układ pomiarowy. Przeprowadzone w tym przypadku badania wykazały, że pompowanie wody odbywa się z wykorzystaniem pompy o zbyt dużej mocy, co powoduje straty energii pobranej z sieci energetycznej. Następstwem tego jest znaczne pogorszenie stanu hydraulicznego otworu studziennego, obniżenie charakterystyki pompy wskazujące na zmiany degradacyjne oraz istotne pogorszenie stanu technicznego rurociągu tłocznego.

Opracowaną metodykę badawczą zastosowano także w studniach odwodniających. W publikacji 2.1.10 omówiono przykładowe wyniki badań, które zrealizowano na grupie wybranych 40 studni odwadniających. Wyniki zaprezentowane zostały w materiałach konferencyjnych Światowego Kongresu Górniczego w 2016 roku. W publikacji przeanalizowano 4 typowe przebiegi testów w formie przykładowych wyników pompowania próbnego. Jednym z przypadków jest oczekiwany stan, w którym współpraca agregatu pompowego z otworem studziennym oraz ośrodkiem wodonośnym odbywa się w sposób prawidłowy. Pozostałe 3 analizowane przypadki dotyczą sytuacji kiedy dochodzi do zaburzeń współpracy pomiędzy ośrodkiem wodonośnym a głębinowym agregatem pompowym wskutek np. nieprawidłowego doboru parametrów pracy czy też znacznego zaawansowania procesów degradacyjnych. W publikacji omówiono przykładowe przejawy odchylenia charakterystyk sprawności studni, które wynikają z przewymiarowania sprzętu pompowego w zakresie:

- natężenia przepływu,
- wysokości podnoszenia,
- obu w/w wymienionych parametrów jednocześnie.

Warto zauważyć, że wartość przewymiarowania obliczyć można bezpośrednio na podstawie wyników próbnego pompowania, wykorzystując zależności na:

a.) wysokość podnoszenia:

$$\Delta H_{\text{str}} = (p_M - p_N) / \gamma \quad (4.)$$

b.) natężenie przepływu

$$\Delta Q_{\text{str}} = Q_N - Q_M \quad (5.)$$

gdzie:

- p_M ciśnienie manometryczne w instalacji tłocznej, przy którym depresja w studni zgodna jest z równaniem (2.)
- p_N ciśnienie manometryczne w instalacji tłocznej na ostatnim stopniu pompowania próbnego.
- Q_N natężenie przepływu na ostatnim stopniu pompowania próbnego,
- Q_M maksymalne natężenie przepływu, przy którym depresja zmierzona (pozorna) w studni zgodna jest z równaniem (2.)

Dostosowanie właściwej charakterystyki agregatu pompowego do studni może odbyć się poprzez regulację czynną lub też bierną. We wspomnianej publikacji przedstawiono ogólną analizę opłacalności wymiany agregatów pompowych dla grupy studni, w których stwierdzono przekroczenia parametrów eksploatacyjnych. Z analizy wynika, że regulacja dławieniowa jest wystarczająca tylko przy stosunkowo nieznacznych odchyleniach parametrów pracy od charakterystyk wzorcowych. Natomiast przy znacznych stratach hydraulicznych, potencjalne oszczędności z tytułu zmniejszonego zapotrzebowania na energię mogą być większe niż koszty poniesione na wymianę (korektę) wykorzystywanego parku maszynowego.

Wpływ wymiany agregatu pompowego na koszty eksploatacji studni głębinowej stały się także przedmiotem publikacji 2.1.11. Próbné pompowania prowadzono w studni, która była poddana zabiegom renowacyjnym. W ramach prac badawczych przeprowadzono cztery testy diagnostyczne, z czego jedno z badań odbywało się w dwóch etapach, tj. przy wykorzystaniu dwóch agregatów pompowych o różnych polach pracy. Pozwoliło to na zdjęcie charakterystyki badanej studni w szerokim zakresie wydajności. Wykazałem w ten sposób, że zastosowany typoszereg agregatu pompowego ma wpływ nie tylko na energochłonność, ale przede wszystkim na intensywność procesów starzeniowych zachodzących w studni głębinowej. Wyniki przeprowadzonych badań przemysłowych potwierdziły tym samym słuszność wcześniejszych założeń metodycznych, przedstawionych w pracy 2.1.1.

Skutki eksploatacji przy obniżonej sprawności studni głębinowej stały się przedmiotem publikacji 2.1.13. Przedstawiono w niej przypadek studni ujmującej wody z dwóch poziomów wodonośnych: płytszego nieskonsolidowanego (czwartorzędowego) oraz głębszego skonsolidowanego (kredowego). Eksploatacja wód podziemnych przy obniżonej sprawności

hydraulicznej skutkowałą wzmożoną degradacją strefy otworowej. Efektem końcowym była awaria układu pompowego, ograniczenie wydajności studni, przeznaczenie znacznych środków finansowych na renowację otworu, a także w późniejszym okresie, wykonanie studni zastępczej. W pracy oszacowano także wskaźniki energochłonności, a także straty finansowe wynikające ze zwiększonego zapotrzebowania na energię.

Procesy degradacji otworów studziennych wynikają z naturalnego starzenia się obiektów technicznych. Z czasem następuje zmniejszenie sprawności, co powoduje wzrost energochłonności. Przyspieszenie procesów degradacyjnych jest wynikiem bieżącego stanu technicznego oraz istniejących uwarunkowań technologicznych. Zagadnienia te omówiono w publikacji 2.1.14, w której podjęto się objaśnienia przyczyn wzmożonej degradacji studni oraz opracowania sposobów przeciwdziałania degradacji poprzez zastosowanie zabiegów kompensacyjnych. W literaturze hydrogeologicznej funkcjonuje pojęcie *zrównoważonej wydajności*, przez którą rozumie się taką wydajność studni, przy której nie dochodzi do nadmiernego wyczerpania zasobów ujęcia. Piscopo i Summa¹¹ zaproponowali nowe podejście do pojęcia *zrównoważonej wydajności*, którą zdefiniowali jako wydajność, przy której depresja w studni nie przekracza pewnej dopuszczalnej wartości. Regulacja wydajności ujęcia głębinowego w zaproponowanym rozwiązaniu odbywa się w sposób czynny, tj. poprzez regulację prędkości obrotowej napędu pompy głębinowej. Takie podejście pozwala na regulowanie wydajności studni w zależności od stanu zasobów wód podziemnych. Propozycja jest rozwiązaniem przyczyniającym się do ochrony tych zasobów. W kontekście ochrony studni jako obiektu technicznego propozycję tą uznać należy jednak za niewystarczającą. W związku z tym w publikacji 2.1.14 zdefiniowano pojęcie *zrównoważonej sprawności*, przez którą rozumie się pracę obiektu przy parametrach technologicznych, przy których proces degradacji obiektu ma możliwie najwolniejsze tempo. W koncepcji tej zakłada się:

1. wykorzystanie wyników próbnych pompowań sprawnościowych – przeprowadzanych przy odbiorze obiektu od wykonawcy,
2. ustalenie na tej podstawie bezpiecznych parametrów pracy studni,
3. okresową kontrolę sprawności ujęcia lub monitoring ciągły,
4. kompensację strat sprawności poprzez regulację parametrów technologicznych w trakcie eksploatacji obiektu.

W publikacji 1.1.14 przedstawiono sposób wykorzystania wyników badań sprawnościowych. Zwrócono uwagę na fakt, że charakterystyka sprawności studni jest funkcją homograficzną. W związku z tym, sprawność ujęcia jest odwrotnie proporcjonalna do wydajności i zależy jednocześnie od parametrów charakteryzujących oporność hydrauliczną zarówno ośrodka wodonośnego (B) oraz strefy otworowej (C). Dla studni pracujących przy odpowiednio

¹¹ Piscopo, V.; Summa, G. Experiment of pumping at constant-head: An alternative possibility to the sustainable yield of a well. *Hydrogeol. J.* **2007**, 15, 679–687.

wysokiej sprawności hydraulicznej zmiany przepuszczalności w obu strefach, są równomierne. Dlatego zapisać można, że:

$$\frac{C}{B} = \alpha \quad (6.)$$

Warto zwrócić przy tym uwagę na fakt, że α^1 jest wydajnością studni, przy której współczynnik sprawności studni wynosi 0.5 (sprawność jest równa 50%). Informacja ta jest niezwykle istotna przy ustaleniu dopuszczalnych parametrów pracy otworu studziennego.

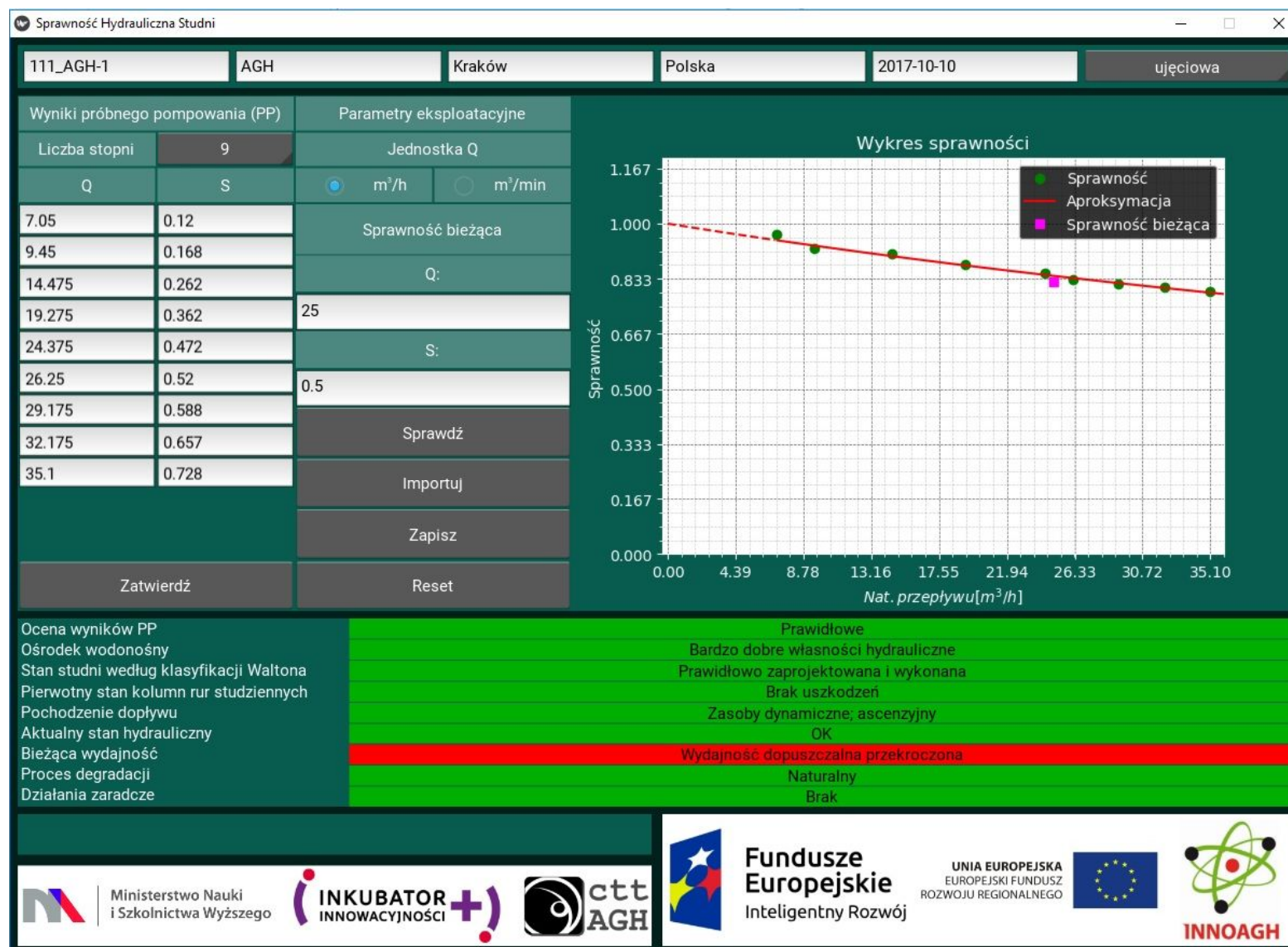
W zaproponowanej koncepcji *zrównoważonej sprawności* studni głębinowej zakłada się okresową kompensację sprawności, której częstotliwość uzależniona jest od parametru α oraz eksploatacyjnej sprawności początkowej. Zasadniczo kompensacja ta polega na redukcji parametrów pracy otworu w czasie. Takie podejście pozwala na utrzymanie równomiernej degradacji starzeniowej, zarówno w strefie otworowej jak i przyotworowej, co w efekcie końcowym zwiększa szanse na skuteczną renowację studni. Sama kompensacja sprawności prowadzona jest dopóki wydajność odwiertu jest większa od oczekiwanej. Dopiero po zmniejszeniu wydajności poniżej zadanej wartości zalecane są zabiegi renowacyjne, mające na celu podniesienie hydraulicznej sprawności studni do najwyższego możliwego poziomu. Tym samym zwiększana jest potencjalna wydajność studni.

