

Antoni BARBACKI\*, Wiesław BUJAKOWSKI\*\*, Aleksandra KASZTELEWICZ\*\*\*

### ***Sytuacja geologiczna Kielce w aspekcie potencjalnego występowania wód termalnych***

Streszczenie: W artykule przedstawiono analizę warunków geologicznych, hydrogeologicznych i istniejących danych otworowych rejonu miasta Kielce. Celem analizy była ocena potencjalnych możliwości występowania wód termalnych pod kątem gospodarczego wykorzystania.

Analizy pozwoliły wytypować obszary, w których mogą występować wody termalne. Najbardziej perspektywiczne są rozpoznane kompleksy dewońskie, w których wody podziemne mają temperaturę do 20°C i mogą być wykorzystane jako nośnik energii za pomocą pomp ciepła. Wody o wyższej temperaturze rzędu 60°C nie zostały potwierdzone otworami. Badania wykazały, że istnieje pewna szansa ich występowania w północnej części miasta, gdzie związane są z prawdopodobnymi głębokimi strefami uskokowymi, z którymi przypuszczalnie wiążą się rozległe obszary szczelin i spękań. Zastrzega się jednakże, że obecność tych stref i wód wymaga potwierdzenia głębokimi wierceniami.

Słowa kluczowe: Kielce, wody termalne, badania geologiczne

### ***Geological conditions of Kielce site in terms of the potential occurrence of thermal waters***

Abstract: The paper discuss geological and hydrogeological conditions and well data from the Kielce region. The purpose of analysis was to evaluate the possibility of occurrence of thermal waters taking into account commercial uses.

Research indicates prospective areas for thermal waters occurrence. In the most prospective Devonian horizon ground water temperature reaches 20°C and the water can be used as an energy source by using heat pumps. Waters with higher temperatures of around 60°C have not been confirmed by wells in the area, however research had proven it possible occurrence in the north part of the Kielce city where they are connected with deep tectonic areas. Their possible presence is probably associated with the vast, deep zones of fissures and fractures. However, the presence of higher temperature thermal waters in the area should be confirmed by deep drillings.

Key words: Kielce, thermal waters, geological research

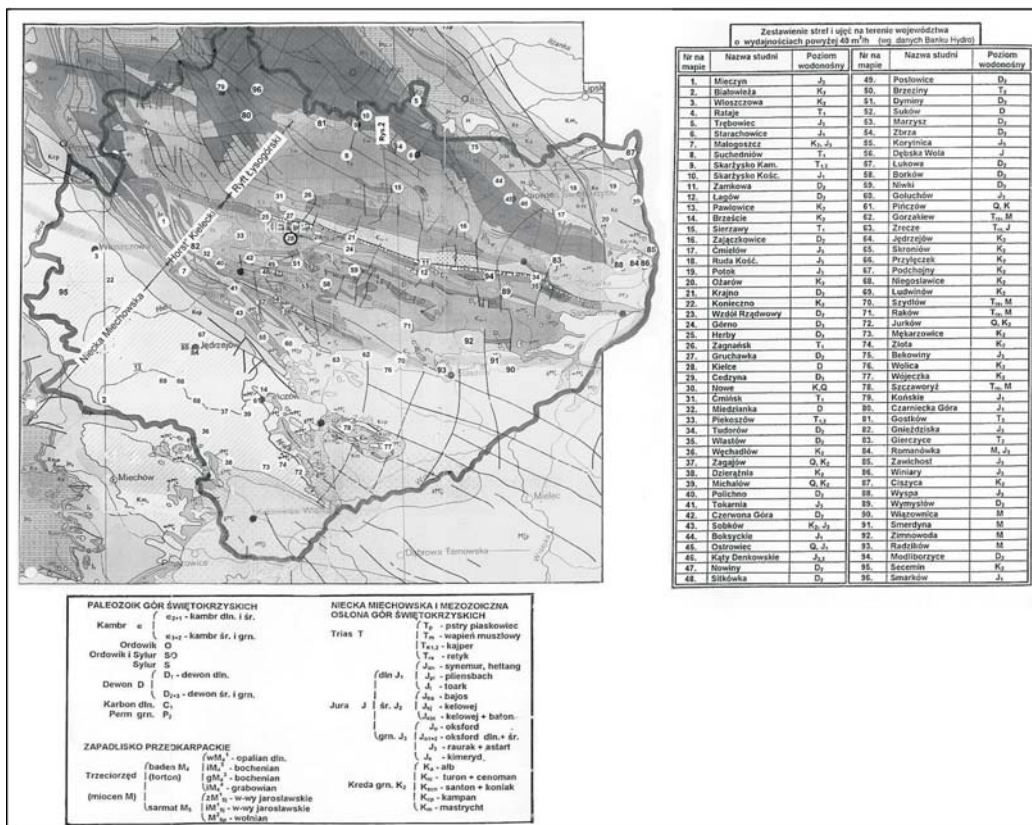
---

\* Dr hab. inż., \*\* Dr inż., \*\*\* Mgr, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków.

## 1. Rozwój geologiczny i tektoniczny regionu świętokrzyskiego

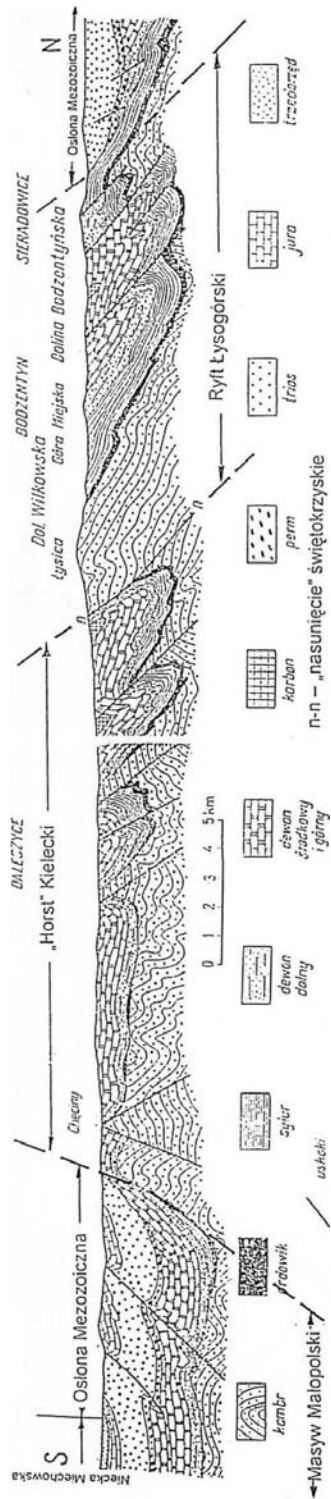
Miasto Kielce leży w obrębie bloku kieleckiego, który wraz z blokiem łysogórskim tworzy jednostkę geologiczną zwaną Górą Świętokrzyskimi. Granice Gór Świętokrzyskich wyznaczają: od południa zapadlisko przedkarpackie, od południowego zachodu – niecka miechowska, od północy antyklinorium gielniowskie, a od północnego wschodu i wschodu synklinorium brzeżne (rys. 1). W ukształtowaniu terenu zaznacza się głównie środkowa część Gór Świętokrzyskich zbudowana z odpornych na wietrzenie skał paleozoicznych (rys. 2). W centralnej części Gór Świętokrzyskich występuje łańcuch główny, w obrębie którego znajdują się Łysogóry tworzące najwyższe pasmo świętokrzyskie.

