

12. Podsumowanie (synteza) i wnioski

Autorzy: Paweł Aleksandrowski, Marcin Dąbrowski, Łukasz Jasiński, Maciej Kłonowski, Marcin Olkowicz, Szymon Ostrowski, Olga Rosowiecka

Jak zauważono już we wprowadzeniu do niniejszego raportu, wyniki prac wykonanych w ramach obydwu etapów zadania psg „Młode strefy tektoniczne a warunki geotermalne w Sudetach w świetle badań geochronologicznych, strukturalnych i termometrycznych” nie upoważniają do przeprowadzenia pełnej syntezy ich wyników - syntezy rozumianej jako opisanie i wyjaśnienie funkcjonowania jakiejś całości, w postaci zapewne jednolitego systemu geotermicznego Dolnego Śląska. W przekonaniu autorów raportu, taki jednolity system w tej skali nie istnieje i nie funkcjonuje, a przeprowadzone badania miały za cel zebranie możliwie jak najszerszego materiału do pokrycia obszaru Sudetów i ich przedpola punktowymi (np. zebrane pomiary temperatury w odwiertach), liniowymi (np. pomierzone profile geofizyczne) lub - tylko w niektórych przypadkach (np. mapy rozkładu temperatury) – powierzchniowymi danymi, pokrycia możliwie jak najpełniejszego, ale – siłą rzeczy – dalekiego od kompletności.

Badania prowadzone ramach etapów I i II niniejszego zadania psg nie miały na celu bezpośredniego poszukiwania wód termalnych głębokiego krążenia, ani też – przy użyciu dostępnych do realizacji zadania narzędzi - możliwości stwierdzenia czy w danej lokalizacji występują lub nie występują wody termalne. Aby jednoznacznie stwierdzić występowanie takich wód należy je nawiercić, a takimi narzędziami przy realizacji zadania nie dysponowaliśmy i, zresztą, jego użycie do celów, jakie miały być osiągnięte zaplanowanymi badaniami, byłoby ekonomicznie nieuzasadnione. Generalnym celem badań było oszacowanie czy miejscowe warunki geologiczno-strukturalne w danym, wybranym do badań rejonie oraz czy wyselekcjonowana do analizy dana duża deformacyjna struktura krucha, „strefa tektoniczna”, dyslokacja o charakterze złożonego uskoku bądź strefy koncentracji spękań będzie - z racji swego wykształcenia i zasięgu - sprzyjać głębokiej cyrkulacji wód, które dzięki temu, że infiltrują na znaczne głębokości, mają szanse wykazywać podwyższoną temperaturę. Z kolei, stwierdzenie w obrazie geofizycznym charakterystyki geometrycznej i właściwości petrofizycznych ośrodka wskazujących na warunki uznawane za sprzyjające występowaniu w masywie skalnym wód głębokiego krążenia (np. głęboki na kilka kilometrów zasięg stromych stref nieciągłości strukturalnych w połączeniu z szerokimi na kilkaset metrów strefami zniszczenia), a nawet wskazujących na ich faktyczne rezydowanie (np. stwierdzenie liniowych stref niskiej oporności elektrycznej wzdłuż głęboko sięgających rozłamów) nie gwarantują, że wody wypełniające szczelinowe kolektory mają istotnie podwyższoną temperaturę, a nawet że występują w znaczących z punktu widzenia opłacalności eksploatacji ilościach. Z drugiej strony, brak stwierdzenia badaniami w danej lokalizacji spektakularnych, manifestujących się na powierzchni i jednocześnie głęboko sięgających nieciągłości strukturalnych, choć znacząco obniża szanse nawiercenia tam wód termalnych, jednak nie przekreśla całkowicie takiej szansy, jako że możliwości rozpoznania pod tym względem głębszych horyzontów podłoża zbudowanego ze skał krystalicznych są, przy użyciu dostępnych narzędzi, ograniczone.

