

Wiesław BUJAKOWSKI
Antoni BARBACKI
Leszek PAJĄK
Robert SKRZYPCZAK
Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią
Polska Akademia Nauk
Pracownia Odnawialnych Źródeł Energii
ul. Wybickiego 7, 31-261 Kraków

Technika Poszukiwań Geologicznych
Geotermia, Zrównoważony Rozwój nr 1/2014

WODY GEOTERMALNE OKOLIC JASŁA ORAZ MOŻLIWOŚCI ICH ZAGOSPODAROWANIA

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono elementy budowy geologicznej i hydrogeologicznej Karpat Wschodnich w aspekcie praktycznych możliwości wykorzystania zbiorników wód geotermalnych ze szczególnym uwzględnieniem rejonu Jasła. Ze względu na spodziewane niewielkie wydajności ujęć, zbiorniki te mogą mieć znaczenie głównie lokalne. Analizowane dane pochodziły z wierceń poszukiwawczych prowadzonych najczęściej w celu rozpoznawania i eksploatacji złóż bituminów. Na przykładzie strefy złożowej „Roztoki” w rejonie Jasła wykazano potencjalną możliwość eksploatacji wód geotermalnych po rekonstrukcji jednego ze zlikwidowanych otworów poszukiwawczych. Bazując na danych PGNiG – Oddział w Sanoku, przeanalizowano informacje o występujących tam horyzontach wodonośnych oraz wskazano na możliwość zagospodarowania tamtejszych zasobów wód geotermalnych. Dokonano wstępnej wielowariantowej analizy energetycznej, ekonomicznej i ekologicznej potencjalnego złoża geotermalnego oraz wytypowano do rekonstrukcji otwór S-11, który stanowiłby podstawową część przyszłego systemu technologicznego.

SŁOWA KLUCZOWE

Wody geotermalne, możliwości wykorzystania wód geotermalnych, Karpaty Wschodnie, Jasło

* * *

WPROWADZENIE

Fliszowy masyw Karpacki posiada znacznie bardziej ograniczone możliwości w zakresie wykorzystania zasobów geotermalnych niż np. region podhalański. Zasoby są tutaj skromne, głównie ze względu na niewielkie wydajności ujęć geotermalnych. Najkorzystniejszych warunków można oczekiwać w strefach wód okalających złoża ropy i gazu ziemnego.

Obszary te były jednocześnie intensywniej rozwiercone niż inne części masywu, dostarczając więcej danych złożowych. Wiele występujących tu otworów naftowych jest nieproduktywnych, m.in. z powodu ich zawodnienia. Niektóre z nich, po rekonstrukcji, mogą stanowić elementy systemów technologicznych do pozyskiwania energii geotermalnej dla celów energetycznych, balneoterapeutycznych lub rekreacyjnych. Jednym z interesujących miejsc do wykorzystania energii i wód geotermalnych jest rejon miasta Jasło.

1. ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ KARPAT WSCHODNICH W ASPEKTCIE WYSTĘPOWANIA ZBIORNIKÓW WÓD GEOTERMALNYCH

1.1. Tektonika

Rejon Jasła znajduje się w Karpatach Wschodnich na obszarze płaszczowiny śląskiej (rys. 1).

Najbardziej wewnętrzną część, a zarazem najwyższą położoną jednostkę tektoniczną Karpat Wschodnich, stanowi płaszczowina magurska, z której zbudowane są m.in. pasma Beskidu Niskiego i której północna granica przebiega około 7 km na południowy zachód od Jasła. Cechą charakterystyczną jest występowanie w jej obrębie miększej serii piaskowców magurskich.

Przed czołem lub w podłożu płaszczowiny magurskiej, w Karpatach Wschodnich, występuje zwykle jednostka dukielska (fałdy dukielskie), lecz w rejonie Jasła jest jej brak. Przed czołem płaszczowiny dukielskiej znajduje się płaszczowina śląska, tworząca Pogórze Ciężkowickie i Dynowskie, w obrębie której znajduje się miasto Jasło. Płaszczowina śląska leży na płaszczynie podśląskiej, która wynurza się na powierzchnię jedynie na północ od Krosna – w rejonie Węglówki. Płaszczowiny śląska i podśląska są nasunięte na miocen sfałdowany, który w rejonie na południowy zachód od Sanoka zalega przypuszczalnie na głębokości około 8500 m (w tej strefie stanowi to zarazem przybliżoną miąższość serii fliszowej jednostek śląskich). Płaszczowina śląska zanika na linii Ustrzyki Dolne-Brzozów-Wiśniowa.

Na północny wschód od wskazanej linii – przed czołem płaszczowiny śląskiej – pojawia się nowa jednostka wyższego rzędu, mianowicie płaszczowina skolska (jednostka skibowa), występująca w rejonie Jasła przypuszczalnie poniżej głębokości 5000 m. Charakteryzuje się ona budową skibową, tworząc biegnące prostoliniowo, stromo spiętrzone i łuskowato na siebie nasunięte fałdy. Jednostka skolska jest nasunięta na miocen zapadliska przedkarpackiego.

Wzajemne ułożenie tektoniczne jednostek karpackich stanowi zatem sekwencję tektoniczną. Najniższą położoną jednostką strukturalną jest płaszczowina skolska, na którą nasunięta jest płaszczowina śląska, przy czym u czoła płaszczowiny śląskiej – w okolicach Węglówki – pojawia się płaszczowina podśląska, podścielająca jednostkę śląską na dużym obszarze. Najwyższą leżącą jednostką – jak już wspomniano – jest płaszczowina magurska, nasuwająca się na jednostki położone niżej. Na linii Żmigród-Wysowa długość tego nasunięcia dochodzi do 40 km (Książkiewicz 1972).