W celu usytuowania miasta w kontekście regionalnym poniżej przedstawiono ogólny zarys budowy geologicznej regionu świętokrzyskiego (kieleckiego), którego dominującą strukturą geologiczną stanowią Góry Świętokrzyskie.



Rys. 1. Mapa geologiczna odkryta regionu kieleckiego (bez czwartorzęd) z lokalizacją ważniejszych ujęć wodnych. Skala 1:500 000 (wg Mapy Geologicznej Polski, red. E. Rühle 1977 oraz danych Banku HYDRO)

Fig. 1. Geologic map of the Kielce region (without Quaternary sediments) with location of main water intakes (scale 1:500000) (ac. to Geological Map of Poland, E. Rühle, ed. 1977 and Bank HYDRO data)



Rys. 2. Przekrój geologiczny przez region świętokrzyski (wg Boczar, Manterys 1971)

Fig. 2. Geological cross-section through the Holy Cross Mountains region (ac. to Boczar, Manterys 1971)

Góry Świętokrzyskie budują dwa piętra strukturalne: paleozoiczne (buduje główne pasma górskie) oraz mezozoiczne (skały osadowe osłony mezozoicznej otaczającej masyw paleozoiczny) (Pożaryski, red. 1974).

Budowa Gór Świętokrzyskich jest efektem działań orogenez: kaledońskiej (kambr górny), waryscyjskiej (przełom karbonu dolnego i górnego) oraz alpejskiej (faza kimeryjska, laramijska i sawska). Odsłaniający się na długości około 100 km i szerokości około 40 km masyw paleozoiczny podzielony jest na dwa odrębne bloki zróżnicowane facjalnie i tektonicznie. Blok kielecki i łysogórski oddziela dyslokacja świętokrzyska (nasunięcie świętokrzyskie) o przebiegu NW-SE (rys. 2).

Najstarsze rozpoznane ruchy tektoniczne w Górach Świętokrzyskich związane były z orogenezą kaledońską, w czasie której rozwój tektoniczny omawianego obszaru był podobny do regionu sudeckiego. Strukturami charakterystycznymi dla okresu górnego kambru były stosunkowo wąskie i wydłużone ku NW lub NWW „ryfty” hercyńskie ograniczone kaledońskimi „horstami”. Ryfty hercyńskie zaczęły się rozwijać w młodszym proterozoiku (eokambr) obejmując głównie osady głębokomorskie, a ich rozwój został przerwany przez orogenezę waryscyjską, która doprowadziła do inwersji i zafałdowania osadów (faza sudecka, przełom wczesnego i późnego karbonu). Takim ryftem był prawdopodobnie również obszar łysogórski (rys. 2).

W tym samym czasie kiedy miał miejsce rozwój „ryftu” hercyńskiego Łysogór (późny prekambry), na obszarze kieleckim rozwijała się strefa „horstu” kaledońskiego. Główne fałdowanie tego obszaru przypadło na późny prekambry, a następnie na przełomie syluru i dewonu (orogenezą kaledońską). W dewonie obszar „horstu” i „ryftu” ulegał obniżającym ruchom tensyjnym, a wkraczające morze doprowadziło do depozycji osadów węglanowych w strefie kieleckiej oraz łupków wapiennych w strefie łysogórskiej. Sedymentacja morska zachodziła przez cały wczesny karbon (kulm), natomiast na przełomie wczesnego i późnego karbonu na skutek rozpoczynającej się fazy sudeckiej orogenezy waryscyjskiej morze wycofało się. Ruchy orogeniczne doprowadziły do pierwszego, znacznego sfałdowania osadów „ryftu” strefy łysogórskiej („horst” kielecki uległ wówczas jedynie ruchom wznoszącym, rys. 4) oraz erozji, której okres trwał aż do cechsztynu.

W późnym permie miało miejsce kolejne obniżenie obszaru łysogórskiego, a sedymentacja morska trwała aż do późnego triasu, kiedy to zaznaczyły się ruchy starokimeryjskie orogenezy alpejskiej i obszar stał się ponownie lądem, aż do środkowej jury. W malmie nastąpił maksymalny zalew morski, który całkowicie pokrył Góry Świętokrzyskie. Po kimerydzie miała miejsce kolejna faza tzw. młodokimeryjska, która doprowadziła do cofnięcia się morza. Ponowne wielkie transgresje na omawianym obszarze rozpoczęły się w cenomanie i trwały do końca kredy, kiedy rozpoczęła się faza laramijska orogenezy alpejskiej. Na skutek ruchów tektonicznych orogenezy alpejskiej obszar świętokrzyski pozostawał lądem przez cały paleogen (40 mln lat). Paleozoiczne i mezozoiczne utwory regionu świętokrzyskiego zostały wtedy wydzwignięte na wysokość kilku tysięcy metrów (Stupnicka 1988), przy czym właściwe jądro masywu górskiego – najbardziej wypiętrzone i erodowane – znajdowało się bardziej w kierunku SE na linii Lubaczów-Przemysł (Wypiętrzenie Dolnego Sanu). W efekcie tych procesów utwory mezozoiczne antyklinorium świętokrzyskiego uległy znacznej erozji odsłaniając paleozoiczne jądro, które tworzy dzisiejsze Góry Świętokrzyskie. Na obszarze Wypiętrzenia Dolnego Sanu erozja była silniejsza i objęła również osady paleozoiczne odsłaniając prekambryjskie podłoże (od Staszowa na

SE pod utworami miocenu, rys. 1). W fazie sawskiej w okresie formowania basenu mioceńskiego (zapadlisko przedkarpackie), najbardziej wyniesione obszary antyklinorium uległy z kolei najsilniejszej subsydencji tektonicznej, umożliwiając w okresie badeńskiego (górnymiocen) wkroczenie morza mioceńskiego, którego osady przykryły obszar od południa po linię miejscowości Sandomierz – Pińczów (rys. 1). Był to ostatni epizod morski regionu kieleckiego, który zakończył się około 7 mln lat temu.

## **2. Stratygrafia regionu świętokrzyskiego (kieleckiego)**

Najstarsze *eokambryjskie* utwory regionu świętokrzyskiego o charakterze łupków ilastych z wkładkami kwarcytów i mułowców kwarcytowych odsłaniają się na powierzchni poza obszarem kieleckim (na zachód od Sandomierza). Za lokalne odsłonięcia proterozoiku uważa się odkrywki kwarcytów w rejonie Dębskiej Woli k/Morawicy i Kargowa (pow. buski) (Sokołowski, red. 1968, 1973).

Osady *kambru* odsłaniają się na powierzchni w wielu miejscach Gór Świętokrzyskich. Ogólna miąższość kambru jest bardzo duża i wynosi około 2500 m, z czego na kambr dolny przypada 800 m, środkowy 700 m i na górny 1000 m. Kambr dolny jest znany jedynie z obszaru południowego („horst” kielecki), gdzie wykształcony jest jako oliwkowe lub szare łupki ilaste i kwarcytowe oraz szarogłazy z wkładkami piaskowców. Osady te wskazują na istnienie w tym czasie dość głębokiego morza. Kambr środkowy występuje zarówno na obszarze kieleckim jak i Łysogórkim. Są to osady spływającego się morza, o typie gruboziarnistych mułowców, miejscami piaskowców oraz szarogłazów. Niekiedy występują ciemne łupki ilaste, łupki kwarcytowo-mikowe oraz czarne łupki ałunowe z trylobitami. Kambr górny wykształcony jest przeważnie w postaci łupków ilastych z wkładkami piaskowców i kwarcytów. Osady kambru górnego występują w strefie „ryftu” Łysogórkim (brak ich w części „horstu” kieleckiego co związane jest z początkiem fazy sandomierskiej). Utwory kambryjskie tworzą najwyższe pasmo Gór Świętokrzyskich – Łysogóry, gdzie wietrzejące kwarcyty tworzą charakterystyczne gołoborza oraz szerokie doliny wypreparowane w miękkich łupkach (dolina chęcińska).

