

11. Podsumowanie – wnioski metodologiczne i kierunki dalszych badań

W trakcie realizacji I etapu zadania PSG „Młode strefy tektoniczne a warunki geotermalne w Sudetach...” wykonano badania geofizyczne: sejsmiczne, elektrooporowe, radiofalowe (VLF), oraz radiometryczne (spektrometryczne; n.b. ten rodzaj badań jest często zaliczany do procedur geochemicznych, a nie geofizycznych) na wybranych liniach pomiarowych, przecinających zakwalifikowane do badań młode strefy tektoniczne w Sudetach i na ich przedpolu. Łącznie, badaniami objęto 22 dużych rozmiarów strefy tektoniczne (makrostruktury nieciągłe - uskoki, strefy uskokowe bądź spękaniowe wraz z towarzyszącymi nieciągłościami niższego rzędu), aktywne w niedawnej przeszłości geologicznej lub współcześnie (w przypadku struktur o zasięgu regionalnym, jak np. uskoki sudecki brzeżny, oddzielnie policzono tu ich zbadane segmenty, odpowiadające poszczególnym rejonom badań). Ilościowo, wykonane badania geofizyczne zestawione zostały poniżej w Tabeli 11.1.

Tabela 11.1. Zrealizowane poszczególnymi metodami geofizycznymi prace pomiarowe w ujęciu ilościowym

| Lp | Nazwa profilu | VLF | Seismika i ERT | | TERMOMETRIA | | SPEKTROMETRIA | | MAGNETOTELLURYKA |
|----------------------|-----------------------------|-------------|-----------------|----------------------|---------------------|-----------------|----------------|---------------------|---------------------|
| | | Długość [m] | Długość ERT [m] | Długość seismika [m] | Długość profilu [m] | ilość czujników | Liczba punktów | Długość profilu [m] | Długość profilu [m] |
| 1 | Opolno | | | | | | 48 | 2400 | |
| 2 | Szklarska Poręba - Kamienna | 1550 | | 1680 | | | | | |
| 3 | Przesieka | 1400 | | 1450 | | | 47 | 2350 | |
| 4 | Podgórzyn | | | | | | 37 | 1850 | |
| 5 | Stary Waliszów I | 950 | 1000 | | | | | | |
| 6 | Stary Waliszów II | | | 750 | | | | | |
| 7 | Idzików (Pasterskie Skaly) | 880 | 1000 | | | | 42 | 2100 | |
| 8 | Wilkanów | 700 | | 500 | | | 52 | 2600 | |
| 9 | Ławszowa | 2900 | | | | | 71 | 3550 | |
| 10 | Tomaszów Bol. I | 1680 | | 1680 | 1650 | 53 | 48 | 2400 | |
| 11 | Tomaszów Bol. II | | | 2350 | | | | | |
| 12 | Olszanica | | | | | | 59 | 2950 | |
| 13 | Radziechów | 1800 | | | | | | | |
| 14 | Męcinka | 2250 | 1600 | | | | 54 | 2700 | |
| 15 | Myślubórz | 1780 | | 1680 | | | | | |
| 16 | Kłaczyna | 1500 | 1300 | | | | 39 | 1950 | |
| 17 | Mokrzyszów I | 1600 | | 1560 | 1650 | 33 | 44 | 2200 | 2000 |
| 18 | Mokrzyszów II | 1800 | | | | | 37 | 1850 | |
| 19 | Ostroszowice | 2050 | 2100 | | | | 82 | 4100 | |
| 20 | Srebrna Góra | | | | | | 49 | 2450 | |
| 21 | Srebrna Góra (Budzów) | 1450 | | 1100 | | | | | |
| 22 | Mąkolno | 1150 | | 1100 | | | | | |
| 23 | Niemcza | 840 | | 850 | 840 | 18 | 45 | 2250 | |
| 24 | Cieplowody I | 2250 | | 1950 | 2070 | 82 | 43 | 2150 | 2100 |
| 25 | Cieplowody II | | | 1450 | | | | | 1500 |
| 26 | Grabín I | 1250 | 1000 | | | | | | 3500 |
| 27 | Grabín II | | | 1700 | | | | | |
| 28 | Tułowice I | 1650 | 1500 | | 1500 | 31 | 31 | 1550 | |
| 29 | Tułowice II | | | 750 | | | | | |
| 30 | Głuchów | 2050 | | 1420 | 1100 | 23 | | | |
| 31 | Kępa | 1100 | 1200 | | | | | | |
| SUMA | | 34580 [m] | 10700 [m] | 21970 [m] | 8810 [m] | 240 [szt.] | 828 [szt.] | 41400 [m] | 9100 [m] |
| ILOŚĆ PROFILU [szt.] | | 22 | 8 | 16 | 6 | | 17 | | 4 |

