

1. Wprowadzenie¹

Obszar Sudetów i bloku przedsudeckiego, pomimo swego niewątpliwie dużego potencjału geotermalnego (np. Dowgiałło, Fistek 2007), jest w obecnie pod tym względem - na tle innych obszarów Polski - słabo rozpoznany. Najważniejszą przyczyną tego stanu rzeczy jest odmienna od reszty Polski budowa jego podłoża, które w większości reprezentują różnego rodzaju skały krystaliczne, a te nie są wdzięcznym obiektem prac rozpoznawczych i dokumentujących zasoby wód podziemnych, zwłaszcza z natury trudnych do wyśledzenia i skwantyfikowania wód głębokiego krążenia i to – dodatkowo – charakteryzujących się wysoką temperaturą, odpowiednim chemizmem oraz występowaniem w ilościach ekonomicznie znaczących, a także w sytuacji geologicznej umożliwiającej ich efektywną eksploatację.

Wody termalne Dolnego Śląska mają w przewodze charakter wód szczelinowych i lokują się zazwyczaj w obrębie stromych i głębokich nieciągłości (stref) tektonicznych, reprezentowanych przez uskoki, strefy uskokowe i strefy znacznej koncentracji spękań skalnych (np. Dowgiałło 1976, 2001, 2002; Fistek & Fistek 2002), podczas gdy na innych terenach naszego kraju wody te występują zazwyczaj w rozległych, często słabo nachylonych kolektorach warstwowych, typowych dla obszarów o podłożu zbudowanym ze skał osadowych. Wspomniana odmienność i trudności metodyczne związane z poszukiwaniem i rozpoznawaniem potencjału geotermalnego wgłębnych wód termalnych na obszarze Dolnego Śląska są jedną z głównych przyczyn opóźnienia w realizacji oceny potencjału geotermalnego tego regionu na tle pozostałych części Polski, pomimo iż to tutaj właśnie od stuleci znane są i wykorzystywane powierzchniowe wystąpienia podziemnych wód termalnych (np. Cieplicach i Łądku Zdroju). Wśród wspomnianych nieciągłości tektonicznych w podłożu skalnym Dolnego Śląska, istotnych dla występowania wgłębnych wód termalnych, najbardziej perspektywiczne są te strefy tektoniczne, które w niedawnej przeszłości geologicznej wykazywały aktywność tektoniczną (młode strefy tektoniczne). Dlatego wykonywane przez Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy zadanie Państwowej Służby Geologicznej, którego II etap realizacji przedstawia niniejsze opracowanie, było w znacznej mierze skoncentrowane na rozpoznaniu różnorodnymi metodami geofizycznymi i geologicznymi występowania i charakterystyki młodych stref tektonicznych.

Ponieważ metodyka poszukiwania termalnych wód szczelinowych w skałach krystalicznych oraz określania charakterystyki infiltrowanych przez nie szczelin nie jest jeszcze ani w Polsce ani w innych krajach wystarczająco rozwinięta i ugruntowana (nieco więcej o tym w rozdziale 1.4.1), jednym z istotnych celów realizowanego zadania pn. „*Młode strefy tektoniczne a warunki geotermalne w Sudetach w świetle badań geochronologicznych, strukturalnych i termometrycznych*”, jest również testowanie przydatności w tym zakresie różnych metod geofizycznych i geologicznych w warunkach Dolnego Śląska. Tym samym, realizowane zadanie ma charakter niestandardowy i po części eksperymentalny.

¹ Rozdział częściowo powtórzony z Raportu końcowego z realizacji Etapu I niniejszego zadania PSG (Aleksandrowski i in. 2018) – w zmodyfikowanej wersji, ze zaktualizowanymi odniesieniami do prac aktualnie wykonywanego etapu.

Pod względem metodycznym, przedstawione w tym opracowaniu wyniki realizacji etap drugiego zadania, stanowią efekt zastosowania metod głównie o charakterze geofizycznym, geochemicznym i strukturalnym, a w mniejszym stopniu hydrogeologicznym. Ten ostatni rodzaj metod będzie miał znacznie większe zastosowanie podczas realizacji następnego etapu zadania.