1.2. Stratygrafia i litologia

Utwory Karpat fliszowych budujące wymienione płaszczowiny są wykształcone stosunkowo monotonnie. Są to osady fliszowe kredy i paleogenu o dużej rozciągłości i bez przerw sedymentacyjnych. Budują je naprzemianległe utwory piaskowców i łupków z wtrąceniami margli, zlepieńców, rogowców, rzadziej wapieni. Miąższość osadów jest bardzo duża i dochodzi do 8000 m. Wynika to z dużej subsydencji basenów, w których osadziły się utwory fliszowe, jak i z późniejszych procesów nasuwczych. Zróżnicowane warunki subsydencji powodowały zróżnicowanie facjalne, tj. w obrębie tego samego basenu, w tym samym czasie powstawały utwory odmienne litologicznie i paleontologicznie (Ryłko 2004).

Kreda dolna

W basenie skolskim (jednostka skolska), który był najbardziej wysunięty na północ, najwcześniej (barrem–alb) osadzały się tzw. łupki spaskie. Są to głównie czarne, zwięzłe, skrzemionkowane łupki ilaste z przeławiczeniami miękkich łupków. Występują tutaj również wkładki piaskowców drobnoziarnistych z lokalnymi ławicami zlepieńców i z fauną mięczaków. Warstwy spaskie odsłaniają się na powierzchni w rejonie Przemyśla, a w otworze Kuźmina stwierdzono sumaryczną miąższość tych warstw jako wynoszącą około 2000 m.

W rejonie Jasła występują przypuszczalnie poniżej głębokości 5000 m.

W basenie śląskim i podśląskim osadzały się początkowo warstwy cieszyńskie górne (czarne łupki marglisto-ilaste z wkładkami piaskowców), następnie warstwy wierzowskie oraz warstwy lgockie (lub gezowe). Warstwy wierzowskie to głównie łupki z soczewkami syderytów, natomiast warstwy lgockie, to gruboławicowe i gruboziarniste piaskowce i zlepieńce z wkładkami piaskowców cienkoławicowych oraz ilastych łupków. W jednostce podśląskiej na północy warstwy gezowe występują zamiennie z warstwami lgockimi i są z nimi równowiekowe. Są to cienko i gruboławicowe, drobnoziarniste piaskowce z wkładkami gez złożonych z licznych spikul gąbek. Występują również przeławiczenia łupkowe. Z kolei w obrębie warstw wierzowskich w obu basenach pojawiają się niekiedy tzw. warstwy grodziskie jak np. w brzeźnej (północnej) części jednostki śląskiej. Są to głównie piaskowce gruboziarniste, gruboławicowe, wapniste, z fragmentami węgla i skorup. Przeławiczone są łupkami ilastymi. Występują również wkładki zlepieńców.

W basenie magurskim i dukielskim, w kredzie dolnej osadzały się warstwy zbliżone litologicznie do warstw spaskich, które uległy jednak niemal całkowitej erozji tektonicznej. Z osadów dolnokredowych zachowały się jedynie łupki jednostki magurskiej i to wyłącznie w części zachodniej Karpat.

Kreda górna

W basenie skolskim sedymentację rozpoczynały osady cenomanu, które rozwijały się powyżej łupków spaskich w postaci marglistych łupków oraz margli z charakterystycznym poziomem łupków radiolariowych oraz radiolarytów i margli krzemionkowych. Powyżej tworzyły się margle krzemionkowe turonu przechodzące w dolne warstwy inoceramowe

i wapniste piaskowce mikowe przeławiczone łupkami. Środkową część warstw inoceramowych jednostki skolskiej tworzą pakiety gruboławicowych, gruboziarnistych, sypkich piaskowców glaukonitowych (miąższość do 700 m). Pojawiają się również wkładki margli krzemionkowych i fukoidowych, a w rejonie między Ropczycą i Dobromilem w wyższej partii tych utworów występują tzw. margle z Węgierki (margle piaszczyste i wapienie marglisto-piaszczyste z wkładkami ilów i piaskowców z amonitami).

W basenie śląskim i podśląskim osady kredy górnej również rozpoczynały się utworami cenomanu w postaci łupków z rogowcami (rogowce mikuszowickie). Powyżej tej serii występuje kompleks pstrych łupków. Są to łupki czerwone i zielone o miąższości około 100 m. Na południu jednostki śląskiej łupki pstre są zastąpione przez fację godulską, trójdzielną: dolna – piaskowce przeławiczone łupkami, środkowa – piaskowce gruboławicowe, średnio- i gruboziarniste, wapniste, górna – cienkoławicowe, laminowane piaskowce przeławiczone łupkami ilastymi (maksymalna miąższość warstw godulskich to ok. 500 m). W tym rejonie, gdzie zdeponowane są warstwy godulskie jednostki śląskiej, w kampanie i mastrychcie utworzyły się warstwy istebniańskie (warstwy dolne – gruboławicowe, piaskowce i zlepieńce z wkładkami łupków i mułowców oraz warstwy górne – łupki i cienkoławicowe piaskowce z wkładkami zlepieńców z egzotykami). W rejonie Jasła występują one w facji czarnorzeckiej na głębokościach około 1500 m (złoże „Roztoki”).

W jednostce podśląskiej obok pstrych łupków osadzały się pstre margle w postaci margli i łupków marglistych czerwonych, różowych i zielonych z ławicami wapieni.

W rejonie Jasła brak jest utworów górnej kredy jednostki magurskiej i dukielskiej.

Paleogen

W basenie skolskim w paleocenie miała miejsce depozycja warstw inoceramowych górnych reprezentowanych przez cienkoławicowe piaskowce i łupki. Lokalnie, głównie w brzeżnej części jednostki koło Przemyśla i Ustrzyk Dolnych, występują w nich wkładki zlepieńców i ilów z egzotykami. W najwyższej części jednostki na wschodzie pojawiają się wkładki czerwonych łupków i wapieni detrytycznych (Bircza). W południowej części jednostki wyższa część warstw inoceramowych przechodzi „boczenie” w pstre łupki i margle.

