

Załącznik nr 2

A U T O R E F E R A T

Dr inż. Dariusz Knez

Katedra Wiertnictwa i Geoinżynierii
Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

Spis treści

1. Imię i nazwisko	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytuł rozprawy doktorskiej.....	3
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych	3
4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016r. poz. 1311).....	4
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych i organizacyjnych	11
5.1 Działalność naukowo badawcza	11
5.2 Działalność dydaktyczna i popularyzatorska.....	22
5.3 Działalność organizacyjna.....	25

1. Imię i nazwisko

Imię i nazwisko: Dariusz Knez

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytuł rozprawy doktorskiej

Tytuł: magister inżynier
Rok uzyskania: 1993 r.
Miejsce uzyskania: Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu

Stopień naukowy: doktor nauk technicznych
w dyscyplinie: górnictwo, specjalność: geotechnika
Rok uzyskania: 1999 r.
Miejsce uzyskania: Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu

Tytuł rozprawy doktorskiej: Przepływy zaczynów uszczelniających sporządzonych na
osnowie spoiw organicznych w skałach niespoistych strefy
przyotworowej

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

1993 – 1994 – teaching assistant

New Mexico Institute of Mining and Technology (USA)

1994 – 1999 – asystent

Zakład Wiertnictwa

Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

2002 – 2007 – starszy wykładowca

Zakład Kształtowania Środowiska

Instytut Politechniczny

Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Krośnie

1999 – nadal – adiunkt

Katedra Wiertnictwa i Geoinżynierii

Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016r. poz. 1311)

a) Tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego.

Naprężenie działające na materiał podsadzający szczelinę hydrauliczną oraz badanie odporności podsadzki na zgniatanie.

b) Autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa.

Monografia:

Dariusz Knez, Naprężenie działające na materiał podsadzający szczelinę hydrauliczną oraz badanie odporności podsadzki na zgniatanie, Kraków 2017, Wydawnictwa AGH, Rozprawy Monografie nr 329, Akademia Górniczo - Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, ISSN 0867-6631, ISBN 978-83-7464-884-4

c) Omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Opis zagadnienia

Szczelinowanie hydrauliczne stosowane jest w przemyśle naftowym i gazowniczym od lat czterdziestych ubiegłego wieku. Dopiero jednak ostatnie trzydziestolecie przyniosło gwałtowny rozwój nauki i techniki w tym zakresie. Praktyka przemysłowa pokazuje, że po wykonaniu zabiegu szczelinowania już w pierwszym roku eksploatacji następuje szybki spadek wydobycia. Światowe badania naukowe pozwoliły na zidentyfikowanie kilku przyczyn tego zjawiska, wśród których należy wymienić: mechaniczne kruszenie materiału

podszkawkowego, wgniatanie jego ziaren w ścianę szczeliny, odłupywanie okruchów skały na powierzchni szczeliny, migracja cząstek górotworu z przestrzeni porowej, niekorzystne oddziaływanie płynu szczelinującego, cykliczne zmiany naprężeń, osiadanie cząstek ciężkich węglowodorów na drodze przepływu, itd. Stąd też badania materiału podszkawkowego i działającego na niego naprężenia wpisują się w sposób istotny w ten nurt zagadnień.

Poza szczelinowaniem hydraulicznym złoża materiał podszkawkowy ma zastosowanie w wiertnictwie w technologii wzmocnienia ściany otworu wiertniczego, co znalazło odbicie w mojej monografii. W praktyce wiertniczej spotyka się sytuacje, gdy przy przewiercaniu danego interwału następują ucieczki lub zaniki płuczki. Od lat stosowane są różne metody walki z tym zjawiskiem. Konwencjonalne techniki mogą jednak być niewystarczające, szczególnie gdy warunki naturalne lub działalność człowieka są przyczyną małej różnicy pomiędzy ciśnieniem złożowym a ciśnieniem szczelinowania. Dobrym rozwiązaniem jest wówczas sztuczne indukowanie wzrostu wartości naprężenia obwodowego na ścianie przy użyciu technologii wzmocnienia ściany otworu. Polega ona na kontrolowanym wykonaniu krótkiej szczeliny i podparciu jej materiałem podszkawkowym. Zalecane jest stosowanie tej metody w skałach przepuszczalnych, ponieważ umożliwiają one przepływ filtratu płuczki do przestrzeni porowej a następnie zaciśnięcie się szczeliny na podpierającym ją materiale. Bardzo istotne jest prawidłowe dobranie parametrów reologicznych płuczki, gdyż mają one wpływ na szerokość sztucznie wygenerowanej szczeliny. Niezbędne są także badania geofizyczne w celu określenia parametrów mechanicznych skał. Źle zaprojektowana reologia płynu wiertniczego lub nieprawidłowe oszacowanie właściwości mechanicznych przewiercanej formacji skutkują zazwyczaj niepowodzeniem zabiegu wzmocnienia ściany otworu wiertniczego. Na podstawie tych wielkości generowany jest model numeryczny szczeliny. Do jej wyliczonej szerokości dobierane jest uziarnienie materiału podszkawkowego. W przypadku zastosowania błędnych danych do modelu numerycznego może się okazać, że dobrano ziarna o zbyt dużej średnicy, co uniemożliwia skuteczne zatłoczenie ich i podparcie szczeliny.

Prawidłowe oszacowanie naprężenia działającego na materiał podszkawkowy szczelinę jest bardzo istotnym elementem projektowania procesu szczelinowania hydraulicznego. Najważniejszym składnikiem równań jest minimalne naprężenie główne. Jego wartość może być określona na podstawie modeli teoretycznych lub przy użyciu wyników pomiarów terenowych. Wiedza ta nie jest wciąż wystarczająco pogłębiona.

Zarówno dane z badań laboratoryjnych jak i terenowych wskazują na ważną rolę procesu diagenety materiału podsadzkowego w kształtowaniu parametrów eksploatacyjnych szczeliny hydraulicznej. Aby ocenić przydatność danego materiału do zastosowania w oczekiwanym stanie naprężeń w złożu powszechnie stosuje się procedurę laboratoryjną z norm API RP 56, API RP 19C, (w Polsce odpowiada jej norma PN-EN ISO 13503-2:2010, 2010). W efekcie procesu diagenety na ziarnach podsadzki osadza się materiał wytrącony z przepływającego płynu, co powoduje poważny błąd przy interpretacji wyników testu na zgniatanie.

Cele pracy przedstawione w monografii

Celem pracy było zrealizowanie trzech zadań: po pierwsze, znalezienie bardziej dokładnej metody estymacji wartości naprężenia działającego na materiał podpierający szczelinę w przypadku technologii wzmocniania ściany otworu wiertniczego oraz w szczelinowaniu hydraulicznym złoża; po drugie, opracowanie metodyki pomiaru wartości gradientu szczelinowania w trakcie procesu wiercenia w odpowiednich warunkach geologiczno-technicznych przy niewielkim dodatkowym nakładzie kosztów prac wiertniczych; po trzecie, modyfikacja normowego badania odporności na zgniatanie podsadzki po procesie diagenety, tak by uniknąć błędnej interpretacji wyników.