Zasadniczym celem podjęcia realizacji tak pierwszego, jak i drugiego etapu zadania było zgromadzenie różnorodnych danych geofizycznych i geologicznych, aby je później wykorzystać podczas pracy nad – stanowiącym ostateczny cel realizacji niniejszego zadania PSG - atlasem potencjalnych zasobów geotermalnych Sudetów i obszaru przedsudeckiego, co będzie wymagało użycia również znaczącej ilości danych z innych źródeł. Skoncentrowanie zadania na tytułowych „młodych strefach tektonicznych”, tj. uskockach, strefach uskokowych i strefach dużej koncentracji spękań (strefach spękaniaowych), które powstały lub wykazywały aktywność tektoniczną podczas kenozoiku, sprawia, że pierwsze dwa etapy zadania miały charakter w przeważającej mierze geologiczno-strukturalny, zbierając i dostarczając danych głównie geofizycznych i strukturalnych, które dopiero w finalnym etapie realizacji tego zadania państwowej służby geologicznej posłużą do wyciągnięcia dalej idących i szerszych wniosków natury hydrogeologicznej, mających bezpośrednie przełożenie na poszukiwanie i szacowanie potencjalnych zasobów podziemnych wód termalnych. Podczas obu zrealizowanych etapów zadania stopniowo wzrastającą rolę odgrywały też prace nad kompilacją istniejących danych i zebraniem nowych oraz analizą, w tym modelowaniem, pola cieplnego podłoża skalnego, również na znacznych głębokościach, Sudetów i ich przedpola. Do etapu I prac ograniczyły się natomiast badania geochronologiczne, dostarczające danych pozwalających ocenić niektóre aspekty ewentualnego wpływu zjawisk kenozoicznego wulkanizmu na pole cieplne Ziemi na obszarze objętym opracowaniem.

W świetle powyższego, ze względu na podporządkowanie prac zadania celowi finalnemu, t.j. zgromadzeniu możliwie jak najszerszego zasobu danych niezbędnych do wykorzystania w planowanym atlasie geotermalnym Sudetów i przedpola, tytuł zadania, odwołujący się do „młodych stref tektonicznych” miał na sprawozdawczym, II etapie realizacji prac, charakter w dużej mierze konwencjonalny, a zadanie – siłą rzeczy - objęło również szeroko zakrojone czynności dotyczące rozpoznania i scharakteryzowania własności termicznych skał regionu oraz stanu termicznego jego tak głębokiego, jak i płytkiego podłoża skalnego.

1.1. Uwarunkowania formalne

Przedsięwzięcie „Młode strefy tektoniczne a warunki geotermalne w Sudetach w świetle badań geochronologicznych, strukturalnych i termometrycznych –Etap II” zostało zrealizowane na podstawie umowy zawartej pomiędzy Narodowym Funduszem Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej a Państwowym Instytutem Geologicznym-Państwowym Instytutem Badawczym w Warszawie (Umowa nr 44/2017/Wn-07/FG-SM-DN/D z dnia 15.02.2017 r. z późniejszymi zmianami) o dofinansowanie w formie dotacji. Czas realizacji prac obejmował okres 01.07.2016 – 30.04.2020 roku. Jest ono wykonywane w ramach zadań Państwowej Służby Geologicznej. Temat realizowany jest przez zespół wykonawców z Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego w Warszawie

oraz z Oddziału Dolnośląskiego we Wrocławiu, pod kierunkiem prof. dr. hab. Pawła Aleksandrowskiego.

1.2. Obszar badań

Obszar badań, o łącznej powierzchni około 14 000 km², zlokalizowany jest w południowo-zachodniej Polsce, w obrębie województw: dolnośląskiego i zach. części opolskiego (Fig. 1.2.1.). Pod względem geologicznym odpowiada on obszarowi bloków sudeckiego i przedsudeckiego (czyli łącznie: bloku dolnośląskiego), ograniczonemu od wschodu granicą z zapadliskiem górnośląskim, od zachodu i od południa granicą państwa, natomiast od północy - granicą z monokliną przedsudecką, przebiegającą wzdłuż szeroko rozumianej (por. Cymerman 2006, 2010) strefy uskokuwej środkowej Odry. Niektóre rejony

Tabela 1.2.1. Rejony badań wykonanych w ramach raportowanego etapu II zadania PSG. Skóty w nagłówku tabeli : Badania metodami: S – sejsmiki płytkiej i ERT -tomografii elektrooporowej; MT – magnetotelluryczną, Sp – spektrometryczną, VLF – elektromagnetyczną, Kp – kartowania powierzchniowego. W nawiasach podano długości profili (km).

Nr	Nazwa rejonu badań	S	ERT	MT	Sp	VLF	Kp
1	Pławna			X (3,7)		X (2,08)	
2	Złotoryja			X (7)	X	X (5,884)	
3	Wojcieszycze	X (1,26)	X (1,8)			X (1,228)	
4	Wleń						X
5	Niedamirów	X (1,72)	X (1,8)	X (2)	X	X (2,04)	
6	Wierzchosławice	X (1,54)	X (1,6)	X (4)	X	X (3,479)	
7	Nagórnik			X (4,5)	X	X (2,974)	
8	Głuszycza	X (1)	X (1)	X (2,5)	X	X (2,531)	
9	Srebrna Góra			X (2,2)	X	X (2,095)	
10	Książnica	X (1,54)	X (1)	X (3,7)	X	X (3,005)	
11	Czernica-Goczałków						X
12	Strzelin-Górka Sobocka						X
13	Brzozowie	X (1,54)	X (1,4)		X	X (1,518)	
14	Kudowa			X (2,3)		X (2,171)	
15	Potworów	X (1,46)	X (1,8)		X		
16	Ozary	X (1,9)	X (2,6)				
17	Stara Łomnica	X (0,96)	X (1)	X (2,4)	X	X (1,871)	
18	Bystrzyca Kłodzka	X (1,42)	X (1,4)	X (2)	X	X (1,407)	
19	Spalona				X (10 profili)	X (0,741)	
20	Różanka	X (0,65)	X (0,8)		X	X (0,767)	
21	Goworów	X (1,1)	X (1,4)			X (1,316)	
22	Lądek Zdrój	X (1,2)				X (1,23)	
23	Jelcz-Laskowice	X (2,18)					
24	Wilamowice Nyskie		X (1)				
25	Radoszowice	X (0,6)	X (1,2)				
Suma [km]		20,07	19,8	36,3		36,337	
Liczba profili		15	14	11	13(22)	17	3