Utwory *ordowiku* leżą niezgodnie na zerodowanym kambrze. Niezgodność ta jest najbardziej zauważalna w regionie kieleckim (skutek fałdowania późno-karbońskiego „horstu” kieleckiego), a nieznaczna w regionie Łysogórkim, gdzie osady fałdowane były dopiero w orogenezie waryscyjskiej. Serię osadową rozpoczyna zlepieniec podstawowy, nad którym leżą kolejno piaskowce glaukonitowe i rdzawe piaskowce. Koniec ordowiku był okresem pogłębiania się morza i zaniku facji piaskowcowej w obszarze kieleckim, gdzie tworzyły się osady węglanowe (wapień i dolomity z trylobitami). Na obszarze Łysogórkim w znacznie głębszej strefie basenu (ryftowej) nadal trwała sedymentacja piaszczystych utworów fliszowych.

Utwory *sylurskie* mają znaczną miąższość i pełniejsze wykształcenie w porównaniu z osadami ordowiku. W części Łysogórkim sedymentacja miała charakter głębokomorski, natomiast w części południowej (kieleckiej) odbywała się w środowisku płytkiego morza. W strefie kieleckiego „horstu” oraz w regionie Łysogórkim, osady syluru rozpoczyna seria graptolitowa wykształcona w postaci czarnych łupków z wkładkami wapieni. W łupkach tych występują graptolity, natomiast w wapieniach można spotkać małże, trylobity oraz

ramienionogi. Sylur górny w strefie kieleckiej jest wykształcony w postaci piaskowców i szarogłazów z okruciami skał wylewnych. Materiał ten transportowany był do basenu sedymentacyjnego z południa. W strefie łysogórskiej piaskowce nie występują, a głównymi osadami są łupki z szarogłazami. Miąższość osadów syluru przekracza niekiedy 1000 m. Największe odsłonięcia tych utworów znajdują się w strefie łysogórskiej na NE stokach Łysogór.

Ruchy kaledońskie, które miały miejsce na przełomie syluru i *dewonu*, sfałdowały i wyniosły południową część obszaru świętokrzyskiego, wskutek czego morze ustąpiło ze strefy kieleckiej i rozpoczęły się procesy erozyjne (brak utworów żedynu i syluru). W obszarze łysogórskim zachowana jest ciągłość sedymentacyjna osadów syluru i dewonu, które są wykształcone jako facje morskie, piaszczysto-ilaste. W dewonie środkowym nastąpiło ujednoczenie środowiska sedymentacyjnego w formie płytkiego morza pokrywającego cały obszar świętokrzyski. Początkowo tworzyły się osady zlepieńcowe (w regionie kieleckim), a następnie już na całym obszarze świętokrzyskim gruboławicowe dolomity i wapienie. W późnym dewonie nastąpiło ponowne zróżnicowanie facji: w obszarze kieleckim trwała sedymentacja utworów facji wapiennej, natomiast w obszarze łysogórskim deponowane były łupki i margle (co świadczy o spłycaaniu morza). Pod koniec dewonu morze pogłębiało się, a charakter osadów wskazuje na ujednoczenie środowiska sedymentacji dla całego obszaru. Utworami tymi są wapienie oraz łupki margliste i krzemionkowe. W wapieniach dewońskich zachodziły w późniejszych okresach zjawiska krasowe, o czym świadczą liczne jaskinie i groty (m.in. jaskinia Raj w strefie „horstu”).

Homogeniczność środowiska sedymentacji oraz ciągłość depozycji dla obszaru świętokrzyskiego trwała prawie przez cały okres *wczesnego karbonu*. W głębokim morzu deponowane były osady kulmu (ilasto-piaszczyste utwory łupkowe) o marglistym bądź krzemionkowym charakterze. Jedynie w części SW („horst” kielecki) można spotkać utwory węglanowe (facje wapienia węglowego z bogatą fauną dolnokarbońską). Utwory dolnego karbonu odsłaniają się na powierzchni jedynie w strefie kieleckiej (rys. 2), natomiast w regionie łysogórskim są one przykryte osadami osłony mezozoicznej (północno-zachodnia strefa osłony). W późnym karbonie faza sudecka spowodowała wycofanie się morza z rejonu wypiętrzających się Gór Świętokrzyskich, w efekcie czego obszar ten pozostał lądem aż do późnego *permu*. Silne procesy denudacyjne już wówczas doprowadziły do odsłonięcia osadów dewonu środkowego i zapoczątkowały w jego utworach zjawiska krasowe. Materiał z erodowanych Gór Świętokrzyskich deponowany był głównie u podnóża gór i w dolinach śródgórskich w postaci stożków napływowych i osadów fluwialnych. Na terenie Gór Świętokrzyskich osady górnego karbonu i czerwonego spągowca nie występują.

W cechszynie od północnego-zachodu na obszar Polski wkroczyło morze, które swym zasięgiem objęło jedynie brzeżną część Gór Świętokrzyskich oraz wąskie zatoki w masywie paleozoicznym. Utwory zdeponowane w tym czasie odsłaniają się wzdłuż wąskiej strefy: Łukowo-Chęciny-Kostomłoty-Kajetanów-Szwarszowice i dalej w kierunku na Opatów. W przeciwieństwie do większości obszarów Niżu Polskiego, cechszyn na obszarze świętokrzyskim nie jest wykształcony w facji salinarnej. Serię rozpoczyna „zlepienieć zygmuntownowski” (facja delty stożkowej), którego szkielet ziarnisty zbudowany jest z otoczków skał paleozoicznych związanych wapnistym spoiwem. W miarę oddalania od strefy brzegowej ku NE i SW wzrasta węglanowość facji oraz pojawia się fauna reprezentowana przez małże i brachiopody. Ponad zlepieńcem leżą wapienie i łupki (etap pogłębiania morza), a wyżej:

łupki, mułowce, anhydryty, piaskowce oraz zlepienie górno-cechsztyńskie (powtórne spłylenie morza). Lokalnie spotykane są również osady soli kamiennej (zachodnie obrzeżenie Gór Świętokrzyskich).

We wczesnym *triasie* (pstry piaskowiec) na obszarze Gór Świętokrzyskich istniał śródlądowy płytki zbiornik wodny, w którym odbywała się sedymentacja ilów i piaskowców. Utwory triasowe odsłaniają się w dwóch strefach: w obrębie północnego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich (od Opatowa do Radoszyc i dalej ku zachodowi, rys. 1), które stanowi NW i N „przedłużenie” strefy łysogórskiej (antyklinorium gielniowskie) oraz na obszarze południowego i zachodniego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich (od Przedborza po Staszów, rys. 1, 2) obejmującego NW i wschodnie „przedłużenie” strefy kieleckiej.