Zakres i wyniki przeprowadzonych prac

Obecnie stosowane metody analityczne nie pozwalają na precyzyjne obliczenie naprężenia działającego na materiał podsadzkowy. Metody numeryczne wymagają specjalistycznego oprogramowania i trudnych do uzyskania danych. Tymczasem naprężenie jest najważniejszą wielkością, jaką należy się kierować przy doborze podsadzki. W monografii przeanalizowane zostały współczesne metody określania stanu naprężeń. Pomiar w otworach wiertniczych, podczas ich wykonywania jak i po zakończeniu wiercenia, pozwalają na gromadzenie informacji, które wykorzystywane są do wyznaczania wielkości naprężeń a szczególnie naprężeń głównych panujących w górotworze. Ich znajomość pozwala na określenie: dominującego kierunku propagacji szczelin, ich parametrów przestrzennych oraz naprężenia działającego na materiał podsadzkowy. Pod koniec ubiegłego wieku międzynarodowe firmy wiertnicze wprowadziły do praktyki przemysłowej geomechaniczny model górotworu – MEM (Mechanical Earth Model). Jest to zintegrowany z pomiarami terenowymi numeryczny model warstw geologicznych z uwzględnieniem panującego w nich

stanu naprężeń. Zawiera on takie informacje jak: charakterystyka petrograficzna warstw, uskoki i budowa tektoniczna, głębokości zalegania stropu i spągu oraz kąty upadu warstwy, parametry naturalnych szczelin, obecność płaszczyzn osłabienia, takich jak np. kliważ, wytrzymałość doraźna na ściskanie, współczynnik Poissona, moduł Younga, kierunki i wartości naprężeń głównych, kąt tarcia wewnętrznego, ciśnienie złożowe, prawdopodobieństwo zaistnienia poszczególnych cech górotworu, prawdopodobieństwo zajścia awarii i komplikacji wiertniczych, dane z badań geofizycznych. Kluczową wielkością, potrzebną do określenia naprężenia ściskającego materiał podsadzkowy, jest minimalne naprężenie główne. W praktyce często jest ono równe minimalnemu naprężeniu poziomemu. Jest ono wyznaczone na podstawie danych z testów terenowych wykonywanych w otworach wiertniczych lub na drodze analitycznej. W monografii przeanalizowałem modele analityczne naprężeń panujących w złożu. Na ich podstawie napisany został program komputerowy pozwalający na obliczenie naprężeń w danym punkcie lub na płaszczyźnie propagacji szczeliny.

W monografii wyróżniłem dwa przypadki, dla których opracowałem dokładniejsze metody estymacji wartości naprężenia działającego na materiał podsadzkowy. Pierwszy to wzmocnienie ściany otworu wiertniczego. Materiał podsadzkowy utrzymuje większe rozwarcie szczeliny, które powoduje też odpowiednio większe naprężenie indukowane działające na ten materiał. W otworze kierunkowym należy uwzględnić zmianę stanu naprężeń na jego ścianie wraz ze zmianą kierunku wiercenia. Monografia przedstawia równania opisujące zmianę naprężeń normalnych i stycznych na ścianie kierunkowego otworu wiertniczego. Zakładając, że osad płuczkowy mocno utrudnia komunikację płynu wiertniczego z płynem złożowym, oraz że doraźna wytrzymałość skał na rozciąganie jest pomijalnie mała w porównaniu do naprężeń głównych można skorzystać z równania na minimalną wartość ciśnienia inicjacji szczeliny w otworze kierunkowym w celu określenia naprężenia działającego na materiał podsadzkowy. Ważnym elementem mojej modyfikacji jest uwzględnienie naprężenia indukowanego szczelinowaniem oraz zmian właściwości mechanicznych skał. W pracy przedstawiłem metodykę badań laboratoryjnych rdzeni wiertniczych, pozwalającą na określenie dynamicznych wartości modułu Younga i współczynnika Poissona w zależności od temperatury i ciśnienia. Cyrkulacja płuczki wiertniczej powoduje zmianę temperatury i ciśnienia działającego na skały w strefie przyotworowej. Dlatego też funkcje opisujące zmianę modułu Younga i współczynnika

Poissona w zależności od ciśnienia i temperatury powinny być uwzględnione przy wyznaczaniu naprężenia działającego na materiał podsadzkowy.

W swojej pracy rozpatrzyłem także drugi przypadek, gdy naprężenie działa na materiał podsadzkowy zatłoczony w procesie szczelinowania hydraulicznego złoza. W najprostszym podejściu stosowanym w przemyśle określa się wartość naprężenia działającego na podsadzkę, korzystając z modelu USM, jako różnicę między ciśnieniem zamknięcia szczeliny a ciśnieniem dynamicznym na dnie odwiertu. Bardziej zaawansowane podejście uwzględnia anizotropię ośrodka typu VTI i naprężenie wywołane wpływami tektonicznymi. Zaproponowałem uwzględnienie także wpływu temperatury na właściwości mechaniczne skał a co za tym idzie na naprężenie, jakie działa na materiał podsadzkowy. Na skutek zabiegu szczelinowania zmienia się ciśnienie, jakiemu poddawana jest skała otaczająca szczelinę. Dlatego też należy uwzględnić modyfikację modułu Younga i współczynnika Poissona wyznaczając wartość naprężenia działającego na podsadzkę. Istotnym czynnikiem jaki wpływa na wartość minimalnego naprężenia głównego są zmiany ciśnienia złożowego podczas eksploatacji, stąd wartość naprężenia jakie przenoszą ziarna podsadzki będzie się zmieniać w trakcie eksploatacji złoza. Podtrzymywanie danej rozwartości szczeliny przez podsadzkę generuje dodatkowe naprężenie indukowane działające na jej ziarna. Zaproponowałem uwzględnienie wyżej wymienionych czynników w obliczeniach naprężenia zgniatającego.

Jako uzupełnienie istniejących metod terenowych opracowałem nową metodykę pomiaru wartości gradientu szczelinowania podczas procesu wiercenia generującą niewielkie koszty dodatkowe. W szczególnej sytuacji, gdy nie obserwuje się ucieczek płuczki podczas zatrzymanej cyrkulacji a pojawiają się one po rozpoczęciu wiercenia, istnieje szansa na pozyskanie ważnej informacji. Główne wysiłki załogi wiertniczej skupiają się wówczas na likwidacji ucieczki, tymczasem może ona pozwolić na określenie wartości minimalnego naprężenia poziomego. Po zatrzymaniu pracy pomp należy wznowić cyrkulację powoli zwiększając liczbę suwów pompy płuczkowej. Ciśnienie w danym punkcie ściany otworu wiertniczego równe będzie sumie ciśnienia hydrostatycznego i oporów przepływu w przestrzeni pierścieniowej. Te ostatnie można obliczyć korzystając z parametrów reologicznych płuczki, wymiarów przestrzeni pierścieniowej i średniej prędkości przepływu w danym przekroju. Należy zanotować krytyczną liczbę suwów, przy której zaobserwowane zostaną objawy ucieczki płuczki. W zależności od typu pomp (duplex lub triplex) wyznacza się strumień objętości przepływu płuczki przy krytycznej liczbie suwów. W sytuacji gdy nie

zaobserwowano ucieczki należy rozpocząć wiercenie. Zwierciny zawieszane w płuczce spowodują wzrost jej średniej gęstości i ciśnienia hydrostatycznego, co spowoduje obserwację objawów ucieczki płuczki. Podane w monografii zależności pozwalają na obliczenie gradientu szczelinowania w zależności od prędkości wiercenia i liczby suwów pompy płuczkowej. Większość wielkości jakie wchodzi do obliczeń ma wartość nie zależną od załogi wiertni, może ona regulować jedynie: gęstość płuczki, jej parametry reologiczne, strumień objętości tłoczony płuczki i prędkość wiercenia.