Na pograniczu paleocenu i eocenu ponad warstwami inoceramowymi osadzały się tzw. iły babickie powstałe w wyniku działania podmorskich splywów mułowych. Występują one między Pilzнем a Birczą i reprezentowane są przez piaszczyste mułowce i iły z otoczkami skał egzotykowych i szczątkami skorup. Przeławiczone są piaskowcami i zlepieńcami. Powyżej ilów babickich lub warstw inoceramowych w eocenie zdeponowany został kompleks pstrych łupków, a lokalnie na wschodzie jednostki pojawiają się ławice zlepieńców. Pstre łupki w części południowej i północno-zachodniej jednostki deponowane były do eocenu górnego, natomiast w części centralnej w eocenie środkowym zostały zastąpione przez warstwy hieroglifowe, a w części północno-wschodniej i południowo-zachodniej przez łupki zielone. Łupki pstre osiągają maksymalną miąższość koło Birczy – 250 m. Warstwy hieroglifowe (eocen) reprezentowane są przez zespół łupków ilastych oraz piaskowców cienko-

ławicowych z lokalnymi wkładkami zlepieńców. W piaskowcach liczne są ślady prądów oraz działalności żywych organizmów.

Eocen górny reprezentowany jest w północno-wschodniej części jednostki skolskiej (na południe od Przemyśla) przez kompleks soczewkowatych ilów piaszczysto-marglistych z blokami skał egzotykowych (wapiennych) z fauną, noszących nazwę warstw popielskich. Miąższość ich dochodzi do 130 m. Profil eocenu kończą margle globigerynowe – kilkumetrowy kompleks żółtych margli z licznymi otwornicami.

Osady oligocenu rozpoczynają warstwy menilitowe, począwszy od poziomu łupków i margli podrogowcowych z poziomami lufowymi. Powyżej występuje poziom rogowców i margli krzemionkowych przykrytych łupkami menilitowymi. W obrębie łupków menilitowych w centralnej i południowej części jednostki skolskiej rozwinięty jest kompleks piaskowców kliwskich (gruboławicowe, jasne, drobno- i gruboziarniste, zlepieńcowate). Maksymalne miąższości warstw menilitowych (do 400 m) występują w wewnętrznej części jednostki, malejąc ku północy do kilkudziesięciu metrów. Kolejnym kompleksem oligoceńskim są warstwy krośnieńskie oddzielone niekiedy od warstw menilitowych warstwami przejściowymi wykształconymi jako szare łupki margliste. Warstwy krośnieńskie dolne występują jedynie w wewnętrznej części jednostki skolskiej. Są to gruboławicowe, mikowe piaskowce wapniste przeławiczone łupkami marglistymi lub menilitowymi. Górne warstwy krośnieńskie występują w północnej części jednostki powyżej warstw menilitowych. Są to szare łupki przykryte wapnistymi piaskowcami oraz marglistymi łupkami. W centralnej części jednostki pojawiają się również kompleksy piaskowców gruboławicowych. Ku górze ilość piaskowców maleje i wyższa część ogniwa jest łupkowa. Miąższość warstw krośnieńskich w wewnętrznej części jednostki dochodzi do 2000 m, a ku północy maleje do kilkuset metrów.

W basenie śląskim w paleocenie zostały zdeponowane warstwy istebniańskie (górne) lub pstre łupki. Piaskowce istebniańskie reprezentowane są tutaj przez gruboławicowe, gruboziarniste piaskowce wapniste oraz zlepieńce. Są one zwykle arkozowe z licznymi egzotykami skał krystalicznych. Przykryte są przez pakiet łupków istebniańskich (czarne łupki z wkładkami żelazistych piaskowców i soczewkami syderytów).

W basenie podśląskim następowała depozycja pstrych margli lub pstrych łupków. Pstre margle wykształcone są jako margle i łupki margliste czerwone, różowe, zielone lub białawe, a sporadycznie występują ławice wapieni marglistych. Pstre łupki to głównie kompleks ilastych czerwonych łupków z zielonymi wkładkami o całkowitej miąższości do 50 m.

Pod koniec paleocenu i w dolnym eocenie w **basenie śląskim** miała miejsce dalsza depozycja pstrych łupków oraz piaskowców ciężkowickich. Piaskowce ciężkowickie wyklinowują się ku północy, gdzie są zastępowane przez pstre łupki. Są to gruboławicowe, gruboziarniste, ilaste, żółtawe piaskowce i zlepieńce z fragmentami skał magmowych i osadowych. Występują przeławiczenia cienko- i średnioławicowych drobnoziarnistych piaskowców i łupków. W ten sposób cały kompleks, dochodzący do 450 m, podzielony jest przez kompleksy łupkowo-piaskowcowe na kilka pakietów.

W rejonie Jasła piaskowce ciężkowickie występują do głębokości około 1300 m (np. złożo „Roztoki”).

Powyżej piaskowców ciężkowickich w jednostce śląskiej występują warstwy hieroglifowe, podobnie jak w jednostce skolskiej, zazębiające się niekiedy z pstrymi łupkami. W części stropowej warstw hieroglifowych (strefa przeddukielska) pojawiają się przeławicenia piaskowców gruboławicowych, gruboziarnistych, deponowanych na przełomie eocenu i oligocenu, które tworzą zwarty kompleks jako tzw. piaskowce z Mszanki lub piaskowce globigerynowe.

W jednostce śląskiej i podśląskiej na przełomie eocenu i oligocenu zostały zdeponowane margle globigerynowe, a w oligocenie warstwy menilitowe (**w rejonie Jasła występują one na głębokości do około 800 m**). Sedymentacja warstw menilitowych w jednostce śląskiej skończyła się znacznie szybciej niż w jednostce podśląskiej. W jednostce śląskiej obserwowana jest bowiem redukcja łupków menilitowych, a w środkowym eocenie miała już miejsce depozycja warstw krośnieńskich. Warstwy krośnieńskie są najmłodszym ogniwem litostratygraficznym. **W rejonie Jasła występują one począwszy od strefy przypowierzchniowej do około 600 m.**

Dolne warstwy krośnieńskie to gruboławicowe, wapniste piaskowce o miąższości do 2000 m w okolicy Leska i Ustrzyk Dolnych. Ku południowi kompleks ten wyklinowuje się i jest zastąpiony przez fację mułowcowo-łupkową zbudowaną z piaskowców wapnistych i łupków marglistych. Warstwy krośnieńskie dolne serii śląskiej kończą się poziomem łupków marglistych.