zrealizowanych w trakcie etapu I badań wychodzą nieznacznie na północ poza powyżej nakreślone granice bloku dolnośląskiego, lokując się w strefie przykrawędziowej monokliny przedsudeckiej, a w planie głębszym – na południowym skraju bloku południowowielkopolskiego (Żelaźniewicz, Aleksandrowski 2008; Żelaźniewicz i in. 2011). Badania skoncentrowano w ponad dwudziestu pięciu lokalnych rejonach (obszarach) badań, rozproszonych, głównie w częściach południowej i środkowej terytorium Dolnego Śląska oraz na zachodnim skraju Śląska Opolskiego (Fig. 1.2.1, Tabela 1.2.1) W dalszych częściach opracowania do całości obszaru badań stosowane są niekiedy nieformalne określenia, takie jak np. Sudety i ich przedpole, albo badany obszar Dolnego Śląska.

1.3. Wcześniejsze przedsięwzięcia jako punkt wyjścia do podjęcia opracowania

Dla obszaru Dolnego Śląska zostały w poprzedzających latach przygotowane 2 projekty prac geologicznych, dotyczące określenia perspektywicznych rejonów i stref występowania wglębnych wód termalnych, przewidywanych do realizacji w ramach ówczynie planowanych, znacznie szerzej zakrojonych przedsięwzięć badawczych:

- „Projekt prac geologicznych dla określenia perspektywicznych rejonów i stref występowania wód termalnych na obszarze bloku karkonosko-izerskiego na podstawie kompleksowych badań i pogłębionej analizy danych geologicznych” (Fig. 1.3.1), opracowany w r. 2006 przez konsorcjum Przedsiębiorstwa Badań Geofizycznych w Warszawie i Przedsiębiorstwa Geologicznego we Wrocławiu „Proxima” S.A. na zlecenie Ministerstwa Środowiska (dec. nr DGkdh-4790-6641-3/8499/07/MJ z dn. 04.10.2007; Projekt PBG i PG „Proxima” 2006; Grzegorzczak i Farbisz, 2006);



Fig. 1.3.1. Obszar projektowanych badań rejonu karkonosko-izerskiego (wg Projektu PBG i PG „Proxima” 2006).

„Projekt prac geologicznych dla określenia perspektywicznych rejonów i stref występowania wód termalnych na obszarze Sudetów Środkowych i Wschodnich wraz z blokiem przedsudeckim” (Fig. 1.3.2), opracowany w r. 2011 przez Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Dolnośląski, na zlecenie Ministerstwa Środowiska (dec. DGiKGhg-4730-21/6846/44398/11/MJ z dn. 30.09.2011; Projekt OD PIG - PIB 2011; Krawczyk i in. 2011).

Realizacja obu powyższych projektów miała doprowadzić do pozyskania danych umożliwiających przygotowanie atlasu perspektywicznych zasobów geotermalnych Dolnego Śląska, którego brak niekorzystnie odróżnia ten region Polski od pozostałych części kraju. Ponieważ jednak na realizację objętych obu projektami badań (w ramach ówczesnie planowanego do rozpoczęcia w r. 2013 zadania PSG pn. *Atlas zasobów wód i energii geotermalnej Sudetów i Przedgórz Sudeckiego*) nie uzyskano wystarczającego finansowania, zdecydowano się na przeprowadzenie części przewidzianych w nich prac – wraz z uzupełnieniem o badania geochronologiczne - w ramach rozłożonego na 3 etapy