Praca ta przedstawia również wagę zagadnienia diagenety podsadzki i obecne metody oceny odporności ziaren na działające na nie naprężenie. Światowe badania zmian zachodzących w szczelinie hydraulicznej w warunkach złożowych wykazały istotny wpływ czasu, składu wód złożowych i temperatury na właściwości podsadzki. Zauważono dużą zbieżność ze zjawiskiem diagenety zachodzącym w procesach geologicznych i dlatego zaczęto używać tego samego terminu również do zmian zachodzących we właściwościach podsadzki. W ramach pracy wykonanych zostało wiele pomiarów laboratoryjnych odporności na zgniatanie piasków i materiałów ceramicznych (opisanych w monografii) zgodnie z polską normą PN-EN ISO 13503-2:2010, 2010 (bazującą na normie API). Porównanie z rezultatami testu odporności na zgniatanie tych samych próbek, ale poddanych kondycjonowaniu (w płynie zwrotnym i sztucznej wodzie złożowej) wyłoniło nietypowe wyniki. Procedura zalecana przez normy API zawodzi w przypadku badań materiałów podsadzkowych, które wykazują zmiany właściwości w warunkach złożowych. W monografii przedstawiłem dotychczasowe alternatywne metody badania odporności ziaren po procesie diagenety wskazując na ich mocne i słabe strony. Aby uniknąć błędnej interpretacji konieczne było zmodyfikowanie procedury badawczej według API, tak by umożliwiła ona stwierdzenie czy diagenety wpływa na odporność na zgniatanie wytworzonego w jej efekcie konglomeratu w porównaniu z odpornością materiału wyjściowego. Zaproponowałem włączenie pomiaru odkształcenia jednostkowego podczas testu na zgniatanie w celu sprawdzenia, czy odporność konglomeratu zmieniła się w porównaniu do odporności próbek przed kondycjonowaniem. Zaobserwowałem duży rozrzut wyników i słabą powtarzalność pomiarów dla próbek o małym upakowaniu ziaren. Dlatego zastosowałem maksymalne zagęszczenie próbek przez wibrowanie, co znacznie poprawiło powtarzalność wyników. Zmodyfikowana procedura badawcza wykazała jednoznacznie spadek odporności na zgniatanie konglomeratu uzyskanego po procesie kondycjonowania.

Podsumowując stwierdzam, że paca ma aspekty teoretyczne jak i praktyczne. Zaproponowałem model matematyczny pozwalający na dokładniejsze określenie naprężenia działającego na materiał podsadzkowy w technologii wzmacniania ściany otworu wiertniczego. Dotychczasowe rozwiązania analityczne są niewystarczające. Natomiast metody numeryczne wymagają specjalistycznego oprogramowania. Kłopotliwe jest również zgromadzenie wszystkich danych do modelu numerycznego w warunkach terenowych. Przedstawiłem także model matematyczny pozwalający na dokładniejsze określenie naprężenia działającego na materiał podsadzkowy w szczelinie wykonanej podczas zabiegu stymulacji złoża ropy lub gazu. Uwzględnia on zmiany właściwości mechanicznych skał, zmiany naprężenia wywołane szczelinowaniem i spadek ciśnienia złożowego w trakcie eksploatacji. Podałem nową metodykę określania gradientu szczelinowania w trakcie procesu wiercenia w strefach ucieczek płuczki wiertniczej w odpowiednich warunkach geologicznych i technicznych. Umożliwia ona pozyskanie ważnej informacji przy niewielkim nakładzie czasu pracy. Powszechnie stosowane normy API i ISO nie pozwalają na prawidłowe określenie odporności na zgniatanie w przypadku materiału podsadzkowego poddanego procesowi diagenety. W ostatnich latach pojawiły się metody laboratoryjne oparte na badaniu wytrzymałości pojedynczego ziarna lub analizie zmiany naprężenia w czasie badania próbki. Ich wadą jest konieczność stosowania specjalistycznej aparatury oraz problem z jednoznaczną interpretacją wyników. Wprowadziłem metodykę pomiaru laboratoryjnego znacznie modyfikującą procedurę norm API oraz ISO. Pozwala ona na stwierdzenie czy po procesie diagenety zmieniła się odporność na zgniatanie badanego materiału podsadzkowego.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych i organizacyjnych

5.1 Działalność naukowo badawcza

Okres przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora nauk technicznych (1994-1999)

Moje zainteresowania naukowe skupiały się wokół wiertnictwa, geoinżynierii i geotechniki. Doktorat dotyczył przepływu zaczynów uszczelniających w zabiegu iniekcji otworowej.

W latach 1994-1999 opublikowałem 12 prac z zakresu geoinżynierii i symulacji komputerowej w czasopismach naukowych i materiałach konferencyjnych (głównie międzynarodowych) uczestniczyłem także w 2 pracach na zlecenie przemysłu i byłem wykonawcą grantu promotorskiego. W swojej pracy naukowo – badawczej zajmowałem się problematyką iniekcji otworowej ze szczególnym uwzględnieniem badań przepływu zaczynów uszczelniających w ośrodku gruntowym oraz zastosowaniem symulacji komputerowej do opisu przepływów nienewtonowskich w ośrodku porowatym. Stopień doktora uzyskałem broniąc pracę pt. „Przepływy zaczynów uszczelniających sporządzonych na osnowie spoiw organicznych w skałach niespoistych strefy przyotworowej” w 1999 r.

Okres po uzyskaniu stopnia naukowego doktora nauk technicznych (1999-2017)

Po uzyskaniu stopnia doktora moje zainteresowania naukowe rozwijały się w kilku kierunkach. Kontynuowałem prace w zakresie geoinżynierii, ale szerzej zająłem się tematyką wiertniczą, szczelinowaniem hydraulicznym oraz ochroną środowiska.

W ostatnich latach wiertnictwo znajduje coraz szersze zastosowanie w geoinżynierii. Jednym z najistotniejszych jej zagadnień jest wzmacnianie i uszczelnianie podłoża. Do tego celu służy między innymi technika iniekcji otworowej, która umożliwia zmianę parametrów fizyko-mechanicznych gruntów. W przemyśle stosowane są między innymi chemiczne zaczyny uszczelniające, które najczęściej nie są cieczami newtonowskimi. Stąd bardzo istotnym zagadnieniem jest prawidłowe określenie ich właściwości reologicznych, gdyż lepkość ich zmienia się wraz ze zmianą gradientu prędkości przepływu w uszczelnianym górotworze, elementach armatury i otworze iniekcyjnym. Moje prace obejmowały badania

laboratoryjne właściwości reologicznych chemicznych zaczynów uszczelniających [Zał. 4, II L 1; II E III 11].

Z zakresu geoinżynierii kontynuowałem prace związane z płynami opartymi na osnowie wodno-polimerowej. Znajomość ich właściwości reologicznych jest niezbędna do poprawnego projektowania danego procesu. Określanie właściwości reologicznych cieczy wiertniczych i zaczynów uszczelniających bazuje dotychczas na dwóch podstawowych metodach. Pierwsza pochodzi z norm API. Druga dokładniejsza służy do określenia najlepiej pasującego modelu reologicznego metodą regresji liniowej. Obie dotychczas stosowane metody są niewystarczające, gdy chcemy określić parametry reologiczne cieczy o składnikach charakteryzujących się pewną zmiennością cech. Nowe technologie zaczynów iniekcyjnych szeroko korzystają z polimerów jako jednego z najważniejszych składników. Cechą charakterystyczną polimeru jest zmienność jego właściwości dla produktów pochodzących z różnych partii produkcyjnych. Zaproponowałem nową metodę opracowywania wyników badań laboratoryjnych, których przedmiotem jest określenie właściwości reologicznych płynów zawierających polimery. Opiera się ona na analizie statystycznej wpływu zmienności parametrów składników na właściwości otrzymanej cieczy geoinżynierskiej [Zał. 4, II E III 9].