W pracy przedstawiono zależności pozwalające na obliczenie czasu regulacji (kompensacji) parametrów pracy otworu studziennego. Opracowana koncepcja *zrównoważonej sprawności* ma zastosowanie do studni ujęciowych, w których warunki hydrogeologiczne nie ulegają zasadniczym zmianom w czasie, a także do wszystkich pozostałych studni charakteryzujących się wysokim wskaźnikiem sprawności hydraulicznej. Oznacza to, że metoda posiada ograniczone zastosowanie w przypadku studni odwadniających. W ich przypadku zaleca się wykonywanie regularnych pompowań sprawnościowych, pozwalających na dostosowanie parametrów pracy do zmiennych w czasie (nieustalonych) warunków hydrogeologicznych.

Opracowane wyniki badań, procedury obliczeniowe oraz reguły dotyczące oceny stanu hydraulicznego studni głębinowych wykorzystane zostały przy implementacji wiedzy do oprogramowania pn. SHS (*Sprawność Hydrauliczna Studni*). Program komputerowy powstał w ramach grantu przedwdrożeniowego, finansowanego przez MNiSW, w ramach programu *Inkubator Przedsiębiorczości+* i jest obecnie przedmiotem licencji wyłącznej, udzielonej przez AGH podmiotowi komercyjnemu.

Wspomniany program komputerowy napisany został w języku *Python*. Opracowane procedury obliczeniowe są uniwersalne dla dowolnych konstrukcji studni głębinowych oraz dowolnych rodzajów ośrodków wodonośnych. Natomiast kryteria oceny stanu hydraulicznego studni zoptymalizowane zostały dla studni filtrowych działających w utworach nieskonsolidowanych. W kolejnym etapie prac wdrożeniowych planowane jest opracowanie kryteriów oceny dla dowolnie wybranych konstrukcji studziennych oraz ośrodków wodonośnych skonsolidowanych. Planuję także wdrożenie oprogramowania w wersji WEB-owej i przeniesienie rozwiązania do chmury obliczeniowej, w której oceny stanu hydraulicznego odbywać się będą w trybie ciągłym, tzn. na podstawie odczytów

przekazywanych zdalnie z aparatury pomiarowej. Na rysunku 1. przedstawiono wynik działania programu dla platformy badawczej AGH-1.



Rys. 1. Interfejs programu SHS

3.2.1 Opis funkcjonalny programu komputerowego SHS

Poniżej przedstawiono skrócony opis schematu funkcjonalnego programu komputerowego SHS. Aplikacja pozwala na określanie charakterystyk sprawności hydraulicznej studni głębinowych oraz dokonanie oceny bieżącego stanu hydraulicznego studni wraz z oceną jej przydatności do eksploatacji lub zaleceń odnośnie warunków pracy lub renowacji.

3.2.1.1 IDENTYFIKATORY

Identyfikatory dotyczą informacji bazodanowych pozwalających na identyfikację obiektu jego wyszukiwanie oraz katalogowanie danych po datach. Innym identyfikatorem są zmienne liczbowe, używane w procesie obliczeniowym, a także dane kryterialne używane w ocenie stanu hydraulicznego. Do danych bazodanowych należą identyfikatory:

1.	Nazwa studni
2.	Ujęcie
3.	Miejscowość
4.	Kraj
5.	Data próbnego pompowania

Do danych liczbowych należy identyfikator:

6.	Liczba stopni próbnego pompowania
----	-----------------------------------

W zależności od zdefiniowanej przez użytkownika liczby stopni próbnego pompowania generowana jest tabela danych, która musi zostać uzupełniona przez użytkownika.

Do danych kryterialnych należy identyfikator:

7.	Przeznaczenie studni
----	----------------------

Kryterium „przeznaczenie studni” składa się z trzech pól wyboru:

- ↓ ujęciowa,
- ↓ ujęciowa awaryjna,
- ↓ odwodnieniowa.

3.2.1.2 EDYCJA WYNIKÓW PRÓBNEGO POMPOWANIA

Okno dialogowe tworzone jest po zdefiniowaniu przez użytkownika liczby stopni próbnego pompowania. Tabela 1 obejmuje dane:

- wydajność przepływu, L^3/T
- depresja, L

Przed wpisaniem danych użytkownik definiuje z pola wyboru jednostki wydajności przepływu. Do wyboru pozostaje:

- m^3/h
- m^3/min

Wynik pomiaru zwierciadła wody podawany jest z dokładnością 1 cm. Wynik pomiaru natężenia przepływu podawany z dokładnością do jednego miejsca po przecinku.

Tabela 2. Przykładowa tabela danych wraz z przykładowymi wynikami z próbnego pompowania

Q, m ³ /h	S, m
15	7.15
25.5	11.7
39.5	18.1
46.5	22.1
57.5	30
69	38.3
82	50.3

3.2.1.3 WYZNACZANIE PARAMETRÓW HYDRAULICZNYCH

Parametry hydrauliczne B i C obliczane przy wykorzystaniu metody najmniejszych kwadratów (MNK) dla wielomianu drugiego stopnia, zgodnie z zależnością (2).

W obliczeniach parametrów uwzględnia się pomiar zerowy, tj. zakłada się, że dla wydajności $Q=0$, depresja $S=0$. Oznacza to, że tablica danych rozszerzana jest o jeden dodatkowy rekord. Liczba stopni pompowania wynosi zatem: $n+1$.

Procedura obliczeniowa przeprowadzana jest kilkakrotnie. Obliczenia prowadzone są w pierwszej kolejności dla wszystkich stopni pompowania, w kolejnych iteracjach opuszczane są ostatnie stopnie pompowania. Minimalna liczba par liczbowych, uwzględniając stopień zerowy próbnego pompowania, wynosi 3.

3.2.1.4 OCENA JAKOŚCI DANYCH

Dla obliczonych funkcji regresji obliczane są współczynniki determinacji R^2 . Wynikowym jest to, które posiada największą wartość współczynnika. W przypadku, gdy współczynnik determinacji jest większy niż 0.9025 wynik uznawany jest za wiarygodny.

3.2.1.5 WYZNACZANIE WZORCOWEJ CHARAKTERYSTYKI SPRAWNOŚCI

Uzyskane parametry równania regresji wykorzystywane są do powykonawczej oceny stanu studni, wg kryteriów zawartych w normie **PN-G-02318/1994**, a następnie do wyznaczenia przebiegu wzorcowej charakterystyki sprawności studni. Krzywa sprawności studni wyrażana jest z zależności:

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{C}{B}Q} \quad (7.)$$

Wynikiem przetwarzania danych z próbnego pompowania jest wykres sprawności $ETA=f(Q)$ zawierający punkty pomiarowe oraz krzywą wzorcową, jak na rysunku 1.

3.2.1.6 WYZNACZANIE BIEŻĄCEJ SPRAWNOŚCI HYDRAULICZNEJ

Kolejnym etapem, a zarazem istotą aplikacji, jest porównanie bieżących parametrów technologicznych, z wzorcem uzyskanym w trakcie próbnego pompownia. Celem

porównania jest uzyskanie raportu dotyczącego bieżącego stanu studni oraz opracowanie zaleceń dotyczących działań, jakie powinny zostać podjęte przez użytkownika ujęcia głębinowego.

W tym celu konieczne jest dokonanie wpisu w pole edytowalne, w którym użytkownik wpisuje bieżący stan parametrów, tj. wydajności przepływu oraz depresji - tabela 3.

Tabela 3. Pole edytowalne – sprawność bieżąca

Sprawność bieżąca		
Q	20.1	m ³ /h
S	8.13	m

Na podstawie wpisanych danych obliczana jest sprawność bieżąca, zgodnie z formułą:

$$\eta = \frac{BQ}{S} \quad (8.)$$

Wynik obliczeń wyświetlany jest punktem na wykresie, jak na rysunku 1.

3.2.1.7 OCENA STANU HYDRAULICZNEGO STUDNI

Wynikiem pracy aplikacji jest ocena stanu hydraulicznego studni głębinowej. Stan hydrauliczny studni określany jest na podstawie opracowanych kryteriów oceny, które przetestowano na różnorodnych wynikach próbnych pompowań, w tym badań własnych, wynikach publikowanych i niepublikowanych.

