

## Cenomańskie wody geotermalne zapadliska przedkarpackiego i obszarów przyległych

Antoni P. Barbacki\*, Agnieszka Kazanowska\*\*

*Przedstawiono wyniki analiz dotyczących wód wglębnych kompleksu cenomańskiego na obszarze piaskowcowej facji tego kompleksu pomiędzy Jędrzejowem i Myślenicami. Stwierdzono silną i prostą zależność pomiędzy rozkładem miąższości utworów cenomanu a ich parametrami zbiornikowymi, mineralizacją wód i rozkładem ciśnień złożowych. Omówiono niektóre aspekty geotermalnego wykorzystania wód cenomańskich oraz projekty ich zagospodarowania dla celów grzewczych i konsumpcyjnych.*

**Słowa kluczowe:** cenomańskie wody geotermalne, geologia i hydrogeologia, parametry zbiornikowe

Antoni P. Barbacki & Agnieszka Kazanowska — **Cenomanian geothermal waters in the Carpathian foredeep and neighboring areas (SE Poland).** Prz. Geol., 49: 544–550.

*S u m m a r y.* This paper presents results derived from analyses of Cenomanian waters in the Jędrzejów–Myślenice area. A distinct relationship between the thickness of Cenomanian deposits and their reservoir parameters, mineralization or pore pressure was noted. In addition, some aspects of geothermal utilization of Cenomanian waters were discussed.

**Key words:** Cenomanian geothermal waters, geology and hydrogeology, reservoir parameters

Zainteresowanie wodami cenomańskimi wzrosło znacznie z chwilą pojawienia się nowych technologii umożliwiających wykorzystanie dla celów geotermalnych wód podziemnych o temperaturach poniżej 20°C, dzięki zastosowaniu sprężarkowych i absorpcyjnych pomp ciepła. Niskie temperatury wód cenomańskich wynikające ze stosunkowo płytkiego występowania utworów cenomanu są rekompensowane znacznymi wydajnościami przekraczającymi niekiedy 100 m<sup>3</sup>/h — często w formie samowypływów.

Ze względu na zasięg wodonośnych horyzontów cenomanu wykraczający znacznie poza obszar zapadliska przedkarpackiego analizie poddano również obszar centralnej i południowej części niecki miechowskiej oraz strefę pod nasunięciem karpackim, gdzie liczne otwory potwierdziły występowanie tych osadów pod fliszowymi utworami Karpat.

W północnej części analizowanego obszaru (na NW od Jędrzejowa), gdzie pod piaskowcowymi osadami cenomanu stwierdzono piaszczyste osady dolnokredowe zaliczane do albu, oba poziomy tworzą wspólny kompleks wodonośny. Również w tych strefach, gdzie otwory cenomanu kontaktują się od góry ze spękanymi i skrasowiętymi wapieniami turonu kompleksy te tworzą wspólną wstęgę wodonośną (Oszczypko & Tomasz, 1976). Ze względu jednak na dużą zmienność parametrów zbiornikowych węglanowych utworów turonu analizie poddano jedynie serię piaszczystą znacznie bardziej interesującą w aspekcie geotermalnym.

Górne uszczelnienie warstwy wodonośnej stanowią zwykle glaukonitowe margle santonu bądź zbite wapienie turonu. Podścielające osady górnej jury — w zależności od stopnia spękania lub skrasowienia — stanowią bądź dolne uszczelnienie warstwy, bądź źródło zasilania pośredniego.

Występujące tutaj zasoby geotermalne należy zaliczyć do zasobów w utworach o dużej porowatości (przekraczającej 30%), w warunkach nadciśnień i ciśnień hydrostatycznych oraz o niskiej mineralizacji wód. Niska

mineralizacja stwarza dodatkowe możliwości wykorzystania ich zarówno do celów konsumpcyjnych jak i leczniczych (m.in. w Busku Zdroju i Białowieży k. Sędziszowa).

Były to główne przesłanki dla przygotowania projektu dotyczącego zagospodarowania tych wód w celach ciepłowniczych i konsumpcyjnych dla miasta Słomniki k. Krakowa.

Poniżej przedstawiono wyniki badań mających na celu rozpoznanie budowy kompleksu cenomańskiego oraz określenia warunków geotermalnych i hydrochemicznych wód cenomańskich w aspekcie praktycznego ich wykorzystania.

### Tektonika, środowiska sedymentacji i litologia utworów cenomanu

Piaszczysty poziom kredowy rozpoznano głównie w latach 70., a ważniejsze prace dotyczące wód cenomańskich zostały opublikowane przez Oszczypko i Tomasza (1976, 1981). Inne publikacje o podobnej tematyce dotyczą takich autorów jak: Burzewski (1969), Gomułka (1970), Jawor (1970, 1999), Kotlicki (1971) i Konior (1978).