1.3. Warunki występowania karpackich wód geotermalnych

Ocenę warunków występowania wód geotermalnych przeprowadzono wykorzystując wyniki prób złożowych wykonanych w otworach wiertniczych przez przemysł naftowy oraz PIG, jak również na podstawie analizy licznych map i przekrojów geologicznych obejmujących kompleks fliszowy (m.in.: Jabczyński, red. 1985; Górecki, red. 2013; Chowaniec i in. 1983, 1998, 2001; Ostrowicka i in. 1986). Uwzględniono przy tym charakter tektoniki oraz stratygrafii i litologii utworów fliszowych.

W rejonie karpackim wody geotermalne o najwyższej temperaturze – 105°C – uzyskano w otworze Brzegi Dolne IG-1 z głębokości 4500 m, z jednostki skolskiej. W tej samej jednostce w otworze Babica 1 na głębokości około 2200 m uzyskano wody geotermalne o temperaturze 43°C, chociaż przy niewielkich wydajnościach. Najbardziej interesujące rezultaty osiągnięto jednak w otworze Wiśniowa 1, gdzie z warstw spaskich na głębokości około 3700 m uzyskano samowypływ wody geotermalnej o temperaturze 84°C przy ciśnieniu głowicowym 76 atm. i mineralizacji 7 g/l. W tych samych warstwach jednostki skolskiej, w otworze Kuźmina 1 na głębokości 4700 m stwierdzono wody termalne o anomalnym ciśnieniu złożowym 980 atm.

W **jednostce śląskiej** wody termalne występują w rejonie Rudawki Rymanowskiej, gdzie na głębokości ok. 500 m uzyskano wody termalne o temperaturze 40°C, oraz w rejonie Lubatówki, gdzie na głębokości 750–870 m uzyskano przyływ 3,3–8 m³/h wody geotermalnej o temperaturze około 24°C. We wschodniej części tej jednostki z otworu Polańczyk IG-1 z głębokości około 1000 m otrzymano przyływ wody geotermalnej 0,7 m³/h o temperaturze 21°C.

Analizowane dane wskazują na potencjalne możliwości uzyskania wód geotermalnych na terenie Karpat i umożliwiają wstępną ocenę warunków występowania tych wód w obrębie płaszczowin karpackich.

Wysokociśnieniowy charakter wód geotermalnych występujących w ławicach piaskowcowych łupków spaskich w otworach Wiśniowa 1 i Kuźmina 1 wskazuje na zamknięty charakter występujących tam zbiorników. Rodzi to obawę co do zasięgu zbiorników i odnawialności tych zasobów. Nie dotyczy to tych stref, gdzie warstwy spaskie kontaktują się z powierzchnią, jak to ma np. miejsce we wschodniej strefie Karpat pomiędzy Zagórzem a Przemyślem. Tutaj oraz w kierunku na północ warstwy spaskie tworzą liczne ciągi strukturalne zanurzające się na linii Sanu pod utwory inoceramowe. Wychodnie tych warstw stwarzają szansę powierzchniowego zasilania stref wgłębnych, gdzie wody mogą osiągać wysokie temperatury.

W rejonie Jasła warstwy spaskie, jeśli występują, zalegają na znacznych głębokościach przekraczających przypuszczalnie 5000 m.

Z innym rodzajem zbiornika związane są wody geotermalne w rejonie Babicy, gdzie na głębokości 2200 m występują wody o temperaturze 43°C, tj. ze zbiornikiem w gruboławicowych piaskowcach środkowego ogniwa warstw inoceramowych jednostki skolskiej. Forma złoża wskazuje na powierzchniowe zasilanie zbiornika izolowanego w strefach wgłębnych przez nieprzepuszczalne ogniwa warstw inoceramowych dolnych i górnych.

We wspomnianym już otworze Brzegi Dolne IG-1 wody geotermalne (105°C na głębokości 4500 m), podobnie jak w rejonie Babicy stwierdzono właśnie w warstwach inoceramowych.

W rejonie Jasła nie stwierdzono dotychczas obecności zbiornika w warstwach inoceramowych (jeśli występuje, to poniżej głębokości 3000 m).

Warunki występowania wód geotermalnych w jednostce śląskiej, na której obszarze leży Jasło, można ocenić na podstawie warunków występowania takich wód w otworach z rejonu Rudawki Rymanowskiej, Lubatówki oraz Polańczyka. Wody termalne występują tam w obrębie warstw krośnieńskich, menilitowych i istebniańsko-ciężkowickich. W rejonie fałdu Iwonicza są to wody geotermalne Lubatówki i Rudawki Rymanowskiej, natomiast wody geotermalne Polańczyka związane są z fałdem Czaszyn-Polany-Skorodne.

Eoceńskie jądro fałdu Iwonicza wynurza się na powierzchnię w rejonie Dukli (Lubatówki) i zajmuje „wysoką” pozycję topograficzną na linii Lubatówka-Iwonicz-Rudawka Rymanowska, aby dalej w kierunku południowo-wschodnim powtórnie zanurzyć się w strefy wgłębne. Wydaje się, że zbiornikowe utwory – mające powierzchniowe wychodnie na skrzydłach fałdu Iwonicza – prowadzą wody w strefy synklinalne (łęki), gdzie ich temperatura osiąga wysokie wartości i gdzie znajdują warunki dla akumulacji. Niezależnie od tego, występowanie wód o temperaturach 40°C na głębokości około 550 m w rejonie Rudawki Rymanowskiej wskazuje na możliwość kontaktu tych wód ze strefami znacznie głębszymi poprzez kontakty dyslokacyjne.

Wody termalne Polańczyka związane są z utworami zbiornikowymi jednostki śląskiej biegnącymi wzdłuż wspomnianego fałdu Czaszyn-Polany-Skorodne, który zanika na połud-

niowy wschód od Beska. System zasilania i akumulacji jest tutaj podobny jak w strefie fałdu Iwonicza z tym, że temperatury wód geotermalnych nie wykazują anomalii (20°C na głębokości ok. 1000 m).