Stosowane w geoinżynierii zaczyny są najczęściej zawiesinami. W ramach badań wykonany został model numeryczny przepływu zawiesiny podczas zatłaczania płynu wiertniczego do otworu. Jednym z zagadnień mających istotny wpływ na rozumienie przepływu płynów w geoinżynierii jak i w wiertnictwie jest kolmatacja. Ma ona miejsce w wielu metodach geoinżynierskich wzmocnienia i uszczelniania gruntu jak i w procesie wiercenia otworu. Dotychczasowe badania zarówno w kraju jak i na świecie nie dały pełnego opisu tego zjawiska. Moje prace przyczyniły się do lepszego zrozumienia procesu. W tym celu zastosowane zostało nowoczesne narzędzie badawcze jakim jest symulacja komputerowa. Badania laboratoryjne przeprowadzone zostały na sztucznym ośrodku porowatym. Obliczenia numeryczne pozwoliły na określenie zachowania zawiesiny w trakcie przepływu przez ten ośrodek porowaty. Jako wynik prac uzyskano trójwymiarową mapę ciśnienia i prędkości przepływu zawiesiny w ośrodku porowatym. Zaobserwowano zjawiska znane z praktyki przemysłowej i badań laboratoryjnych: zmiany koncentracji zawiesiny z odległością od brzegu modelu ośrodka porowatego jak i zjawisko ponownego odrywania cząstek od ściany ośrodka porowatego [Zał. 4, II L 10].

Na przełomie XX i XXI wieku do światowego wiertnictwa wkroczyła nowa dziedzina wiedzy zwana zrównoważonym rozwojem lub ekorozwojem. Dotychczasowa działalność w zakresie eliminacji zagrożeń spowodowanych degradacją środowiska naturalnego, sprowadzała się do usuwania niekorzystnych skutków postępu technicznego. Zupełnie inne podejście proponuje idea zrównoważonego rozwoju, która zaczęła się rozwijać w państwach zachodnich pod koniec lat osiemdziesiątych. Zamiast niekontrolowanej eksploatacji ziemi proponuje ona zrównoważony wzrost gospodarczy ze wszystkimi jego aspektami pozwalający przyszłym pokoleniom na życie według standardów nie niższych od dzisiejszych bez przerzucania na nie odpowiedzialności za skutki współczesnej działalności. Moje prace były próbą określenia nowych trendów w polityce firm zajmujących się poszukiwaniem i eksploatacją węglowodorów [Zał. 4, II L 3; II E III 1]. Modele statystyczne opracowane zostały we współpracy z Instytutem Matematyki Uniwersytetu Jagiellońskiego [Zał. 4, II L 8]. Część badań poświęcona była analizie zasad zrównoważonego rozwoju w odniesieniu do energii geotermalnej [Zał. 4, II E III 7]. Ten nurt zainteresowań rozwijany był przez lata także poprzez pracę w projektach badawczych mających na celu opracowanie metod utylizacji odpadów wiertniczych. Punktem wyjścia był obecny stan gospodarki odpadami w polskim wiertnictwie. Przeanalizowane zostały źródła zanieczyszczeń największej grupy odpadów, jaką stanowią zwierciny. Wytypowano najważniejsze przyczyny ich zanieczyszczenia: biocydy, płyny złożowe, składniki płuczek i cieczy do dowiercania oraz innych płynów wiertniczych, inhibitory korozji. Zaproponowane zostało nowe widzenie gospodarki odpadami wiertniczymi. W miejsce schematu otwartego systemu, zaproponowany został schemat systemu zamkniętego gospodarki odpadami wiertniczymi. Jednym z głównych założeń zrównoważonego rozwoju jest osiągnięcie celu nie deponowania odpadów w środowisku naturalnym. W związku z tym zaproponowany schemat jest ważnym krokiem do osiągnięcia tego celu. Aby można było zastosować go w praktyce konieczne będzie zastosowanie metod obróbki odpadów wiertniczych [Zał. 4, III Q 1; II L 9]. W skład zagadnień w obszarze ochrony środowiska znalazło się także modelowanie komputerowe przepływu zanieczyszczeń w zbiorniku wód podziemnych. W rejonie eksploatacji zbudowany został numeryczny model matematyczny przepływu i bilansu wód podziemnych. Na model przepływu nałożona została symulacja migracji benzenu. W celu zweryfikowania badań modelowych w bezpośrednim sąsiedztwie ogniska zanieczyszczeń odwiercony był otwór rozpoznawczy P-A. Natomiast otwór badawczy posłużył do rozpoznania i monitorowania wód podziemnych oraz do kontroli procesów migracji węglowodorów aromatycznych w

poziomie wodonośnym. Pomiarzy stężeń zanieczyszczeń potwierdziły poprawność modelu numerycznego [Załącznik 4, II E II 2]. W dalszej części prac przeprowadzona została optymalizacja rozmieszczenia otworów pod kątem maksymalizacji efektywności oczyszczania warstwy wodonośnej z produktów ropopochodnych. Symulacja komputerowa pozwoliła na oszacowanie objętości wolnego i rezydualnego produktu ropopochodnego. W wyniku przeprowadzonych obliczeń modelowych określono zasięg oddziaływania zaprojektowanych otworów. Zaproponowano również optymalny sposób pracy systemu technologicznego [Załącznik 4, II E II 7].

Obecnie bardzo ważnym obszarem zastosowań techniki wiertniczej jest wykonywanie otworowych wymienników ciepła. Wymaga ono znajomości wielu zagadnień z różnych dziedzin techniki. W swoich pracach włączyłem się do projektów prowadzonych w tym zakresie w Katedrze Wiertnictwa i Geoinżynierii [Załącznik 4, II E I 5; II E I 6; II E III 3; III B 8]. Zrealizowałem między innymi symulację komputerową przepływu czynnika grzewczego w newralgicznych punktach przestrzeni pierścieniowej. Obliczenia wykonane zostały przy użyciu pakietu Fluent zainstalowanego w Akademickim Centrum Komputerowym Cyfronet AGH. Symulacja komputerowa pozwoliła na liczbowe określenie zmian prędkości pomiędzy poszczególnymi strefami oraz na obserwację przepływu turbulენტnego na odcinku przestrzeni pierścieniowej, gdzie umieszczono złączkę ze skrzydłem centralizatora [Załącznik 4, II E III 2]. Naturalną kontynuacją prac nad geoinżynieryjnymi zaczynami uszczelniającymi były badania zaczynów stosowanych w geotermii [Załącznik 4, II E III 13] i wiertnictwie [Załącznik 4, II A 3]. Zastosowanie zaczynu uszczelniającego, jako materiału zapobiegającego przepływowi płynów wymaga od niego łatwości przetłaczania, odpowiedniej wytrzymałości mechanicznej po stwardnieniu i trwałości w środowiskach korozyjnych. Zaczyny uszczelniające konsolidujące przewody wymiennika ciepła z górotworem oprócz spełnienia powyższych wymagań powinny charakteryzować się dobrą przewodnością cieplną. Przeprowadzanie badań zaczynów uszczelniających pod kątem zastosowania ich w otworowych wymiennikach ciepła oprócz standardowej procedury badania wymaga wykonania dodatkowych pomiarów. Wykonałem badania współczynnika przepuszczalności kamienia cementowego, co pozwoliło na wytypowanie zaczynów zapewniających szczelność płaszcza cementowego [Załącznik 4, II J 5].

Brałem także udział w pracach interdyscyplinarnego zespołu, w skład którego wchodziły pracownicy Zakładu Wiertnictwa i Geoinżynierii Wydziału Wiertnictwa Nafty i Gazu AGH, Wydziału Chemii Uniwersytetu Jagiellońskiego i pracownicy przemysłu. Badania obejmowały opracowanie receptur płuczek wiertniczych z dodatkiem nowo

syntezowanych polimerów. Wyniki opublikowano w licznych artykułach i referatach prezentowanych na konferencjach międzynarodowych. Ważnym efektem tych prac było również moje współautorstwo trzech patentów dotyczących płuczek wiertniczych [Zał. 4, II C 1; II C 2; II C 3]. Zaproponowano zastosowanie nowych płuczek także w geoinżynierii ze względu na to, że są w wysokim stopniu przyjazne dla środowiska naturalnego równocześnie zapewniając zachowanie odpowiednich parametrów technologicznych. Wyniki badań pokazały, że dodatek poliamfolitów korzystnie wpływa na parametry technologiczne płuczek wiertniczych. Przyczynia się do ograniczenia hydratacji skał ilastych, zmniejszenia korozyjności oraz poprawy smarności płuczki. Płuczki poliamfolityczne, ze względu na biodegradowalność są również przyjazne dla środowiska [Zał. 4, II E III 4; II E III 5; II E III 6].