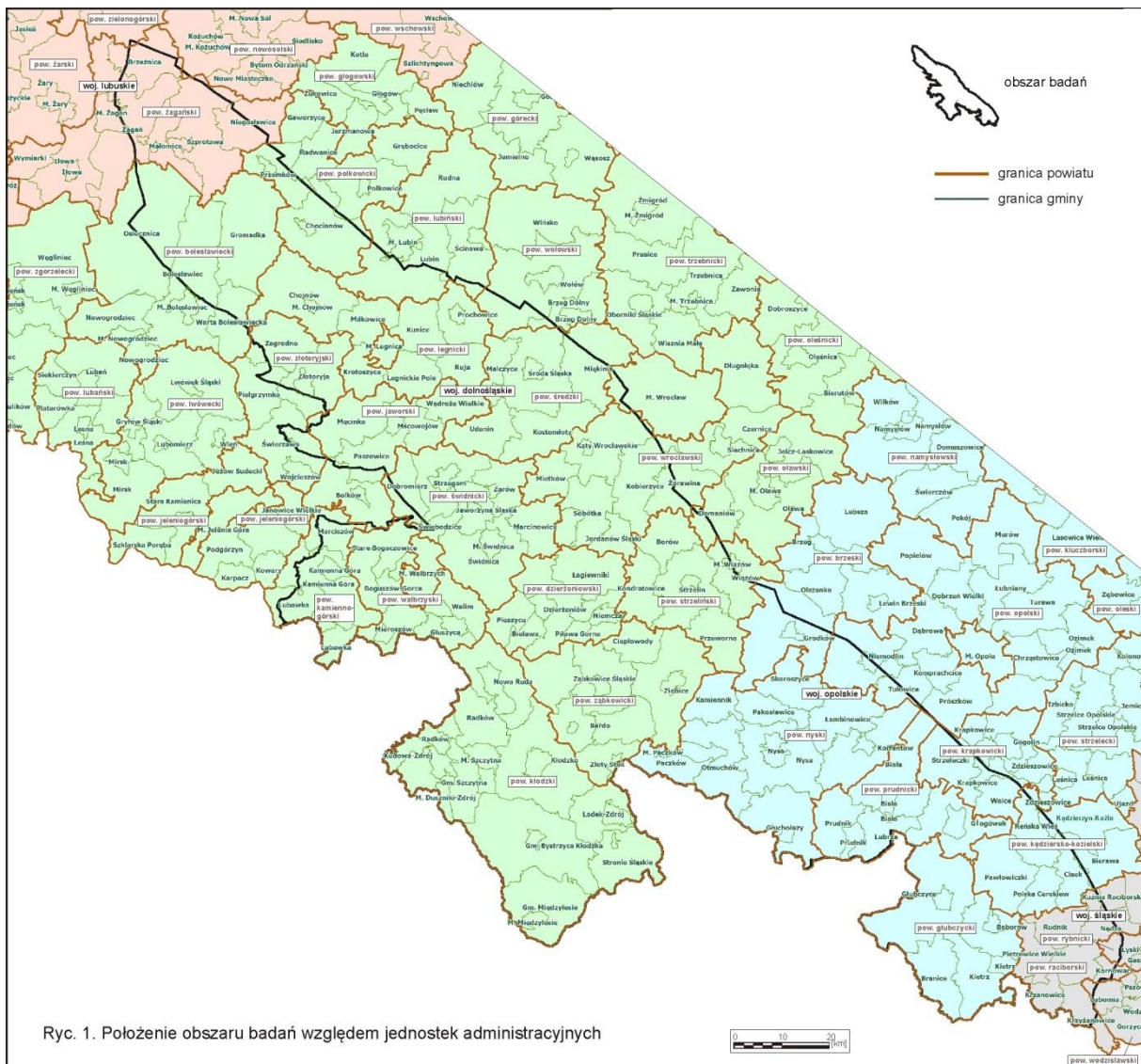


Fig. 1.3.2. Obszar projektowanych badań Sudetów Środkowych, Wschodnich i bloku przedsudeckiego (wg Projektu OD PIG – PIB 2011, Krawczyk i in. 2011).

przedsięwzięcia „*Młode strefy tektoniczne a warunki geotermalne w Sudetach w świetle badań geochronologicznych, strukturalnych i termometrycznych*”. Przedsięwzięcie to – przez rozłożenie prac w czasie, a w szczególności przez rezygnację podczas jego dwóch pierwszych etapów z wykonania odwiertów badawczych o głębokości kilkudziesięciu do kilkuset metrów oraz skupieniu się zasadniczo na jednej klasie obiektów badań, „młodych strefach tektonicznych” – zostało skalkulowane znacznie poniżej kosztów zaplanowanych na realizację w/w projektów. Ma ono więc węższy zakres prac w stosunku do obu wcześniej wykonanych projektów, gdyż – jak już wspomniano – koncentruje się ono głównie na wybranych, w przewadze młodych lub odmłodzonych strefach tektonicznych, podczas gdy zgodnie z zakresem obu projektów przy większych nakładach badane miały być również inne klasy obiektów geologicznych, np. wypełnienie basenów osadowych, ale też i w znacznie szerszym zakresie stare, głównie waryscyjskie i, ewentualnie, jeszcze starsze, strefy dyslokacyjne.