Tak więc, finalnie, „Atlas geotermalny Sudetów i ich przedpola”, planowany do realizacji jako kolejny etap zadania państwowej służby geologicznej, nie będzie, bo nie może, jednoznacznie wskazywać rezydowania podziemnych zbiorników wód termalnych. Będzie on natomiast przewodnikiem dla inwestorów, wskazującym strefy sprzyjające - bardziej niż ich otoczenie - występowaniu głębokich wód termalnych i pozwalającym na optymalne w danych warunkach rozpoznania wstępne zlokalizowanie odwiertu geotermalnego. Każdorazowo, jednak, przed podjęciem decyzji o rozpoczęciu inwestycji, inwestor będzie zmuszony przeprowadzić szereg badań szczegółowych wokół miejsca planowanego odwiertu.

Pomimo wstępnych zastrzeżeń co do możliwości przedstawienia pełnej syntezy wyników na tym etapie realizacji zadania, poniżej starano się w miarę wyczerpująco streścić główne rezultaty przeprowadzonych badań oraz wynikające z nich wnioski odnośnie do:

- większej od innych perspektywiczności niektórych rozpoznawanych rejonów pod względem możliwości goszczenia znacznie większych zasobów wód termalnych w głębokich systemach szczelinowych,
- wypracowanej metodyki badań nad perspektywicznością geotermalną obszarów o podłożu zbudowanym głównie ze skał krystalicznych lub silnie zdiagenezowanych i przegrzanych (jak Sudety),
- konieczności kontynuowania lub przeprowadzenia niektórych rodzajów badań we wstępnej fazie opracowania „Atlasu geotermalnego Sudetów i ich przedpola”.

W toku badań przeprowadzonych w ramach etapu II zadania „Młode strefy tektoniczne a warunki geotermalne w Sudetach w świetle badań geochronologicznych, strukturalnych i termometrycznych” stwierdzono, że spośród zastosowanych metod badawczych, za najbardziej użyteczną i przydatną w rozpoznawaniu potencjału geotermalnego badanych głębokich nieciągłości tektonicznych należy uznać metodę CPMT – ciągłego profilowania magnetotellurycznego (w skrócie: MT), omówioną wraz z wynikami w rozdziale 3, która pozwala ze znacznym prawdopodobieństwem i do znacznej głębokości (rzędu 4-5 km) zidentyfikować w górotworze strefy zawadnione. Tą metodą, w oparciu o współpracę z podwykonawcą - Przedsiębiorstwem Badań Geofizycznych sp. z o.o., zrealizowano w ramach zadania pomiary na 12 liniach profilowych o łącznej długości 36 km i na podstawie właśnie tych badań rozpoznano podwyższoną perspektywiczność dla potencjalnego występowania zasobów podziemnych wód termalnych głębokiego krążenia dla następujących siedmiu rejonów badań (na poniższej liście ilość gwiazdek zwiększa się z subiektywną pozytywną oceną stopnia perspektywiczności na podstawie analizy przekrojów MT; w nawiasie nazwa struktur kruchych, z którymi wiążą się rozległe strefy niskiej oporności elektrycznej w obrazie MT):

Rejon Stara Łomnica*** (uskok Pstrężna-Gorzanów),
Rejon Pławna*** (uskok południowy rowu Wlenia),
Rejon Złotoryja** (uskok Jerzmanic, uskok sudecki brzeźny),
Rejon Kudowa** (uskok Zieleńca, uskok Klikawy),
Rejon Wierzchosławice* (uskok zachodni rowu Wierzchosławic oraz uskoki wnętrza rowu),

Rejon Głuszycy* (uskok Głuszycy),

Rejon Srebrna Góra* (uskok brzeżny).

W większości przypadków, wychodnie uskoków wzdłuż których rozwinęły się głęboko sięgające strefy obniżonej elektrooporności w obrazie MT, zlokalizowane są w obniżeniach terenu bezpośrednio sąsiadujących z obszarami topograficznie wyniesionymi, gdzie zapewne dochodzi do zwiększonej infiltracji wód meteorycznych, które migrują w głąb górotworu wzdłuż pionowych i stromych systemów szczelin, które w obszarach elewowanych są łatwiej rozwierane dzięki tendencji do ekstensyjnego układu naprężeń wskutek zjawiska kolapsu grawitacyjnego masywów skalnych.