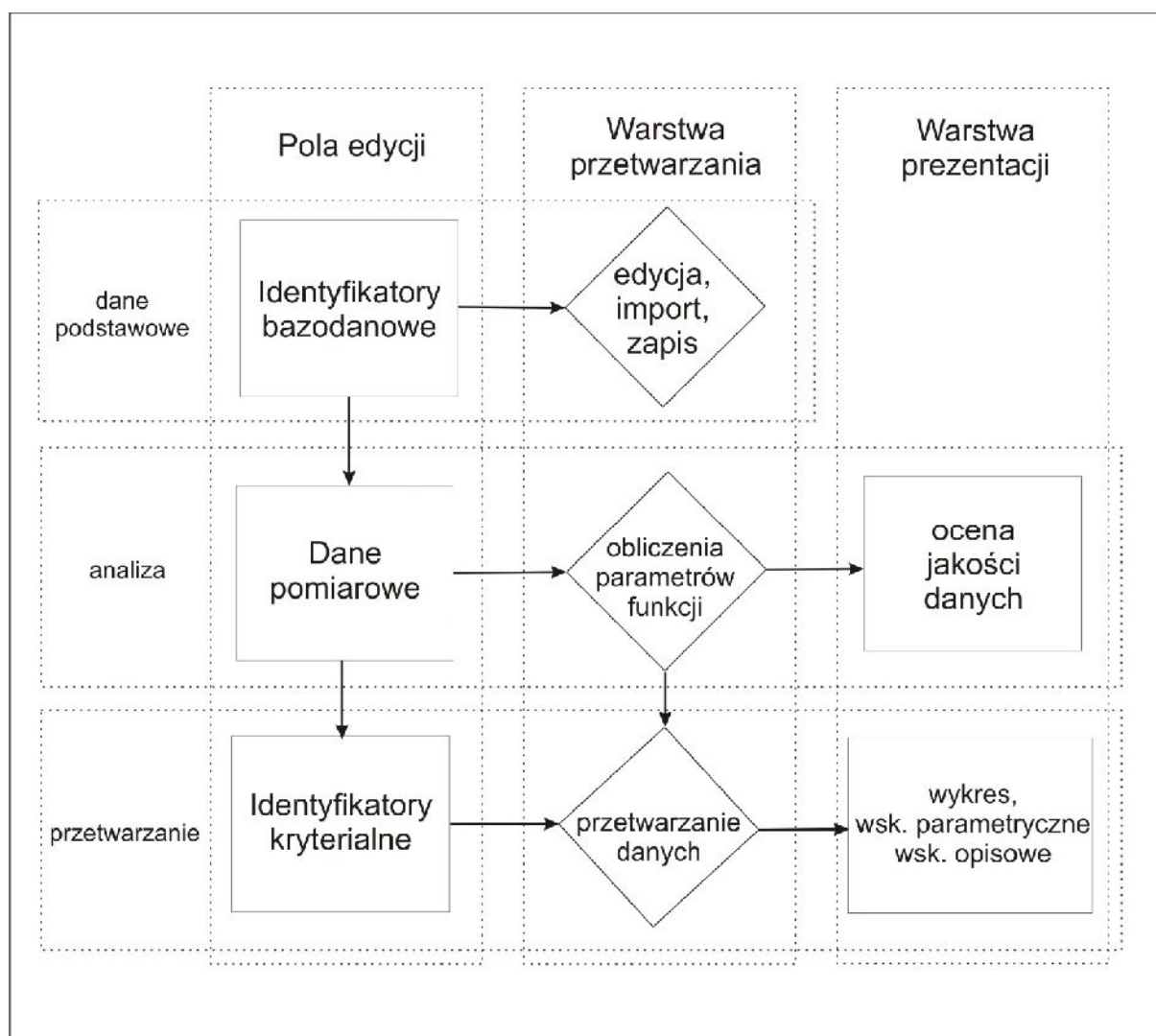
Aplikacja składa się z warstwy przetwarzania danych oraz interfejsu użytkownika. Interfejs użytkownika podzielony jest na pola:

- edycji danych, służącego do wprowadzania danych pomiarowych,
- prezentacji wyników.

Prezentacja wyników przetwarzania danych składa się z obszaru grafiki, tj. wykresu sprawności, a także raportu opisowego, obejmującego:

- ocenę jakości danych pomiarowych,
- obliczonych parametrów eksploatacyjnych,
- wskaźników opisowych i komunikatów dla użytkownika ujęcia.

Aplikacja może być wykorzystywana do doboru parametrów eksploatacji studni nowych oraz kompensacji parametrów pracy studni eksploatowanych. Na rysunku 2 przedstawiono graficznie schemat budowy aplikacji.



Rys. 2. Schemat funkcjonalny aplikacji

3.3 PODSUMOWANIE

W omówionym powyżej cyklu publikacji wykazałem, że ocena stanu hydraulicznego studni głębinowych - niezależnie od ich przeznaczenia oraz wieku – może odbywać się na podstawie charakterystyki sprawności hydraulicznej, wykonywanej na drodze testu wielostopniowego pompowania próbnego. Przebieg krzywej jest niepowtarzalny dla każdej studni i uzależniony od relacji parametrów hydraulicznych, tj.: strefy otworowej oraz ośrodka wodonośnego. Wykazałem także, że charakterystyka sprawności może być wykorzystywana jako kryterium uniwersalne, zarówno w przypadku odbioru studni od wykonawcy, czy też oceny skuteczności zabiegów renowacyjnych. Co więcej, w opracowanym rozwiązaniu problemu badawczego, wyniki próbnego pompowania sprawnościowego są podstawą doboru parametrów pracy ujęcia studziennego, a krzywa sprawności jest wzorcem, względem którego dokonywana jest diagnostyka stanu układów, zarówno geohydraulicznego, jak i pompowo-tłocznego. W odróżnieniu od dotychczas stosowanych metod, wykazałem także,

że krzywa sprawności sporządzona w oparciu o pompowania wielostopniowe pozwala na identyfikację bezpiecznych warunków pracy ujęcia głębinowego, ustalenie parametrów dopuszczalnych oraz krytycznych.

Przyjęte w rozwiązaniu problemu badawczego założenia wynikają z krytycznej oceny stosowanych dotychczas rozwiązań. Przyjmowano dotąd bowiem, że odstępstwo od modelu zjawiska opisuje w sposób zadowalający równanie Rorabaugh'a, w którym wykładnik potęgowy $N > 2$. Zaproponowane przez mnie rozwiązanie problemu badawczego zgodne jest matematycznym i fizycznym opisem zjawiska zdefiniowanym pierwotnie przez Jacob'a.

Istotą opracowanego rozwiązania jest podstawienie równania Jacob'a do równania bilansu energii w otworze studziennym. Równanie (3.) pozwala na określenie zakresu bezpiecznej pracy obiektu oraz parametrów progowych, powyżej których współpraca obiektu z ośrodkiem wodonośnym odbywa się w warunkach nadkrytycznych. Następuje wówczas geometryczny przyrost strat ciśnienia i energochłonności pompowania, a starzenie obiektu jest zintensyfikowane. Proces degradacji obiektu technicznego jest zatem bezpośrednio związany z przekroczeniem dopuszczalnych prędkości przepływu w strefie przyotworowej. Intensywność procesu degradacji uzależniona jest od podatności ośrodka na uszkodzenia mechaniczne, powstające na skutek oddziaływania energii unoszenia.

Z analizy przeprowadzonych badań wynika ponadto, że sprawność eksploatacyjna studni decyduje o dynamice procesów degradacyjnych. Monitoring ciągły lub kontrola okresowa procesów starzeniowych pozwala na podjęcie odpowiednich działań naprawczych (kompensacyjnych), umożliwiających ograniczenie tempa degradacji, zmniejszenie energochłonności i awaryjności. Efektem końcowym jest zmniejszenie kosztów operacyjnych i remontowych, wydłużenie czasu efektywnej pracy obiektu technicznego oraz jego poszczególnych komponentów.

W mojej ocenie, przedstawiony cykl publikacji, a także utwór w postaci oprogramowania, stanowią mój wkład w rozwój nauk inżynieryjno-technicznych w zakresie eksploatacji wód podziemnych.

4 OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO-BADAWCZYCH, DYDAKTYCZNYCH, POPULARYZATORSKICH

4.1 DZIAŁALNOŚĆ NAUKOWO-BADAWCZA

Moje zainteresowania naukowe po uzyskaniu stopnia doktora można ogólnie podzielić na cztery obszary zagadnień, które dotyczą następujących nurtów badawczych:

1. Rekultywacja wodna,
2. Odwadnianie kopalń odkrywkowych,
3. Otworowa eksploatacja surowców stałych,
4. Efektywność studziennych systemów odwadniających.

Działalność w obszarze *rekultywacja wodna* początkowo związana była z wykorzystaniem wiedzy zdobytej w czasie realizacji pracy doktorskiej. Opracowałem m.in. modele i programy rekultywacji wodnej dla kopalń węgla brunatnego, poszczególnych wyrobisk oraz programy i plany wodnego zagospodarowania wyrobisk odkrywkowych, a także programy finansowania działań mających na celu realizację procesu rekultywacji wodnej. W tym zakresie na uwagę zasługuje opracowana przeze mnie koncepcja zatapiania wyrobisk odkrywkowych w Kopalni Węgla Brunatnego Bełchatów, czy ekspertyzy związane z wyceną funduszu likwidacji kopani (w zakresie rekultywacji wodnej) powstałe na zamówienie inwestora i realizowane dla potrzeb przygotowania prospektu emisyjnego grupy kapitałowej. Innymi przykładami praktycznego wykorzystania zdobytej wiedzy może być opracowanie dokumentacji dotyczącej rozliczenia rekultywacji wodnej prowadzonej przez zakład górniczy w wyrobisku Lubstów (zagłębie konińskie), czy dokumentacji rekultywacji dla wyrobiska Turów.

Zdobyte doświadczenie pozwoliło mi także wykorzystać wiedzę do opracowania modeli zatapiania wyrobisk odkrywkowych dla potrzeb przygotowania koncepcji, planów i projektów rekultywacji wodnej w górnictwie skalnym.

Efektem post-doktorskich prac badawczych było wydanie kilkunastu publikacji z zakresu rekultywacji wodnej wyrobisk odkrywkowych w Polsce, głównie w kopalniach węgla brunatnego, a także surowców skalnych. Dodatkowo dorobek w tym zakresie uzupełniają obserwacje i doświadczenia zdobyte w trakcie wizyt naukowych na terenach poeksploatacyjnych górnictwa węgla brunatnego w Niemczech, tj. w zagłębiu Łużyckim i środkowoniemieckim, a także w trakcie zagranicznego stażu naukowego, który odbyłem w RWE Power AG. Do najważniejszych zaliczyć należy:

1. Klich J., POLAK K., *Statistical-Balance Method of Predicting of Open-Pit Mine Flooding Process*: Archives of Mining Sciences, vol. 51, 2006
2. Klich J., POLAK K. *Zastosowanie szeregów czasowych przy rozwiązywaniu aktualnych problemów w kształtowaniu środowiska wodnego w górnictwie odkrywkowym*, Górnictwo Odkrywkowe; ISSN 0043-2075. — 2006 R. 48 nr 3–4 s. 91–96.