1.4. Własności zbiornikowe utworów fliszowych

Podstawową formacją zbiornikową Karpat są piaskowce reprezentujące wszystkie niemal poziomy stratygraficzne od dolnej kredy do oligocenu włącznie. Piaskowce zbiornikowe wykazują jednak różnice litologiczne, podobnie jak różnią się całe poziomy stratygraficzne w różnych jednostkach tektonicznych.

Kreda górna

W interesującej nas jednostce śląskiej seria zbiornikowa to głównie piaskowce istebniańskie (w rejonie Jasła są to piaskowce czarnorzeckie) tworzące gruby na kilkaset metrów kompleks piaskowcowy przeławicony łupkami. Własności zbiornikowe piaskowców należy uznać za dobre. W jednostce śląskiej, podobnie jak w innych jednostkach Karpat fliszowych, pakiety łupków stanowią izolujące serie dla poszczególnych ławic piaskowcowych. Porowatości są rzędu 10–15%. Warstwy te występują w fałdzie Iwonicza, Bystrego, Bóbrki, Krosna i Roztok-Potoka (strefa Jasła). Od fałdu (łuski) Bystrego wskazane warstwy kontynuują się prawdopodobnie aż do Wetliny, gdzie na głębokości około 3000 m zostały nawiercone i dały przyływ solanki około 3 m³/h.

W jednostce podśląskiej utwory kredy górnej wykształcone są w facji łupkowej (margle węglowieckie – margle i łupki pstre) i nie posiadają dobrych własności zbiornikowych.

W jednostkach magurskiej, skolskiej i dukielskiej utwory kredy górnej wykształcone są w facji inoceramowej. Górne warstwy inoceramowe posiadają niskie porowatości. W jednostce magurskiej strefy zbiornikowe związane są głównie ze strefami spękań w obszarze brzeżnym nasunięcia. W warstwach inoceramowych jednostki skolskiej porowatości wynoszą 3–18% (Słonne, Babica, Brzegi Dolne), a jednostki magurskiej około 11% (Sękowa, Siary).

Paleocen-eocen

Formacje zbiornikowe paleocenu-eocenu to głównie piaskowce ciężkowickie jednostki śląskiej występujące w jądrze fałdów Iwonicza i Bóbrki oraz fałdów Krosna i Roztok-Potoka. Występują tutaj 1–4 poziomy piaskowce. Mają dobre własności zbiornikowe wyrażające się porowatością 10–16%, a niekiedy wyższą, oraz przepuszczalnością do 600 mD. W strefach synklinalnych i antyklinalnych występują liczne dyslokacje mogące stanowić kontakt wód stref płytszych ze strefami głębszymi wysokotemperaturowymi.

W jednostce skolskiej skały zbiornikowe eocenu to głównie piaskowce hieroglifowe występujące wśród pstrych łupków. Piaskowce występują jednak w formie soczewek o niewielkim zasięgu. Są przy tym cienkoławicowe i przewarstwione łupkami. Własności zbiornikowe są tam zatem raczej słabe.

Oligocen

W jednostce skolskiej skałami zbiornikowymi serii menilitowej są piaskowce kliwskie tworzące kilka poziomów rozdzielonych pakietami łupków. Miąższość poziomów piaskowcowych dochodzi do 80 m przy miąższości całej serii menilitowej 200 m. Własności zbiornikowe są korzystne, lecz bardzo zmienne (porowatość 1,6–23%, przepuszczalność 0–115 mD). Serie menilitowe z piaskowcami kliwskimi często wychodzą na powierzchnię (w większości fałdów), stąd istnieje możliwość powierzchniowego zasilania wodnego.

Piaskowce śródmenilitowe o własnościach zbiornikowych rozwinęły się w jednostce śląskiej. Miąższości są w granicach 20–80 m, efektywne od kilku do 20 m. Własności zbiornikowe są dobre, lecz występują w skali lokalnej (rejon Jasła, Iwonicza, Wetliny, Trześniowa i Targowisk k/Krosna). W rejonie Jasła niekorzystne jest ich stosunkowo płytkie występowanie (ok. 800–1000 m), podobnie jak w przypadku piaskowców krośnieńskich.