1.4. Cele, zakres i metody realizacji zadania

1.4.1. Cele

Zasadniczym celem realizacji etapu II zadania PSG pt. „*Młode strefy tektoniczne a warunki geotermalne w Sudetach w świetle badań geochronologicznych, strukturalnych i termometrycznych*” jest, podobnie jak w etapie I, pilotażowe rozpoznanie przy użyciu szeregu metod geologicznych i geofizycznych wybranych stref dyslokacyjnych aktywnych współcześnie lub w niedawnej przeszłości geologicznej, mając na względzie potencjalne możliwości ich wykorzystania do pozyskiwania podziemnych wód termalnych głębokiego krążenia. Drugim, równoległym generalnym celem jest znaczące powiększenie bazy danych i poprawa stanu wiedzy o stanie termicznym skorupy ziemskiej regionu, w którym prowadzone są badania. Przedsięwzięcie stanowi, tym samym, kolejny, drugi etap badań i prac planowanych generalnie do realizacji w trzech etapach i mających jako swój cel ostateczny określenie i rozpoznanie perspektywicznych stref występowania, a następnie ocenę perspektywicznych zasobów wgłębnych wód termalnych na całym obszarze Sudetów i bloku przedsudeckiego w postaci atlasu, analogicznego do tych, jakie zostały już w poprzednich latach przygotowane i wydane dla pozostałych regionów Polski.

Zostało już wspomniane, że, pomimo istnienia w skali zarówno krajowej, jak i międzynarodowej, obszernej literatury dotyczącej wyników poszukiwań i oraz przebiegu eksploatacji wód termalnych głębokiego krążenia o charakterze szczelinowym w różnych sytuacjach regionalnych (np. Dowgiałło 1976, 2001, 2002; Whitehead 1984; Carvalho 1996, Carvalho i in. 2013; Paczyński i Sadurski 2007; Chaminé et al. 2013), generalnie brak jest, tak w Polsce, jak i w innych krajach, powszechnie przyjętej i akceptowanej metodyki poszukiwania i rozpoznawania zasobów takich podziemnych wód termalnych na obszarach o podłożu krystalicznym, bądź reprezentowanym przez silnie zdiagenezowane, generalnie nieprzepuszczalne kompleksy skał osadowych. Dlatego też, prace badawcze realizowane zwłaszcza podczas etapu I sprawozdawanego tu zadania PSG, ale też i po części – podczas etapu II, miały charakter po części eksperymentalny i – oprócz realizacji wspomnianych powyżej celów zasadniczych – skupiły się na doskonaleniu, bądź wypracowaniu metodyki

rozpoznawania i oceny cech strukturalno-geologicznych badanych stref tektonicznych, bądź wyznaczania parametrów termicznych skał i wód podziemnych, oraz testowaniu przydatności poszczególnych stosowanych metod do rozpoznawania struktury badanych stref tektonicznych w warunkach Dolnego Śląska, tj. podłoża krystalicznego przykrytego zwykle cienką pokrywą zwietrzelinową, lub znajdującego się pod przykryciem kilkudziesięciometrowej miąższości pokrywy osadów kenozoicznych. W części przypadków prowadzono prace też rozpoznawcze w przypadku prawdopodobnych młodych dyslokacji przemieszczających stosunkowo miąższe osady kenozoiczne nad reaktywowanymi uskokami podłoża.

Po zakończeniu sprawozdawanego w tym opracowaniu etapu II realizacji niniejszego zadania PSG, planuje się – o czym już wspomniano - kontynuację prac w trakcie etapu III, kiedy to zostaną bardziej szczegółowo rozpoznane wybrane (głównie w oparciu o wyniki badan etapów I i II) struktury geologiczne pod kątem ich warunków hydrogeologicznych oraz odwiercone otwory badawcze, a następnie opracowany atlas perspektywicznych zasobów wód i energii geotermalnej Sudetów i Przedgórze Sudeckiego. Tym samym, wyniki etapu II przedsięwzięcia, podobnie jak wyniki etapu I, nie stanowią jeszcze i nie mogą stanowić zamkniętej całości o charakterze pełnej syntezy wyników osiągniętych różnymi metodami, wraz z oszacowaniem zasobów podziemnych wód termalnych i wytycznymi dla ich poszukiwań na badanym obszarze. Mają one natomiast charakter bazy różnorodnych zbiorów danych głównie geofizycznych, petrofizycznych i geologiczno-strukturalnych, wraz z interpretacją i różnego typu wnioskami, w tym szczególnie wnioskami o znaczącym aspekcie metodycznym. Pełna synteza tych danych, wyników badań i wniosków będzie możliwa do osiągnięcia i jest planowana w trakcie realizacji finalnego etapu III.