Badania zostały wykonane przez pracowników Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego przy użyciu aparatury pomiarowej stanowiącej własność Instytutu. Wykonano również badania magnetotelluryczne siłami podwykonawców – Sp. z o.o. Geopartner z Krakowa oraz Przedsiębiorstwa Badań Geofizycznych z Warszawy.

Wybór linii pomiarowych do wspomnianych badań był poprzedzony analizą materiałów archiwalnych, która objęła między innymi analizy geomorfologiczne i analizy map pól potencjału oraz – w dużym stopniu – bazowała na istniejącej mapie neotektonicznej Dolnego Śląska, autorstwa dwójga wykonawców zadania (Badura, Przybylski 2000).

Na części linii badawczych wykonano też badania termometryczne, polegające na comiesięcznej rejestracji temperatur w gruncie wzdłuż ciągów czujników termometrycznych przecinających strefy młodych dyslokacji, potencjalnie stanowiących drogi przepływu wód termalnych. Badania spektrometryczne zostały również eksperymentalnie wykonane na poligonie, gdzie linie badawcze były tworzyły siatkę o określonych rozmiarach, tak by otrzymać mapy mierzonych wielkości.

Dokonano również oznaczeń wieku bezwzględnego dla szeregu wystąpień kenozoicznych bazaltoidów, w celu weryfikacji starszych oznaczeń innych autorów oraz zebrania danych z miejsc gdzie takich oznaczeń jeszcze nie było. Datowanie młodych wulkanitów dolnośląskich miało na celu zebranie danych do rozważań czy zjawiska wulkaniczne sprzed ok. 4 do 20 Ma na obszarze badań mogą mieć znaczenie dla dzisiejszego potencjału geotermalnego Dolnego Śląska.

Interpretacja danych pomiarowych, wsparta analizą modeli cyfrowych terenu, opartych o dane skaningu laserowego dla poszczególnych rejonów badań, pozwoliła w szeregu miejsc rozpoznać złożoną budowę badanych stref dyslokacyjnych i określić szerokości stref zniszczenia związanych z przemieszczeniami na uskokach, co najprawdopodobniej przekłada się na hydrogeologiczne parametry przepuszczalności badanych stref tektonicznych. Sposoby tego przełożenia i zapewne rozpoznawalne użytymi metodami inne parametry kontrolujące potencjalne przepływy cieczy nie są jednak na razie znane i wymagają badań metodologiczno-procesowych, leżących dotychczas w znacznym stopniu poza zakresem realizowanego zadania PSG. W ramach pogłębionej analizy uzyskanych danych przeprowadzono studia literaturowe nad wykształceniem i strukturą wewnętrzną różnego typu kruchych stref tektonicznych. Zestawiono też rozproszone w literaturze i przedyskutowano z punktu widzenia metodologicznego informacje o warunkach geotermicznych Dolnego Śląska, w tym rozbieżne wartości uzyskane przez różnych autorów

dla gradientu geotermicznego i strumienia cieplnego, postulując dalsze, bardziej zaawansowane badania, dostarczające bardziej wiarygodnych wyników. W celu oszacowania ewentualnego wpływu na dzisiejsze warunki geotermiczne stygnących ciał magmowych umieszczonych w skorupie lub pod spągiem skorupy na obszarze Dolnego Śląska przed kilku lub kilkunastu milionami lat, przeprowadzono modelowanie matematyczne prostego przypadku stygnięcia wskutek przewodzenie ciepła magmy umieszczonej pod spągiem skorupy, uzyskując wyniki nastrojające pesymistycznie do możliwości występowania znaczących efektów takiego wpływu w warunkach Dolnego Śląska.