Jednym z warunków skutecznego przeprowadzenia zabiegu cementacji jest zapewnienie dobrego wiązania zaczynu cementowego ze ścianą otworu wiertniczego. Ponieważ w procesie wiercenia na skutek kontaktu płuczki ze skałą zachodzi jej zanieczyszczenie, to konieczne jest oczyszczenie ściany otworu wiertniczego, na której znajduje się osad filtracyjny. Z drugiej strony, zmniejszenie filtracji płuczki i inwazji filtratu w skałę porowatą zwiększa szanse na skuteczne przeprowadzenie zabiegu cementacji. Na podstawie symulacji komputerowej przepływu filtratu płuczki w strefie przyotworowej wykazałem, że dodatek badanego poliamfolitu istotnie zmniejsza zasięg filtratu w skale. Tym samym poza zaletami potwierdzonymi przez wcześniejsze badania można było stwierdzić, że ma także pozytywny wpływ na skuteczność zabiegów cementacji wykonywanych w otworach wierconych przy użyciu płuczki zawierającej nowy poliamfolit [Zał. 4, II L 15].

Moje prace objęły także techniczne i technologiczne aspekty operacji szczelinowania hydraulicznego złóż o niskiej przepuszczalności [Zał. 4, II E III 12; II E I 2; II E I 4]. Wzrost cen ropy naftowej i gazu ziemnego przed obecnym kryzysem spowodował znaczny dopływ dofinansowania do badań naukowych. W ostatnich 20 latach udoskonalono technologię konwencjonalnego wiercenia i udostępniania jak i rozwinięto zupełnie nowe metody. W tym również stymulacja otworów wiertniczych uczyniła bardzo duże postępy. Światowe zapotrzebowanie na gaz ziemny wymusiło zagospodarowanie zasobów złóż gazu ziemnego o niskiej przepuszczalności. Najbardziej skuteczną technologią stymulacji na złożach gazu o bardzo niskiej przepuszczalności okazało się szczelinowanie hydrauliczne. Formacje geologiczne o bardzo niskiej porowatości takie jak łupki ilaste czy zbite piaskowce, charakteryzują się również niską przepuszczalnością. Siły tarcia występujące w trakcie

przepływu są tak wysokie, że strumień objętości płynu dopływającego do odwiertu jest bardzo mały. Dlatego koszt wiercenia, dowiercania i uzbrojenia otworu konwencjonalnego jest nieuzasadniony przez dochód, jaki przynieść może produkcja. Stąd konieczne stało się rozwinięcie nowej technologii umożliwiającej zwiększenie strumienia objętości eksploatowanego płynu. Wykonanie zabiegu szczelinowania otwiera drogę łatwiejszego dotarcia węglowodorów do odwiertu, zwiększa tym samym znacznie strumień objętości dopływającego płynu i umożliwia uzyskanie zysku ze sprzedaży ropy czy gazu ziemnego.

Projektowanie parametrów technologicznych takich jak strumień objętości zatłaczanego płynu, skład chemiczny, właściwości reologiczne, ilość i rodzaj podsadzki, itp. wspomagane jest oprogramowaniem komercyjnym. Część moich badań z tego zakresu została zwieńczona napisaniem programów komputerowych, między innymi uwzględniających istnienie nieciągłości skał. W ujęciu geologicznym naturalne spękania to nieciągłości lub lokalnie występujący rozdział płaszczyzny skały. Gdy naprężenie działające na skałę jest większe od jej wytrzymałości dochodzi do utraty spójności. Spękania, które stają się miejscem zwiększonej przepuszczalności umożliwiają ruch wody, ropy naftowej i gazu. Mogą to być głębokie szczeliny lub drobne pęknięcia. W tym kontekście silnie spękane skały mogą stać się dobrymi drogami filtracji dla złóż węglowodorów lub warstw wodonośnych. Naturalne bądź sztucznie wywołane nieciągłości skały rozdzielające je na dwie lub więcej części mogą zapoczątkować ruch wody, ropy naftowej i gazu. W złożach o niskiej porowatości naturalne szczeliny mogą pomieścić duże ilości węglowodorów, które w dalszej kolejności mogą stać się źródłem wysokowydajnej produkcji. Dlatego istotne jest zrozumienie propagacji szczelin hydraulicznych w obszarze, gdzie znajdują się szczeliny naturalne. Spękania powstają w wyniku działania naprężeń ściskających, rozciągających i ścinających. Naturalne szczeliny mogą również nieść ze sobą potencjalne ryzyko w warunkach wysokiej przepuszczalności, stwarzając problemy z kontrolą warunków otworowych i z równowagą ciśnień w trakcie wiercenia. W celu zapobieżenia problemom wynikającym z obecności naturalnych szczelin (utrata kontroli ciśnienia płuczki, niekontrolowane dopływy płynu złożowego) i najpełniejszego wykorzystania ich zalet należy dokładnie przebadać większość z ich parametrów. W mojej pracy zająłem się modelami matematycznymi opisującymi to zagadnienie a na ich bazie powstał nowy program komputerowy opracowany w Katedrze Wiertnictwa i Geoinżynierii. Obliczenia wykazały, że w trakcie procesu szczelinowania hydraulicznego w naturalnie spękanym zbiorniku część szczelin będzie rozchodzić się wzdłuż naturalnych ścieżek związanych z istniejącymi spękaniem [Zał. 4, II E II 6]. Ważnym

elementem moich prac była analiza warunków geomechanicznych propagacji szczelin. Porównałem parametry geomechaniczne skał łupkowych występujących w największych złożach Stanów Zjednoczonych oraz basenu lubelskiego w Polsce. Stwierdziłem dużą zmienność takich cech jak: porowatość, temperatura, głębokość, zawartość materii organicznej, itp. Następnie przeprowadzone zostały obliczenia wielkości opisujących przestrzenne właściwości szczelin z uwzględnieniem parametrów płynu szczelinującego [Zał. 4, II E II 10]. Jednym z elementów moich badań były pomiary laboratoryjne parametrów reologicznych nowych cieczy szczelinujących zawierających materiał podsadzkowy. Przeprowadzone badania wskazywały na słabą korelację dotychczas powszechnie stosowanego modelu z danymi pomiarowymi, co opisuje niska wartość współczynnika korelacji liniowej Pearsona. W związku z tym zaproponowałem nowy model reologiczny dla tego typu mieszaniny [Zał. 4, II E III 14].

Projektowanie całego procesu szczelinowania hydraulicznego w praktyce inżynierskiej oparte jest na równaniach analitycznych i empirycznych. Dane wprowadzane do modelu matematycznego obarczone są zawsze pewnym błędem. Do najważniejszych wielkości, decydujących o powodzeniu prac stymulacji złoża, należą strumień objętości zatłaczanego płynu szczelinującego i ciśnienie szczelinowania. Głównym celem moich prac było określenie, które dane wejściowe do modelu matematycznego grają największą rolę przy generacji błędów wartości ciśnienia szczelinowania. W tym celu wykorzystana została metoda statystyczna przy użyciu symulacji Monte Carlo [Zał. 4, II A 2]. W wyniku badań stwierdziłem, że nie wszystkie parametry technologiczne jak i geologiczne mają istotny wpływ na wyniki modelu matematycznego. Ma to bardzo istotny wpływ na dobór sprzętu do przeprowadzenia prac związanych ze szczelinowaniem hydraulicznym jak i na projekt samego zabiegu. Dane niezbędne do wykonania projektu pochodzą z badań laboratoryjnych i testów terenowych oraz wynikają z uwarunkowań techniczno-ekonomicznych. Każda z tych wielkości obarczona jest pewnym błędem. Największą niepewnością charakteryzują się wyniki pomiarów właściwości skał. Tutaj największym problemem jest heterogeniczność i anizotropowość górotworu. Bardzo ważną rolę odgrywa także dokładność przyrządów i statystyczne błędy pomiarowe. Powstaje więc pytanie, które wielkości inżynier powinien sprawdzać wyjątkowo skrupulatnie, a które mogą być oszacowane z mniejszą dokładnością z punktu widzenia ich wpływu na efekt końcowy. Ma to tym większe znaczenie praktyczne, gdyż wyższa dokładność pomiarów związana jest zwykle ze zwiększonymi nakładami finansowymi. Istotnym zagadnieniem jest więc określenie akceptowalnych zakresów