Na obszarze łysogórskim trias wykształcony jest kompletnie, przy czym w części zachodniej tego rejonu miąższości triasowych osadów są największe, a w części wschodniej znacznie maleją. Tak zmienne miąższości w obrębie utworów triasowych świadczą o występowaniu synsedymantacyjnej elewacji w paleozoicznym podłożu. Na obszarze łysogórskim (strefa zachodnia) występują osady: pstrego piaskowca, wapienia muszlowego, kajpru oraz retyku. W części wschodniej pomimo mniejszych miąższości profil utworów triasowych jest pełniejszy. W obszarze kieleckim osady pstrego piaskowca zalegają bezpośrednio na dewońskich lub permskich utworach (rys. 2). Wypełniają one szczeliny krasowe w dewońskich skałach węglanowych (powstałe przed sedymentacją triasową) oraz niecki, które rozwijały się w czasie sedymentacji tych utworów. Ret, wapień muszlowy oraz kajper (brak kajpru górnego) mają na obszarze kieleckim niepełne profile, co wskazuje na wyższe położenie i większą ruchliwość tej strefy w stosunku do strefy łysogórskiej w okresie triasowym. Trias w strefie łysogórskiej jest lepiej rozpoznany ze względu na rozleglejsze wschodnie.

We wczesnej *jurze* obszar Gór Świętokrzyskich z wyjątkiem krótkookresowych ingresji, nadal był ładem. Osady dolno-jurajskie odsłaniają się na powierzchni głównie w północnej części regionu świętokrzyskiego (Końskie, Skarżysko Kamienna, Starachowice; rys. 1). Od jury podział na obszary kielecki i łysogórski przestał obowiązywać, natomiast wyraźnie można wydzielić dwa zróżnicowane obszary: antyklinę gielniowską (obrzeżenie północno-zachodnie w trójkącie Inowódz-Końskie-Starachowice) oraz obszar północno-wschodni, zachodni i południowo-wschodni obrzeżenia o znacznie zredukowanych osadach liasu (rys. 1), gdzie osady występują głównie w strefie bruzdy środkowopolskiej. Osady antyklinorium gielniowskiego są przedłużeniem osi bruzdy środkowopolskiego zbiornika sedymentacyjnego.

W środkowej *jurze* zbiornik morski rozszerzał się w kierunku SE (poza współczesną linię Wisły). Morskie osady doggeru otaczają od północy, zachodu i wschodu trzon paleozoiczny Gór Świętokrzyskich (rys. 1). W obrzeżeniu północnym zachowana jest ciągłość sedymentacyjna z liasem, a miąższości dochodzą do 800–900 m (antyklina gielniowska). Ku południowemu-zachodowi wraz z redukcją miąższości zanikają osady niższych pięter (aalenu, bajosu i keloweju), podobnie jak w obrzeżeniu północno-wschodnim. W obszarze gielniowskim i NE obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich aalen to seria o miąższościach do 200 m zbudowana z piaskowców mułowcowych (obszar gielniowski), a na południowym-zachodzie i wschodzie piaskowców z mułowcami i syderytami. W części stropowej profilu występują czarne łupki. Miąższość aalenu maleje ku krańcom północnym obrzeżenia Gór Świętokrzyskich do 20 m i do 10 m na wschód od Ostrowca Świętokrzyskiego.

W malmie nastąpił maksymalny w jurze zalew morski pokrywający całe Góry Świętokrzyskie. Na całym obszarze trwała sedymentacja utworów węglanowych (wapienie: oolitytowe, bulaste, gąbkowe, płytowe oraz margle).

We wczesnej kredzie niemal cały obszar Gór Świętokrzyskich był lądem poddanym erozji. U podnóża gór osadzały się utwory deltowe, a morze wąską zatoką wcinało się w rejon dzisiejszego Tomaszowa Mazowieckiego, gdzie w efekcie osadziły się piaski i ropy z amonitami. Zapis wielkiej transgresji późnokredowej rozpoczyna się cenomańskimi (górną kredą) piaskowcami glaukonitowymi z fosforytami przechodzącymi w utwory węglanowe: margle i wapienie. Pod koniec późnej kredy działająca faza laramijska zdarła z Gór Świętokrzyskich osady mezozoiku i rozpoczęła lądowy okres trwający do paleogenu.

W paleogenie Góry Świętokrzyskie były silnie denudowane, a erozja zdarła utwory mezozoiku docierając do paleozoicznego cokołu. Najwyżej wyniesiona została (o kilka tysięcy metrów) strefa Dolnego Sanu (przedłużenie Gór Świętokrzyskich ku SE od linii Staszów–Sandomierz) w efekcie czego pokrywa mezozoiczna i paleozoiczna została z niej całkowicie zdarta (rys. 2) i przykryta osadami mioceniowymi. W miocenie na obszar Gór Świętokrzyskich wąskimi zatokami wkroczyło morze i rozpoczął się kolejny okres sedymentacji. Obszary, które uległy największemu obniżeniu i zalaniu to część południowa w strefie Wyniesienia Dolnego Sanu. W miocenie wyróżnia się dwie facje: morską i lądową (ryc. 2). Utwory lądowe (odsłaniają się na NE od Starachowic i Ostrowca Świętokrzyskiego) to przede wszystkim rumosze piasków i gliniek powstałe z wietrzenia skał starszych utworów. Osady morskie odsłaniają się w południowej części obrzeżenia mezozoicznego. Z najważniejszych utworów morskich wyróżnić można: wapienie i margle litotamniowe, wapienie pińczowskie oraz ropy krakowieckie. Na południe od Gór Świętokrzyskich w badenie tworzyły się osady gipsowo-wapienne, wskazujące na okresowe spłykanie i wysychanie morza.

### **3. Ocena potencjalnych stref geotermalnych w aspekcie budowy geologicznej regionu**

Przedstawiony wyżej zarys budowy geologicznej regionu Kielc pozwolił wstępnie wskazać te strefy, gdzie akumulacja wód termalnych jest najbardziej prawdopodobna. Są to przede wszystkim obszary o synklynalno-nieckowatej budowie, gdzie fałdowe i nieckowate struktury utworów paleozoicznych i mezozoicznych formują korzystne warunki dla akumulacji wód termalnych.

Wskazanie horyzontów o korzystnych cechach zbiornikowych w ww. strefach wymagało analizy dostępnych danych z głębokich odwiertów (obejmujących wyniki opróbowań złożowych, ocenę porowatości, przepuszczalności i mineralizacji wód) oraz danych hydrogeologicznych (w tych strefach, gdzie brak jest głębokich wierceń, a dane hydrogeologiczne wskazują na możliwą obecność stref zbiornikowych w płytkich horyzontach). Dane geologiczne przedstawione w poprzednim rozdziale wskazują jednoznacznie, że głównymi kompleksami zbiornikowymi regionu są utwory mezozoiczne obrzeżenia Gór Świętokrzyskich (lias, trias), które mogą wykazywać korzystne cechy zbiornikowe w skali regionalnej, natomiast paleozoik świętokrzyski to strefa o silnej zmienności właściwości zbiornikowych związanej ze zjawiskami krasowymi i rozwojem szczelinowatości. Najkorzystniej prezen-



tuje się zbiornik dewoński, jednak występujące w nim wody wykazują niskie temperatury, do około 35°C w rejonie miasta Kielce.

W obszarze mezozoicznej osłony Gór Świętokrzyskich występują ponadto powierzchniowe wychodnie kompleksów zbiornikowych będące strefami zasilania ww. horyzontów (rejon W i SW) (rys. 1). Wychodnie utworów mezozoicznych są tu bardzo liczne i rozległe obszarowo, obejmując osady od kredy po trias (por. rys. 1, 2).