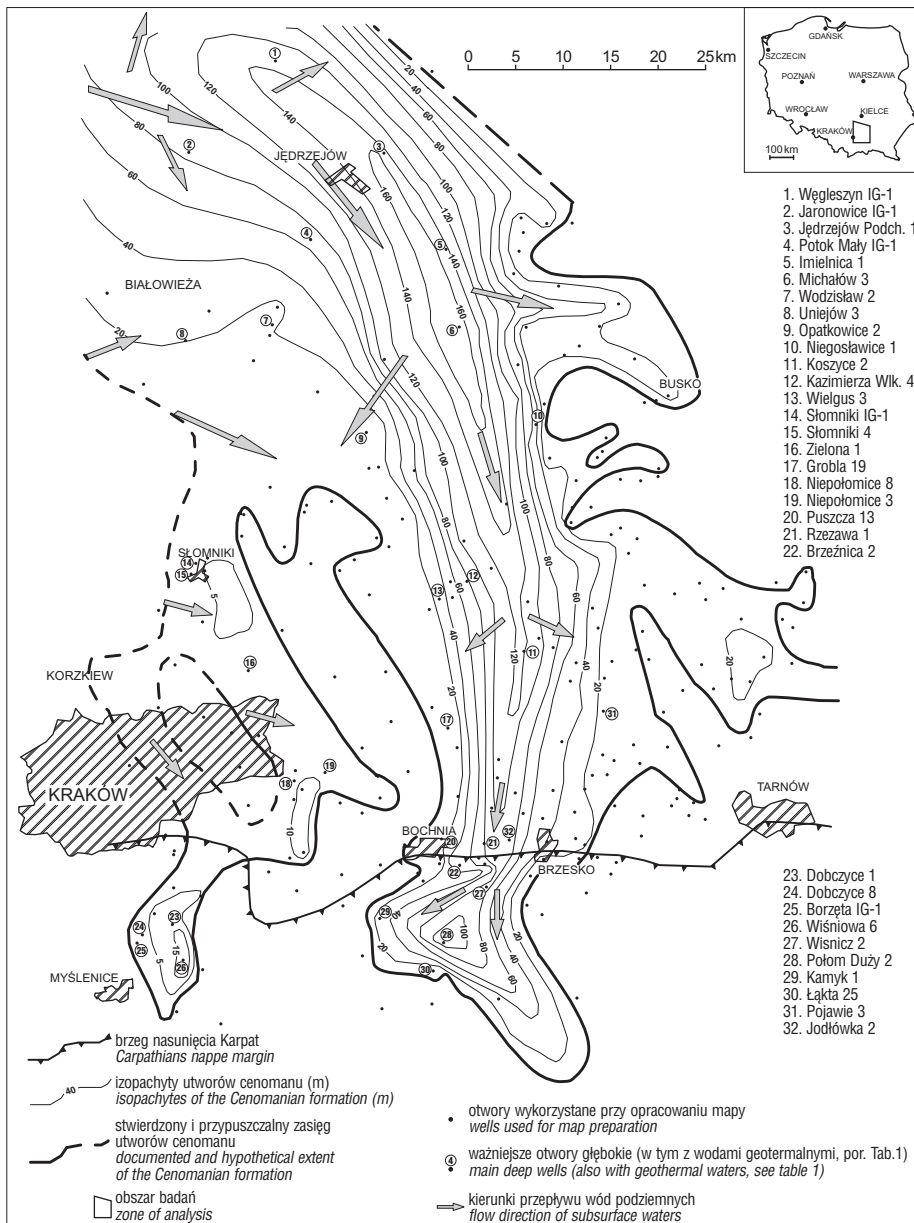
Wyżej wymienione prace wskazują, że osady cenomanu w południowej i środkowej części analizowanego obszaru (ryc. 1) reprezentują najstarsze osady kredowe leżące transgresywnie na węglanowych utworach górnej jury. Morze cenomańskie wkroczyło tutaj od północnego zachodu po długiej przerwie sedymentacyjnej obejmującej niemal cały okres odpowiadający kredzie dolnej (Jawor i in., 1970, 1999). W rejon Jędrzejowa morze wkroczyło już wcześniej w albie, czego dowodem są piaskowcowo-mułowcowe osady tego kompleksu stwierdzone m.in. otworami: Węgleszyn IG-1, Jędrzejów-Podchojny IG-1, Secemin IG-1 i Włoszczowa IG-1.

Dla litologiczno-facjalnego rozwoju i przestrzennego zasięgu klastycznych osadów cenomanu, podstawowe znaczenie miało ukształtowanie górnourajskiej powierzchni depozycji. Transgresja albsko-cenomańska nie objęła m.in.: wyniesienia Puszczy (Jawor, 1970) biegnącego na NW od Bochni (ryc. 1) oraz przypuszczalnie licznych stref we wschodniej części Krakowa, które stanowiły w obrębie płytkiego morza rozległe wyspy (półwyspy?).

Najpełniej rozwinięte osady cenomanu występują wzdłuż centralnej strefy zbiornika biegnącej przez takie

\*Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, Polska Akademia Nauk, ul. Wybickiego 7, 30-950 Kraków 65; barbacki@min-pan.krakow.pl

\*\*srocza@min-pan.krakow.pl



Ryc. 1. Miąższościowa mapa piaszczystych utworów cenomanu (wg danych BG–Geonafta Kraków i prac Jawora (1970) — zmodyfikowane)

Fig. 1. Isopach map of Cenomanian sandy deposits (from BG–Geonafta Kraków data and after Jawor (1970), modified)

miejsowości jak: Węgleszyn, Jędrzejów, Kazimierza Wielka, Koszyce, Szczurowa i dalej pomiędzy Bochnią a Brzeskiem w kierunku Połomia Dużego (ryc. 1). Strefa ta wyznacza jednocześnie linię trendu największych miąższości utworów cenomanu, a więc obszar który w okresie sedymentacji ulegał zwiększonej subsydemcji. W przedstawionym regionalnym obrazie rozkładu miąższości jest pewne uogólnienie — dane sejsmiczne wyraźnie wskazują bowiem na występowanie — głównie w strefie centralnej — lokalnych garbów, niecek i stref dyslokacji zaburzających rozkład miąższości oraz przebieg centralnego paleoobniżenia. Tak więc zarówno jego przebieg jak i rozkład izopachyt piaszczystych utworów cenomanu będzie wymagał dalszej aktualizacji.

Obecna znajomość litologii pozwala wnosić, iż przedstawiony zasięg utworów cenomanu w znacznym stopniu odzwierciedla ich zasięg paleogeograficzny (Jawor, 1970). Wskazuje na to m.in. zaobserwowana prawidłowość w występowaniu osadów zlepieńcowych w strefach brze-

żnych kompleksu do izopachyty ok. 3,0 m oraz stopniowe narastanie miąższości piaszczystych utworów w kierunku strefy centralnej. Granica zasięgu na NW i E od Jędrzejowa nosi jednak cechy wyraźnej erozyjnej, a na NW od Krakowa znane są wystąpienia tych osadów znacznie bardziej na zachód aniżeli pokazano na ryc. 1. Fragmentaryczne dane uniemożliwiają tutaj dokładne ustalenie granic, podobnie zresztą jak w rejonie Myślenic, gdzie granica zasięgu ma charakter hipotetyczny.

Problem sedymentacyjnego lub erozyjnego charakteru granicy zasięgu osadów cenomanu na tym obszarze pozostaje zatem nadal otwarty (Dadlez i in., 1998), szczególnie w zachodniej strefie kompleksu, gdzie brak dostatecznej ilości danych uniemożliwia dokładne ustalenie zasięgu tych utworów.

Obszary alimentacyjne basenu znajdowały się początkowo na E i W obszaru, lecz w miarę postępowania transgresji materiał terygeniczny był dostarczany z obszarów leżących na SW i SE od basenu sedymentacyjnego (Dadlez i in., 1998). Obecność zlepieńcowej facji w strefach brzeżnych kompleksu może świadczyć o tym, że przybrzeżne obszary basenu były wyniesione lub tworzyły formy klifowe, a deponowane osady reprezentowały typ delt stożkowych lub osadów międzylodowych.

Brzegowe utwory cenomanu rozwinięte jako gruboklastyczne zlepienie z otoczkami kwarcu i rogocami spójne są lepszczem węglanowo-ilastym. Występują również licznie otoczki margli górnourajskich.