1.4.2. Zakres rzeczowy

Etap II przedsięwzięcia, którego wyniki przedstawione są w niniejszym opracowaniu, polegał na rozpoznaniu i fragmentarycznym zbadaniu metodami geologiczno-geofizycznymi szeregu wybranych na obszarze Dolnego Śląska w trakcie realizacji projektu dużych struktur nieciągłych (uskoków, stref uskokowych lub spēkaniowych) aktywnych współcześnie lub w niedawnej przeszłości geologicznej. Ponadto, gromadzone były dane pomiarowe dotyczące parametrów termicznych skał i wód podziemnych badanego regionu oraz wykonywane ich przetworzenia w postaci modelowań stanu termicznego litosfery. Przeprowadzone w ramach etapu II przedsięwzięcia prace objęły następujące zadania:

- Analiza i przetwarzanie archiwalnych danych geologicznych i geofizycznych, obejmujących reprocessing ok. 650 km bieżących archiwalnych danych głębokiej sejsmiki przemysłowej (refleksyjnej) z obszarów synklinoriów sudeckich oraz analiza cyfrowego modelu terenu (DEM) opartego głównie na danych skaningu laserowego oraz półszczegółowego zdjęcia grawimetrycznego i magnetycznego² dla

² Dane półszczegółowego zdjęcia grawimetrycznego i magnetycznego zostały wykorzystane jako pomocnicze przy planowaniu prac geologicznych, do wyselekcjonowania stref tektonicznych odpowiednich do badań. Ze względu na mało informatywną zawartość analizowanych w dużej skali map pól potencjalnych w odniesieniu do stref wybranych finalnie do wykonania pomiarów geofizycznych, odstąpiono od prezentacji odnośnych wycinków tych map w niniejszym raporcie..

poszczególnych rejonów badawczych. Analiza danych archiwalnych dotyczących parametrów termicznych skał sudeckich oraz danych termometrycznych z istniejących otworów wiertniczych, wsparta szerokim studium literatury naukowej z tych dziedzin.

- Badania strukturalne metodami geofizycznymi i geologicznymi, w tym:
 - badania sejsmiczne na 15 liniach profilowych
 - badania elektrooporowe na 14 liniach profilowych
 - badania metodą VLF na 17 liniach profilowych
 - badania magnetotelluryczne na 12 liniach profilowych o łącznej długości 36 km
 - badania gamma-spektrometryczne (radiometryczne) na 22 liniach profilowych, zlokalizowanych na 15 morfolineamentach (w tym zrealizowano 10 krótkich eksperymentalnych profili eksplorujących łącznie 3 lineamenty)
 - szczegółowe kartowanie strukturalne powierzchniowych wystąpień stref tektonicznych na 5 liniach profilowych
 - badania termometryczne; pomiary profilu temperaturowego w 23 istniejących otworach wiertniczych
 - pomiary i analiza parametrów termicznych skał na 29 próbkach skalnych
 - modelowanie pola temperatury i strumienia ciepłego (na przykładzie karkonoskiego masywu granitoidowego) ;
- Przeprowadzenie analizy geologicznej i hydrogeologicznej wyników badań przeprowadzonych różnymi metodami, w tym w odniesieniu do poszczególnych stref tektonicznych i rejonów badawczych celem wyciągnięcia wniosków związanych z optymalnymi metodami i lokalizacjami dla poszukiwania podziemnych wód termalnych w warunkach geologicznych Dolnego Śląska.

Sposób wykorzystania wyników opracowania

Zgodnie z założeniami przedsięwzięcia, wyniki prac przeprowadzonych podczas jego etapów I i II stanowią podstawę typowania nieciągłych struktur geologicznych wykazujących zapis niedawnej aktywności tektonicznej, które są perspektywiczne ze względu na potencjalne występowanie zasobów wglębnych wód termalnych na obszarze południowej i środkowej części Dolnego Śląska, a także zachodniego skraju Śląska Opolskiego. W trakcie następnego, III, finalnego etapu przedsięwzięcia, m.in. w oparciu o wyniki badań z dwóch pierwszych etapów, będą prowadzone dalsze badania geologiczno-geofizyczne i hydrogeologiczne, w tym przy zastosowaniu odwiertów badawczych, mających na celu rozpoznanie – zwłaszcza pod względem warunków hydrogeologicznych - wytypowanych w dwóch pierwszych etapach młodych struktur nieciągłych (dyslokacji) oraz innych struktur nieciągłych przewidzianych do badań we wcześniej sporządzonych i już wspomnianych: (1) - „Projekcie prac geologicznych dla określenia perspektywicznych rejonów i stref występowania wód termalnych na obszarze bloku karkonosko-izerskiego na podstawie kompleksowych badań i pogłębionej analizy danych geologicznych” (PBG Warszawa i PG „Proxima” we Wrocławiu, 2006 – Grzegorzcyk i Farbisz 2006) oraz (2) - ”Projekcie prac geologicznych dla określenia perspektywicznych

Mapy te w skali obejmującej cały obszar badań zostały umieszczone w raporcie z realizacji etapu I zadania.