Należy podkreślić, że etap I realizacji zadania zmierzającego finalnie do oceny potencjału geotermalnego Sudetów i ich przedpola, miał charakter głównie badań geofizyczno-strukturalnych oraz geochemiczno-petrologicznych, które stały się testem przydatności stosowanych metod w warunkach budowy geologicznej Dolnego Śląska, gdzie podłoże skalne jest w dużej mierze złożone ze skał krystalicznych lub osadowych silnie zdiagenezowanych, w których wody podziemne mają zazwyczaj, a wody głębokiego krążenia praktycznie zawsze, charakter wód szczelinowych, często niełatwych do zlokalizowania, a zwłaszcza prognozowania. Część użytych metod dość dobrze sprawdziła się w tych warunkach, część zaś gorzej. Przedkładane opracowanie, jako raportujące pilotażowy, wstępny etap realizacji całościowego zadania, obliczonego na kontynuację w ciągu następnych 3-4 lat, stanowi w dużej mierze zbiór danych geofizycznych i geologicznych, których przełożenie na parametry hydrogeologiczne, synteza regionalna i użycie do predykcji hydrogeologicznych, w tym do szacowania potencjalnych zasobów geotermalnych, wymagają dalszych badań. Badania te, z kolei, wymagają uzupełnienia o inne metody, co ma i będzie miało miejsce na dalszych etapach zadania. Szczególnie ważne dla ostatecznego powodzenia zadania wydaje się zaplanowanie i odwiercenie szeregu badawczych otworów wiertniczych, pozwalające na przetestowanie w praktyce przydatności niektórych stosowanych tu metod, a także na lepsze oszacowanie stanu termicznego górotworu w Sudetach i na ich przedpolu.

Wnioski z wykonanych badań geomorfologicznych i analizy pól potencjalnych

Metody geomorfologiczne (morfologiczne) – analiza cyfrowych modeli terenu i sieci drenażu, a zwłaszcza ta pierwsza, pokazały swoją znaczną przydatność w identyfikacji młodych struktur nieciągłych w skali lokalnej i regionalnej. Użycie danych skaningu laserowego (LIDAR) decyduje o dużej rozdzielczości poprawia wiarygodność uzyskiwanych wyników. W dalszych pracach postuluje się szerokie wykorzystywanie tych metod, szczególnie biorąc pod uwagę ich małą kosztowność.

Metody analizy pól potencjalnych – zwłaszcza regionalnych zdjęć grawimetrycznych, a w mniejszym stopniu magnetycznych, są również mało kosztowne, gdyż póluszczogółowe zdjęcia grawimetryczne i magnetyczne są wykonane dla obszaru całej Polski. Analizy te wykazują dużą przydatność dla rozpoznania stref tektonicznych typu uskoku pod względem ich zasięgu głębokościowego i znaczenia regionalnego, co przekłada się, choć nie wprost, na szerokość związanych z nim stref zniszczenia i, w efekcie, na zdolności do prowadzenia wód głębokiego krążenia.

Wnioski z wykonanych geofizycznych badań sejsmicznych i elektrooporowych

- Zarówno metoda tomografii elektrooporowej (ERT) jak i metoda sejsmicznej tomografii refrakcyjnej (STR) pozwoliły na obrazowanie rozkładu parametrów fizycznych w przekroju. Przy znajomości zarysu budowy geologicznej badanych obszarów, w większości przypadków pozwala to na przyporządkowanie litologii do poszczególnych stref wyznaczonych na przekrojach geofizycznych i - na tej podstawie - utworzenie bardziej lub mniej dokładnego modelu budowy geologicznej podłoża. Metody obrazowania ERT i STR pozwalają również na dosyć jednoznaczny weryfikację obecności stref uskoku, co ma duże znaczenie w przypadku rozważań nad genezą niektórych, jeszcze niewystarczająco rozpoznanych morfolineamentów, zidentyfikowanych na szczegółowych modelach terenu, opartych na wynikach skaningu laserowego (LiDAR).
- Dla precyzyjniejszej identyfikacji badanych struktur geologicznych, korzystne byłoby łączenie informacji pochodzącej z badań obiema technikami. Wskazane jest zatem planowanie badań w taki sposób, aby wzdłuż jednej linii badawczej prowadzić badania metodą STR oraz metodą ERT, z możliwością zastąpienia metody ERT inną metodą geofizyczną, pozwalającą na rozpoznanie charakterystyki opornościowej podłoża.
- Ograniczeniem użytych w zadaniu metod tomograficznych jest głębokość rozpoznania. W przypadku metody ERT zwykle uzyskiwano rozpoznanie do głębokości 50-80 m. Osiągnięcie techniką ERT rozpoznania głębszego niż 150 m jest praktycznie niemożliwe. Metodą STR uzyskano zwykle rozpoznanie do głębokości 60-120 m, a maksymalna uzyskana głębokość rozpoznania sięgnęła 200 m. Głębokość ta jednak istotnie zależy od warunków geologicznych, które tylko w pewnym zakresie można przewidzieć planując badania.