Ponieważ w toku obu dotychczasowych etapów realizacji zadania zdołano wykonać łącznie jedynie szesnaście profili magnetotellurycznych przechodzących przez potencjalnie obiecujące struktury uskokowe na całym obszarze sudeckim i przedsudeckim, należy dążyć do istotnego zwiększenia ich ilości, do co najmniej 60-70 profili, tak aby podstawa oszacowania potencjalnych zasobów geotermalnych w planowanym „Atlasie zasobów geotermalnych Sudetów i ich przedpola” była merytorycznie uzasadniona i ilościowo wystarczająca.

W trakcie realizacji niniejszego, drugiego etapu zadania „Młode strefy tektoniczne...” dokonano znacznego, ale wciąż jeszcze niewystarczającego, postępu w rozpoznawaniu kluczowych parametrów termicznych podłoża skalnego Dolnego Śląska, w tym przede wszystkim przewodności cieplnej (p. rozdział 9) oraz produkcji ciepła radiogenicznego (p. rozdział 8). W oparciu o zgromadzone w toku tych prac dane, a także o archiwalne profile termiczne nielicznych istniejących głębokich odwiertów, wykonano modelowanie pola temperatury i strumienia cieplnego dla górnej części skorupy ziemskiej na przykładzie granitoidowego masywu Karkonoszy. Przeanalizowano również profile temperaturowe w siedmiu głębokich otworach wiertniczych z tego obszaru. Spośród nich, dane pochodzące z czterech otworów zostały pozyskane w warunkach nieustabilizowanych lub otwory te są zbyt płytkie, aby mogły być bezpośrednio użyteczne do wiarygodnego wyznaczenia gradientu termicznego. W przypadku wspomnianych otworów, gradient termiczny oszacowano na podstawie zmierzonej lub ekstrapolowanej wartości temperatury na dnie otworu i założonej średniej rocznej wartości temperatury powierzchni terenu. Uzyskano spójne wartości gradientu termicznego na poziomie ok. 25 °C/km dla trzech otworów i ok. 30°C/km dla jednego z nich. Należy podkreślić, że niezmiernie cenne z punktu widzenia analizy stanu termicznego masywu Karkonoszy byłoby przeprowadzenie ponownego profilowania temperaturowego w głębokich otworach Staniszków ST-1 oraz Karpniki KT-1, ale w warunkach ustabilizowanych.

Na podstawie zrekonstruowanych wartości gradientu termicznego, oszacowano wartości powierzchniowej gęstości strumienia cieplnego. Przedstawione w rozdziale 9 tego raportu badania i analizy pokazały, że przewodność cieplna granitów karkonoskich w warunkach temperatury pokojowej może kształtować się na wyraźnie wyższym niż dotychczas zakładano poziomie między 3,0 a 3,5 Wm⁻¹K⁻¹. Przyjmując te wnioski oraz opierając się na zrekonstruowanych wartościach gradientu termicznego w zakresie między 25 a 30°C/km,

powierzchniową gęstość strumienia ciepłego na obszarze masywu karkonoskiego można oszacować na zakres pomiędzy 75 a 105 mWm⁻². Dotychczasowe szacunki wartości strumienia dla tego obszaru są zbliżone do dolnej granicy szacowanego zakresu. Przedstawione w rozdziale 9 wyniki analiz uwzględniają m.in. zmiany wartości przewodności cieplnej skał w zależności od temperatury oraz pomierzone i prawdopodobne zakresy wielkości produkcji ciepła radiogenicznego w granitoidowych masywach Sudetów. Wyniki modelowań z rozdziału 10 wskazują na bardzo istotny wpływ wartości tych parametrów na stan termiczny litosfery, a tym samym na potencjał geotermiczny regionu.

Należy podkreślić, że bliższe rozpoznanie stanu termicznego podłoża skalnego Dolnego Śląska wymaga dalszych systematycznych badań przewodności cieplnej granitoidów sudeckich, ze szczególnym uwzględnieniem efektów związanych z zależnością tego parametru od temperatury oraz z wpływem obecności mikroszczelin na wyniki pomiarów (konieczność prowadzenia pomiarów w stanie wysycenia próbek wodą).