niepewności oraz ich wpływu na ciśnienie szczelinowania. W wyniku przeprowadzonych obliczeń okazało się, że analiza wrażliwości przy użyciu symulacji Monte Carlo jest bardzo dobrym narzędziem do określenia wpływu błędów wielkości wejściowych na wynik procesu projektowego. Błędy w określaniu takich danych jak ciśnienie złożowe, głębokość zalegania poszczególnych warstw, naprężenia pochodzące od wpływów tektonicznych czy wytrzymałość skał na rozciąganie mają niewielki wpływ na błąd określenia ciśnienia szczelinowania. Natomiast kluczowymi wielkościami, które powinny być szczególnie starannie określone są współczynnik Poissona i gęstość skał.

Przedmiotem moich badań były również różne aspekty techniki i technologii wiercenia [Zał. 4, II E I 1; II E I 2; II E I 3; II E I 7]. Wiercenie otworów kierunkowych jest jedną z dziedzin wiertnictwa najszybciej się rozwijających w ostatnich latach. Wymaga to poszerzenia wiedzy w wielu aspektach między innymi w zakresie wpływu takich elementów jak wynoszenie zwiercin w pochyłych odcinkach otworu wiertniczego, praca przewodu wiertniczego w złożonym stanie naprężeń, stateczność ściany otworu wiertniczego z uwzględnieniem czynników geologiczno - technicznych w krzywoliniowych i prostoliniowych odcinkach otworu. Istotnym czynnikiem jest tutaj dokładny opis rozkładu naprężeń w strefie przyotworowej. Znajomość tego problemu ma duże znaczenie z punktu widzenia projektowania techniki i technologii wiercenia. Naprężenia występujące w górotworze na ścianie otworu decydują o jego stateczności w trakcie wykonywania prac wiertniczych, a także podczas operacji przeprowadzonych po odwierceniu otworu. Spadek ciśnienia dennego wywołany podczas produkcji gazu lub ropy naftowej zmienia rozkład naprężeń, toteż wcześniejsze ich wyliczenie pozwala na uniknięcie wielu problemów, jak na przykład piaszczenia do odwiertu eksploatacyjnego. Stan naprężeń in-situ względem układu odniesienia związanego z otworem wiertniczym oraz naprężenia składowe występujące na ścianie otworu wiertniczego wykazują cykliczny przebieg w funkcji azymutu i kąta skrzywienia osi otworu wiertniczego. Błędy projektowe nieuwzględniające zmiany stanu naprężeń w otworach kierunkowych mogą prowadzić do komplikacji i awarii wiertniczych związanych na przykład z sypaniem ściany otworu, podwyższoną zawartością fazy stałej w płuczce, zaciskaniem otworu wiertniczego lub ucieczkami płuczki wiertniczej. Prawidłowe podejście projektowe musi uwzględniać dobór wszystkich czynników techniczno - technologicznych, które mogą być kontrolowane. Część czynników nie może być jednak kontrolowana, na przykład układ warstw geologicznych, właściwości skał i płynów złożowych. Badania wykazały, że znajomość rozkładu naprężeń pozwala na określenie

optymalnej trajektorii osi otworu wiertniczego. O ile warunki techniczno - technologiczne i geologiczne na to pozwalają, można tak zaprojektować trajektorię, aby zminimalizować możliwości zaistnienia awarii i komplikacji wiertniczych podczas wiercenia otworu kierunkowego [Zał. 4, II A 1].

Nowoczesne wiertnictwo charakteryzuje się powszechnym zastosowaniem otworów kierunkowych. Postęp w technice monitoringu wiercenia wymusza też zastosowanie nowych metod interpretacji położenia osi otworu wiertniczego [Zał. 4, II E II 5]. W ramach badań przeanalizowałem różne metody określania przestrzennego położenia osi otworów wiertniczych w oparciu o pomiary odległości pomiędzy punktami pomiarowymi oraz kątów odchylenia i azymutów z uwzględnieniem niepewności wykonanych pomiarów. Wyniki badań mają zastosowanie między innymi w wierceniach morskich, podczas rozbudowy podziemnych magazynów gazu ziemnego oraz w rozwiercaniu złóż gazu o niskiej przepuszczalności. Znane są z praktyki przypadki nieplanowanego trafienia jednym otworem w drugi, a to stanowi już poważne problemy techniczne i finansowe. W każdym głębokim otworze położenie osi w przestrzeni trójwymiarowej określone może być na podstawie informacji o odległości od wylotu otworu lub pomiędzy punktami pomiarowymi i dwóch kątów to jest kąta odchylenia i azymutu. Pomiary kąta odchylenia, azymutu i głębokości zawsze obarczone są pewnym błędem. Istotne konsekwencje ma ustalenie odpowiedniego poziomu ryzyka .

Spośród wielu typów świrdrów obecnie największe znaczenie mają świrdry gryzowe i świrdry PDC. Technologia budowy tych ostatnich rozwijana jest od lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku. Początkowo najszerze badania prowadzono w związku z wierceniamiorskimi i stwierdzono wówczas, że oszczędności przy zastosowaniu świrdrów PDC mogą być znaczne. W ostatnich latach świrdry te zajmują coraz lepszą pozycję na światowym rynku począwszy od roku 2003, gdy liczba przewierconych przez nie metrów zrównała się z liczbą metrów wierconych świrdrami gryzowymi. Stąd coraz ważniejsza staje się potrzeba dopracowania technologii wiercenia różnymi typami świrdrów w zależności od warunków geologiczno-technicznych. Przeprowadziłem analizę wskaźników technologii wiercenia świrdrami na podstawie danych uzyskanych z PGNiG. Badania efektywności użycia różnych typów świrdrów pozwalają na: prawidłowy dobór narzędzi wierzących dla danej formacji geologicznej, zmniejszenie kosztu prac wiertniczych i ograniczenia liczby awarii wiertniczych. Dla każdego interwału i warunków techniczno-technologicznych należy indywidualnie dobrać narzędzie wierzące. Okazało się, że w przebadanych przypadkach

prędkość wiercenia była największa dla narzędzi diamentowych, nie zawsze jednak ich zastosowanie daje przewagę ekonomiczną nad narzędziami gryzowymi. Najczęściej efektywność świdrów PDC rośnie wraz ze wzrostem głębokości przewiercanego interwału. Zastosowanie danych z raportów wiertniczych do modeli parametrów mechanicznych technologii wiercenia pozwoliło mi na sformułowanie zaleceń, które pozwolą w przyszłości na efektywniejsze wiercenie w rozpatrywanych rejonach [Zał. 4, II L 14; II J 10].

Moje badania uwzględniały również budowę i pracę przewodu wiertniczego. Przeanalizowane zostały elementy wchodzące w jego skład używane w wierceniach pionowych i kierunkowych. Korzystając z danych dostarczonych przez PGNiG dokonałem przeglądu konstrukcji stosowanych dotychczas w niektórych wierceniach kierunkowych na terenie Polski [Zał. 4, II J 10].