rejonów i stref występowania wód termalnych na obszarze Sudetów Środkowych i Wschodnich wraz z blokiem przedsudeckim' (PIG-PIB, 2011). Finalnie, wszystkie 3 wspomniane etapy prac badawczych będą podstawą opracowania atlasu zasobów wód i energii geotermalnej Sudetów i ich przedpola. Wyniki prac przedsięwzięcia (tj. aktualnie sprawozdawanego etapu II, jak i pozostałych) stanowią również lub będą stanowić – w zakresie nieobjętym ewentualnymi wymogami poufności - przedmiot publikacji w wydawnictwach krajowych i międzynarodowych oraz prezentacji i dyskusji na związanych tematycznie z zakresem badań konferencjach i warsztatach naukowych, a także staną się przedmiotem popularyzacji m.in. poprzez publikację w witrynie internetowej Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego oraz w innych formach. Będą jednocześnie podstawowym materiałem wyjściowym ułatwiającym podejmowanie decyzji dotyczących planowania przestrzennego przez organy administracji państwowej i samorządowej. Możliwe będzie także ich wykorzystanie przez instytucje naukowe i badawczo-rozwojowe oraz przez inwestorów zaangażowanych w rozwój różnego typu infrastruktury w regionie. Uzyskane w efekcie realizacji przedsięwzięcia wyniki badań powinny się również przyczynić do pogłębienia stanu rozpoznania budowy geologicznej Polski w jej części południowo-zachodniej.

1.4.3. Metodyka

W toku zrealizowanego etapu II omawianego zadania PSG, w badaniach wykorzystane zostały metody geologiczne i geofizyczne, które sprawdziły się podczas etapu I (analiza geomorfologiczna, badania sejsmiczne, elektrooporowe, radiofalowe, spektrometryczne (radiometryczne), termometryczne i magnetotelluryczne), jednak z istotnymi korektami, dotyczącymi poszerzenia zakresu prac sejsmicznych i magnetotellurycznych, zasadniczej zmiany metodyki badań termometrycznych oraz uzupełnienia prac o szczegółowe kartowanie powierzchniowych wystąpień stref tektonicznych dla celów porównawczych. Prowadzone były też badania petrofizyczne odmian skalnych szczególnie istotnych dla panujących w podłożu skalnym Sudetów warunków temperaturowych i – w ten sposób – gromadzone były dane, dotyczące parametrów termicznych tych skał oraz ciepła generowanego w nich radiogenicznie. Miało to na celu wykorzystania tych danych do – również prowadzonego, i to w szerszym zakresie niż podczas etapu I, modelowania pola cieplnego podłoża skalnego Dolnego Śląska. Wykonano też analizy archiwalnych danych głębokiej sejsmiki poszukiwawczej w celu lokalizacji głębokich stref nieciągłości tektonicznych. Zrezygnowano natomiast z dalszego prowadzenia badań geochronologicznych, uznając dane zgromadzone podczas etapu I prac za wystarczające.

Przy realizacji prac badawczych etapu II zadania wykorzystano następujące metody badań:

1. Analiza archiwalnych materiałów geologicznych i geofizycznych: analiza map geologicznych i cyfrowych modeli terenu (DEM) opartych na danych teledetekcyjnych (m.in. lotniczego skaningu laserowego), analiza zreprocesowanych za pomocą współczesnego zaawansowanego oprogramowania stosowanego w przemyśle naftowym, archiwalnych danych przemysłowej sejsmiki refleksyjnej z obszarów synklorium północno- i śródsudeckiego. Analiza materiału archiwalnego

dotyczącego rozpoznania stanu termicznego skorupy ziemskiej na Dolnym Śląsku oraz poszukiwania i pozyskiwania podziemnych wód termalnych.

2. Płytkie badania sejsmiczne 2D, polegające na przeprowadzeniu w terenie akwizycji danych pomiarowych z użyciem źródła udarowego bądź wibracyjnego o małej mocy (typowego źródła stosowanego do celów badawczych), a następnie na przetworzeniu danych pomiarowych do postaci profili sejsmicznych 2D metodą refrakcyjną, bądź refleksyjną.
 3. Badania metodą tomografii elektrooporowej (ERT).
 4. Profilowanie metodą elektromagnetyczną (VLF), polegające na pomiarach terenowych fazy sygnału VLF (ang. *very low frequency* – sygnał radiowy o bardzo niskich częstotliwościach), za pomocą specjalistycznego odbiornika wzdłuż profili prostopadłych do spodziewanych stref uskokowych. Wyniki pomiarów, po przetworzeniu, ułatwiają wskazanie lokalizacji powierzchni uskokowych, w tym pod przykryciem warstwą osadów.
 5. Profilowanie magnetotelluryczne w wersji profilowania ciągłego (CPMT), pozwalające na identyfikację do znacznych głębokości (rzędu 4-5 kilometrów) stref o obniżonej oporności elektrycznej, identyfikowanych ze strefami zawodnionymi.
 6. Profilowanie termometryczne za pomocą pomiarów ustabilizowanej temperatury wody w istniejących odwiertach lub studniach.
 7. Powierzchniowe profilowanie spektrometryczne (radiometryczne), polegające na zebraniu pomiarów w terenie wzdłuż profili prostopadłych do stref uskokowych i przetworzeniu danych pomiarowych do postaci profili (lub map) natężenia promieniowania gamma dla trzech poziomów energetycznych.
 8. Badania parametrów termicznych typowych odmian skał sudeckich (wielkości generowanego ciepła radiogenicznego na podstawie zawartości pierwiastków promieniotwórczych) oraz przewodności termicznej.
 9. Modelowanie pola temperatury i strumienia ciepłego litosfery Dolnego Śląska przy wykorzystaniu danych zgromadzonych w toku badań zadania oraz danych archiwalnych, z wykorzystaniem platformy obliczeniowej MATLAB oraz autorskich pakietów do modelowania procesów fizycznych w środowisku skalnym.
 10. Analiza strukturalna i hydrogeologiczna wyników interpretacji dla zbadanych stref tektonicznych.
 11. Sformułowanie wniosków dotyczących potencjalnych zasobów geotermalnych w badanym regionie oraz implikacji dla poszukiwań wglębnych wód termalnych.
- Bardziej szczegółowe informacje dotyczące metodyki znajdują się przy opisie poszczególnych rodzajów badań.