Miąższość utworów zlepieńcowych dochodzi do ok. 3,0 m. Im dalej w kierunku centrum basenu tym materiał staje się drobniejszy i bardziej jednolity przy jednoczesnym wzroście miąższości całego kompleksu. Strefowość facji klastycznych przedstawia się następująco: w strefie brzegowej (o szerokości od 1,0 km do 5,0 km) dominują zlepienie gruboklastyczne, w strefie dalszej zlepienie średnio- i drobnoziarniste, które przechodzą w kolejnej strefie w piaszczysto-grubo- i średnioziarniste i w ostatniej centralnej strefie basenu głównie piaszczysto- i piaski drobnoziarniste, glaukonitowe o miąższościach często przekraczających 100 m. Piaszczysto- i piaskowce centralnej strefy basenu posiadają wtrącenia szarozielonych mułowców, są słabo zwięzłe, rozsypliwe i bezwapniste. Górna część profilu jest bardziej zwięzła i ma spoiwo węglanowe, natomiast w najwyższej części profilu pojawiają się wapienie piaszczyste (Jawor, 1970).

Tab. 1. Podstawowe parametry wód cenomańskich w wybranych otworach na obszarze zapadliska przedkarpackiego i brzeżnej strefy Karpat (na podstawie danych PGNiG SA, PIG i badań własnych)

Table 1. Basic parameters of the Cenomanian waters in selected wells in the Carpathian Foredeep and the Carpathian marginal zone (derived from PGNiG SA, PIG, and author's data)

| Nr otworu wg ryc. 1 | Nazwa otworu      | Zasięg głębokościowy cenomanu (m p.p.t.) | Temperatury wód (°C) |            | Wydajności (m <sup>3</sup> /h) | Mineralizacja (g/l) | Uwagi                     |
|---------------------|-------------------|--|----------------------|------------|--------------------------------|---------------------|---------------------------|
|                     |                   |  | zmierzone            | oszacowane |                                |                     |                           |
| 1                   | Węgleszyn IG-1    | 742,0–872,7                              | 35                   |            | –                              | –                   | piaskowce zawodnione      |
| 2                   | Jaronowice IG-1   | 614,0–699,3                              | 30                   |            | 6,0                            | –                   | piaskowce zawodnione      |
| 3                   | Jędrzejów Podch.1 | 830,0–980,0                              | 35                   |            | 11,0                           | <1,0                | samowypływ                |
| 4                   | Potok Mały IG-1   | 650,0–719,0                              | 30                   |            | 36,0                           | <1,0                | samowypływ, woda słodka   |
| 5                   | Imielnica 1       | 682,0–827,0                              |                      | 30–35      | 2,0                            | –                   | samowypływ                |
| 6                   | Michałów 3        | 575,0–750,0                              |                      | 25–30      | 6,0                            | 11,0                | samowypływ                |
| 7                   | Wodzisław 2       | 462,5–470,0                              |                      | 21         | 4,2                            | 0,626               | woda słodka               |
| 8                   | Uniejów 3         | 211,0–231,5                              |                      | 17         | 6,0                            | –                   | –                         |
| 9                   | Opatkowice 2      | 770,0–775,0                              |                      | 30         | 7,2                            | 30,8                | samowypływ                |
| 10                  | Niegosławice 1    | 495,0–537,5                              |                      | 22         | 9,3                            | 17,14               | –                         |
| 11                  | Koszyce 2         | 851,0–972,0                              |                      | 30–35      | –                              | –                   | piaskowce zawodnione      |
| 12                  | Kazimierza Wlk. 4 | 650,5–720,0                              |                      | 25–27      | 50,0                           | 13,8                | samowypływ                |
| 13                  | Wielgus 3         | 790,0–812,0                              |                      | 30–35      | 21,0                           | –                   | samowypływ                |
| 14                  | Słomniki IG-1     | 231,0–234,5                              | 18                   |            | >100,0                         | <1,0                | samowypływ, woda słodka   |
| 15                  | Słomniki 4        | 132,0–134,0                              |                      | 18         | 120,0                          | 0,2                 | samowypływ, woda słodka   |
| 16                  | Zielona 1         | 187,5–190,0                              | 20                   |            | 30,0                           | 0,7                 | samowypływ, woda słodka   |
| 17                  | Grobla 19         | 803,5–813,0                              |                      | 35         | 10,0                           | 15,0                | samowypływ                |
| 18                  | Niepołomice 8     | 526,0–528,5                              |                      | 22         | 7,2                            | 10,0                | samowypływ                |
| 19                  | Niepołomice 3     | 581,0–582,5                              |                      | 24         | –                              | –                   | –                         |
| 20                  | Puszcza 13        | 1013,0–1030,0                            |                      | 30         | 1,8                            | 20,0                | samowypływ                |
| 21                  | Rzezawa 1         | 1111,0–1190,0                            |                      | 35         | 66,0                           | 26,6                | samowypływ                |
| 22                  | Brzeźnica 2       | 1315,0–1360,0                            |                      | 41         | –                              | 39,0                | przepuszczalność > 6000mD |
| 23                  | Dobczyce 1        | 1897,0–1902,5                            |                      | 57         | 0,5                            | 50,0                | –                         |
| 24                  | Dobczyce 8        | 2147,0–2151,0                            |                      | 64         | 1,8                            | 60,0                | –                         |
| 25                  | Borzęta IG-1      | 2192,0–2196,0                            | 68                   |            | –                              | 80,0                | –                         |
| 26                  | Wiśniowa 6        | 2080,0–2095,0                            |                      | 63         | brak przyływu                  | 100,0               | zwięzłe zlepienie         |
| 27                  | Wiśnicz 2         | 1585,0–1667,0                            |                      | 50         | 25,0                           | 80,0                | –                         |
| 28                  | Połom Duży 2      | 2472,5–2582,0                            |                      | 76         | –                              | 115,2               | piaskowce zawodnione      |
| 29                  | Kamyk 1           | 1912,0–1935,0                            |                      | 58         | 33,0                           | 115,6               | –                         |
| 30                  | Łąka 25           | 2388,3–2407,2                            | 70                   |            | –                              | 110,0               | –                         |

Wyraźna jest prawidłowość, że wraz ze wzrostem miąższości osadów wzrasta stopień ich zapiaszczenia, a tym samym polepszają się parametry zbiornikowe.

Prezentowana mapa ukształtowania spągowej powierzchni cenomanu (ryc. 2) ukazuje skalę i stopień podepozycyjnych deformacji tektonicznych, które dotknęły pierwotną powierzchnię sedimentacji osadów cenomańskich na tym obszarze. Zróznicowanie głębokościowe spągu kompleksu, szacowane pod koniec cenoma-

nu na ok. 150 m wynosi obecnie ok. 2300 m (rejon Buska +100 m n.p.m., rejon Bochni –1000 m n.p.m., rejon Połomia Dużego –2200 m n.p.m.).