Dla prawidłowego zaprojektowania parametrów technologicznych płukania otworu wiertniczego istotne są dwa czynniki: właściwości płynu wiertniczego oraz parametry opisujące przestrzeń, w której płyn będzie przepływał. W wierceniach HDD stosowane są, jako podstawowy element przewodu wiertniczego, rury płuczkowe zwane żerdziami. Rozpowszechnioną metodą ich produkcji jest zastosowanie zgrzewania tarcowego do łączenia rur o końcach gładkich ze zwornikami. Podczas tej operacji na skutek dużego czołowego docisku przy równoczesnych obrotach zwornika oraz temperatury powodującej płynięcie stali powstaje rąbek obustronny na krawędziach łączonych elementów. Obróbką skrawaniem usuwa się rąbek zewnętrzny, natomiast występują znaczne trudności w usunięciu go wewnątrz rury. Wykonana przeze mnie symulacja komputerowa pozwala na określenie wpływu rębka wewnętrznego, na przepływ płynów wiertniczych podczas wykonywania otworów. Nieregularny kształt rębka utrudnia analityczne opisanie zjawiska. Obliczenia numeryczne okazały się bardzo skutecznym narzędziem [Zał. 4, II L 11].

Jednym z zagadnień wiertniczych, nad jakim pracowałem jest prawidłowa konstrukcja kierunkowego otworu wiertniczego dobrana do specyficznych warunków geologicznych oraz spełniająca wymogi techniczno-technologiczne. Podczas operacji rurowania otworu wiertniczego jego ściany i rury okładzinowe oddziałują wzajemnie na siebie. Siły, które występują na styku ściany otworu z rurami, są następstwem: twardości skał, twardości rur, wykończenia ich powierzchni, trajektorii otworu, zmian średnicy otworu, stabilności otworu (kawerny, wytarcia, wypłukania), intensywności kąta przestrzennego skrzywienia oraz jakości kontroli i utrzymania kierunku. Często na wzrost sił osiowych w kolumnie rur oraz problemy podczas rurowania ma wpływ kilka z powyższych czynników równocześnie. Elementy, które

wpływają na wielkość sił osiowych w kolumnie rur okładzinowych, to: siły tarcia, siły styczne będące wynikiem zginania kolumny przechodzącej przez zakrzywione odcinki otworu i momenty gnące, które one wywołują. Wzrost sił gnących oraz obciążenia bocznego rośnie po przejściu przez zakrzywiony odcinek otworu, co jest spowodowane ciężarem rur oraz siłą sprężystości dążącą do wyprostowania kolumny. Aby kolumna nie została przychwycona w otworze, musi być spełniony następujący warunek: suma sił tarcia oraz sił reakcji ścian otworu musi być niższa niż dociskająca siła osiowa wywoływana obciążeniem na haku. Modelowanie obciążeń wykonałem za pomocą oprogramowania Landmark [Zał. 4, II L 16; II L 17]. Obciążenia, którym poddane są kolumny rur okładzinowych, są rezultatem warunków geologicznych oraz technologicznych. Kształt trajektorii otworu, stanowi istotny element, który należy uwzględnić w procesie projektowania konstrukcji otworu kierunkowego. Naprężenia gnące pojawiające się w ścianach rur, będące wynikiem tych obciążeń, mogą mieć znaczny wpływ zarówno na rodzaj użytego materiału, jak i na grubość ścianek orurowania. W zależności od trajektorii (głównie od wartości intensywności kąta przestrzennego skrzywienia) warunki wiercenia otworu kierunkowego mogą wymuszać zastosowanie rur wykonanych z lepszych stali, bądź o grubszych ściankach (jeśli nie w całości, to przynajmniej w odcinkach krzywoliniowych oraz ich sąsiedztwie), co oczywiście przełoży się na końcowy koszt danej kolumny.

Po uzyskaniu stopnia doktora opublikowałem jako współautor 7 monografii, przy czym 5 z nich to prace zbiorowe pod moją redakcją oraz 1 samodzielną monografię opisaną w rozdziale 4 autoreferatu. Jestem też współautorem 1 książki i 1 poradnika. Byłem wykonawcą w 10 projektach badawczo rozwojowych krajowych oraz 1 międzynarodowym. W jednym grancie badawczo rozwojowym byłem kierownikiem zadania oraz w innym kierownikiem zespołu pracującego na AGH w ramach konsorcjum „Polskie Technologie dla Gazu Łupkowego”. Jestem samodzielnym autorem 1 publikacji i współautorem 2 innych w czasopiśmie znajdującym się w bazie Journal Citation Reports. Jestem współautorem 3 patentów krajowych dotyczących płuczek wiertniczych. Opublikowałem, jako autor lub współautor 11 artykułów w czasopiśmie punktowanym przez MNiSW oraz 14 niepunktowanych. Sumaryczna liczba moich punktów wg. MNiSW wynosi 425. Sumaryczny impact factor według listy Journal Citation Reports, zgodnie z rokiem opublikowania wynosi 0,872. Liczba cytowań moich publikacji według bazy Web of Science wynosi 11 a indeks Hirscha 1. Natomiast liczba cytowań moich publikacji według bazy Google Scholar wynosi 43 a indeks Hirscha 4. Brałem udział w 15 międzynarodowych i krajowych konferencjach

naukowych i wygłosiłem 17 referatów konferencyjnych. W sumie po doktoracie opublikowanych zostało 54 moich prac. Szczegółowe zestawienie publikacji przedstawione zostało w załączniku „Wykaz dorobku habilitacyjnego”. Sumaryczne zestawienie dorobku publikacyjnego po doktoracie przedstawione zostało w tabeli 1.

Tabela 1. Sumaryczne zestawienie dorobku publikacyjnego po doktoracie

Osiągnięcie	Liczba
Monografie	8
Książki	1
Poradniki	1
Publikacje konferencyjne	17
Publikacje z bazy JCR	3
Publikacje punktowane spoza bazy JCR	11
Publikacje niepunktowane spoza bazy JCR	14
SUMA	54
Patenty krajowe	3

W ramach swojej działalności wykonałem samodzielnie 3 opracowania dla przemysłu na podstawie badań laboratoryjnych. Otrzymałem 3 nagrody za działalność naukową i dydaktyczną:

- Zespołowa nagroda rektora AGH I stopnia za osiągnięcia naukowe w 2015 r.
- Zespołowa nagroda rektora AGH II stopnia za osiągnięcia naukowe w 2016 r.
- Zespołowa nagroda rektora AGH II stopnia za osiągnięcia dydaktyczne w 2016 r.

Uzyskałem stopnie górnicze: Inżynier Górniczy I stopnia (2000), Dyrektor Górniczy III stopnia (2004), Dyrektor Górniczy II stopnia, (2010).

Jestem odznaczony: Srebrnym Krzyżem Zasługi (2003), Srebrną Honorową Odznaką SITPNIG 2007

5.2 Działalność dydaktyczna i popularyzatorska

Okres przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora nauk technicznych (1994-1999)

Przed doktoratem prowadziłem zajęcia dydaktyczne na Wydziale Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH w Krakowie w wymiarze pełnego etatu.

W latach akademickich od 1994/1995 do 1998/1999 przeprowadziłem zajęcia dydaktyczne na studiach inżynierskich i magisterskich, stacjonarnych i niestacjonarnych na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie z takich przedmiotów jak: Napędy urządzeń wiertniczych, Organizacja i zarządzanie przemysłem, Podstawy konstrukcji i eksploatacji maszyn i Statystyka.

Okres po uzyskaniu stopnia naukowego doktora nauk technicznych (1999-2017)

W latach akademickich od 1999/2000 do 2016/2017 przeprowadziłem zajęcia dydaktyczne na studiach inżynierskich, magisterskich i doktoranckich, stacjonarnych i niestacjonarnych na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie z następujących przedmiotów: Podstawy konstrukcji i eksploatacji maszyn, Statystyka, Geoinżynieria, Wiertnictwo, Mechanika górotworu, Ergonomia, Geomechanika, Technologie wiertnicze, Wiertnictwo inżynieryjne, Wiertnictwo naftowe, Kierunki rozwoju górnictwa otworowego a w języku angielskim Drilling i Drilling technology.