Interesującą strefą jest rejon Antyklinorium Gielniowskiego, czyli północne obrzeżenie Gór Świętokrzyskich. Potencjalne możliwości akumulacji wód termalnych związane są tam głównie z piaskowcowymi utworami liasu i triasu. Kompleks ten posiada w północnym obszarze regionu świętokrzyskiego rozbudowane wychodnie powierzchniowe (rys. 1 – rejon Ostrowca Świętokrzyskiego, Starachowic, Końskich), a wyraźny skłon regionalny tych utworów w kierunku NW umożliwia migrację i akumulację wód termalnych do stref wysokotemperaturowych.

Region świętokrzyski wraz ze swoim północnym obrzeżeniem jest obszarem perspektywicznym w aspekcie strukturalnym, jednak charakter parametrów hydrotermalnych występujących tam kompleksów jest zasadniczo różny.

### *3.1. Ocena parametrów zbiornikowych stref i horyzontów geotermalnych obszaru świętokrzyskiego*

Przegląd najbardziej wydajnych ujęć wodnych w obszarze świętokrzyskim przedstawiony na rysunku 1 pozwala wnosić, że najbardziej perspektywiczne kompleksy w aspekcie „płytkiej” geotermii są kompleksy górnego i środkowego dewonu. Geotermia „płytką” rozumiana jest tutaj jako przedsięwzięcie wykorzystujące wody o temperaturach poniżej 20°C (za pomocą pomp ciepła). Szczególnie korzystne parametry zbiornikowe wynikają nie tylko z intensywnych procesów tektonicznych (szczelinowatość), ale również z bardzo intensywnych procesów krasowych rozpoczętych już w górnym karbonie. Należy jednak zaznaczyć, że cechy zbiornikowe są tutaj nieregularne, związane głównie ze szczelinami, ich rozkład trudny jest do przewidzenia, a temperatury wód są stosunkowo niskie.

Jak wskazano wyżej, na obszarze świętokrzyskim występują dwie struktury tektoniczne: „ryft” łysogórski oraz „horst” kielecki (rys. 1). Okres fałdowań obu stref był różny, a procesy depozycyjne dały w efekcie zróżnicowane struktury tektoniczne o odmiennym rozwoju stref porowatych, szczelinowatości i przepuszczalności.

Utwory dewońskie zostały wyniesione razem z nadległymi osadami karbonu dolnego w okresie fazy sudeckiej, a następnie, aż do triasu ulegały erozji i procesom krasowym. Można przyjąć, że zjawiska krasowe dotknęły głównie tych partii osadów dewońskich, z których erozja zdarła osady dolnokarbońskie. Tak więc odnosi się to również do utworów dewonu w SW części mezozoicznej osłony Gór Świętokrzyskich, w strefach gdzie nie występują osady dolnego karbonu (np. Łukowa, rys. 1, ujęcie nr 57).

Stefa zbiornikowych utworów dewońskich pod mezozoiczną osłoną Gór Świętokrzyskich znajduje się prawdopodobnie również w rejonie NW osłony mezozoicznej (na NW od Kielc) – tam, gdzie brak osadów dolnokarbońskich umożliwił rozwój procesów krasowych. O wieku szczelin krasowych świadczy wypełnienie kawern przez osady pstrego piaskowca w strefie kieleckiej. Powtórne odnowienie procesów krasowych na obszarze Gór

Świętokrzyskich miało miejsce po kredzie, kiedy to wydzwignięty masyw górski utracił całą mezozoiczną pokrywę łącznie z niektórymi piętrami paleozoicznymi. Procesy krasowe rozpoczęte wówczas trwają prawdopodobnie do dzisiaj.

Powyższe informacje, łącznie z zestawionymi danymi hydrogeologicznymi (rys. 1) świadczą o potencjalnych możliwościach akumulacji wód na większych głębokościach w obrębie utworów dewońskich w strefach mezozoicznej osłony Gór Świętokrzyskich, ale jednocześnie o trudnym do lokalizacji trendzie występowania korzystnych właściwości zbiornikowych oraz silnym zróżnicowaniu temperatur: 10–20°C (rejon Kielc) do 30–60°C (rejon Skarżyska Kamiennej).

W strefie osłony mezozoicznej Gór Świętokrzyskich jako perspektywiczne należy uznać niemal wszystkie kompleksy mezozoiczne począwszy od triasowych a kończąc na kredowych. Wynika to zarówno z przedstawionego wcześniej charakteru litologii tych utworów, jak i stwierdzonych wydajności z płytkich ujęć przedstawionych na rysunku 1: np. wody z utworów doggerskich eksploatowane są w miejscowościach Kąty Denkowskie k/Ostrowca (rejon nr 46, rys. 1 – maksymalna wydajność ujęcia ok. 250 m<sup>3</sup>/h) i Lubień k/Starachowic (wydajność ok. 50 m<sup>3</sup>/h). Ekstrapolacja parametrów zbiornikowych i wydajności tych ujęć w głębsze strefy tych kompleksów może być mniej ryzykowna niż w przypadku utworów paleozoicznych Gór Świętokrzyskich. Wynika to przede wszystkim ze znacznie regularniejszej i wyższej porowatości piaskowcowych kompleksów mezozoicznych w stosunku np. do paleozoicznych wapieni dewonu. W rejonie Kielc utwory mezozoiczne akumulują jednak wody o temperaturach około 10°C i dopiero na N od Skarżyska Kamiennej i na S od Sobkowa są to wody termalne (czyli o temperaturach >20°C).

Na obszarze świętokrzyskim utwory dewonu na skutek intensywnych procesów tektonicznych zachodzących od wczesnego karbonu (faza sudecka) aż po ruchy tektoniczne w późnej kredzie (faza laramijska) wykazują szeroko rozbudowaną sieć spękań i szczelin oraz kawern krasowych. Pomimo, iż dało to w efekcie korzystne warunki zbiornikowe, to ich rozkład jest przypadkowy i lokalny, co utrudnia prognozowanie stref perspektywicznych. Przykładem dobrych warunków zbiornikowych dewonu są ujęcia wód w rejonie Kielc (Dyminy, rejon nr 51; Nowiny, rejon nr 47; Suków, rejon nr 52; Marzysz, rejon nr 53; rys. 1).

Strefa antyklinorium gielniowskiego (północne mezozoiczne obrzeżenie Gór Świętokrzyskich) wzdłuż linii Końskie–Skarżysko Kamienna–Starachowice–Ostrowiec Świętokrzyski jest perspektywiczna w obrębie utworów jury i triasu. Istnieje tam wiele jurajskich ujęć wodnych o głębokości przekraczającej 100 m przy wydajnościach przekraczających 300 m<sup>3</sup>/h, jak np. w rejonie (rys. 1): Skarżyska Kościelnego (rejon nr 10), Końskich (rejon nr 79), Kątów Denkowskich (rejon nr 46). Znaczne wydajności wykazują ujęcia w rejonie Ostrowca (Szewna Wieś, Bokszyckie – rejon nr 44 oraz Kunów). Dotyczy to również wód z utworów triasu, np. w Ratajach (rejon nr 4), Suchedniowie (rejon nr 8), Skarżysku (rejon nr 9), Sierzawach (rejon nr 15), Zagnańsku (rejon nr 26), Ćmińsku (rejon nr 21), Piekoszowie (rejon nr 33), Brzezinach (rejon nr 50) (dwa ostatnie ujęcia ze strefy mezozoicznego obrzeżenia części SW). Bardziej szczegółowych badań wymagają również strefy dużych wydajności z ujęć górnourajskich (Korytnica, rejon 55; Tokarnia, rejon 41; Sobków, rejon 43; Kąty Denkowskie, rejon 46; Gołuchów, rejon 60; Bekowiny, rejon 75; Małogoszcz rejon 7; Trębowiec, rejon 5; Mieczyn, rejon 1).