Tak znaczne zróznicowane głębokościowe kompleksu bezpośrednio rzutuje na zróznicowanie temperatur wód cenomańskich w różnych strefach jego występowania.

Zapadanie utworów cenomanu w kierunku południowo-wschodnim nie jest równomierne; w rejonie Jędrzejowa występuje nieckowata forma synklinalna (otwór

Jędrzejów–Podchojny 1, rzędna spągu: –732 m n.p.m.; ryc. 1, 2), natomiast w rejonie i na zachód od Buska wyraźnie zaznaczają się formy antyklinalne o dodatnich wartościach rzędnych spągu. Na południowy zachód od Buska powraca forma nieckowata o osi NE–SE obniżająca się w kierunku Tarnowa, ale dopiero od granicy nasunięcia karpackiego kompleksu cenomański wyraźnie zapada w kierunku południowym.

### Właściwości hydrogeologiczne wód cenomańskich

Utworki cenomańskie ze względu na bardzo korzystne parametry zbiornikowe stanowią nadal ważny obiekt dla poszukiwań złóż ropy naftowej i gazu ziemnego.

Rozkład porowatości i przepuszczalności w zbiorniku cenomańskim jest zgodny z ogólnym rozkładem facji i miąższości osadów, a przebieg izoliny wartości tych parametrów powtarza ogólnie zarys granic kompleksu (Jawor i in., 1999).

W strefie brzeżnej, zlepieńcowatej porowatości wahają się w granicach kilku procent, a przepuszczalności od zera

do kilku mD. W profilach, gdzie miąższość piaskowców przekracza ok. 3 m porowatości osiągają wartość kilkuset procent, a przepuszczalności od kilkuset mD do ponad 1 D. Od miąższości ok. 6 m porowatości są w granicach 25–35%, a przepuszczalności dochodzą do kilku Darcy. Przykładowo w profilach otworów z rejonu Połomia Dużego, Wiśnicz, Brzeźnicy, Rzeszawy, Kamyka, Puszczy (lokalizacja na ryc. 1) porowatości są w granicach 14–30%, a przepuszczalności od 780 do 6027 mD. Porowatości ok. 25–35% obserwujemy jedynie w osiowej części zbiornika (Oszczypko & Tomasz, 1976).

Rozkład parametrów zbiornikowych kompleksu cenomańskiego ma zatem ścisły związek z miąższościowym rozwojem tych utworów, a tym samym z odległością od centrum basenu sedimentacyjnego.

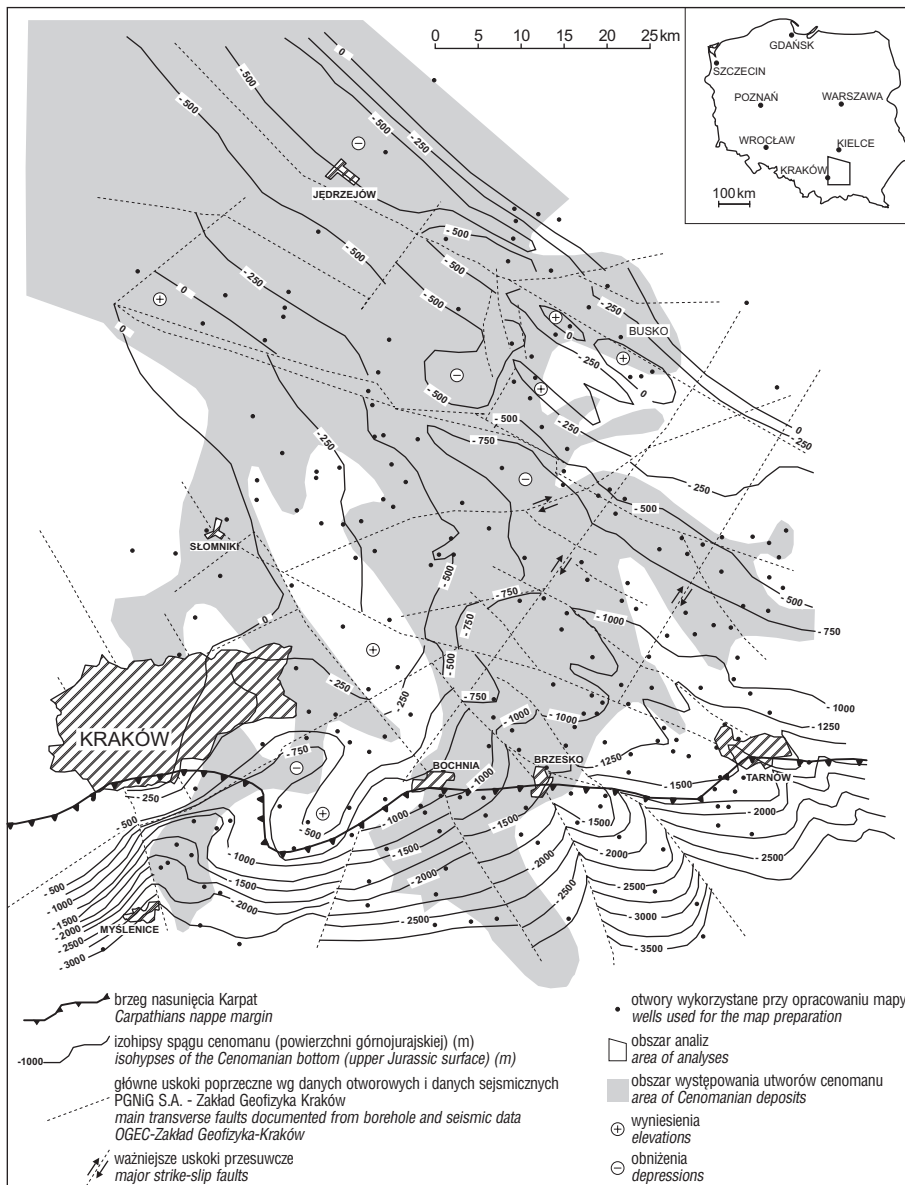
Ocenę właściwości filtracyjnych skał cenomanu przeprowadzono na podstawie skąpej ilości danych, opartych jedynie o wyniki próbnych pompowań studni głębinowych we wspomnianych już rejonach Buska Zdroju i Białowieży. Współczynnik filtracji piaskowców cenomańskich w

rejonie Białowieży, gdzie miąższości osadów dochodzą do 40 m, wynosi ok.  $2,68 \times 10^{-5}$  m/s, w rejonie Buska natomiast przy miąższościach ok. 30 m ok.  $0,46 \times 10^{-5}$  m/s.