W toku przeprowadzonych modelowań analizowano wpływ poziomu ciepła radiogenicznego na rozkład temperatury z głębokością i rozpoznano silnie nieliniowy charakter tej zależności oraz jej bardzo istotne znaczenie dla ukształtowania się profilu termicznego w skali skorupy ziemskiej. Niewątpliwie konieczne są dalsze szczegółowe badania rozkładu ciepła radiogenicznego w skałach masywu karkonoskiego i innych masywów sudeckich, które pozwoliłyby na właściwą ocenę reprezentatywnych, uśrednionych wartości generowanego ciepła radiogenicznego.

W toku modelowań ustalono też, że ze wzrostem głębokości efekt temperaturowy związany z ciepłem radiogenicznym silnie narasta. W zależności od przyjętej uśrednionej wartości generacji ciepła w profilu, różnice temperatury na głębokości rzędu 4-5 km mogą sięgać kilkudziesięciu °C względem uproszczonych liniowych geoterm ekstrapolowanych na podstawie oznaczeń przypowierzchniowego gradientu termicznego. Przeprowadzone modelowania pokazują jednak, że efekt ten jest kompensowany przez spadek przewodności cieplnej przy wzroście temperatury. Dalsze, uszczegółowiające badania przewodności cieplnej granitów karkonoskich, a w szczególności jej zależności od temperatury, pozwoliłyby na opracowanie dokładniejszych modeli rozkładu temperatury w masywie karkonoskim, a w dalszej kolejności również w innych granitoidowych masywach sudeckich. Rozwinięciem przedstawionych w tym opracowaniu modelowań powinno być użycie modeli trójwymiarowych, co pozwoliłoby m.in. na rozpoznanie potencjalnie znaczących efektów związanych z topografią, z oboczną zmiennością parametrów termicznych, z adwekcją płynów, a także z trójwymiarową (n.b. słabo dotąd rozpoznaną) strukturą plutonu karkonoskiego. Wskazane byłoby też uzupełnienie modelowania stacjonarnego modelowaniem niestacjonarnym, które umożliwiłoby szczegółową ocenę wpływu czynników klimatycznych (poprawka paleoklimatyczna) dla analizowanego obszaru.

Oprócz omówionych powyżej badań termicznych dotyczących głębszych poziomów podłoża skalnego Sudetów (geotermia głęboka), wykonano też, przy użyciu multimiernika KLL-Q2 wyposażonego w sondę MPS-D8, profilowanie temperatury i niektórych parametrów fizykochemicznych wód podziemnych (EC, pH i stężenie tlenu O₂) do

głębokości 200 m ppt. wykonano dla 23 studni wierconych i piezometrów na Dolnym Śląsku, głównie w Sudetach i na bloku przedsudeckim, jak również na monoklinie przedsudeckiej (p. rozdział 7). Rozpoznana miąższość najpłytszej strefy litosfery, w której występują wahania temperatury wywołane przez czynniki zewnętrzne, geo- i antropogeniczne, jest silnie zróżnicowana i waha się od 7,81 do 48,16 metra, przy czym średnia głębokość punktu inwersji temperatury wynosi około 20 metrów p.p.t.

Wody o podwyższonej temperaturze, poza otworami Pełczyn IVP – 17,39 °C, Wałbrzych Stara Kopalnia – 15,45 °C oraz Stary Waliszów 7R – 15,08 °C, zanotowano również w spażu odkrywki KWB Turów, gdzie w dwóch przypadkach zmierzono temperatury przekraczające 20 °C. Niektóre z tych wystąpień należy wiązać z ascensją wód podziemnych pochodzących ze szczelinowych systemów głębokiego krążenia w podłożu krystalicznym poprzez uprzywilejowane strefy uskokowe. Istotne jest także występowanie nadkładu skał osadowych, w tym węgla brunatnych i kamiennych, które ze względu na stosunkowo niskie wartości przewodności cieplnego mogą stanowić izolację i pułapkę dla ciepła geogenicznego.