- Badania metodą sejsmiki refleksyjnej pozwalają na określenie położenia części granic geologicznych w tych ośrodkach, które charakteryzują się warstwową budową skał, zwłaszcza – w sytuacji Dolnego Śląska – w osadach kenozoicznych nadścielających krystaliczne, lub inne silnie zwięzłe podłoże. Mimo tego ograniczenia, badania tą metodą pozwalają na rozpoznanie relacji przestrzennych granic geologicznych w określonym kontekście geologicznym, co wnosi istotną wartość do modelu geologicznego – pozwala na przykład rozpoznać elementy geometrii wypełniania basenów sedymentacyjnych, lub testować obecność uskoku, używając kryterium ciągłości/nieciągłości warstw.
- Badania metodą sejsmiki refleksyjnej pozwoliły na uzyskanie rozpoznania do głębokości średnio 200 m; w części przypadków rozpoznanie sięgnęło głębokości ponad 500 m.
- Badania metodą sejsmiki refleksyjnej sprawdzają się najlepiej w przypadku skał osadowych, szczególnie dla granic o nieznacznym nachyleniu. Rozpoznanie stref uskoku jest możliwe na podstawie obserwacji pośrednich – śledzenia ciągłości warstw, lub bezpośrednio, w przypadku relatywnie połogich powierzchni uskoku. Badania refleksyjne nie sprawdzają się, lub dają słabe rezultaty w skałach krystalicznych.
- W kontekście badań stref uskoku, badania tomograficzne ERT i STR mają szczególnie duże zastosowanie do określenia lokalizacji i szerokości stref uskoku oraz geometrii stref. Badania tomograficzne mogą mieć szczególne znaczenie dla rozpoznania przypowierzchniowych stref zniszczeniowych (ang. *shallow damage zones*) uskoku. Mankamentem tych metod jest stosunkowo mała głębokość rozpoznania.
- Badania sejsmiki refleksyjnej mają znaczenie dla rozpoznania ciągłości warstw, oraz identyfikacji szczegółów architektury depozycyjnej sekwencji sedymentacyjnych, które mogą być genetycznie związane z aktywnością uskoku. Badania te jednak słabo nadają się do rozpoznania tektoniki nieciągłej obszarów o podłożu krystalicznym i/lub silnie sfałdowanych.

Wnioski z wykonanych badań radiofalowych VLF

- Badania techniką VLF pozwoliły na części linii pomiarowych zidentyfikować strefy o anomalnym przebiegu składowych fazowych indukowanego pola elektromagnetycznego. Strefy takie można wiązać z występowaniem uskoków i innych stref nieciągłości o znaczących kontrastach oporności (np. stref spękań). Położenie stref anomalnych zwykle odpowiada lokalizacji stref uskokowych określonych innymi metodami geofizycznymi.
- Czytelne, przestrzennie zdefiniowane anomalie VLF występują na obszarach o podłożu zbudowanym ze skał litych lub o podłożu litym z cienką pokrywą skał luźnych i zwietrzelin. W przypadku występowania miększych, niezlityfikowanych pokryw osadowych przebiegi składowych VLF nie rejestrują sygnału pochodzącego od skonsolidowanego podłoża, ani stref uskokowych.
- Wykonanie badań VLF wzdłuż pojedynczych profili dla każdej linii badawczej, nawet jeśli rejestrowane są anomalie powstałe odzwierciedlające występowanie stref uskokowych, nie pozwalają na przestrzenną identyfikację struktur. Wyniki badań przy użyciu tej techniki mogłyby mieć większe znaczenie, gdyby badania VLF były prowadzone jako zdjęcia 2D na obszarach występowania wcześniej stwierdzonych uskoków w celu przestrzennego rozpoznania ich przebiegu. Zaplanowanie zdjęcia 2D na dalszych etapach badań wymagałoby zastosowania obiektywizujących korelacje przestrzenne położenia anomalii procedur, jak filtracja Frasera.