Biorąc pod uwagę wyraźny związek parametrów hydrogeologicznych z miąższością utworów cenomańskich należy oczekiwać, iż w centralnej strefie basenu współczynniki filtracji będą osiągać znacznie wyższe wartości. Wskazują na to próby złożowe przeprowadzone w niektórych głębokich otworach (tab. 1), gdzie największe wydajności uzyskiwano właśnie wzdłuż tej strefy w rejonie Potoka Małego, Kazimierzy Wielkiej i Rzeszawy. Odstępstwo od tej reguły stanowi rejon Słomnik, gdzie dużą wydajność wód (przekraczającą  $100 \text{ m}^3/\text{h}$ ) uzyskano z kilkumetrowego zaledwie kompleksu cenomańskiego, co może mieć związek z silnym zaangażowaniem tektonicznym i/lub skrasowieniem podłoża jurajskiego tworzącego tutaj strefę zasilania pośredniego.

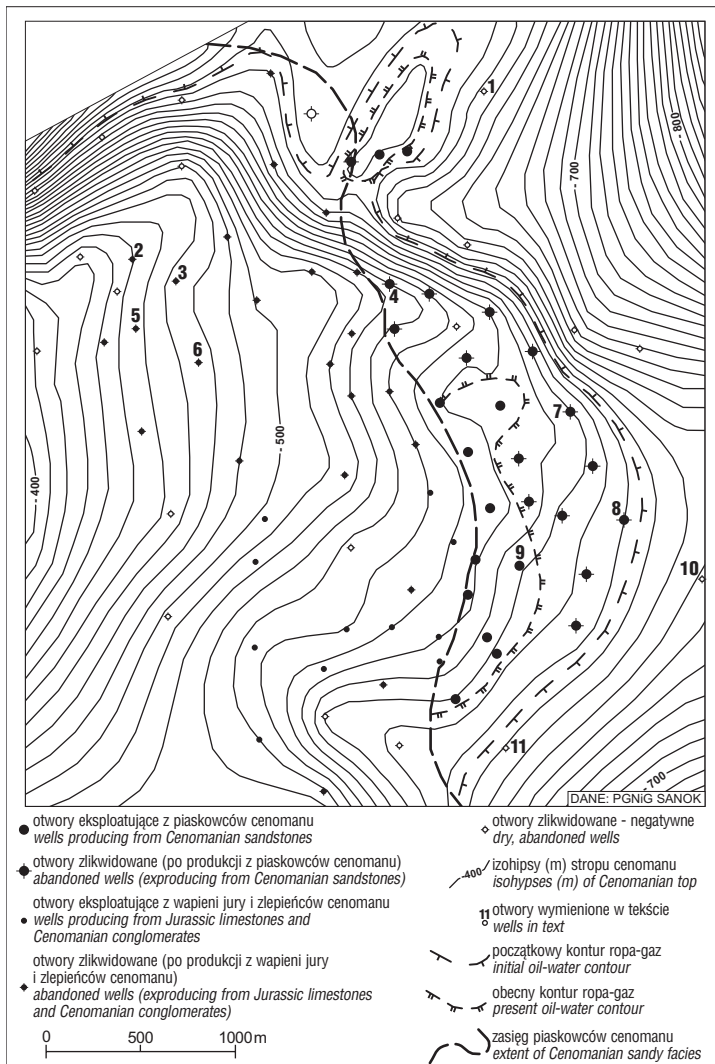
### Cyrkulacja i wymiana wód

Cenomański poziom wodonośny reprezentuje zbiornik wód podziemnych typu porowego. Niemal na całym obszarze występowania charakteryzuje się on warunkami wodnonapowymi i jedynie w strefie występowania tych utworów na powierzchni (rejon krakowski) lub pod spękanymi utworami górnej kredy występują wody o zwierciadle swobodnym.



Ryc. 2. Strukturalna mapa powierzchni spągowej cenomanu (poza zasięgiem cenomanu — powierzchnia górnokredowa)

Fig. 2. Structural map of the Cenomanian bottom surface (outside of the Cenomanian extent — Upper Jurassic surface)



Ryc. 3. Strukturalna mapa stropu roponośnego horzontu cenomańskiego w strefie Grobli

Fig. 3. Structural map of Cenomanian top in the Grobla field

W centralnej strefie zbiornika panują warunki artezyjskie, a ciśnienia mierzone na głowicach otworów przekraczają niekiedy 1,0 MPa. Samowypływy wód z otworów obserwowane jednak były również w brzegowych partiach basenu jednak o mniejszej intensywności (tab. 1). Największe nadciśnienie 1,4 MPa zmierzono na głowicy otworu Grobla 12, a największe samowypływy uzyskano w otworach z rejonu Słomnik, Zielonej, Kazimierzy Wielkiej i Rzezawy. Samowypływy w strefach brzegowych basenu, za wyjątkiem rejonu Słomniki–Zielona nie przekraczają zwykle 10 m<sup>3</sup>/h, a ciśnienia na głowicach otworów 0,1 MPa.

Pod nasunięciem karpackim nie zaobserwowano samowypływów wód cenomańskich, a zwierciadło stabilizowało się na głębokości kilkunastu metrów od poziomu terenu, jak np. w rejonie Jadownik na południe od Brzeska, kilkudziesięciu metrów w rejonie Dobczyc, do ponad 150 m poniżej poziomu terenu w rejonie Wiśnicza.

Podczwartorzędowe i powierzchniowe wychodnie utworów cenomanu mają charakter jedynie lokalny na NW od Krakowa i NE od Jędrzejowa (Wyżyna Krakowska i SW obrzeżenie Gór Świętokrzyskich) i nie stanowią dużego obszaru zasilania bezpośredniego.

Możliwość intensywnego zasilania kompleksu istnieje natomiast drogą kontaktów tektonicznych, kontaktów erozyjno-transgresywnych oraz w ograniczonym zakresie

drogą przeciekania pionowego. Hydrauliczne kontakty typu tektonicznego mogą mieć miejsce w strefach licznie występujących dyslokacji (por. ryc. 2), natomiast typu erozyjno-transgresywnego głównie w strefach „onlapu” osadów cenomańskich na skrawiały i zerodowaną powierzchnię górnourajską.