3. POLAK K., Kustra A., Michalski A.- *Rekultywacja wodna wyrobiska poeksploatacyjnego węgla brunatnego w aspekcie finansowym*, Górnictwo Odkrywkowe, Wrocław 2007 Rocznik XLIX, Nr 5-6
4. POLAK K., Galiniak G. - *Wstępna ocena podatności zbiornika poeksploatacyjnego Pątnów na degradację*, Górnictwo Odkrywkowe, Wrocław 2007, Rocznik XLIX, Nr 5-6
5. POLAK K., Klich J. - *Uwarunkowania prowadzenia rekultywacji wodnej na terenach poeksploatacyjnych na przykładzie zbiornika wodnego Przykona*, Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, Hydrogeologia, 2009 nr 436 z. IX/2 s. 373–377 PIG-PIB, Warszawa
6. Chodak M., POLAK K. - *Ochrona środowiska w Nadreńskim Zagłębiu Węgla Brunatnego*, Górnictwo i Geoinżynieria, 2010 R. 34 z. 4 s. 109–115. - Polski Kongres Górniczy 2010 : IX Krajowy Zjazd Górnictwa
7. Chodak M., POLAK K. - *Rewitalizacja środowiska naturalnego w Nadreńskim Zagłębiu Węgla Brunatnego*, Przegląd Górniczy; 2010 t. 66 nr 7–8 s. 67–73.
8. Rózkowski K, POLAK K., Cała M. - *Wybrane problemy związane z rekultywacją wyrobisk w kierunku wodnym*, Górnictwo i Geoinżynieria, 2010 R. 34 z. 4 s. 517–525, Polski Kongres Górniczy 2010 : IX Krajowy zjazd górnictwa odkrywkowego, Kraków, 9–10 września 2010, Z. 2.
9. POLAK K., Rózkowski K., Cała M. - *Water reclamation in open-pit by utilization of groundwater and wells*, 2. Internationaler Bergbau und Umwelt Sanierungs Congress : 1.–3. September 2010, Dresden, s. 7–8.
10. POLAK K. - *Wybrane zagadnienia związane z rekultywacją wodną wyrobisk odkrywkowych* – ISSN: 2081-4224 Bezpieczeństwo i ochrona środowiska w górnictwie, miesięcznik WUG, 2011
11. POLAK K., Hajdo S., Galiniak G, Pawlecka K. - *Polskie doświadczenia w rekultywacji wodnej wyrobisk poeksploatacyjnych odkrywkowych* Przegląd Górniczy; 2012 t. 68 nr 1 s. 65–72.
12. Cała M., POLAK K.- *Utilization of surface- and groundwater for post-mining open pits reclamation in lignite mining*, AGH Journal of Mining and Geoengineering; 2012 vol. 36 no. 2 s. 83–89.
13. POLAK K., Ranosz R. – *The methodology of assessing the value of a water reservoir*, AGH Journal of Mining and Geoengineering, ISSN 1732-6702. — 2013 vol. 37 no. 1, s. 71–80.
14. Ranosz R., POLAK K., *Wycena zbiornika wodnego poeksploatacyjnego metodą porównawczą*, Przegląd Górniczy ; ISSN 0033-216X. — 2013 t. 69 nr 9, s. 144–147.
15. POLAK K., Rózkowski K., Pawlecka K., Kaznowska-Opala K., Chudzik W., *Prognoza zatapiania wyrobiska poeksploatacyjnego Świerki*, Przegląd Górniczy; ISSN 0033-216X. — 2014 t. 70 nr 2, s. 31–36.
16. Galiniak G., POLAK K., Rózkowski K. Kaznowska-Opala K., Pawlecka K., *Rekultywacja wodna jako czynnik determinujący sukces branży górnictwa odkrywkowego w praktyce sozologicznej*, Przegląd Górniczy ; ISSN 0033-216X. — 2014 t. 70 nr 10, s. 122–127.
17. POLAK K., *Rozliczenie wodnej rekultywacji wyrobisk odkrywkowych w świetle aktualnych uregulowań formalnoprawnych*, Przegląd Górniczy ; ISSN 0033-216X. — 2015 t. 71 nr 9, s. 37–40.

Działalność naukowa w zakresie **odwodnienia kopalń** związana była z badaniami hydrogeologicznymi prowadzonymi w zakresie oceny wpływu zakładów górniczych na środowisko wodne. W tym obszarze podejmowałem się prowadzenia badań, analiz, prac rozwojowych, ekspertyz i dokumentacji zarówno w górnictwie odkrywkowym jak i podziemnym. Ważnym obszarem moich zainteresowań było badanie, dokumentowanie oraz prognozowanie wpływu oddziaływania odwadniania złóż surowców skalnych w rejonie świętokrzyskim, opolskim oraz kujawskim. Praktycznym wykorzystaniem wiedzy, a jednocześnie nurtem w działalności naukowej i technicznej było także opracowanie koncepcji odwadniania, założeń projektowych czy projektów odwadniania złóż węgla brunatnego

i surowców skalnych, przygotowywanych w związku z rozwojem kopalń lub planowanym wydobywaniem nowo udokumentowanych złóż.

Kolejnym polem aplikacji wiedzy były prace o charakterze rozwojowym, do których należy zaliczyć m.in. identyfikację genezy zjawisk osuwiskowych występujących jako następstwo niekorzystnych warunków hydrogeologicznych, skutkujących degradacją zboczy np. w kopalni *Na Duong* w Wietnamie, czy w byłej odkrywkowej kopalni siarki *Piaseczno*. W tym drugim przypadku byłem autorem innowacyjnych rozwiązań, polegających na opracowaniu i zastosowaniu w praktyce sposobu odwodnienia skarp w wyrobisku za pomocą drenażu poziomego, wykonanego z wykorzystaniem technologii wierceń sterowanych (HDD). Za osiągnięcie uważam także ustalenie przyczyn zatopienia pompowni głównego odwadniania przy szybie III w Siemianowicach Śląskich.

Efektem prac badawczych było wydanie kilku publikacji z zakresu odwadniania kopalń oraz wpływu drenażu górniczego na środowisko wodne. Do tego nurtu naukowego zaliczyć należy:

18. POLAK K., Pawelczyk K. - *Odwadnianie kopalń surowców skalnych*, Surowce i Maszyny Budowlane, 2008, nr 1, s. 32-36
19. POLAK K., Klich J. - *Zmiany składników bilansu wód w zlewni górniczej* Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Zielonogórskiego, nr 137. Seria: Inżynieria Środowiska. — 2010 nr 17 s. 189–196,
20. Kasztelewicz Z., Zajączkowski M., Ptak M., Mucha J., Wasilewska-Błaszczuk M., Kozioł W., Klich J., Haładus A., Kulma R., Zdechlik R., POLAK K., Flisiak J., Czopek K., Sypniewski S.. *Uwarunkowania zagospodarowania perspektywicznych złóż węgla brunatnego na przykładzie planowanej wieloodkrywkowej kopalni Gubin–Mosty–Brody* : Monografia pod red. Z. Kasztelewicza; Wydawnictwa AGH, 2011. s. 237,
21. POLAK K., Kosińska A., *Lustro prawdę powie, czyli wpływ eksploatacji kruszywa spod wody na zmiany w środowisku*, Surowce i Maszyny Budowlane ; ISSN 1734-7998. — 2013 nr 2, s. 30–35.
22. Rózkowski K., POLAK K., Kaznowska-Opala K., *Hydrogeologiczne uwarunkowania eksploatacji złóż surowców skalnych w Regionie Opolskim*, Przegląd Górniczy; ISSN 0033-216X. — 2014 t. 70 nr 10, s. 112–116.
23. POLAK K., Kaznowska-Opala K., Rózkowski K., Pawlecka K., *Lej depresji a zasięg negatywnego oddziaływania odwodnienia wyrobiska górniczego*, Przegląd Górniczy; ISSN 0033-216X. — 2015 t. 71 nr 9, s. 98–103.
24. POLAK K., Rózkowski K., Czaja P., *Causes and Effects of Uncontrolled Water Inrush into a Decommissioned Mine Shaft*, Mine Water and Environment, June 2016, Volume 35, Issue 2, pp 128–135,

Kolejnym z obszarów badawczych podejmowanych przeze mnie po doktoracie były zagadnienia z związane z *otworową eksploatacją surowców stałych*, głównie siarki rodzimej oraz węgla brunatnego. W ramach współpracy podjętej z Kopalnią Siarki „Osiek”, wraz zespołem, przeprowadziliśmy wariantową analizę możliwości technologicznych kontynuacji eksploatacji złoża w rejonie drogi krajowej E-79, w tym także analizę opłacalności przełożenia przebiegu trasy w celu uwolnienia zasobów siarki zalegających w filarze drogowym. Jeśli chodzi natomiast o eksploatację otworową zasobów złóż węgla to w ramach grantu badawczego NCBiR brałem udział w zadaniu badawczym mającym na celu ustalenie

wymagań i kryteriów dotyczących podziemnego zgazowania złóż węgla brunatnego. W zakresie moich badań było określenie parametrów złożowych mających wpływ na technologię eksploatacji oraz ocena możliwości eksploatacji złóż w odniesieniu do stanu technologii oraz zagrożeń środowiskowych, w tym głównie środowiska wodnego. W ramach realizacji pracy uczestniczyłem w wizycie naukowej w stacji badawczej Chinchilla należącej do *Linc Energy* w Australii. Wynikiem prowadzonych badań było opublikowanie kilkunastu prac, wystąpienia na konferencjach naukowo-technicznych i naukowych oraz opinia dla prasy branżowej, tj.:

25. Kasztelewicz Z., Klich J., Koziół W., POLAK K., Zajączkowski M. *Methods of lignite extraction and utilization in the 21st century bearing the influence on the environment; New challenges and visions for mining; 21st World Mining Congress: open pit mining – trends and challenges: 7–12 September 2008 Poland, Kraków – Katowice – Sosnowiec 21st World Mining Congress & Expo 2008: Bełchatów, Poland 10.09.2008s.* 57-64
26. Kasztelewicz Z., POLAK K., Zajączkowski M. - *Metody wydobywania i przetwórstwa węgla brunatnego w I połowie XXI wieku*, Węgiel Brunatny 2008 nr 4/65
27. Kasztelewicz Z., POLAK K., Zajączkowski M. - *Szanse i zagrożenia podziemnego zgazowania węgla w złożu*, Przegląd górniczy 1-2/2009
28. Hajdo S., Klich J., POLAK K. - *Górnictwo siarki w Polsce wczoraj, dzisiaj i jutro*, Przegląd Górniczy; 2009 t. 65 nr 5–6 s. 101–109.,
29. Kasztelewicz Z., POLAK K., Zajączkowski M. - *Możliwości wdrażania czystych technologii węglowych w branży węgla brunatnego w Polsce*, Górnictwo i Geoinżynieria, 2009 R. 33 z. 2 s. 233–240,
30. Hajdo S., Klich J., POLAK K. - *Uwarunkowania podziemnego zgazowania węgla – 100 lat rozwoju metody*, Górnictwo i Geoinżynieria, 2010 R. 34 z. 4 s. 225–236. s. 235–236, Polski Kongres Górniczy 2010: IX Krajowy zjazd górnictwa odkrywkowego : Kraków, 9–10 września 2010, Z. 2.
31. POLAK K. - *Zgazowanie Wymaga Badań*, „Polska Energia” – nr 5/2010
32. Hajdo S., Kasztelewicz Z., POLAK K. - *Perspektywy, ograniczenia oraz zadania dla wdrożenia podziemnego zgazowania węgla w Polsce w świetle doświadczeń światowych*, Górnictwo wczoraj i dziś : XII konferencja: Ustroń, listopad 2010 r., Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Górnictwa: Zarząd Główny Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Górnictwa, 2010 S. 23–34.
33. Hajdo S., Klich J., POLAK K. - *Własności węgla niskogatunkowych w podziemnym zgazowaniu węgla*, Górnictwo i Geoinżynieria, 2011 R. 35 z. 3 s. 87–93. Górnictwo węgla brunatnego: VII międzynarodowy kongres: Bełchatów, 11–13 kwietnia 2011, Z. 2.
34. Hajdo S., Klich J., Galiniak G., POLAK K., Rózkowski K., *Criteria of verification of potential lignite resource base for underground gasification*, AGH Journal of Mining and Geoengineering ; ISSN 2299-257X., 2012, vol. 36 no. 3, s. 143–150.
35. Czaja P., Kwaśniewski K., POLAK K., Rózkowski K. - *Podziemne zgazowanie węgla (PZW) - instalacja badawcza Chinchilla w Australii*, Przegląd Górniczy; ISSN 0033-216X. — 2013 t. 69 nr 2, s. 131–138.
36. Hajdo S., Kasztelewicz Z., POLAK K., Galiniak G., Rózkowski K., 2014, *Środowisko, technologia, ekonomia – czynniki określające perspektywę zagospodarowania polskich złóż węgla brunatnego z wykorzystaniem procesu zgazowania*, Przegląd Górniczy; ISSN 0033-216X. t. 70 nr 11, s. 13–19. 2014

Ostatnim, i w mojej ocenie najważniejszym, z obszarów badawczych jest ***Efektywność studziennych systemów odwadniających***. Po raz pierwszy z tematyką oceny stanu hydraulicznego studni głębinowych spotkałem się jeszcze w trakcie stażu asystenckiego,

kiedy to mój opiekun naukowy, dr hab. inż. Jerzy Klich, prof. AGH włączył mnie do zespołu realizującego grant badawczy. Celem badań było opracowanie nowej metodyki prowadzenia próbnych pompowań oraz sposobu oceny stanu hydraulicznego studni głębinowych. W ramach asysty opracowałem narzędzie informatyczne wspomagające proces szacowania parametrów funkcji opisujących przebieg stabilizacji zwierciadła wody oraz wydajności przepływu w czasie pompowania studni w warunkach nieustalonych.

Tematyka badawcza pojawiła się ponownie w obrębie mojego zainteresowania po doktoracie, kiedy to podjąłem się zadania opracowania projektu wyposażenia nowego laboratorium Hydrologii i Hydrauliki Geoinżynierskiej na Wydziale Górnictwa i Geoinżynierii. Z powodzeniem udało mi się wówczas przygotować, a następnie wdrożyć koncepcję wyposażania laboratorium w studnię głębinową AGH-1 oraz półtechniczną instalację wodociągową wraz z nowoczesnym systemem pomiarowym oraz dedykowanym do laboratorium oprogramowaniem. Za efekty pracy wyróżniony zostałem indywidualną nagrodą Rektora II stopnia za osiągnięcia dydaktyczne w 2009 r.

W 2008 roku przebywałem na stażu przemysłowym w RWE Power AG gdzie wspólnie z partnerami niemieckimi przygotowywałem wniosek o dofinansowanie grantu badawczego, którego celem miała być poprawa efektywności studni odwodnieniowych wykorzystywanych w kopalniach węgla brunatnego, zarówno w Polsce jak i Niemczech. Z przeprowadzonych wówczas analiz wynikało, że koszty odwadniania górotworu przy wykorzystaniu metody studziennej stanowić mogą nawet 30% kosztów ogólnych funkcjonowania zakładów górniczych. Za ten stan rzeczy w znacznej mierze odpowiadają znaczne straty energetyczne powstające w związku z pokonywaniem oporów filtracyjnych w strefie przyotworowej. Zwiększone koszty eksploatacji studni głębinowych pojawiają się zazwyczaj już po kilku latach eksploatacji studni głębinowych. Jak wynikało z przeprowadzonych wówczas analiz, potencjalne zmniejszenie energochłonności mogłoby przyczynić się do podniesienia konkurencyjności branży na rynku energetycznym oraz zmniejszenia uciążliwości dla środowiska naturalnego. Zmniejszenie zużycia energii elektrycznej jest także jedną z możliwości zmniejszenia uciążliwości dla środowiska, w tym też tzw. emisyjności sektora energetycznego opartego na węglu brunatnym.

Początkowo swoje badania prowadziłem na platformie badawczej (studni głębinowej) AGH-1 w Krakowie. W ramach prac powstało kilka prac inżynierskich i magisterskich. Prace koncentrowały się głównie nad doskonaleniem metodyki pomiarów, interpretacji wyników pomiarów oraz narzędzi informatycznych do przetwarzania danych pomiarowych. W laboratorium badane były pod względem hydraulicznym materiały obsypkowe stosowane w studniach głębinowych oraz okładziny zwirowe filtrów studziennych. W 2011 roku odbyłem staż przemysłowy w PGE GiEK SA O/KWB Bełchatów, w czasie którego przy współpracy z działem odwodnienia kopalni przeprowadziłem kilkadziesiąt próbnych pompowań studziennych, których celem było opracowanie, a także zastosowanie metodyki próbnych pompowań w planowaniu eksploatacji studni odwodnienia wgłębnego. Metodyka z powodzeniem została zweryfikowana i zastosowana w późniejszych badaniach prowadzonych dla szeregu zbiorowych ujęć głębinowych (np. Krzeszowice, Daszyna,

Olsztyn), ujęcia wód mineralnych (BEWA) oraz w ocenie efektów testów zastosowania innowacyjnej metody renowacji studni odwodnienia wgłębnego z wykorzystaniem płynnego CO₂.

W 2014 roku wraz z współpracownikami opracowałem skrypt, stanowiący pomoc dydaktyczną dla studentów odbywających zajęcia w laboratorium Hydrologii i Hydrauliki Geoinżynierskiej, w tym studni głębinowej AGH-1. Za to osiągnięcie, w 2015 r. wyróżniony zostałem nagrodą zespołową III stopnia rektora AGH.

W 2018 roku złożyłem wniosek o dofinansowanie prac przedwdrożeńowych w ramach projektu „Inkubator Przedsiębiorczości+”. Projekt realizowany był przez konsorcjum Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, Centrum Transferu Technologii AGH i Krakowskiego Centrum Innowacyjnych Technologii INNOAGH Sp. z o.o. w ramach ustanowionego przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego programu pod nazwą “Inkubator Innowacyjności +” w trybie projektu pozakonkursowego “Wsparcie zarządzania badaniami naukowymi i komercjalizacji wyników prac B+R w jednostkach naukowych i przedsiębiorstwach” realizowane w ramach POIR 2014-2020, Działanie 4.4 - Zwiększenie potencjału kadrowego sektora B+R. W ramach przyznanych środków, w zespole którym kierowałem powstało m. in. urządzenie przenośne do kontroli i rejestracji próbnych pompowań studziennych oraz narzędzie informatyczne (program SHS) do oceny sprawności hydraulicznej studni głębinowych. Opis techniczny urządzenia mobilnego zaprojektowanego i wykonanego w ramach projektu - Rejestrator Próbných Pompowań Studziennych (RPPS) - został złożony do urzędu patentowego RP celem zarejestrowania go jako wzór użytkowy. Końcowy etap prac podsumowany został panelem branżowym (25.09.2018 r), na które zaproszeni zostali przedstawiciele firm wodociągowych oraz firm świadczących usługi w branży.

W ramach prac przedwdrożeńowych opracowane rozwiązania informatyczne prezentowałem także na targach wodociągowych Aqua Ukraina w Kijowie (2018) oraz części targowej konferencji WOD-KAN-ECO w Łodzi. Opracowane rozwiązania są obecnie przedmiotem wdrożenia na pierwszej studni głębinowej, celem testowania rozwiązania w warunkach operacyjnych. Opracowany innowacyjny system komputerowy jest zdalnym systemem diagnostycznym typu *big data cloud computing*, pozwalającym użytkownikowi na zwiększenie niezawodności ruchowej obiektu technicznego. Realizacja prac przedwdrożeńowych, a także rozpowszechnianie ich wyników oraz liczne kontakty branżowe w ramach targów i konferencji towarzyszących (np. Wasser Berlin International 2017, Aqua Ukraine 2018, Targi Wod-Kan Bydgoszcz 2018, Wod-KAN-ECO Łódź 2018) zaowocowały zainteresowaniem branży, w tym użytkowników zbiorowych ujęć wody oraz inwestorów krajowych i zagranicznych. Aktualnie trwają prace przygotowawcze do powołania spółki akademickiej (typu *Start-up*), tworzonej przy udziale inwestora krajowego, w Krakowskim Centrum Innowacyjnych Technologii InnoAGH Sp. z o.o. W planach spółki jest zaimplementowanie wiedzy, utworzenie informatycznego systemu diagnostyki nadzorującej oraz dalszy rozwój know-how.

Moja działalność naukowa w obszarze efektywności ujęć studziennych podsumowuje cykl publikacji, złożony z 14 prac artykułów opublikowanych w czasopismach polskich i zagranicznych, z których 13 powstało po doktoracie. Dorobek ten wskazuję, w niniejszym autoreferacie, jako osiągnięcie naukowe wynikające z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.)

Jeśli chodzi o dorobek publikacyjny to liczba całkowita wynosi 62 pozycje, w tym po doktoracie opublikowałem 49 pozycji. Szczegółowe zestawienie innych prac niż przedstawione w cyklu publikacyjnym, opublikowanych po doktoracie, znajduje się w załączniku 5 (pkt. II.B). Syntetyczne zestawienie publikacji zawarto w tabeli 4.