2. BUDOWA GEOLOGICZNA REJONU JASŁA W ASPEKcie WYSTĘPOWANIA ZBIORNIKÓW WÓD GEOTERMALNYCH

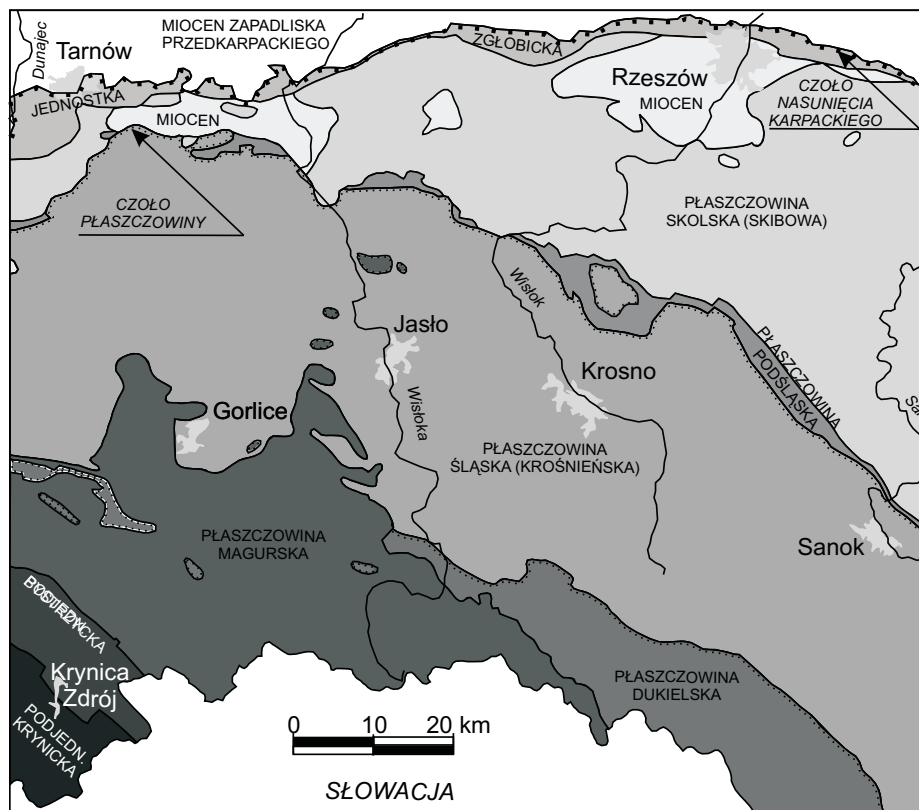
2.1. Tektonika

Charakterystykę tektoniczną oparto na Dokumentacji złoża gazu ziemnego i ropy naftowej „Roztoki” (1969), PIG, Oddział Krakowski oraz Dodatkach nr 3 (1974) i 5 (1996) do niej.

Lokalizację omawianego obszaru przedstawiono na rysunku 2. Zaprezentowano na nim także kształt powierzchni stropowej piaskowca ciężkowickiego II, jednego z dwóch poziomów zbiornikowych tego obszaru (drugi stanowi poziom „B” piaskowca czarnorzeckiego). Na rysunku 2 zaznaczono też linie przekrojów geologicznych pokazanych na rysunku 3 i 4, charakterystycznych dla rejonu miasta.

Warunki tektoniczne w rejonie Jasła nawiązują do obecności Centralnej Depresji Karpackiej, zwiężającej się w kierunku zachodnim. Fałd Roztok-Potoka, trzeci z głównych, występujący w obrębie północnej części depresji, obejmuje gminę miejską Jasło w rejonie Hankówki i Warzyc, lecz na powierzchni uwidacznia się dopiero w obszarze na wschód od granic administracyjnych miasta, tj. w rejonie Sądkowej i Potoka. Element tektoniczny Sobniowa ogranicza fałd Hankówki od południa, stanowiąc przypuszczalnie lokalne odgałęzienie fałdu Roztok-Potoka (rys. 2).

Antyklina Potoka, z utworami kredowymi w jądrze, pocięta jest poprzecznymi dyslokacjami rozpoczynającymi się w oligoceńskich utworach przypowierzchniowych i kończącymi się przypuszczalnie w warstwach czarnorzeckich górnej kredy (rys. 4). Ich kulminacyjnym elementem w obrębie fałdu Roztok-Potoka jest blok tektoniczny Roztok (na wschód od Jasła i bloku Sobniowa pokazanego na rys. 2). Począwszy od niego, warstwy czarnorzeckie zapadają w kierunku zachodnim (w kierunku Jasła), a także w kierunku wschodnim, gdzie w rejonie bloków Roztok i Sądkowej fałd jest fałdem stojącym o wtórnie



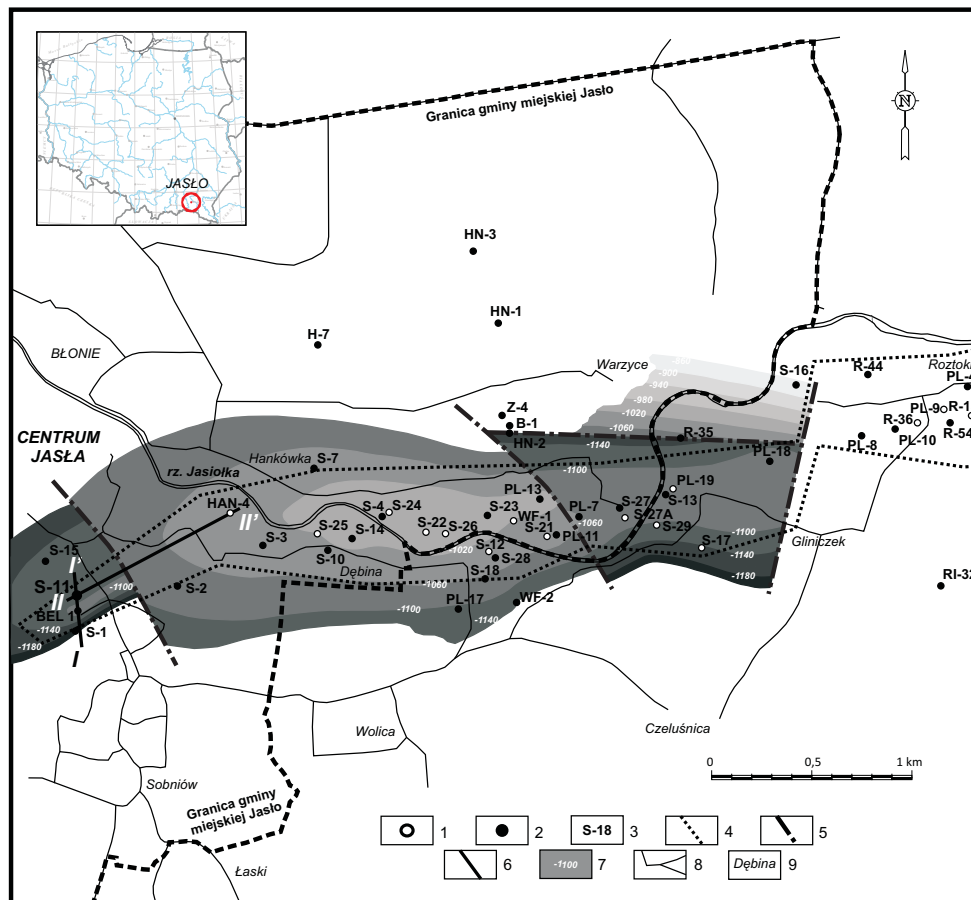
Rys. 1. Mapa geologiczno-strukturalna wschodniej części Karpat, wg Żytko i in., Jankowski i in. 2013

Fig 1 Geological-structural map of the eastern Carpathians, after Żytko & al., Jankowski & al. 2013

zafałdowanym skrzydle północnym. W kierunku Jasła obserwowana jest także redukcja tektoniczna utworów eocenu oraz redukcja facjalna utworów deponowanych na przełomie paleocenu i eocenu (rys. 4). Zanika bowiem I piaskowiec ciężkowicki i następuje redukcja II piaskowca ciężkowickiego. Strefa ta jest bardzo skomplikowana pod względem tektonicznym, w porównaniu z pozostałą częścią fałdu Rożtok-Potoka, co zapewne wiązało się z nasuwaniem od południowo-zachodniej płaszczowiny magurskiej fliszu karpackiego.