Przeprowadzone analizy wskazują, że podstawową rolę w pośrednim zasilaniu kompleksu cenomańskiego odgrywają kontakty hydrauliczne z utworami górnej jury, które posiadają rozległe i wyniesione wychodnie powierzchniowe na obszarze Jury Krakowsko–Częstochowskiej. Wskazuje na to rozkład zredukowanych ciśnień otworowych odniesionych do najgłębszego opróbowanego poziomu (tu: –1595 m n.p.m., rejon Dobczyc) z uwzględnieniem zmian gęstości spowodowanych temperaturą i mineralizacją (algorytm wg Góreckiego, 1990). Stwierdzono, iż najwyższe ciśnienia panują w północno-centralnej strefie zbiornika, natomiast najmniejsze w strefach brzeżnych i w strefie południowej. Taki rozkład ciśnień implikuje następujące systemy krążenia wód: system regionalny o zmiennym kierunku przepływu — początkowo zachodnim i przechodzącym w południowy z rozplywem wód ku strefom brzeżnym, oraz system lokalny w rejonie Krakowa o wschodnim kierunku przepływu, ku wyniesieniu Puszczy (ryc. 1).

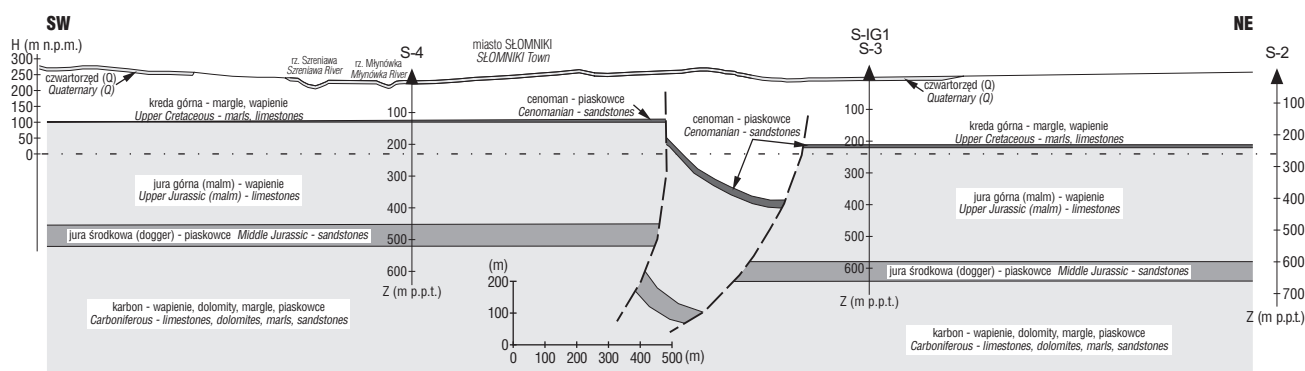
Układ systemu regionalnego wskazuje, że główne strefy zasilania kompleksu cenomańskiego na tym obszarze znajdują się w strefie Jury Krakowsko–Częstochowskiej na północny zachód od Jędrzejowa, gdzie infiltrujące wody mogą wykorzystywać liczne systemy dyslokacji oraz szczelin krasowych w obrębie rozległych wychodni górnej jury. Wyniesione strefy tych wychodni są odpowiedzialne za panujące tutaj warunki artezyjskie, przejawiające się w postaci samowypływów z licznych otworów.

Układ systemu lokalnego w rejonie Krakowa wskazuje, że główny obszar zasilania znajduje się również na obszarze Jury Krakowsko–Częstochowskiej, lecz w rejonie położonym bezpośrednio na zachód od strefy Słomniki–Kraków. Przedstawiony model zasilania poziomu wodonośnego nie różni się zatem zasadniczo od prezentowanego w pracach Oszczytko i Tomasia (1976).

### Temperatura wód złożowych

Dane na temat temperatur wód poziomu cenomańskiego na tym obszarze były dostępne jedynie z nielicznych otworów, a ich wiarygodność była trudna do ustalenia (głównie w przypadku otworów naftowych). Z tych względów nie zaprezentowano mapy temperatur wód cenomańskich, ograniczając się do tabelarycznego podania danych, uzupełniając brak informacji z niektórych otworów przez prostą interpolację według średniego gradientu temperatury (tab. 1).

Na podstawie uzyskanych danych oszacowano, że w tej strefie niecki miechowskiej średni gradient temperatury do poziomu cenomańskiego wynosi 3,07°C/100 m, dla zapadliska przedkarpackiego 3,84°C/100 m i dla strefy Karpat ok. 2,67°C/100 m. Wysoki gradient temperatury tego rejonu zapadliska przedkarpackiego może wynikać z anomalnego charakteru stref, w których mierzono temperatury: rejon Grobli, gdzie podwyższone temperatury są związane prawdopodobnie ze złożem węglowodorów oraz rejon



Ryc. 4. Przekrój geologiczny przez rejon Słomniki (wg danych otworowych PGNiG SA)  
 Fig. 4. Geological cross-section through the Słomniki area (after OGEC well data)

Słomniki–Zielona, gdzie rozbudowany system dyslokacji umożliwia kontakt hydrauliczny stref płytkich z wysokotemperaturowymi strefami wgłębny (Barbacki, 1999).

Przy szacowaniu temperatur wód cenomańskich (tab. 1) posłużono się również danymi z innych otworów, których nie uwzględniono w tabeli — głównie ze względu na brak danych o zaobserwowanych przyływach wód lub o zawadzeniu utworów cenomanu.

Podsumowując, zróżnicowanie temperatur wód cenomańskich jest zgodne ze zróżnicowaniem głębokości poziomu cenomańskiego z wyraźną strefą anomalną w rejonie Słomniki–Zielona o średnim gradiencie temperatury ok.  $4,5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ . Średni gradient temperatury do poziomu cenomańskiego oszacowany dla całego analizowanego obszaru wynosi ok.  $3,0^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ .

#### Skład chemiczny wód cenomańskich

Dokładne analizy hydrochemiczne prowadzone dla wód cenomańskich zapadliska przedkarpackiego (Oszczypko & Tomasz, 1976, 1981; Gryz i in., 1999) wskazują, że występujące tu wody charakteryzują się bardzo zróżnicowaną mineralizacją, chemizmem i typem genetycznym.

Obecność siarkowodoru jest tu zjawiskiem bardzo częstym i związanym z licznie występującymi akumulacjami węglowodorów. Wody tego obszaru obejmują wiele typów genetycznych od wód wodoro-węglanowo-sodowych do wód chlorkowo-wapniowych.

Rozkład mineralizacji wód cenomańskich wyraźnie wskazuje, że strefa intensywnej wymiany wód przebiega wzdłuż linii trendu największych miąższości (ryc. 1) oraz wzdłuż strefy Słomniki–Zielona. Występujące tu wody wykazują najniższą mineralizację, często poniżej  $1,0\text{ g}/\text{dcm}^3$ , co stwarza możliwość wykorzystywanie ich do celów pitnych (por. otwory Potok Mały — IG-1, Imielnica 1, Jędrzejów–Podchojny 1, Secemin 1, Wodzisław 2, Słomniki 4, Zielona 1; tab. 1, ryc. 1).