Tabela 4. Zestawienie publikacji

Rodzaj osiągnięcia	Samodzielnie	We współautorstwie	Razem
Publikacje w czasopismach z bazy JCR	-	4	4
Rozdziały w książkach i monografiach	-	2	2
Skrypty	-	1	1
Publikacje w j. angielskim spoza bazy JCR	-	7	7
Publikacje w j. polskim spoza bazy JCR	5	25	32
Materiały konferencyjne w j. angielskim	1	3	5
Materiały konferencyjne w j. polskim	-	1 (2*)	1 (2*)
Razem	6	43 (44*)	49 (50*)

* Klich J., Polak K., Sobczyński E. *Opis metody oceny jakości wykonania i stanu studzien ujęciowych i odwadniających*, III Międzynarodowa Konferencja naukowo-techniczna: Zaopatrzenie w wodę miast i wsi, Tom 1., s. 161-176, Poznań 1998; artykuł powstał przed doktoratem, jakkolwiek autor zalicza go do cyklu publikacji monotematycznych

Prace powyższe publikowano w następujących czasopismach:

- *Przegląd Górniczy* (12)
- *AGH Journal of Mining and Geoengineering* (wcześniej *Górnictwo i Geoinżynieria*) (8)
- *Górnictwo Odkrywkowe* (3)
- *Surowce i Maszyny Budowlane* (2)
- *Archives of Mining Sciences = Archiwum Górnictwa* (2)
- *Mine Water and the Environment* (2)
- *Biuletyn Instytutu Geologicznego* (1)
- *Bezpieczeństwo i ochrona środowiska w górnictwie, miesięcznik WUG* (1)
- *Water* (1)
- *Zeszyty Naukowe / Uniwersytet Zielonogórski. Inżynieria Środowiska* (1).

Ponadto artykuły publikowano w materiałach konferencyjnych w języku polskim (2), w tym konferencji krajowej - przed doktoratem (1), oraz materiałach konferencyjnych konferencji zagranicznych (3).

Całkowita liczba punktów za powyżej wymienione prace wg punktacji MNiSW: 267

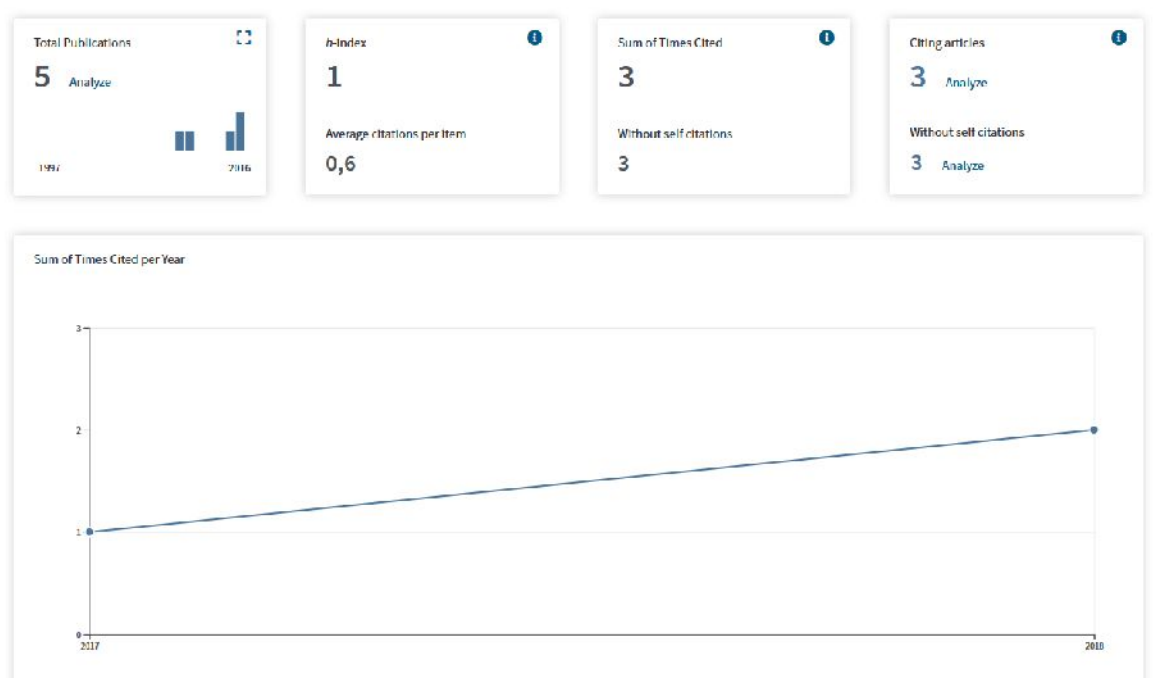
Impact Factor: 5.073

Tabela 5. Sumaryczny impact factor, liczba cytowań

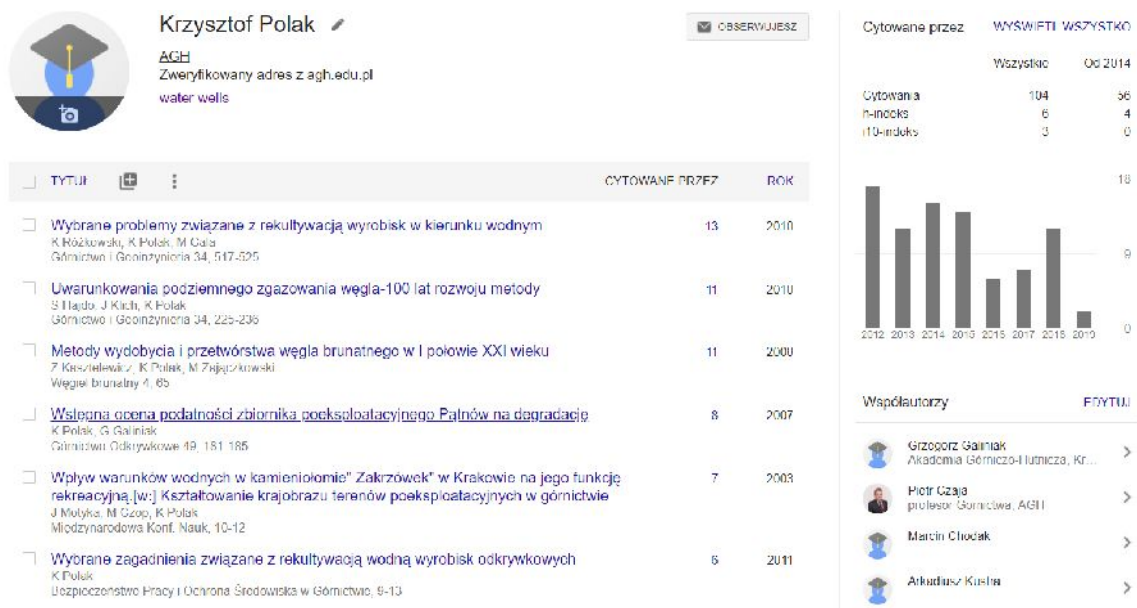
Rodzaj bazy danych	Liczba publikacji	Liczba cytowań	Indeks Hirscha
Web o Science	5	3	1
Scopus	7	5	1
Google Scholar	48	104	6



Rys. 3. Baza danych Scopus



Rys. 4. Baza Danych Web of Science



Rys. 5. Baza danych Google Scholar

4.1.1 Wykaz realizowanych projektów, prac i ekspertyz naukowo-badawczych

4.1.1.1 Projekty Europejskie:

1. Kozioł i in. - *Strategie i scenariusze technologiczne zagospodarowania i wykorzystania złóż surowców skalnych* - Program Operacyjny Innowacyjna Gospodarka 2007-13; Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego; 72.72.100.8418/C67; 2009-2013

4.1.1.2 Projekty i granty KBN, MNiSW, NCBiR:

2. Motyka i in. – *Wpływ górnictwa rud cynku i ołowiu w rejonie olkuskim na skład chemiczny wód podziemnych i powierzchniowych*; Grant badawczy KBN nr 18.25.100.989; 2004 – 2007
3. Kasztelewicz i in. - *Uwarunkowania zagospodarowania perspektywicznych złóż węgla brunatnego na przykładzie planowanej wieloodkrywkowej Kopalni Gubin-Mosty-Brody*; Grant badawczy KBN nr 18.18.100.322; 2008 – 2011
4. Klich J. i in., *Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej w ramach Strategicznego Programu Badań Naukowych i Prac Rozwojowych* pt. Zaawansowane technologie pozyskiwania energii (2010–2015); Kierownik Części Zadania Badawczego nr 3 w AGH – Klich J.; Temat Badawczy nr 1: *Opracowanie szczegółowej bazy danych węgla krajowych dla procesu zgazowania*; Część Tematu Badawczego 1.4.1 *Analiza wyników eksperymentalnych dotyczących wymagań technologicznych i środowiskowych podziemnego zgazowania węgla brunatnego oraz opracowanie kryteriów złożowych i technologicznych dla weryfikacji krajowych zasobów węgla brunatnego*, NCBiR; 23.23.100.8498/R34; 2010-2013
5. POLAK K., Kaznowska-Opala K., Bodziony P., Sikora M., *System oceny parametrów hydraulicznych i energetycznych otworów studziennych*, Projekt „Inkubator Innowacyjności+” realizowany przez konsorcjum Akademii Górniczo-Hutniczej im.

Stanisława Staszica w Krakowie, Centrum Transferu Technologii AGH i Krakowskiego Centrum Innowacyjnych Technologii INNOAGH Sp. z o.o. w ramach ustanowionego przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego programu pod nazwą “Inkubator Innowacyjności +” w trybie projektu pozakonkursowego “Wsparcie zarządzania badaniami naukowymi i komercjalizacji wyników prac B+R w jednostkach naukowych i przedsiębiorstwach” realizowane w ramach POIR 2014-2020, Działanie 4.4 - Zwiększenie potencjału kadrowego sektora B+R., nr umowy: 68.72.660.86960/S60