Literatura

Aleksandrowski P. (red.) i in., 2018 – Raport końcowy z realizacji zadania Państwowej Służby Geologicznej *Młode Młode strefy tektoniczne a warunki geotermalne w Sudetach w świetle badań geochronologicznych, strukturalnych i termometrycznych –Etap I*(Umowa nr 377/2015/Wn-07/FG-GO-DN/D). Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa, 450 s.

Carvalho J.M., 1996 – Mineral water exploration and exploitation at the Portuguese Hercynian Massif, *Environmental Geology* 27: 252-258.

H.I, Carvalho J.M, Afonso M.J, Teixeira J., Freitas L., 2013 - On a dialogue between hard-rock aquifer mapping and hydrogeological conceptual models: insights into groundwater exploration. *European Geologist Journal*, 35: 26-31.

Cymerman Z., 2006 – *Mapa tektoniczna Sudetów w skali 1:200 000*, Wyd. 1. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.

Cymerman Z., 2010 – *Mapa tektoniczna Sudetów w skali 1:200 000*, Wyd. 2. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.

Dowgiałło J., 1976 – Wody termalne Sudetów, *Acta Geologica Polonica*, 26 (4): 617-640.

Dowgiałło J., 2001 – Sudecki region geotermiczny (SRG) – określenie, podział, perspektywy poszukiwawcze. *Współczesne problemy hydrogeologii*, 10 (1): 301-308, Wyd. Uniw. Wrocław., Wrocław.

Dowgiałło J., 2002 – The Sudetic geothermal region of Poland, *Geothermics*, 31: 343-359.

Dowgiałło J., Fistek J., 2007 – 6. Prowincja sudecka. W: Paczyński B., Sadurski A. (red.), 2007 – *Hydrogeologia regionalna Polski. T II. Wody mineralne, lecznicze, termalne oraz kopalniane: 57-77*. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.

Fistek J., Fistek A., 2002 – Geotermia Dolnego Śląska – zasoby, wykorzystanie, koszty inwestycyjne. W: *Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii na przykładzie Dolnego Śląska*: 41-49, Materiały konferencyjne Polskiego Klubu Ekologicznego, Okręg Dolnośląski, Wrocław

Grzegorzczak K., Farbisz J., 2006 – Projekt prac geologicznych dla określenia perspektywicznych rejonów i stref występowania wód termalnych na obszarze bloku karkonosko-izerskiego na podstawie kompleksowych badań geofizycznych i pogłębionej analizy danych geologicznych. PBG Warszawa oraz PG Proxima S.A., Wrocław.

Krawczyk J., Aleksandrowski P., Chowaniec J., Skrzypczyk L., Farbisz J., Grzegorzczak K., Biel A., 2011 - Projekt prac geologicznych dla określenia perspektywicznych rejonów i stref występowania wód termalnych na obszarze Sudetów Środkowych i Wschodnich wraz z blokiem przedsudeckim. Państwowy Instytut Geologiczny PIB, Oddział Dolnośląski, Państwowa Służba Hydrogeologiczna, Wrocław.

Paczyński B., Sadurski A. (red.), 2007 – *Hydrogeologia regionalna Polski. T II. Wody mineralne, lecznicze, termalne oraz kopalniane*: 204 ss., Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.

Whitehead N.E., 1984. Geothermal prospecting by ground radon measurements. *J. Volcanology and Geothermal Research*, 20: 213-229.

Żelaźniewicz A., Aleksandrowski P., 2008 - Regionalizacja tektoniczna Polski: Polska południowo-zachodnia. *Przegląd Geologiczny* 56: 904-911.

Żelaźniewicz A., Aleksandrowski P., Buła Z., Karnkowski P.H., Konon A., Oszczytko N., Ślęczka A., Żaba J., Żytko K., 2011 - *Regionalizacja Geologiczna Polski*. Komitet Nauk Geologicznych PAN, Wrocław, 60 s.