Taki rozkład mineralizacji jest zgodny z wcześniejszymi spostrzeżeniami dotyczącymi kierunków cyrkulacji wód a mianowicie, że główny dopływ wód odbywa się od strony Jury Krakowsko–Częstochowskiej z kierunku północno-zachodniego z podstawowym kierunkiem migracji wzdłuż centralnej strefy zbiornika oraz w skali bardziej lokalnej od zachodu w kierunku strefy Słomniki–Zielona.

Obszar wód słodkich znajduje się na północny-zachód od linii Wodzisław–Imielnica oraz w obrębie indywidualnej strefy między Słomnikami a Zieloną (tab. 1, ryc. 1).

W kierunku południowym mineralizacja centralnej strefy zbiornika na odcinku Michałów–Rzezawa (por. lokalizacja otworów na ryc. 1) rośnie i waha się w grani-

cach  $10\text{--}20\text{ g}/\text{dcm}^3$ . Ku strefom brzeżnym obserwuje się tutaj wyraźny dalszy wzrost mineralizacji co świadczy o coraz bardziej utrudnionej wymianie wód: w zachodniej strefie brzeżnej w rejonie Opatkowic mineralizacja osiąga wartości ok.  $31\text{ g}/\text{dcm}^3$ , w rejonie Grobli do  $87\text{ g}/\text{dcm}^3$ , w rejonie Pławowic (10 km na północ od Grobli) —  $53\text{ g}/\text{dcm}^3$  i w rejonie Brzeska  $100\text{ g}/\text{dcm}^3$ ; we wschodniej strefie brzeżnej w rejonie złóż węglowodorów Smęgorzów i Swarzędów (20 km na północ od Tarnowa) wartość mineralizacji wynosi ok.  $95\text{ g}/\text{dcm}^3$ .

Zdecydowany wzrost mineralizacji z głębokością jest obserwowany na południe od linii nasunięcia karpackiego, co przypuszczalnie ma związek z izolującym wpływem dyslokacji i uszczelnieniem warunków hydrogeologicznych przez fliszowy kompleks karpacki. Mineralizacja występujących tutaj wód przekracza zwykle  $60\text{ g}/\text{dcm}^3$  (dane otworowe z rejonu Dobczyc, Borzęt, Wiśnicza), a w strefach głębszego występowania kompleksu  $100\text{ g}/\text{dcm}^3$  (rejon Wiśniowej, Połomia Dużego, Kamyka, Łątky; tab. 1).

Rozmieszczenie typów wód cenomańskich (Gryz i in., 1999) jest w dużej mierze funkcją skali wpływów powierzchniowych i intensywności mieszania się wód.

W strefie silnych wpływów powierzchniowych w rejonie Słomnik, przy mineralizacji  $0,22\text{ g}/\text{dcm}^3$  występują głównie wody kwaśno-węglanowo-sodowe ( $\text{HCO}_3\text{--Na}$ ). Wody takie występują również lokalnie w rejonie złoża ropy Grobla i złoża gazu Ryłowa (14 km na wschód od rejonu Grobli), jednak ich mineralizacja jest znacznie wyższa i przekracza  $30\text{ g}/\text{dcm}^3$ .

W strefie centralnej zbiornika i na południe od rejonu Słomnik, aż po rejon Niepołomic występują wody siarczanowo-sodowe ( $\text{SO}_4\text{--Na}$ ), które obejmują największy obszar zbiornika i charakteryzują się niską mineralizacją.

W rejonach brzeżnych występują naprzemiennie wody chlorkowo-magnezowe i chlorkowo-wapniowe o silnej mineralizacji. Wody chlorkowo-magnezowe występują głównie we wschodniej brzeżnej części zbiornika między Buskiem a Brzeskiem i lokalnie w rejonie Opatkowic, Proszowic i Bochni. Wody chlorkowo-wapniowe dominują w zachodniej strefie brzeżnej pomiędzy Opatkowicami a rejonem Grobli, a w części wschodniej w rejonie wspomnianych złóż Swarzędów i Smęgorzów oraz na całym obszarze pod nasunięciem karpackim.

#### Koncepcje i projekty geotermalnego wykorzystania wód cenomańskich

Badania prowadzone w Laboratorium Geotermalnym Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w Krakowie umożliwiły ocenę wód cenomańskich pod kątem praktycznego ich wykorzystania dla celów

grzewczych. Wyniki przeprowadzonych analiz pozwoliły wytypować te strefy zbiornika cenomańskiego, gdzie projekty takie miałyby uzasadnienie zarówno geologiczne, jak i ekonomiczne. Za strefy takie uznano rejon: Słomnik, Grobli, Bochni, Brzeska, Zielonej, Niepołomic, Kazimierzy Wielkiej, Jędrzejowa i Opatkowic–Działoszyc.

Pomimo sprzyjających warunków geologicznych koszty wierceń często jednak hamują lub nawet uniemożliwiają gospodarcze wykorzystanie wód geotermalnych. W tym aspekcie został zrealizowany projekt badawczy (finansowany przez KBN) dotyczący możliwości wykorzystania starych otworów naftowych i gazowych kończących eksploatację dla celów geotermii (Barbacki, 1999, 2000).

Za obiekt modelowy przyjęto cenomańskie złożo ropy naftowej do eksploatacji wody geotermalnej wynika ze stabilnych wodnonaporowych warunków złożowych oraz faktu, iż kolejne otwory ulegają sukcesywnie likwidacji wskutek inwazji wód złożowych. Przydatność cenomańskich wód złożowych rejonu Grobli dla geotermii potwierdzają dane archiwalne Polskiego Górnictwa Naftowego i Gazownictwa S.A. Przykładowo w otworze negatywnym nr 1 (ryc. 3) z głębokości 820 m uzyskano samoczynny wypływ wody złożowej w ilości 30 m<sup>3</sup>/h o temperaturze 36,4°C i mineralizacji 15 g/dcm<sup>3</sup>. Z tej samej głębokości w otworze nr 10 (ryc. 3) również uzyskano samoczynny wypływ wody złożowej o mineralizacji 14 g/dcm<sup>3</sup> i ciśnieniu na głowicy otworu 1,4 MPa, a w kolejnym otworze o nr 11 uzyskano samowypływ w ilości 10 m<sup>3</sup>/h. Znacznie gorsze warunki zbiornikowe panują w zachodniej strefie złoża, gdzie eksploatacja odbywa się w obrębie zlepieńcowatych utworów cenomanu i wapieni górnojurajskich.