4.1.1.3 Ekspertyzy dla urzędów centralnych, wymiaru sprawiedliwości i administracji samorządowej

6. Kasztelewicz Z., POLAK K., i Klich J. - *Opinia dotycząca sposobu rewitalizacji jezior Powidzkiego Parku Krajobrazowego*, Urząd Gminy Brudzew, powiat koniński, Kraków 2008
7. Kasztelewicz Z., POLAK K., Cała M. - *Ekspertyza na okoliczność ustalenia związku przyczynowego pomiędzy ruchem zakładu górniczego a szkodami w postaci strat w plonach, drzewostanie, zanikiem wody w studniach i stawach, obniżaniem się zwierciadła wód podziemnych, uszkodzeniami budynków w postaci pęknięć, zarysowań i innych*, Sąd Rejonowy w Koninie, AGH Kraków, 2008
8. Kasztelewicz Z., POLAK K., Cała M. - *Ekspertyza uzupełniająca na okoliczność ustalenia związku przyczynowego pomiędzy ruchem zakładu górniczego a szkodami w postaci strat w plonach, drzewostanie, zanikiem wody w studniach i stawach, obniżaniem się zwierciadła wód podziemnych, uszkodzeniami budynków w postaci pęknięć, zarysowań i innych*, Sąd Rejonowy w Koninie, AGH Kraków 2008
9. POLAK K. i in. - *Ekspertyza na okoliczność ustalenia związku przyczynowego pomiędzy ruchem zakładu górniczego a szkodami w postaci strat w plonach, drzewostanie, zanikiem wody w studniach i stawach, obniżaniem się zwierciadła wód podziemnych, uszkodzeniami budynków w postaci pęknięć, zarysowań i innych*, Sąd Rejonowy w Koninie, AGH Kraków 2008
10. POLAK K. i in. - *Ekspertyza na okoliczność ustalenia związku pomiędzy obniżeniem zwierciadła wód podziemnych w rejonie Kramska a działalnością KWB Konin S.A.*, Sąd Rejonowy w Koninie, AGH Kraków, luty 2009
11. POLAK K. i in. - *Ekspertyza na okoliczność ustalenia związku pomiędzy obniżeniem zwierciadła wód podziemnych w rejonie Konstantynowa a działalnością KWB Konin S.A.*, Sąd Rejonowy w Koninie, AGH Kraków, wrzesień 2009
12. Ostrenga A., POLAK K., Cała M. - *Koncepcja rewitalizacji zbiornika Władysławów wraz z otoczeniem*, Urząd Gminy w Władysławowie, powiat turecki, Kraków, marzec 2010.
13. POLAK K., Kaznowska K. - *Ekspertyza na okoliczność ustalenia związku przyczynowego pomiędzy zanikiem wód gruntowych w miejscowości Ryn k. Sompolna a działalnością KWB Konin w Kleczewie S.A.*, Sąd Rejonowy w Koninie, AGH Kraków, luty 2011

14. POLAK K. Kaznowska K. - *Ekspertyza na okoliczność ustalenia związku przyczynowego pomiędzy obniżeniem zwierciadła wody w stawach, a działalnością KWB „Konin” S.A., Sąd Rejonowy w Koninie, AGH Kraków, styczeń 2012*
15. Kozioł W. POLAK K. - *Opinia dotycząca możliwości rozpoznania i przewidzenia wystąpienia zapadliska w wyrobisku kopalni Biała Góra, sygnatura akt: 1 Ds. 1584/11, Prokuratura Rejonowa w Tomaszowie Mazowieckim, AGH Kraków, luty 2012*
16. POLAK K. i in. - *Analiza stanu rekultywacji wyrobiska końcowego w Odkrywcę Lubstów, Starostwo Powiatowe w Koninie, Kraków marzec 2012,*
17. POLAK i in. „*Opinia na okoliczność ustalenia związku przyczynowego pomiędzy zanikiem wód gruntowych w miejscowości Boguszyce a działalnością KWB Konin S.A. w Kleczewie – Sygnatura Akt I CG-G 2/11*”, Sąd Okręgowy I Wydział Cywilny w Koninie, AGH Kraków 2012
18. POLAK i in. - *Opinia w sprawie związku przyczynowo – skutkowego pomiędzy likwidacją zalewisk wodnych w Siemianowicach Śląskich a wdarcie się wody do wyrobisk górniczych w rejonie szybu „Siemianowice III”. AGH w Krakowie, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Kraków 2013 r. Prokuratura Rejonowa w Siemianowicach Śląskich*
19. POLAK i in. - *Opinia na okoliczność ustalenia związku przyczynowego pomiędzy ruchem zakładu górniczego a obniżaniem się poziomu wód gruntowych – Sygnatura Akt I CG-G 6/12, AGH w Krakowie, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Kraków 2013 r. Sąd Okręgowy I Wydział Cywilny w Koninie*
20. POLAK K. Czaja P., Rózkowski K., *Opinia na okoliczność ustalenia przyczyn i skutków zalania, w dniach 2 i 9 października 2010 roku, pompowni głównego odwadniania „Siemianowice III” wraz z określeniem i weryfikacją wartości powstałych strat z tytułu likwidacji szkód, sygn. akt: II C 641/14, Sąd Rejonowy w Katowicach*
21. Kasztelewicz Z., POLAK K., *Sporządzenie opinii specjalistycznej dotyczącej zapewnienia przez Program likwidacji zakładów górniczych Kopalni Siarki Machów S.A. na lata 2008-2013 trwałego usunięcia skutków działalności wyrobiska Piaseczno, jako kopalni siarki, Najwyższa Izba Kontroli, delegatura w Rzeszowie, 2017.*

4.1.1.4 Prace naukowo-badawcze powstałe na zamówienie podmiotów zewnętrznych

W latach 2006-2019 byłem autorem i współautorem ponad sześćdziesięciu prac wykonanych na zlecenie przemysłu, głównie przedsiębiorstw z branży wydobywczej, przedsiębiorstw wodociągowych, dostawców usług specjalistycznych w zakresie wiertnictwa, a także biur projektowych. Prace naukowo-badawcze powstałe na zamówienie podmiotów zewnętrznych przemysłowych zestawiono w załączniku 5 (I.J.11). Całkowita liczba prac, wliczając wcześniej wymienione projekty badawcze oraz ekspertyzy wykonane na zlecenie urzędów centralnych, administracji samorządowej i wymiaru sprawiedliwości, to około 85 prac o charakterze naukowo-badawczym. Spośród wymienionych, w przypadku 35 byłem kierownikiem, a w 19 byłem głównym wykonawcą lub wykonawcą wiodącym.

4.2 DZIAŁALNOŚĆ DYDAKTYCZNA

Od początku pracy na Wydziale Górnictwa i Geoinżynierii (dawniej: Wydziale Górniczym) prowadziłem zajęcia dla studentów kierunków Górnictwo i Geologia, Inżynieria Środowiska, Budownictwo, a także Zarządzanie i Inżynieria Produkcji. Zakres tematyczny prowadzonych dotychczas przeze mnie przedmiotów obejmuje problematykę górnictwa odkrywkowego i otworowego, inżynierii środowiska oraz budownictwa wodnego i ziemnego. Prowadziłem zarówno wykłady (po doktoracie), ćwiczenia audytoryjne, projektowe oraz laboratoryjne. Jestem autorem programów kilku przedmiotów, w tym w j.angielskim. W ostatnich 6 latach prowadziłem zajęcia z przedmiotów (wyróżniłem przedmioty, dla których opracowałem programy):

- **Kształtowanie środowiska wodnego**
- **Hydraulika ujęć wód**
- Hydrogeologia i Odwadnianie
- Odwadnianie i zagrożenia wodne
- Technika odkrywkowej i **otworowej eksploatacji złóż**
- Eksploatacja podwodna
- Budowle Ziemne i Hydrotechniczne
- **Hydraulics of Water Wells**
- **Użytkowe programy komputerowe w sieciach sanitarnych**
- Hydrologia i Hydraulika
- Rekultywacja i Rewitalizacja

W tabeli 6. zestawilem ilości godzin dydaktycznych zrealizowanych godzin dydaktycznych na studiach stacjonarnych i niestacjonarnych.

Tabela 6. Podsumowanie ilości zajęć na studiach stacjonarnych i niestacjonarnych

Rok akademicki	Godziny dydaktyczne (pensum)
2014/2015	329 (240)
2015/2016	299 (240)
2016/2017	265 (240)
2017/2018	144 (120)
2018/2019	265* (240)

* planowane

Prowadziłem także zajęcia w języku angielskim dla obcokrajowców, słuchaczy kursów specjalistycznych z przedmiotu *Groundwater and Wells*.

W latach 2006-2007, w związku z przekazaniem pomieszczeń laboratorium Hydrotransportu i metod otworowych na Wydział Zarządzania AGH, podjąłem się zadania opracowania koncepcji budowy nowego dydaktycznego laboratorium Hydrologii i Hydrauliki Geoinżynierskiej na Wydziale Górnictwa i Geoinżynierii. Z powodzeniem udało

mi się wówczas wdrożyć koncepcję wyposażenia laboratorium w studnię głębinową (AGH-1) oraz półtechniczną instalację wodociagową z nowoczesnym systemem pomiarowym i dedykowanym do laboratorium oprogramowaniem.

Za efekty pracy wyróżniony zostałem indywidualną nagrodą Rektora II stopnia za osiągnięcia dydaktyczne w 2009 r.

W latach 2007-2009 byłem kierownikiem studiów podyplomowych pn. Zarządzanie Międzynarodowymi Przedsięwzięciami Górniczymi, w ramach projektu „Podnoszenie kwalifikacji kadry średniego szczebla KGHM Polska SA” w ramach Sektorowego Programu Operacyjnego Rozwój Zasobów Ludzkich. Studia Podyplomowe realizowane były przez Akademię Górniczo-Hutniczą w Krakowie – Wydział Górnictwa i Geoinżynierii na podstawie umowy o dofinansowanie projektu, który realizowany był pod nadzorem Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości (PARP) i finansowany ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego UE, programu Kapitał Ludzki. W ramach pełnionych obowiązków odpowiedzialny byłem za sprawy organizacyjne oraz nadzór nad prawidłowym przebiegiem działań prowadzonych na Uczelni, współpracę z liderem projektu, tj. Instytutem Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk (IGSMiE PAN) w Krakowie oraz bieżącą i końcową sprawozdawczość z realizacji zadania do PARP.

Za szczególne zasługi dla oświaty i wychowania w 2011 roku otrzymałem od Ministra Edukacji Narodowej Medal Komisji Edukacji Narodowej.

W latach 2008-2011 prowadziłem na Wydziale Górnictwa i Geoinżynierii Projekt dydaktyczny pn. „Fabryka Inżynierów” realizowany przez Akademię Górniczo-Hutniczą im. St. Staszica w Krakowie współfinansowany ze środków Unii Europejskiej, z Europejskiego Funduszu Społecznego, w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki; Priorytet IV Szkolnictwo wyższe i nauka; Działanie 4.1 Wzmocnienie i rozwój potencjału dydaktycznego uczelni oraz zwiększenie liczby absolwentów kierunków o kluczowym znaczeniu dla gospodarki opartej na wiedzy; Poddziałanie 4.1.1. Wzmocnienie potencjału dydaktycznego uczelni. W ramach projektu organizowałem i koordynowałem na poziomie Wydziału wizyty studyjne dla studentów, staże naukowe zagraniczne dla pracowników, staże przemysłowe krajowe oraz spotkania panelowe absolwentów z przedstawicielami wiodących przedsiębiorstw w branży wydobywczej. Wsparciem objętych zostało blisko 500 studentów. Z budżetu projektu sfinansowano także 12 trzymiesięcznych staży krajowych oraz 9 miesięcznych staży zagranicznych, których beneficjentami byli pracownicy naukowo-dydaktyczni Wydziału.

Za swoją pracę wyróżniony zostałem zespołową nagrodą Rektora II stopnia za osiągnięcia naukowe w 2012 r.