–

Wnioski z wykonanych badań magnetotellurycznych

- Badania magnetotelluryczne (MT) pozwoliły na obrazowanie rozkładu parametrów fizycznych w przekroju. Przy znajomości zarysu budowy geologicznej badanych obszarów umożliwiają one zgrubne przyporządkowanie litologii poszczególnym strefom zaznaczających się na przekrojach MT i na tej podstawie tworzenie modeli budowy geologicznej głębokiego podłoża.
- Badania magnetotelluryczne pozwalają osiągnąć największą głębokość rozpoznania, nieosiągalną dla innych zastosowanych przy realizacji zadania metod badawczych. Wykonane badania dały rezultaty do głębokości 4 km. Należy jednak zaznaczyć, że wzrost głębokości rozpoznania wiąże się ze spadkiem rozdzielczości. W badaniach magnetotellurycznych rozdzielczość zarówno przestrzenna, jak i definicji parametru

oporności jest najniższa. Badania pozwalają na wydzielenie miększych kompleksów o kontrastowej charakterystyce opornościowej (np. kompleks osadowy i podłoże krystaliczne), jednak nie pozwalają na rozpoznanie szczegółów budowy geologicznej.

- Badania magnetotelluryczne pozwalają na skonstruowanie głębokiego, niemniej dość schematycznego modelu geologicznego i wyznaczenie położenia stref uskokowych, co może być z powodzeniem wykorzystane w analizie strukturalnej oraz, zwłaszcza, przy lokalizowaniu odwiertów w poszukiwaniu zawodnionych stref dyslokacyjnych, w tym prowadzących wody termalne.

Ze względu na duży zasięg głębokościowy tej metody oraz uzyskiwanie informacji o względnych wartościach oporności ośrodka skalnego, co przekłada się na jego zawodnienie, metoda ta jest szczególnie przydatna przy poszukiwaniu i rozpoznawaniu potencjalnych zasobów wód termalnych w obszarach o podłożu zbudowanym ze skał krystalicznych. Postuluje się znaczne ilościowe rozszerzenie zakresu badań magnetotellurycznych podczas realizacji II i III etapów zadania.

Wnioski z wykonanych badań temperatury w gruncie (badań termometrycznych)

- Badania temperatury w glebie – na głębokości do kilkudziesięciu cm - charakteryzują się znaczną zmiennością zależną od lokalnych warunków zewnętrznych i nie mogą być podstawą do wyciągania wniosków na temat endogenicznych procesów związanych z warunkami geotermalnymi w przypowierzchniowych strefach skorupy ziemskiej.
- W przypadku pomiarów temperatury w gruncie na głębokości rzędu 2 m konieczne jest przeprowadzenie serii pomiarowych obejmujących okres całego roku, co pozwala na określenie zmian rozkładu temperatur w czasie, i na tej podstawie wnioskowanie o przyczynach ewentualnego anomalnego rozkładu temperatur gruntu. Pomiar ograniczony do jednej tylko pory roku, wykazuje obecność stref o temperaturach odbiegających od średniej, jednak nie można określić, czy anomalia taka wynika z charakteru warstw przypowierzchniowych lub stopnia nasłonecznienia, czy też z przyczyn endogenicznych.
- W toku przeprowadzonych badań, jedynie na linii badawczej Ciepłowody zidentyfikowano strefę, w której podwyższenie temperatur w gruncie może mieć przyczyny endogeniczne

- Na linii badawczej Mokrzeszów obecność takiej strefy jest dyskusyjna.
- W przypadku identyfikacji strefy anomalii temperaturowej na linii badawczej Ciepłowody, istotne znaczenie miało zainstalowanie czujników na 2 poziomach głębokościowych, co pozwoliło wykluczyć wpływ lokalnych warunków nasłonecznienia na wyniki czujnika zainstalowanego na głębokości 2 m.
- Wyniki zebrane dla wszystkich linii badawczych wykazują, że zapis temperatur ma koherentny przebieg w czasie, a dzięki zastosowanej procedurze normalizacyjnej można odróżnić wpływ czynników sezonowych i gruntowych od prawdopodobnego wpływu procesów endogenicznych. Autorzy zachowują jednak znaczny sceptycyzm przy interpretacji anomalii w Ciepłowodach jako efektu endogenicznie uwarunkowanej aktywności termalnej, gdyż jej pochodzenie może być, alternatywnie, spowodowane chemicznymi procesami egzotermicznymi (np. wietrzeniem siarczków – Solecki, inf. osobista) lub innymi procesami. Przed stwierdzeniem skuteczności określenia anomalii termicznej na podstawie badań temperatury w gruncie, należałoby potwierdzić obecność zidentyfikowanej strefy o podwyższonej temperaturze głębszymi otworami wiertniczymi.
- Biorąc pod uwagę pracochłonność i czasochłonność, oraz utrudnienia formalne prowadzenia badań temperatury w gruncie, w stosunku do dosyć mało zadowalających rezultatów należy uznać, że badania takie nie spełniają w sposób wystarczający swojej funkcji.
- Pomimo negatywnych wniosków na temat przydatności metody w badaniach wód termalnych, uzyskane rezultaty, zdaniem autorów stanowiące unikalne dane serii przestrzenno-czasowych, mogą stanowić jednak interesującą podstawę do rozważań dotyczących termiki warstw przypowierzchniowych, i mogą znaleźć zastosowanie jako wkład do badań i modeli dotyczących zagadnienia tzw. płytkiej geotermii. Zagadnienia te jednak wykraczają poza zakres obecnych badań.