2.2. Stratygrafia i litologia

Rejon miasta Jasła znajduje się w obrębie płaszczowiny śląskiej. Jego charakterystyka geologiczna oparta została o dane otworowe strefy złożowej „Rożtoki” w obrębie fałdu Rożtok-Potoka oraz Dokumentację złoża gazu ziemnego i ropy naftowej „Rożtoki” (1969), PIG, Oddział Krakowski wraz z Dodatkami nr 3 (1974) i 5 (1996) do niej.



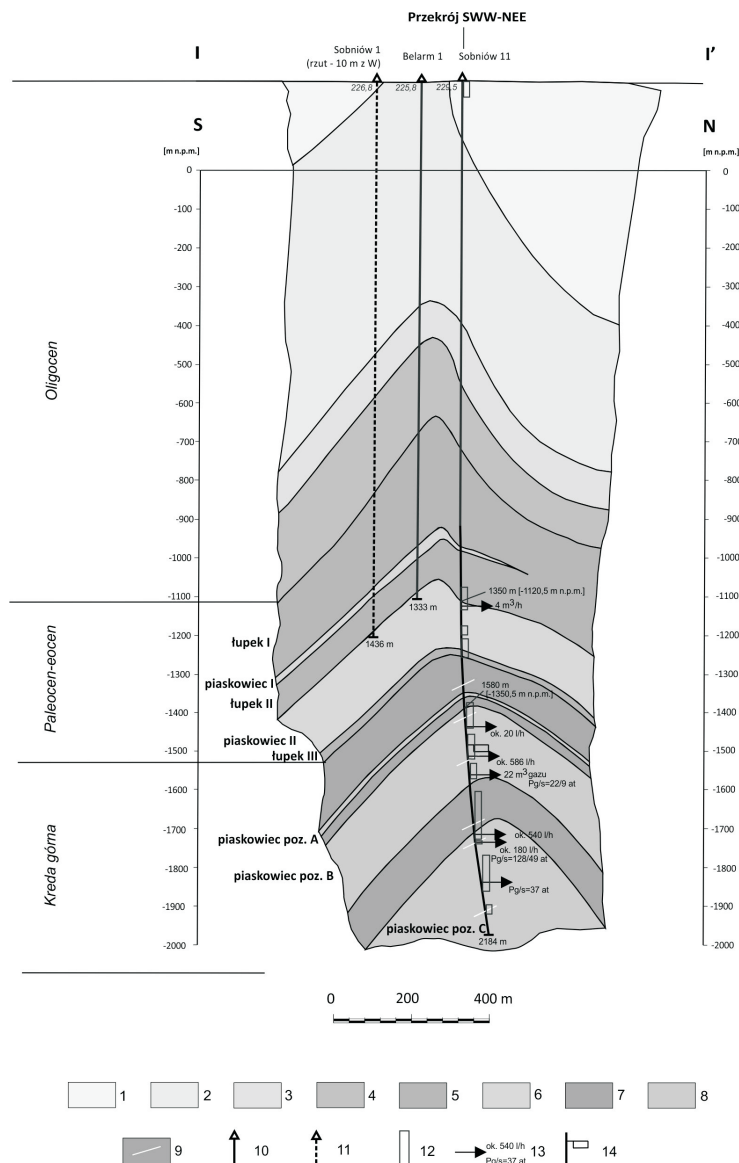
Rys. 2. Mapa rejonu Jasła w zachodniej części fałdu Roztoki-Potok i stropu piaskowca ciężkowickiego I; wg Dokumentacji złoża gazu ziemnego i ropy naftowej Roztoki (1969) i Dodatku nr 5 (1995) do tej dokumentacji

Objaśnienia: 1 – otwory eksploatacyjne; 2 – otwory zlikwidowane; 3 – symbol otworu; 4 -granicza O.G. Roztoki; 5 – uskoki; 6 – linie przekrojów geologicznych I-I' (rys. 2) i II-II' (rys. 3); 7 – rzędne stropu piaskowca ciężkowickiego II (paleocen-ecen); 8 – sieć drogowa; 9 – nazwa miejscowości

Fig 2. Map of Jasło area in the western part of the Roztoki-Potok fold with the map of top of sandstone Ciężkowickie II; after "The Documentation of natural gas and oil reservoir- Roztoki (1969) and Supplement to the Documentation No. 5 (1995)"

W rejonie miasta badaniami wiertniczymi stwierdzono występowanie jedynie utworów jednostki śląskiej, sięgających do głębokości 4500 m (otwór Sobniów 18, Dokumentacja... 1975).