W 2012 roku podjąłem współpracę z Izbą Gospodarczą Wodociągów Polskie (IGWP) w Bydgoszczy, dla której prowadziłem szkolenia i warsztaty organizowane przez Izbę dla kierowników oraz kadry operatorskiej ujęć głębinowych. W odpowiedzi na pojawiające się zapotrzebowanie do podnoszenia kwalifikacji kadry wyższej w zakresie eksploatacji ujęć głębinowych, w 2012 roku z mojej inicjatywy powołano na Wydziale Górnictwa i Geoinżynierii AGH studia podyplomowe pn. Eksploatacja Ujęć Wód Podziemnych, których

jestem od początku kierownikiem. Dotychczas odbyły się trzy edycje studiów, na których naukę ukończyło około 50 osób. Kadre dydaktyczną studiów stanowią pracownicy Wydziałów: Górnictwa i Geoinżynierii, Wiertnictwa Nafty i Gazu AGH a także pracownicy naukowcy innych krajowych uczelni wyższych – specjaliści współpracujący z IGWP. W ramach w/w studiów podyplomowych prowadziłem zajęcia z przedmiotu *Hydraulika Studzienna*, do którego napisałem autorski program. Prowadziłem także zajęcia na studiach podyplomowych pn. *Górnictwo Odkrywkowe* z przedmiotu *Odwodnienie z elementami hydrogeologii*.

Jestem promotorem 21 prac inżynierskich i 33 prac magisterskich, a także kilkudziesięciu recenzji prac tego typu. Byłem opiekunem kilku referatów studenckich przygotowywanych w ramach corocznej Studenckiej Sesji Kół Naukowych. Kilkukrotnie moi podopieczni zostali laureatami swoich sesji naukowych. Obecnie jestem promotorem pomocniczym w przewodzie doktorskim *Metoda oceny sprawności hydraulicznej studni głębinowych na podstawie krótkotrwałych próbnych pompowań* mgr inż. Karoliny Kaznowskiej-Opala.

Jestem redaktorem i współautorem skryptu stanowiącego pomoc dydaktyczną dla studentów odbywających zajęcia w laboratorium Hydrologii i Hydrauliki Geoinżynierskiej:

1. POLAK K (red.), Galiniak G., Kaznowska-Opala K., Pawlecka K., Polak K., Rózkowski K., Sikora M. - *Przewodnik do geoinżynierskich badań hydraulicznych*; — Kraków: Wydawnictwa AGH, 2014. — 131, [1] s. — (Skrypty Uczelniane) Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie.

W związku z powyższym, w 2015 roku wraz z zespołem autorskim zostałem wyróżniony nagrodą III stopnia Rektora AGH za osiągnięcia dydaktyczne.

W latach 2008-2012 byłem kierownikiem wspomnianego wyżej laboratorium. Od roku 2015 jestem kierownikiem laboratorium Geohydrauliki w Centrum Energetyki AGH (w organizacji).

W latach 2013-2017 pełniłem funkcję zastępcy kierownika Katedry Górnictwa Odkrywkowego ds. dydaktycznych. Odpowiedzialny byłem za prowadzenie spraw dydaktycznych w Katedrze a także współpracę z dziekanami ds. dydaktycznych. Brałem aktywny udział w układaniu nowych siatek godzin, opracowaniu programów oraz wdrożeniu systemu Syllabus dla specjalności: Górnictwo Odkrywkowe oraz Inżynieria Kształtowania Środowiska na II stopniu studiów. Brałem także aktywny udział przy opracowaniu siatek godzin dla I stopnia studiów, zarówno dla kierunku Górnictwo i Geologia, jaki i Inżynieria Środowiska.

Moja działalność dydaktyczna w ocenach okresowych pracownika i ankietach studenckich oceniania była wysoko, o czym świadczy fakt, że dwukrotnie, tj. w latach akademickich 2013/14 oraz 2014/15 znalazłem się wśród najwyższej ocenianych przez studentów pracowników Wydziału. W związku z tym w 2016 r. zostałem wyróżniony nagrodą II stopnia Rektora AGH za osiągnięcia dydaktyczne.

Tabela 7. Nagrody

Rok	Nagroda
2009	Indywidualna nagroda II stopnia Rektora AGH za osiągnięcia dydaktyczne
2011	Minister Edukacji Narodowej, Medal Komisji Edukacji Narodowej
2012	Zespołowa nagroda Rektora II AGH stopnia za osiągnięcia naukowe
2015	Zespołowa nagroda III stopnia Rektora AGH za osiągnięcia dydaktyczne
2016	Indywidualna nagrodą II stopnia Rektora AGH za osiągnięcia dydaktyczne

4.3 DOŚWIADCZENIE NAUKOWE ZDOBYTE W KRAJU I ZA GRANICĄ ORAZ DZIAŁALNOŚĆ ORGANIZACYJNA I POPULARYZATORSKA

W 2007 roku byłem członkiem komitetu organizacyjnego Polskiego Kongresu Górniczego, w ramach którego organizowałem wystawę ciężkiego sprzętu górniczego na terenie uczelni, a także korodowałem organizację pokazu sprzętu górniczego w Kopalni Wapienia Czatkowice. W 2008 roku byłem członkiem komitetu organizacyjnego Światowego Kongresu Górniczego na Wydziale. W 2009 roku byłem członkiem komitetu organizacyjnego obchodów 90-lecia Wydziału Górnictwa i Geoinżynierii AGH.

Oprócz pracy związanej z organizowaniem kongresów i konferencji o tematyce górniczej brałem udział w konferencjach i kongresach o zasięgu krajowym i międzynarodowym. Do najważniejszych, na których prezentowałem rezultaty swojej pracy badawczej, zaliczam:

1. 24th World Mining Congress, 18-21 Październik 2016, Rio de Janeiro (Brazylia), gdzie wygłosiłem referat pt. *Improvement Of Drainage Wells Efficiency*,
2. 11th Congress of the International Mine Water Association, IMWA Congress 2011, Mine Water – Managing the challenges, 4–11 września 2011, Aachen (Niemcy), na której przedstawiłem referat pt.: *The method of wells' efficiency estimation*,
3. International Mining Forum: Mine safety and efficient exploitation facing challenges of the 21st century: 19–21 September 2010, Huainan (Chiny), gdzie wygłosiłem referat pt. *Comparison of methods used in Poland for the evaluation of dewatering wells*.

Brałem także czynny udział, w tym wygłaszając referaty, w konferencjach międzynarodowych organizowanych w Polsce, m.in.:

- International Mine Water Association Congress (Katowice-Ustroń, IMWA 1999),
- Światowy Kongres Górnictwa, Katowice-Kraków (2008),
- Międzynarodowy Kongres Górnictwa Brunatnego (2016, 2014, 2011)
- I Polsko-Niemieckie Forum Rekultywacji i Rewitalizacji Obszarów Pogórnicznych (2012)

- III Polsko-Niemieckie Forum Rekultywacji i Rewitalizacji Obszarów Pogórnicznych (2014, członek komitetu naukowego)
- II International Mining Forum, Krakow 2012

Szczegółowe zestawienie konferencji o zasięgu międzynarodowymi i krajowym, w których brałem aktywny udział zawiera załącznik 6.

Przygotowywałem także kilkanaście recenzji prac publikowanych w materiałach konferencyjnych, m.in.:

- Międzynarodowy Kongres Górnictwa Brunatnego,
- Zajazd Górnictwa Odkrywkowego,
- Szkoła Górnictwa Odkrywkowego,
- Hydrogeologia w Praktyce – Praktyka w Hydrogeologii,
- Jesienne Spotkania z Techniką Pompową,

a także do czasopism, m.in.:

- Mine Water and Environment (6),
- Archives of Mining Sciences = Archiwum Górnictwa (1),
- Water (1),
- Górnictwo Odkrywkowe (2),
- Górnictwo i Geoinżynieria (4).

W 2017 roku napisałem słowo wstępne do książki pt. *Podręcznik eksploatacji pomp w wodociągach i kanalizacji*, Wydawnictwo „Seidel-Przywecki” Sp. z o.o., 2017, której autorami są: Strączyński M., Pakuła G., Urbański P., Solecki J.

Zawodowe doświadczenia praktyczne zdobywałem także na stażach przemysłowych, tj.: w RWE Power AG (lipiec 2009), PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna SA, Oddział KWB Bełchatów SA (październik-grudzień 2011), które pozwoliły mi na przeprowadzenie doświadczeń w warunkach operacyjnych oraz sprecyzowanie planów badawczych. Efektem tego jest wzbogacenie funkcjonalności laboratorium Hydrogeologii w nowe narzędzia, a także doskonalenie techniki metod przetwarzania danych pomiarowych.

W związku z prowadzonymi pracami nad zastosowaniem innowacyjnych rozwiązań z zakresu automatyki i informatyki w ujęciach oraz studniach głębinowych prezentowałem wielokrotnie wypracowane rozwiązania krajowym i zagranicznym grupom wizytującym, m.in.: delegacjom z uczelni i instytucji administracji centralnej Chin, Wietnamu, Indii, a także oficjalnej delegacji Ministerstwa Wody z Tanzanii (13.11.2018), dla której w ramach wizyty w Laboratorium Geohydrauliki Centrum Energetyki AGH zaprezentowałem najnowsze osiągnięcia z zakresu diagnostyki studni głębinowych. Wspomniane zagadnienia były przedmiotem wizyty, w ramach programu Erasmus+, Asst. Prof. Dr. Omerul Faruk Dursun (22-27.05.2017 r.), specjalisty z zakresu gospodarki wodnej z Wydziału Inżynierii Malatya İnönü University. Wizyta ta była także okazją do zapoznania się z problemami gospodarowania wodą w mieście Malatya, w Turcji.

Wyniki prac rozwojowych związanych z diagnostyką efektywności energetycznej i sprawności hydraulicznej studni głębinowych były przeze mnie rozpowszechniane także na

targach branżowych i konferencjach towarzyszących (np. Wasser Berlin International 2017, Aqua Ukraine 2018, Wod-KAN-ECO Łódź 2018) oraz bezpośrednio w przedsiębiorstwach wodociagowych i wykonawców usług specjalistycznych (np. MPWiK w Olsztynie, Podkarpacki Konwent Spółek Samorządowych, Wodociągi Kościańskie Sp. z o.o., WiK Lublin, German Water and Energy Group Pol-Bud Łódź Sp z o.o., Röhrenwerk Kupferdreh Carl Hamm GmbH, Essen).

Prezentacje opracowanych rozwiązań na forach wodociagowych owocuje rosnącym zainteresowaniem opracowaną technologią, zarówno przez przedsiębiorstwa branży wodociagowej, jak i firm inwestujących w rozwój i wdrażanie nowoczesnych technologii. W związku z tym, aktualnie trwają prace przygotowawcze do powołania spółki akademickiej w Krakowskim Centrum Innowacyjnych Technologii InnoAGH Sp. z o.o., przy współudziale inwestora krajowego. W ramach przedsięwzięcia planuje się implementację wiedzy do informatycznego systemu diagnostyki nadzorującej eksploatację studni głębinowych oraz dalszy rozwój know-how.



Dr inż. Krzysztof Polak