–

Wnioski z przeprowadzonych badań spektrometrycznych (radiometrycznych)

Na podstawie wyników badań spektrometrycznych wykonanych w I etapie realizacji zadania, można stwierdzić, że nie jest możliwe wnioskowanie o istnieniu stref uskokowych lub o ich braku wyłącznie na podstawie pomiarów spektrometrycznych. Konieczne jest dokonanie kompleksowej, multidyscyplinarnej interpretacji. W przypadku wstępnego wytypowania obszarów/stref uskokowych za pomocą metod kartograficznych i geofizycznych

(takich jak np. VLF czy też profilowania sejsmiczne) metoda spektrometryczna może być wykorzystywana w celu potwierdzenia ich występowania i potwierdzenia lub zaprzeczenia aktywności uskoku i możliwości występowania potencjalnych emanacji radonowych. Kluczowa jest również odpowiednia wizualizacja wyników na mapach topograficznych i geologicznych. Wykorzystanie słupkowych profili umożliwiających analizę stosunków K , eU i eTh ułatwia wnioskowanie o występowaniu wysokoprzepuszczalnych stref potencjalnej migracji mediów wzdłuż stref uskokowych. Występowanie znaczących wahań eU , będącego pochodną wartości promieniowania emitowanego przez ^{214}Bi , przy założeniu stanu równowagi, może pośrednio umożliwić wykrycie anomalii radonowych (^{222}Rn). Wstępnie wyznaczono rejony z możliwością występowania takich stref, jednak decyzja o ewentualnym uszczegółowieniu badań zostanie podjęta w II etapie realizacji prac.

Z pewnością należy zmodyfikować metodykę prowadzenia pomiarów. Prowadzenie profili przez obszary zamieszkałe, miejscami wzdłuż asfaltowych dróg utrudniło znacznie wytypowanie punktów pomiarowych. Niejednolite pokrycie profilu roślinnością (pola uprawne, lasy, bagna, wioski, drogi) powodować mogło znaczące zmiany w mierzonych parametrach wynikające z czynników wtórnych, co skutkowało brakiem porównywalności wyników uzyskanych w różnych warunkach terenowych na tym samym profilu. Przy wyborze lokalizacji należy unikać dróg utwardzonych, przebiegających przez tereny zabudowane. Optymalne warunki to: płaski teren, nie uprawiany (ew. pole po żniwach, ale przed orką), ale z równomierną pokrywą glebową. Warunki te w etapie pierwszym spełnione zostały np. w Mokrzeszowie, gdzie wykonano dwa profile oraz zdjęcie powierzchniowe. Należy zwrócić szczególną uwagę na zachowanie geometrii pomiaru (2π) i pomiar na płaskim terenie, ponieważ planowanie punktów pomiarowych na stokach lub krawędziach skutkuje sztucznym zaniżeniem pomierzonych wartości, natomiast pomiar w obniżeniach terenu, wąwozach etc. skutkuje zawyżeniem pomierzonych wartości.