Otwory nr 2, 3, 7 i 8 (ryc. 3) służą do zatłaczania wód poeksploatacyjnych przy czym dane o jego dotychczasowym przebiegu świadczą o dużej i stabilnej chłonności utworów cenomanu, szczególnie w części wschodniej złoża. Dwudzielność strefy złożowej przejawia się również tym, że w zachodniej zlepieńcowej strefie wody złożowe wykazują anomalnie niską mineralizację ok. 2 g/dcm<sup>3</sup>, a ciśnienia złożowe są w granicach ciśnień hydrostatycznych, podczas gdy w piaskowcowej strefie wschodniej mineralizacja przekracza 20 g/dcm<sup>3</sup> a nadciśnienia wahają się od 1,0 do 3,5 MPa. Obszar złoża jest eksploatowany obecnie przez ok. 25 otworów, jednak corocznie do likwidacji zostaje przeznaczonych od 2 do 4 otworów (np. w 1999 r. wyznaczono do likwidacji otwory nr 5, 6 i 9, ryc. 3).

Koncepcja wykorzystania istniejących otworów dla celów geotermalnych zmierzała głównie do określenia warunków geologicznych, które musi spełniać złożo węglowodorów dla zapewnienia stałych parametrów geotermalnych, takich jak: wydajność, temperatura wód złożowych oraz chłonność poziomu zbiornikowego. Analizy wykazały, że warunki te są następujące:

- regionalny zasięg kompleksu zbiornikowego,
- złożo znajduje się w obrębie basenu sedymentacyjnego,
- regionalna ciągłość parametrów zbiornikowych,
- otwarty typ złoża,
- rozległe obszary wodnego zasilania,
- wysoki gradient temperatury.

Warunki takie spełnia przypuszczalnie większość złożów węglowodorów zlokalizowanych w piaskowcowej facji utworów cenomanu na tym obszarze (złoża Pławowice, Janów–Gunów, Mniszów, Rajska, Ryłowa, Brzezowiec, Swarzędz i Smęgorzów).

Kolejny projekt, ustanowiony przez Komitet Badań Naukowych i realizowany w Laboratorium Geotermalnym IGSMiE PAN (celowy) dotyczy zbadania i wykorzystania

niskotemperaturowych poziomów wodonośnych cenomanu dla celów ciepłowniczych i konsumpcyjnych w rejonie Słomnik. Został odwiercony otwór geotermalny, a obecnie planuje się wykonanie i przetestowanie instalacji kaskadowego układu schładzania wody w systemie pomp ciepła oraz wykorzystanie schłodzonej wody do celów pitnych. Możliwość realizacji projektu wynika z analizy licznych danych otworowych wskazujących, iż we wszystkich otworach odwierconych w tej strefie w latach siedemdziesiątych (ryc. 4), stwierdzono intensywne samowypływy wód słodkich z piaszczystego poziomu cenomańskiego, o miąższości nie przekraczającej 5 m (tab. 1, ryc. 1) i temperaturze ok. 18°C. Utwory cenomanu leżą tutaj na głębokościach od 132 do 310 m (przewidywana strefa dyslokacji) i wyklinowują się w kierunku zachodnim i wschodnim (ryc. 4). Zasilanie wodne odbywa się w sposób pośredni, głównie od strony zachodniej poprzez spękane i skrasowiaste utwory górnej jury (ryc. 1). Celem geologicznych prac badawczych będzie weryfikacja parametrów geotermalnych kompleksu cenomańskiego (wydajności, temperatury, mineralizacji wód i in.), potwierdzenie postulowanej stabilności tych parametrów podczas eksploatacji oraz uściślenie budowy geologicznej tej strefy.

## Literatura

- BARBACKI A.P. 1999 — Ocena możliwości równoległej eksploatacji ropy naftowej i wody geotermalnej na przykładzie złoża Grobla. Ogólnopolskie Forum Odnawialnych Źródeł Energii, Konferencja Serock–Jadwisin: 241–256.
- BARBACKI A.P. 2000 — The use of abandoned oil and gas wells in Poland for recovering geothermal heat. Proceedings of the World Geothermal Congress 2000, Japan: 3361–3365.
- BURZEWSKI S.W. 1969 — Strukturalne warunki jury olkusko-wolbromskiej jako brzegowe dla hydrodynamiki złóż naftowych niecki niedziańskiej. Kom. Nauk Geol. PAN, Pr. Geol., 61.
- DADLEZ R., MAREK S. & POKORSKI J. 1998 — Atlas paleogeograficzny permu i mezozoiku w Polsce, Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- GOMUŁKA J. 1970 — Geochemische Charakteristic der Schichtwasser in der Unterlage das Miozans in Karpathenvorland. VI Międzynarodowa Konferencja Instytutu Naftowego, Kraków, Nafta, 5.
- GÓRECKI W. 1990 — Atlas wód geotermalnych Niżu Polskiego, ISE, AGH, Kraków.
- GRYZ W. & KOZIEN-KRÓLIKOWSKA M. 1999 — Charakterystyka hydrochemiczna wód utworów cenomanu przedgórze Karpat. Przemysł Naftowy i Nauka Razem w XX wiek. Karpacka Konferencja Naukowa, Raba Wyżna: 78–86.
- JAWOR E. 1970 — Wgłębna budowa geologiczna na wschód od Krakowa Acta Geol. Pol., 204: 709–762.
- JAWOR E., JAWOR W. & BARAN U. 1999 — Rozwój piaskowców cenomanu w obszarze zapadliska przedkarpackiego i warunki występowania akumulacji węglowodorów. Przemysł Naftowy i Nauka Razem w XX w., Raba Niżna: 57–66.
- KONIOR K. 1978 — Ogólna analiza paleostrukturna i charakterystyka skał zbiornikowych wypiętrzenia rzeszotarskiego i obszarów sąsiadujących. Kom. Nauk Geol., PAN, Pr. Geol., 112, Kraków: 3–63.
- KOTLICKI S. 1971 — Chemizm wód podziemnych południowo-zachodniej części niecki miechowskiej. Biul. Inst. Geol., 249: 695–133.
- OSZCZYPKO N. & TOMAŚ A. 1976 — Kredowe poziomy wodonośne środkowej części Przedgórze Karpat. Z. Nauk. AGH, Geologia, t. 2: 79–91.
- OSZCZYPKO N. 1981 — Wpływ neogeńskiej przebudowy przedgórze Karpat na warunki hydrodynamiczne i hydrochemiczne zapadliska przedkarpackiego. Biul. Inst. Geol., 325: 5–87.