Wysokie wydajności ujęć wód słodkich z niemal wszystkich kompleksów geologicznych regionu świętokrzyskiego (dewon, perm, trias, jura, kreda, trzeciorzęd, czwartorzęd) (rys. 1),

w przedziale głębokości 0–150 m stwarzają poważne perspektywy dla „geotermii płytkiej”. Wymaga to jednak analizy dużej ilości danych w celu prawidłowej lokalizacji wiercenia w „nieregularnym” ośrodku hydrogeologicznym lub współpracy z istniejącą siecią wodociągową (wówczas bez konieczności wykonywania nowych wierceń).

W aspekcie geotermii „głębokiej” najkorzystniej przedstawia się obszar zachodni i północny regionu kieleckiego, gdzie występują mezozoiczne kompleksy zbiornikowe jury (doggeru), kredy (cenomanu), triasu oraz niżej leżącego dewonu. Kompleksy te gromadzą wodę termalną o temperaturach rzędu 60°C, występują jednak w odległości około 20 km od Kielc (rys. 1).

W rejonie Kielc strefy o temperaturach powyżej 40°C budują utwory syluru, kambru i prekambru. Są to utwory słabo przepuszczalne o niedużych porowatościach. Ich parametry zbiornikowe mogą być korzystniejsze głównie w strefach spękań i szczelin w strefach dyslokacji uskokowych.

#### **4. Zbiorniki wód podziemnych w rejonie Kielc**

Omówione w tym rozdziale zbiorniki wód podziemnych stanowią podstawę zaopatrzenia Kielc w wodę słodką, a jednocześnie mogą stanowić źródło energii geotermalnej w systemach pomp ciepła („geotermia płytka”).

W rejonie Kielc wydzielono trzy główne zbiorniki wód podziemnych (Kleczkowski, red., 1990), których zasoby są związane z paleozoiczną i mezozoiczną częścią masywu Gór Świętokrzyskich. W granicach miasta zlokalizowany jest główny zbiornik wód podziemnych Kielce (nr 417) z wodami w dewońskim ośrodku szczelinowo-krasowym o powierzchni 42 km<sup>2</sup> i szacunkowych zasobach dyspozycyjnych wynoszących 48 000 m<sup>3</sup>/d. Z tego zbiornika eksploatowane są zasoby dla komunalnego ujęcia wody „Białogon”, ujęcie Dyminy oraz siedem studni wspomagająco-awaryjnych na terenie miasta.

Kilkanaście kilometrów na północ od granic miasta zlokalizowany jest główny zbiornik wód podziemnych Zagnańsk (nr 414). Jest to zbiornik z wodami szczelinowo-porowymi o powierzchni 334 km<sup>2</sup>, którego zasoby dyspozycyjne wynoszą 48 000 m<sup>3</sup>/dobę. Z tego zbiornika eksploatowane są zasoby dla ujęcia wody Zagnańsk (Kleczkowski, red., 1990).

Około 5 km na SE od miasta zlokalizowany jest główny zbiornik wód podziemnych Gałęzice–Bolechowice–Borków (nr 418), który leży on w synklinie gałęzicko-bolechowicko-borkowskiej na południowym obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich. Kolektorem wód podziemnych tego zbiornika są wapień i dolomity środkowego i górnego dewonu (Prażak 2007). Powierzchnia zbiornika wynosi 103 km<sup>2</sup>, a zasoby dyspozycyjne określone zostały na poziomie 19 000 m<sup>3</sup>/dobę. W części wschodniej w rejonie Sukowa i Marzysza, udokumentowano i zatwierdzono zasoby dyspozycyjne wód podziemnych. Według stanu na grudzień 1993 r. wynoszą one 790 m<sup>3</sup>/h, a w tym zasoby eksploatacyjne w ilości 626 m<sup>3</sup>/h i uwzględniają 380 m<sup>3</sup>/h dla rejonu Sukowa i 246 m<sup>3</sup>/h dla Marzysza. Przewidywany jest jako zbiornik przyszłościowy dla Kielc (500 m<sup>3</sup>/h) (Kleczkowski, red. 1990).

Lokalnie na terenie Kielc występuje również czwartorzędowy poziom wodonośny. Jego znaczenie ogranicza się jedynie do dolin rzek: Bobrzy, Lubrzanki i Sufragańca, gdzie występują piaszczysto-żwirowe utwory o miąższościach dochodzących do 30 m. Poziom ten jest eksploatowany przez studnie wiercone i studnie kopane, zwykle o niewielkich

wydajnościach. Wód zwykłych dostarczają również liczne źródła („źródlika”) zlokalizowane na terenie Kielc.

## **5. Określenie stref perspektywicznych występowania wód termalnych i leczniczych w regionie kieleckim**

### **5.1. Strefy niskotemperaturowe (wody słodkie o temperaturach <20°)**

Dla celów „geotermii płytkiej” strefy ujęć wód słodkich mogą być interesujące jeśli cechują się znacznymi wydajnościami i niezbyt niskimi temperaturami wód (tzn. przynajmniej ok. 10–12°C). W strefach pozbawionych anomalii geotermicznych tego rzędu temperatury występują generalnie na głębokości powyżej 50 m. Przy wydajnościach ujęć rzędu 200 m<sup>3</sup>/h i schłodzeniu wody o około 6°C, istnieje możliwość uzyskania mocy cieplnej około 1,5 MW przy zastosowaniu systemów pomp ciepła. Istnieją jednak istotne ograniczenia dla wykorzystania tych wód dla celów geotermalnych. Wody te są akumulowane głównie w lokalnych i nieregularnych strefach spękań, w kawernach i szczelinach krasowych oraz w rejonach dyslokacji. Strefy te mają ograniczone zdolności akumulacji i uzupełnianie wód głównie ze względu na stosunkowo ograniczoną pojemność. Wysłodzenie tych wód wskazuje jednocześnie na ich silny związek z wodami powierzchniowymi i atmosferycznymi. Istnieją następujące problemy dla ciepłowniczego wykorzystania tych wód w geotermii:

- możliwość zmniejszania się z czasem uzyskiwanych początkowo wysokich wydajności oraz zależność wydajności od pór roku i/lub intensywności opadów,
- możliwość wpływu eksploatacji na poziom wód powierzchniowych nawet pomimo powtórnego zatłaczania (źródła, cieki powierzchniowe, studnie),
- trudność wskazania lokalizacji otworu chłonnego z horyzontem o tych samych własnościach zbiornikowych co otwór produkcyjny w wymaganej odległości tzn. około 1 km (przypadkowy przebieg stref wodonośnych),
- uwarunkowania prawne dotyczące możliwości wykorzystania stref ujęć wód pitnych dla innych celów.

Przedstawione problemy hydrogeologiczne można rozwiązać dopiero po analizie wieloletnich danych na temat przebiegu eksploatacji istniejących ujęć w aspekcie zmiany wydajności, zmiany położenia zwierciadła swobodnego, związku eksploatacji z poziomem wód powierzchniowych itp.