Wyniki profilowania temperatury przedstawiono m.in. w postaci termogramów, a dla wybranych otworów wykonano obliczenia głównych parametrów geotermicznych, tj. gradientu i strumienia cieplnego. Pomimo przyjętych uproszczeń metodycznych i ograniczeń procedury pomiarów, w przypadku interwału obliczeniowego o miąższości \geq około 150 metrów, otrzymane wyniki są w istotnej części zbieżne z rezultatami dotychczasowych badań, zarówno w skali całego kraju jak i regionu. W oparciu o uzyskane dane – prowizorycznie wyliczono prognozowane wartości temperatury górotworu na głębokościach 500, 1000, 1500 i 2000 m ppt., (jako funkcji średniego gradientu geotermalnego w danej lokalizacji - dla wybranego otworu wiertniczego). Badania takie mają znaczenie dla geotermii płytkiej oraz – w przypadku pozyskania znacząco większej populacji danych pomiarowych - pozwalają na integrację wartości parametrów termicznych podłoża skalnego wyliczonych z danych głębokich oraz danych przypowierzchniowych.

Ze względu na mozaikową budowę geologiczną Sudetów i bloku przedsudeckiego, złożone warunki hydrogeologiczne, niewielką liczebność populacji danych oraz efekt grupowania się niektórych otworów w wybranych fragmentach obszaru badań na obecnym etapie nie ma możliwości kompleksowej analizy wyników badań dla całości analizowanego terenu, w tym wykonania interpolacji rezultatów obliczeń i przedstawienia ich w postaci map izolinowych.

- Dotychczasowe wyniki profilowania temperatury i wybranych parametrów fizykochemicznych wody w otworach studziennych i piezometrach charakteryzują się stosunkowo wysoką dokładnością pomiaru, interpretacje wykonanych na ich podstawie obliczeń - w dużym stopniu zgodnych z danymi archiwalnymi - potwierdzają, że badania tego typu są bardzo dobrym narzędziem do aktualizacji archiwalnych danych geotermicznych oraz do uzupełnienia zbioru danych analitycznych w przypadku obszarów pozbawionych otworów głębokich, jak również obszarów o skomplikowanej budowie geologicznej i złożonych warunkach hydrogeologicznych;
- W przyszłych badaniach należy uwzględnić wykonanie profilowań w dodatkowych płytkich otworach, np. na terenie LGOMu, na Śląsku Opolskim i, pod warunkiem uzyskania zgody właściciela, w otworach geotermalnych, np. LZT-1 w Łądku i w Dusznikach-Zdroju;

- Celowe jest wykonanie długoterminowych zautomatyzowanych pasywnych pomiarów temperatury na większych głębokościach (monitoring temperaturowy za pomocą tzw. *diverów*) dla wybranych otworów,

Pozostałe prace prowadzone w toku realizacji II etapu zadania polegały głównie na płytkim profilowaniu geofizycznym – metodami sejsmiczną, elektrooporową oraz radiofalową (VLF) (rozdział 2) lub powierzchniowym profilowaniu geochemicznym – metodą gamma-spektrometryczną (rozdział 4) wybranych młodych stref tektonicznych w poszczególnych rejonach badań - w miarę możliwości - wzdłuż tych samych lub zbliżonych linii profilowych.