W kolejnych etapach sugerowane jest typowanie profili spektrometrycznych w terenach poza terenami zabudowanymi i najlepiej o jednolitym charakterze pokrywy roślinnej (np. tylko las, tylko łąka etc.). Najlepsze wyniki osiągnąć są w obszarach o w miarę jednolitej litologii (np. zuskokowane masywy granitowe itp.), gdzie na zmienność pomiarów nie będą miały wpływu wyraźne różnice litologiczne. Zakładając, że pomiary radiometryczne będą prowadzone w II etapie badań należałoby skupić się na śledzeniu mniejszej liczby stref uskokowych, ale z większą szczegółowością, uzyskaną poprzez zagęszczenie pomiarów prowadzonych wzdłuż krótkich odcinków, wydłużenie czasu pomiaru na punkcie oraz poprowadzeniu kilku profili w poprzek jednej strefy uskokowej. Šálek i in. (2014) wykonali

szczegółowe pomiary spektrometryczne promieniowania K, U i Th na 6-cio metrowym profilu, przecinającym prostopadle Sudecki Uskok Brzeźny (SUB). Niewielki krok pomiarowy (10-cm) pozwolił na pokazanie wyraźnie podwyższonej zawartości Th w strefie brekcji tektonicznej. Poziomy K i eU nie wykazały natomiast znaczących zmian.

Należy skupić się zatem na realizacji krótszych profili pomiarowych, ale z mniejszym krokiem pomiarowym. Dodatkowo należy wydłużyć czas rejestracji na poszczególnych punktach pomiarowych nawet do 10 minut. Proponujemy także wzbogacenie puli pomiarów o pomiary zawartości radonu w powietrzu glebowym. Metoda radonowa jest powszechnie uznawaną za skuteczną w wykrywaniu uskoków aktywnych (King, 1978; (Kemski i in., 1992; Swakoń i in., 2005; Baubron i in., 2002; Ioannides i in., 2003; LaBrecque i in., 2004). Jest jednak wolniejsza i bardziej pracochłonna od metody spektrometrycznej, ponieważ wymaga wykonywania płytkich otworów (rzędu 20 – 80 cm) do których wprowadzane jest urządzenie pomiarowe.

Wstępnie można zaproponować wykonywanie pomiarów spektrometrycznych z krokiem 10-cio metrowym oraz badania radonowe co 20 – 50 m. Metodyka pomiarów radonowych zostanie dodatkowo skonsultowana oraz będzie zależna od typu dostępnej aparatury. Ostateczna decyzja o metodyce i wyborze profili pomiarowych (oraz ich ewentualnym uszczegółowieniu) zostanie podjęta w II etapie prac.

Wnioski z przeprowadzonych modelowań numerycznych

Wykonane w ramach realizacji I etapu zadania modelowania numeryczne nie brały z założenia (na tym etapie modelowań) pod uwagę innych mechanizmów stygnięcia intruzji niż przez przewodnictwo cieplne, a ponadto zakładały brak współczesnych ognisk magmowych pod spągiem skorupy (co jednak wcale nie jest w warunkach dolnośląskich wykluczone, przez analogię z pobliskimi obszarami w Czechach). Wskazuje się na potrzebę bardziej zaawansowanych badań modelowych w toku dalszych etapów realizacji zadania, a także badań uwzględniających anomalie termiczne w górnych partiach skorupy pozostałe po plejstocenijskich zlodowaceniach, których efekty – jak wynika z obliczeń – mają znaczący wpływ na głębokościach, w których formują się możliwe do eksploatacji wody termalne. Powyższe postulaty przyszłych badań modelowych należy uzupełnić o kalkulację efektów nagrzewania skorupy w rejonach podścielonych przez bogate w pierwiastki rozszczepialne masywy granitowe.

Wśród innych postulatów zmiany zakresu badań na kolejnych etapach realizacji zadania proponuje się, aby do stosowanych metod badawczych dołączyć szczegółowe kartowanie strukturalne naturalnych i sztucznych (w kopalniach, kamieniołomach lub na rdzeniach wiertniczych) stref uskokowych bądź spękaniaowych celem detalicznego rozpoznania ich struktury wewnętrznej, która przekłada się na możliwości przepływu cieczy. Proponuje się również dokonywanie pomiarów termometrycznych w nieczynnych odwiertach hydrogeologicznych celem wzbogacenia bazy danych, na podstawie której oznaczane są wartości strumienia cieplnego. Postuluje się też zebranie kolekcji reprezentatywnych typów skał dla obszaru Dolnego Śląska i wyznaczenie parametrów cieplnych dla tych odmian litologicznych. Wszystkie te postulowane działania mają na celu zwiększenie efektywności badań prowadzonych w kolejnych etapach realizacji zadania PSG tak, aby możliwe było realistyczne prognozowanie potencjalnych zasobów geotermalnych Sudetów i ich przedpola.