Przeprowadzone analizy pozwoliły wytypować w regionie kieleckim strefy, które ze względów geologicznych (korzystne warunki hydrogeotermalne), szacunkowych kosztów inwestycyjnych (potencjalne koszty dodatkowych wierceń) oraz gospodarczych (obecność potencjalnego odbiorcy, istniejące kotłownie, sieć ciepłna), prezentują się najkorzystniej w aspekcie realizacji inwestycji geotermalnych. Są to w strefie płytkich horyzontów hydrogeologicznych Kielce (dewon), Sitkówka–Nowiny (dewon), Piekoszów (trias), Skarżysko Kamienna (trias), Stąporków (lias).

Miasto Kielce wykorzystuje ujęcia wód podziemnych dla pokrycia potrzeb komunalnych w ilości ponad 2000 m<sup>3</sup>/h. Oznacza to, że bez wykonania osobnych ujęć wód dla celów

geotermii przy zastosowaniu systemu odpowiednich wymienników odbierających ciepło od wód eksploatowanych obecnie przez miasto i schładzających wody o 2°C, uzyskanoby za pomocą systemów pomp ciepła moc rzędu 5 MW. Jest to moc teoretyczna ze względu na znaczne rozproszenie stref lokalizacji ujęć. Realistyczne wartości przy tym samym schłodzeniu wód wynikają natomiast z analizy konkretnych ujęć: Białogonu (ok. 1000 m<sup>3</sup>/h) czy Zagnańska (około 700 m<sup>3</sup>/h). Potencjalne moce cieplne możliwe do uzyskania z tych ujęć przy niedużym schłodzeniu (tzn. 2°C) wynosiłyby odpowiednio 2,4 MW i 1,7 MW.

Niezależnie od powyższego, około 15 km na zachód od miasta, w rejonie Miedzianki, gdzie w przyszłości przewidywane jest ujęcie wód dla Kielc, na terenie odwadnianego kamieniołomu „Ostrówka” zrzucane jest około 800 m<sup>3</sup>/h wód słodkich do cieków powierzchniowych. Temperatura wód zrzutowych wynosi około 15°C, co wskazuje na obecność anomalii geotermalnej. Możliwa do uzyskania moc cieplna przy schłodzeniu wód np. do 10°C wyniosłaby około 5 MW. Odbiór ciepła mógłby być realizowany w dowolnej lokalizacji wzdłuż przyszłej magistrali wodnej poprzez wymienniki ciepła.

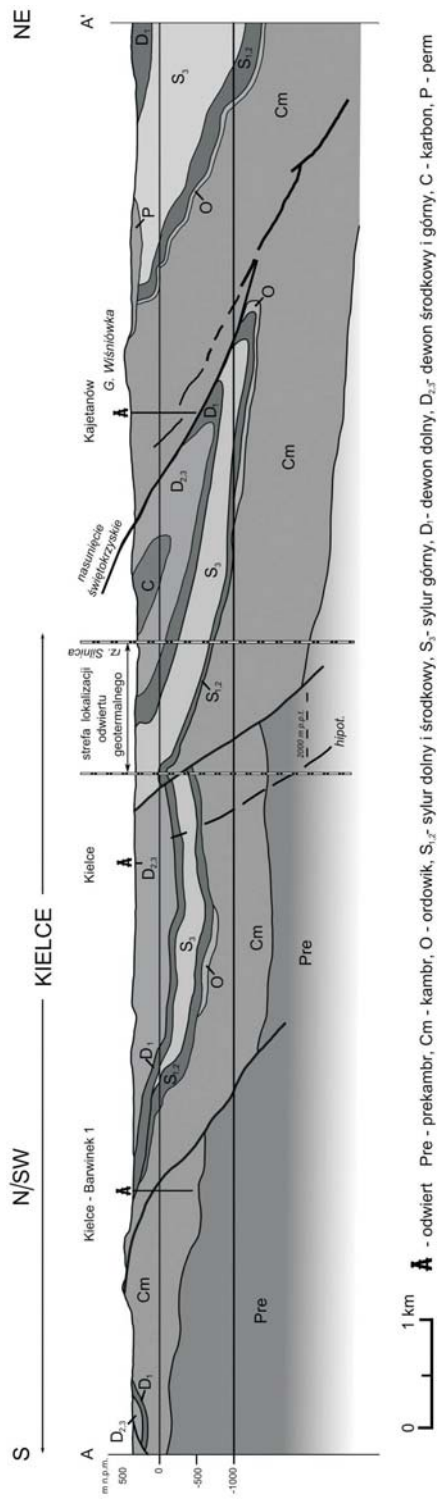
Współpraca sieci wodociągowej z instalacją geotermalną możliwa jest również w przypadku innych ujęć wodnych, a szczególnie ujęć wykorzystywanych dla celów przemysłowych, tam gdzie strumień wód odpadowych osiąga duże wartości.

## 5.2. Strefy wgłębne – temperatury >20°C, solanki termalne

Problem obecności wód termalnych i leczniczych (wody o temperaturach powyżej 20°C są uznawane za lecznicze) w rejonie Kielc jest złożony, głównie z powodu braku w tym rejonie głębokich wierceń, niskich wartości parametrów zbiornikowych w utworach paleozoiku oraz skomplikowanej geologii, a szczególnie tektoniki. Właściwie jedynie strefy skrasowiałe i spękanie w obrębie zbiornika dewońskiego umożliwiają osiąganie dużych wydajności wód podziemnych, jednak ograniczony zasięg głębokościowy tego zbiornika nie pozwala na uzyskanie temperatur powyżej 25°C (rys. 3).

Pozyskanie w rejonie Kielc wód termalnych, o temperaturach rzędu 60°C wymagałoby odwiercenia otworu geotermalnego do głębokości około 2000 m, przy czym – jak wynika z opracowanego przekroju geologicznego (AA') – na tych głębokościach występują słabo przepuszczalne utwory prekambru. Niskie wartości parametrów zbiornikowych prekambru, a także kambru i syluru, mogą jednak ulegać znacznemu polepszeniu w strefach uskoku, gdzie występują rozległe strefy szczelin i spękań umożliwiające migrację płynów złożowych. Za taki obszar uznano strefę dyslokacji pokazaną na rysunku 3. Rozdziela ona na powierzchni obszar wychodni dewonu i syluru w północnej części miasta i przypuszczalnie „schodzi” w strefy o wysokich temperaturach z upadem w kierunku NE, osiągając utwory prekambru lub kambru.

Zakładając znaczne spękanie i zeszczelinowanie tej strefy oraz trudności w zlokalizowaniu wgłębnej struktury dyslokacyjnej o podobnym rozmiarze w granicach miasta uznano, że stanowi ona strefę o największym prawdopodobieństwie akumulacji podziemnych wód termalnych. SW granicę tej strefy przedstawiono na rysunku 2 zgodnie z przekrojem geologicznym (AA') z rysunku 3, gdzie wyznacza ją SW granica zasięgu występowania utworów syluru. Wynika stąd, że w celu osiągnięcia strefy o wysokich temperaturach na głębokości 2000 m poprzez wejście w obszar dyslokacji, należałoby odwiercić otwór