Przeprowadzone płytkie sejsmiczne badania refleksyjne i badania metodą tomografii elektrooporowej pozwoliły na rozpoznanie ośrodka skalnego wzdłuż realizowanych profili do głębokości rzędu 100-200 m pod powierzchnią terenu, w zależności od budowy geologicznej rejonu badań. W lokalizacjach, gdzie możliwe było wykonanie przetwarzania danych sejsmicznych metodą głębokościowych punktów wspólnych, głębokość rozpoznania wzrastała lokalnie - przy zastosowanej technice - do maksymalnie 500 m. Badania o takim zakresie głębokościowym, przeprowadzone bez innych, głębszych badań, nie pozwalają jednak na rozpoznanie stref uskokowych, które mogłyby mieć potencjalne znaczenie dla głębokiej cyrkulacji wód termalnych. Badania te natomiast znacznie poprawiają szczegółowość rozpoznania płytkich partii podłoża, w tym szczegółów budowy stref uskokowych w strefie płytkiego zniszczenia (ang. *shallow damage zone*). Informacje uzyskane z płytkich badań sejsmicznych i elektrooporowych cechują się wysoką rozdzielczością, szczególnie w porównaniu do głębokich badań magnetotellurycznych. W wielu przypadkach pozwalają one na wyznaczenie kolejnych uskoków w strefach identyfikowanych badaniami magnetotellurycznymi jako pojedyncza, szeroka strefa uskokowa, na określenie szerokości strefy zniszczenia indywidualnych uskoków oraz kierunku i kąta upadu ich powierzchni. Badania sejsmiczne obrazujące pole prędkości fal sejsmicznych pozwalają również na wnioskowanie na temat potencjalnej szczelności stref uskokowych. Skały uskokowe występujące w strefach uskokowych, charakteryzujące się obecnością otwartych, niezmineralizowanych szczelin, wykazują generalnie niższe wartości prędkości fal sejsmicznych niż skały otaczające, oraz niż skały uskokowe, w których doszło do silnej cementacji spękań. Badania elektrooporowe pozwalają z kolei na przybliżone rozpoznanie składu litologicznego ośrodka. Informacja taka często umyka badaniom sejsmicznym, np. w przypadku wyznaczania stref silnej kaolinityzacji granitów, czy rozdzieleniu różnych typów skał osadowych. Generalnie, badania sejsmiczne i elektrooporowe uzupełniają się wzajemnie i korzystne jest każdorazowe wykonanie obu typów badań dla każdej z linii pomiarowych. Badania wprawdzie nie pozwalają na obrazowanie głębokiej budowy geologicznej, jednak informacje uzyskane na temat płytkich partii stref zniszczeniowych często wnoszą cenne informacje, które pośrednio ekstrapoluje się i wykorzystuje w ogólnych interpretacjach budowy podłoża, lub też przy ekstrapolacji ku górze, do powierzchni, struktur głębszych rozpoznanych innymi metodami.

Badania metodą VLF przeprowadzono dla 17 linii pomiarowych. Na podstawie doświadczeń z poprzedniego etapu zadania przyjęto, że badania tą metodą należy prowadzić jedynie na

liniach pomiarowych, przebiegających w przewodzie po wychodniach skał skonsolidowanego podłoża. Badania drugiego etapu potwierdziły, że fragmenty profili VLF przebiegające na liniach gdzie występuje pokrywa niezlityfikowanych osadów kenozoicznych, nie niosą informacji o podłożu. Nawet na odcinkach, gdzie linie pomiarowe zlokalizowane są na podłożu ze zlityfikowanych skał osadowych, profile VLF dają bardzo ubogie informacje o strukturze tego podłoża. Dopiero na podłożu krystalicznym wyniki badań VLF mogą nieść informacje o położeniu stref spękań istotne dla rozważań na temat cyrkulacji wód. Zastosowanie w prowadzonych badaniach filtracji Frasera pozwoliło na nieznaczne podniesienie wartości informacji poprzez zobiektywizowanie położenia anomalii, oraz lepsze rozróżnienie pomiędzy anomaliami naturalnymi a zakłóceniami generowanymi przez obiekty sztuczne, jak linie energetyczne, czy gazociągi. Generalnie, zastosowanie badań VLF do rozpoznania głębokiej budowy geologicznej, w rejonach o stosunkowo dobrze rozpoznanej geologii przypowierzchniowej, nie wnosi istotnej jakości. Rozpoznanie metodą VLF, stosowane w przestrzennej siatce profili, mogłoby znaleźć zastosowanie do określania przebiegu sieci szczelin i spękań na podłożach założonych na skałach krystalicznych, w rejonach alimentacji systemów hydrogeologicznych/geotermicznych

Badania metodami sejsmiki płytkiej, tomografii elektrooporowej i metodą radiofalową (VLF) na podstawie zebranych doświadczeń i w odniesieniu do zasadniczych celów realizowanego zadania należy uznać za komplementarne i uzupełniające w stosunku do podstawowych wyników badań osiągniętych metodą profilowania magnetotellurycznego CPMT. Wyniki tych uzupełniających badań pozwoliły i – w ogólności - pozwalają zidentyfikować na niewielkich głębokościach, przy powierzchni terenu, przejawy głębokich kruchych struktur nieciągłych, perspektywicznych dla wystąpień wód termalnych, które zasadniczo rozpoznawane są metodą magnetelluryczną. Tym samym badania uzupełniające dostarczają istotnych informacji, które jednak mają większe znaczenie dopiero w połączeniu z informacjami z badań dostarczających danych głębokich, tj. głównie profilowań magnetotellurycznych, ale też i danych głębokiej sejsmiki.