Ponadto w okresie 2003-2007 byłem zatrudniony na stanowisku starszego wykładowcy w Państwowej Wyższej Szkole Zawodowej w Krośnie. Na studiach inżynierskich stacjonarnych i niestacjonarnych przeprowadziłem zajęcia dydaktyczne z takich przedmiotów jak: Zrównoważony rozwój społeczny i ekosystemów, Geoinżynieria, Eksploatacja i udostępnianie wód, Zarządzanie środowiskiem

W okresie 2000-2017 byłem promotorem 87 prac dyplomowych (w tym 7 w j. angielskim). Byłem ponadto kierownikiem dwóch Studiów Podyplomowych „Technologie Wiertnicze w Eksploatacji Złóż i Geoinżynierii”, których pierwsza edycja miała miejsce w roku akademickim 2006/2007; jak również Drilling Engineering” wykładanych w języku angielskim od roku akademickiego 2010/2011. Na studiach podyplomowych przeprowadziłem zajęcia z takich przedmiotów jak: Wiertnictwo, Podstawy geotechniki, Komputerowe projektowanie otworów kierunkowych. Natomiast w języku angielskim prowadziłem zajęcia z: Rock mechanics, Wellbore design, Drilling technology.

Poza realizowaniem zajęć ze studentami, prowadziłem także działalność rozpowszechniającą naukę na Technicznym Uniwersytecie Otwartym AGH w 2001 r. Pełniłem również funkcje szkoleniowca prowadząc szkolenie wiertaczy w SITPNiG w 2008 r.

W 2015 r. sprawowałem opiekę naukową nad 1 doktorantką z Technical University of Košice w ramach programu CEEPUS. Sprawowałem opiekę naukową nad 18 studentami zagranicznymi z organizacji "The International Association for the Exchange of Students for Technical Experience" w latach 2009-2017. Prowadziłem też 23 studentów zagranicznych w ramach semestralnych projektów UNESCO w latach 2010-2017. Sprawowałem opiekę naukową nad 2 studentami w ramach programu Erasmus+ Kraje Partnerskie oraz nad 3 studentami w ramach programu SMILE w latach 2010-2017.

Od 1994 r. jestem członkiem Society of Petroleum Engineers, w którym pełniłem funkcje Opiekuna Polskiej Sekcji Studenckiej SPE, Sekretarza Sekcji Polskiej SPE i Skarbnika Sekcji Polskiej SPE. Od 1995 r. jestem członkiem Stowarzyszenia Naukowo-Technicznego Inżynierów i Techników Przemysłu Naftowego i Gazowniczego.

Uczestniczyłem w programach europejskich oraz innych programach międzynarodowych takich jak:

- Erasmus Programme w VI 2008 - 5 dni pobytu w celu wygłoszenia wykładów na TU Bergakademie Freiberg.
- Erasmus Programme w XII 2008 - 4 dni pobytu w celu wygłoszenia wykładów na TU Bergakademie Freiberg.
- EEA Financial Mechanism and Norwegian Mechanism w latach 2013 - 2016, Mobility Project in Higher Education - wydziałowy koordynator projektu i wymiany studenckiej z Islandią.
- Erasmus+ Kraje Partnerskie w 2016 - 12 dni pobytu, w celu wygłoszenia wykładów na Hanoi University of Mining and Geology w Wietnamie.
- Erasmus+ Kraje Partnerskie w latach 2016 – 2017 - wydziałowy koordynator projektu i wymiany studenckiej z Wietnamem

Brałem udział w komitetach organizacyjnych międzynarodowych konferencji:

- Konferencja studencka SPE: European Student Council Meeting "Quality of Education-Way to Increase Development of Petroleum Engineering Technology" w 2005r. w Krakowie, jako opiekun studentów i członek komitetu organizacyjnego
- Konferencja studencka SPE: "What we are proud of ? The Greatest achievement in petroleum industry" w 2007r. w Krakowie, jako opiekun studentów i członek komitetu organizacyjnego.

- Konferencja studencka SPE: "What we are proud of? The Greatest achievement in petroleum industry" w 2008r. w Krakowie, jako opiekun studentów i członek komitetu organizacyjnego.
- Konferencja studencka SPE: "What we are proud of? The Greatest achievement in petroleum industry" w 2009r. w Krakowie, jako opiekun studentów i członek komitetu organizacyjnego.
- European Student Petroleum Congress "East meets West ISTC" w 2010r. w Krakowie, jako opiekun studentów i członek komitetu organizacyjnego.
- European Student Petroleum Congress "East meets West ISTC" w 2011r. w Krakowie, jako opiekun studentów i członek komitetu organizacyjnego.

Odbyłem 3 kilkudniowe staże naukowe w Keilir Institute of Technology na Islandii w latach 2014-2016 oraz 1 staż przemysłowy w Geotermii Uniejów Sp. z o.o. w 2010 r. Jestem członkiem zespołu eksperckiego Texas Institute of Science Global Research Alliance. Recenzowałem 1 manuskrypt dla Przeglądu Górniczego w 2012 r., 2 manuskrypty dla AGH Drilling, Oil, Gas w latach 2015 – 2017, 1 manuskrypt dla Acta Montanistica Slovaca w 2017r. oraz 1 manuskrypt dla Physicochemical Problems of Mineral Processing w 2017 r. Efekty mojej współpracy z przedstawicielami zagranicznych ośrodków naukowych oraz przemysłowych widoczne są w publikacjach wymienionych w załączniku „Wykaz dorobku habilitacyjnego”

5.3 Działalność organizacyjna

Byłem współorganizatorem 6 szkoleń dla studentów i pracowników prowadzonych przez specjalistów z międzynarodowych firm wiertniczych, (2001 – szkolenie dla studentów, pracowników AGH i pracowników przemysłu prowadzone przez wykładowcę SPE), (2007 – szkolenie wyjazdowe dla studentów i pracowników AGH, Geotermia, Słowacja), (2008 – szkolenie dla studentów i pracowników AGH prowadzone przez firmę Baroid), (2009 – szkolenie dla studentów i pracowników AGH prowadzone przez Baker Hughes Inc.), (2009 – szkolenie dla pracowników AGH z oprogramowania Landmark), (2011 – szkolenie dla studentów i pracowników AGH prowadzone przez Baker Hughes Inc.).

W ramach działalności organizacyjnej pełniłem takie funkcje jak:

- a) Pełnomocnik Dziekana do Spraw Osób Niepełnosprawnych

- b) Kierownik i zastępca kierownika Laboratorium Geoinżynierii i Zaczynów Uszczelniających
- c) Kierownik Laboratorium Komputerowego Technologii Wiercenia Otworów
- d) Kierownik studiów podyplomowych: „Technologie wiertnicze w udostępnianiu złóż i geoinżynierii
- e) Kierownik studiów podyplomowych w języku angielskim: „Drilling Engineering”
- f) Członek zespołu ds. Promocji Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu.
- g) Członek Zespołu do Spraw Jakości Kształcenia.
- h) Członek Komisji Odwoławczej do Spraw Pracowników
- i) Współorganizator seminarium z okazji 50 - lecia współpracy z TU Bergakademie Freiberg
- j) Opieka nad profesorami zagranicznymi prowadzącymi wykłady na Wydziale Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH
- k) Członek Wydziałowej Komisji Nostryfikacyjnej Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu
- l) Członek Okręgowej Komisji Wyborczej Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu
- m) Administrator grantu na oprogramowanie Landmark w ramach “International Strategic University Alliance Grant Agreement”
- n) Administrator grantu na oprogramowanie firmy StrataGen Engineering

Guer