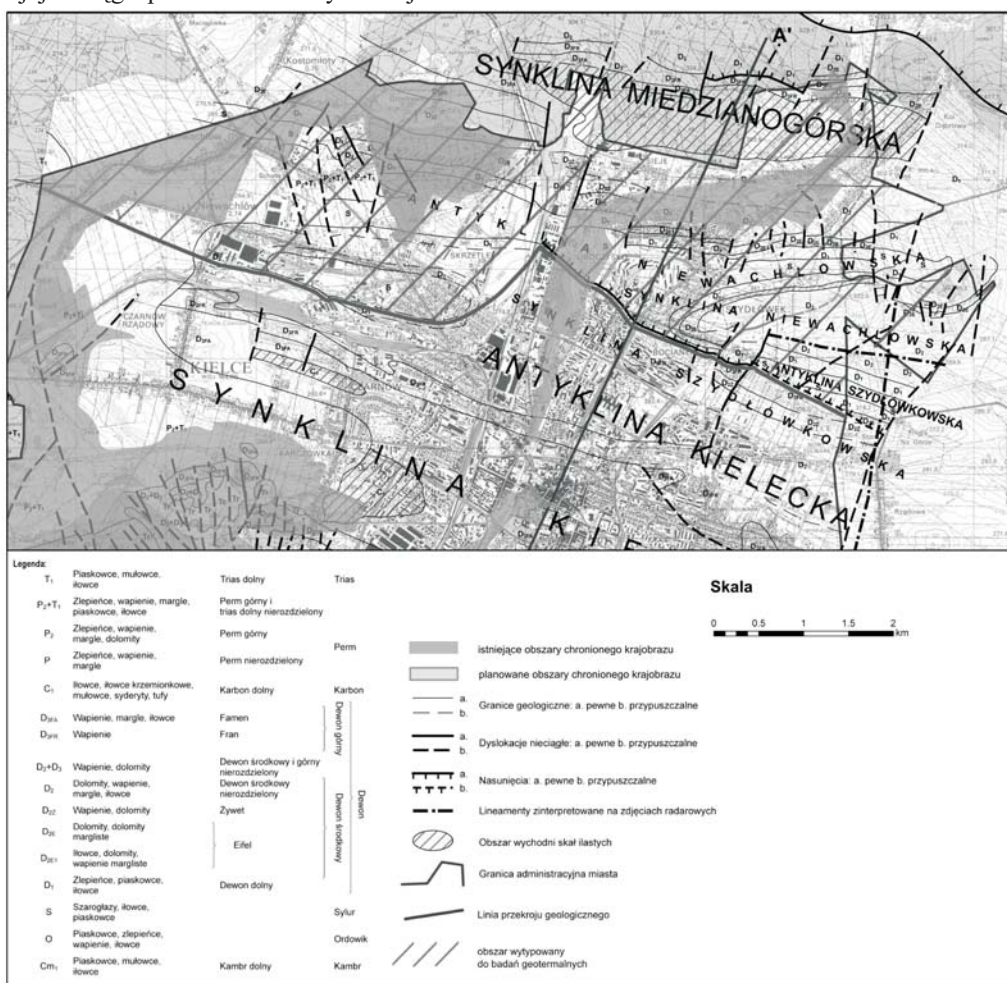


Rys. 3. Przekrój geologiczny przez region miasta Kielce (wg Mapy Geologicznej Polski, arkusz Kielce, 1:200 000, oprac. Filonowicz 1981)

Fig. 3. Geological cross-section through the region of Kielce town (ac. to Geological Map of Poland, Kielce, 1:200 000, Filonowicz, ed. 1981)

w kierunku na NE od linii wychodni utworów sylurskich (wg przekroju na rys. 3 – około 1 km na NE od strefy powierzchniowego kontaktu dewon – sylur).

W rejonie dyslokacji zostały zaznaczone Obszary Chronionego Krajobrazu (zarówno istniejące jak i planowane), których charakter prawny uniemożliwia przeprowadzenie badań, stąd należałoby je przeprowadzić w obszarach do nich przyległych (rys. 4). W celu określenia optymalnej lokalizacji potencjalnego otworu geotermalnego celowe byłoby przeanalizowanie możliwości terenu i w przypadku stwierdzenia odpowiednich warunków wykonanie próbnych profilowań magnetotellurycznych w kierunku prostopadłym do strefy kontaktu dewon-sylur. Zakładając zawodnienie utworów dewonu, przejście profilu magnetotellurycznego przez strefę kontaktu powinno umożliwić ocenę obecności strefy zawodnionej oraz jej zasięgu po NE stronie dyslokacji.



Rys. 4. Lokalizacja planowanego obszaru badań dla poszukiwania wód termalnych na mapie geologicznej odkrytej miasta Kielce (wg Studencki 2006)

Fig. 4. Location of planned research for thermal waters prospection on the geological map of Kielce town (without Quaternary sediments) (wg Studencki 2006)

## **Podsumowanie**

Analiza budowy geologicznej regionu Kielc pozwoliła na wytypowanie obszarów, w których mogą występować wody podziemne (termalne i lecznicze). Najbardziej perspektywiczne są kompleksy dewońskie, w których wody o temperaturach poniżej 20°C mogą być akumulowane w lokalnych i nieregularnych strefach spękań oraz dyslokacjach, a także licznych kawernach i szczelinach krasowych. W aspekcie „geotermii płytkiej” wody te mogłyby być wykorzystywane za pomocą systemu pomp ciepła. Natomiast występowanie wód o wyższych temperaturach, rzędu 60°C, może być związane z głębokimi strefami uskokuowymi (głębokości rzędu 2,5–3 km), w których występują przypuszczalnie rozległe strefy szczelin i spękań umożliwiające migracje podziemnych wód termalnych. Obecność tych wód w głębokich kompleksach paleozoicznych wymaga potwierdzenia głębokim wierceniem we wskazanej w artykule strefie.

## **Literatura**

- Bank Hydro, zasoby Baza Danych PIG, Warszawa, [www.pgi.gov.pl/bankhydro.html](http://www.pgi.gov.pl/bankhydro.html).
- Boczar M., Manterys K., 1971 – Geologia Polski. Wyd. Geologiczne, Warszawa.
- Filonowicz P., 1981 – Mapa Geologiczna Polski, arkusz Kielce, skala 1:200 000, IG, Wyd. Geologiczne, Warszawa.
- Kleczkowski A., red., 1990 – Mapa obszarów głównych zbiorników wód podziemnych (GZWP) w Polsce wymagających szczególnej ochrony. Wyd. IHiGW AGH, Kraków.
- Prażak J., 2007 – Tło hydrogeologiczne jako standard jakości wód podziemnych zbiornika szczelinowo-krasowego Gałęzice-Bolechowice-Borków w Górach Świętokrzyskich. Współczesne problemy hydrogeologii, tom XIII, cz. 3, 593–603. Wyd. AGH, Kraków.
- Pożaryski W., red., 1974 – Budowa Geologiczna Polski – Tektonika, Cz. 1, T. IV. Wyd. Geologiczne, Warszawa.
- Rühle E., red., 1977 – Mapa geologiczna Polski bez utworów czwartorzędowych 1:500 000. Wyd. Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Sokołowski S., red., 1968 – Budowa geologiczna Polski – Stratygrafia cz. 1 – Paleozoik i Prekambr. Instytut Geologiczny, Wyd. Geologiczne, Warszawa
- Sokołowski S., red., 1973 – Budowa geologiczna Polski – Stratygrafia cz. 2 – Mezozoik. Instytut Geologiczny, Wyd. Geologiczne, Warszawa.
- Studencki M., 2006 – Mapa zaburzeń tektonicznych na terenie Kielc w skali 1:25 000 z uwzględnieniem wpływu dyslokacji nieciągłych na budowę i zdrowie mieszkańców. Wyd. PIG Oddz. Świętokrzyski, Kielce.
- Stupnicka E., 1988 – Geologia regionalna Polski. Wyd. Geologiczne, Warszawa.