W badaniach etapu II zadania „Młode strefy tektoniczne...” sprawozdawanych w tym raporcie, do uzyskania informacji o głęboko sięgających strukturach nieciągłych wykorzystano też dane głębokiej sejsmiki przemysłowej (rozdział 6). Opierając się na archiwalnych danych pomiarowych z lat 1970-tych i początku 90-tych, które poddano nowoczesnemu reprocessingowi, uzyskano wiarygodne informacje o uskokach penetrujących w głąb obu synklinoriów sudeckich – północno- i śródsudeckiego, które mogą być potencjalnymi celami poszukiwawczymi za wodami termalnymi głębokiego krążenia na tych obszarach. Metoda sejsmiczna ze znacznie lepszą rozdzielczością i wiarygodnością niż magnetotelluryczna pokazuje lokalizację i sposób wykształcenia głębokich uskoków i stref uskokowych, ale nie informuje o możliwościach ich zawodnienia.

Ważnym wkładem w zrozumienie komplikacji i szczegółów struktury wewnętrznej badanych „zgrubnymi” metodami geofizycznymi kruchych stref tektonicznych, a także sposobu ich funkcjonowania w trakcie przepływu wód podziemnych, wydają się wyniki badań polegających na szczegółowym kartowaniu struktur kruchych w wybranych kamieniołomach

(rozdział 5.1) prowadzone w celu opracowania klasyfikacji typowych dla warunków sudeckich stref kruchych nieciągłości tektonicznych. Struktury te z pożytkiem dla poszukiwań wód termalnych kartowane mogą być również w skalach mniejszych (rozdział 5.2).

Do identyfikacji nieciągłości tektonicznych w pracach etapu II zadania wykorzystywano też polowe badania gamma-spektrometryczne (p. rozdział 4), polegające na profilowaniu natężenia promieniowania gamma bezpośrednio na powierzchni terenu lub na wysokości 1 m nad nią, z wykorzystaniem spektrometrów polowych. Zastosowano przy tym metodykę ulepszoną w stosunku do takich badań prowadzonych podczas etapu I zadania.

Badania gamma-spektrometryczne wykonywano wzdłuż tych odcinków profili geofizycznych, na których w wyniku prac geofizycznych albo na podstawie topografii wyznaczono uskoki bądź strefy uskokowe. Przeprowadzone pomiary pozwoliły w niektórych przypadkach ustalić, że lineamenty morfologiczne wyznaczone wyłącznie na podstawie analizy zdjęcia LIDAR są np. uskoki założonymi w podłożu metamorficznym. Na liniach pomiarowych wyznaczonych do badań gamma-spektrometrycznych na podstawie wyników uprzednio przeprowadzonych badań sejsmicznych bądź magnetotellurycznych, które wskazywały na występowanie nieciągłości strukturalnych w podłożu, w większości przypadków przeprowadzone profilowania potwierdziły obecność tych nieciągłości na powierzchni terenu. Doświadczenie uzyskane podczas pomiarów prowadzonych metodą gamma-spektrometryczną prowadzi do wniosku, że choć uzyskane dane często potwierdzają istnienie tychże uskoków, to jednak nie wnoszą dodatkowej informacji na temat współczesnej aktywności tych struktur. Taką informację mogą wnieść natomiast pomiary stężenia radonu w powietrzu glebowym. W ramach II etapu realizacji zadania wykonano takie pomiary, jako uzupełniające, na dwóch obiektach (Głuszycza i Książnica). Pomiary wykonane w Książnicy wskazują na prawdopodobieństwo współczesnej aktywności uskoku stwierdzonego metodą magnetotelluryczną. Spośród metod zastosowanych w zadaniu tylko metoda radonowa daje możliwość stwierdzenia współczesnej aktywności uskoków i z tego powodu wskazane jest zaplanowanie i wykonanie takich pomiarów w kolejnym etapie realizacji zadania. Jednocześnie nie ma potrzeby kontynuowania badań metodą gamma-spektrometryczną, która w najlepszym wypadku jedynie potwierdza wyniki uzyskane innymi metodami badawczymi.

Dane pomiarowe, obliczeniowe oraz zestawienia literaturowe zgromadzone w toku realizacji prac etapów I i II zadania „Młode strefy tektoniczne, a warunki geotermalne w Sudetach” dostarczają istotnego wkładu do przygotowania planowanego „Atlasu zasobów geotermalnych Sudetów i ich przedpola”. Opracowanie Atlasu wymaga jednak jeszcze zgromadzenia znacznej ilości nowych danych, zwłaszcza wyników profilowań magnetotellurycznych dla kilkudziesięciu nowych lokalizacji, tak by w miarę równomiernie pokryć cały obszar zainteresowań Atlasu. Niemniej wartościowe pod tym względem będą jednak też badania koncentrujące się na kilku wybranych obszarach, jak np. masyw granitoidowy Karkonoszy, gdzie mogą mieć one bardziej szczegółowy charakter.

Do materiałów przeznaczonych do prezentacji w „Atlasie geotermalnym Sudetów i ich przedpola”, należy włączyć wyniki archiwalnych badań magnetotellurycznych

ukierunkowanych na poszukiwanie wód termalnych, a zrealizowanych na zamówienie np. lokalnych samorządów (np. Polanicy Zdrój, czy Bolesławowa). Warto również sięgnąć do archiwalnych dokumentacji geoelektrycznych, których bardzo dużo było realizowanych na badanym obszarze w celu poszukiwania wód (dla ujęć wody pitnej), ale także pod kątem rozpoznania tektonicznego.

Szczególnie ważna, w aspekcie realizacji Atlasu na odpowiednim poziomie merytorycznym, będzie możliwość kontynuacji badań nad stanem termicznym podłoża Dolnego Śląska. Wymagać będzie ona wykorzystania odpowiednich danych z już istniejących lub nowych, planowanych przez różnych inwestorów i wykonywanych odwiertów geotermalnych.

Najważniejsze elementy prac badawczych niezbędnych do przeprowadzenia ramach pierwszej fazy realizacji „Atlasu zasobów geotermalnych Sudetów i ich przedpola”, obejmują zatem m.in.:

- uzupełnienie szeregu rejonów badawczych wyróżnionych na poprzednich dwóch etapach prac rejonów i objętych niektórymi rodzajami badań o niewykonane tam najistotniejsze badania, tj. profilowania magnetotelluryczne CPMT,
- przedłużenie niektórych wykonanych uprzednio profili ERT i/lub sejsmicznych, tam gdzie przeprowadzone interpretacje wykazały, że przebiegu głównych stref zniszczeń związanych z badanymi uskokami należy spodziewać się poza obrębem zrealizowanych już w tych miejscach profili,
- kontynuację w możliwie jak najszerszym zakresie badań polegających na rozpoznawaniu kluczowych parametrów termicznych podłoża skalnego Dolnego Śląska oraz modelowaniu pola temperatury i strumienia cieplnego w litosferze tego regionu,
- uzyskanie instytucjonalnego wsparcia organów udzielających licencji na odwierty poszukiwawczo-eksploatacyjne za wodami termalnymi dla przekonania inwestorów do wykonania w odwiercanych otworach badań potrzebnych dla wzbogacenia bazy danych potrzebnych do wykonania Atlasu geotermalnego, a także sfinansowanie tych badań.
- w miarę możliwości, uzyskanie zgody właścicieli niektórych już istniejących głębokich otworów geotermalnych na wykonania w nich w/w badań w warunkach ustabilizowanych, co może wymagać pokrycia kosztów przestoju związanych z chwilowym unieruchomieniem eksploatacji tych otworów

Zrealizowany i raportowany tu II etap zadania PSG pn. „Młode strefy tektoniczne a warunki geotermalne w Sudetach w świetle badań geochronologicznych, strukturalnych i termometrycznych” miał na celu głównie powiększenie zasobu danych do wykorzystania w planowanym „Atlasie zasobów geotermalnych Sudetów i ich przedpola” i cel ten został osiągnięty. Pełna synteza uzyskanych wyników na tle regionalnym nie była natomiast celem tego etapu zadania i jej realizacja będzie dopiero możliwa w trakcie przygotowania planowanego Atlasu.