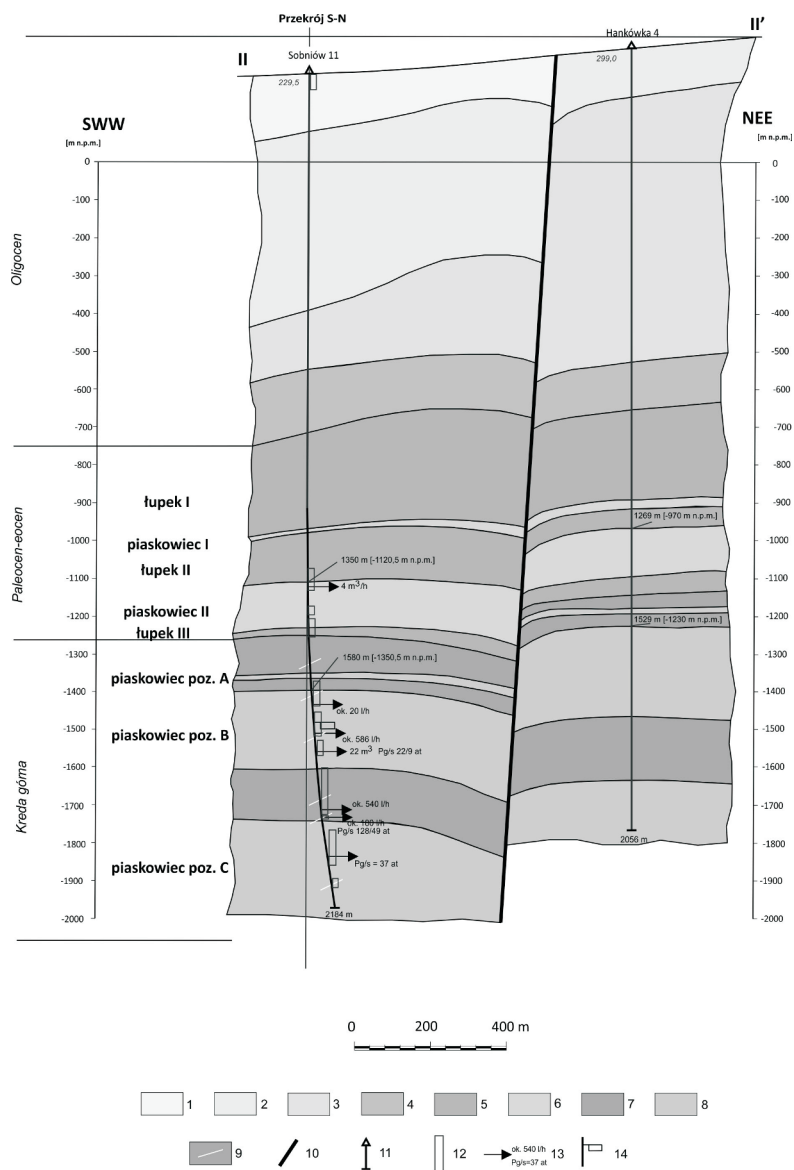
Od głębokości około 1500 do 4500 m jest to **formacja piaskowców istebniańskich górnej kredy**. W obrębie fałdu Roztok-Potoka nigdzie nie nawiercono utworów dolnej kredy. Nie nawiercono również utworów spągowych górnej kredy. Powyżej występuje wspomniany kompleks piaszczysto-ilastych **warstw istebniańskich wykształconych w fa-**



Rys. 3. Przekrój geologiczny I-I' (S-N) przez fałd Hankówki (zachodnią część fałdu Roztoki-Potok); wg Dokumentacji wynikowej otworu Sobniów 11 (1974)

Objaśnienia: 1 – warstwy krośnieńskie górne (oligocen); 2 – warstwy krośnieńskie środkowe (oligocen); 3 – warstwy krośnieńskie dolne (oligocen); 4 – łupki menilitowe (oligocen); 5 – I, II i III łupki pstry (paleocen-eocen); 6 – I i II piaskowiec ciężkowicki (paleocen-eocen); 7 – łupki czarnorzeckie (kreda górna); 8 – piaskowce czarnorzeckie (kreda górna); 9 – dyslokacje; 10 – otwory wiertnicze; 11 – otwór wiertniczy rzutowany; 12 – korki cementowe; 13 – solanka ze śladami gazu (wielkość wypływu, ciśnienie); 14 – objawy zawodnienia

Fig 3. Geological cross-section I-I' (S-N) through the Hankówka fold (western part of the Roztoki-Potok fold); after "The Documentation of the Sobniów 11 well (1974)"



Rys. 4. Przekrój geologiczny II-II' (SWW-NEE) przez fałd Hankówki (zachodnią część fałdu Rزتoki-Potok); wg Dokumentacji złoża gazu ziemnego i ropy naftowej Rزتoki (1969)
 Objaśnienia: 1 – warstwy krośnieńskie górne (oligocen); 2 – warstwy krośnieńskie środkowe (oligocen); 3 – warstwy krośnieńskie dolne (oligocen); 4 – łupki menilitowe (oligocen); 5 – I, II i III łupki pstre (paleocen-eocen); 6 – I i II piaskowiec ciężkowicki (paleocen-eocen); 7 – łupki czarnorzeckie (kreda górna); 8 – piaskowce czarnorzeckie (kreda górna); 9 – dyslokacje; 10 – główna dyslokacja; 11 – otwory wiertnicze; 12 – korki cementowe; 13 – solanka ze śladami gazu (wielkość wypływu, ciśnienie); 14 – objawy zawodnienia

Fig. 4. Geological cross-section II-II' (SWW-NEE) through the Hankówka fold (western part of the Rزتoki-Potok fold); after "The Documentation of natural gas and oil reservoir – Rزتoki (1969)"

cji czarnorzeckiej o miąższości 2000–3000 m (wg danych z otworu Sobniów 18). Charakteryzuje je duża zmienność facjalna, o czym świadczy występowanie łupków ciemnych, piaskowców drobno- i średnioziarnistych (od kruchych i rozsypliwych do twardych i zbitych) oraz zlepieńców. Wydzielono wśród nich trzy poziomy piaskowcowe (A, B i C), rozdzielone dużymi kompleksami łupkowymi o dobrych właściwościach izolujących.

W obrębie fałdu Roztok-Potoka lokalnie występują ciemnoszare **łupki paleoceńskie** o miąższości kilkunastu metrów (nie stwierdzono ich w rejonie otworu Sobniów 11). Natomiast utwory **paleocenu-eocenu** reprezentowane są przez naprzemianległe łupki pstre i piaskowce ciężkowickie. Łupki pstre występują jako łupki zielone, szare i czerwone, zapiaszczone, mikowe, o przełamie muszlowym lub ostrokrawędzistym. Często są zlustrowane, rozsypliwie i łupiące się liściasto. Występują w nich laminy i wkładki szarych piaskowców. Miąższość I pstrych łupków wynosi 200–300 m, II i III – 10–60 m.

Szare piaskowce ciężkowickie, występujące wśród łupków pstrych, są średnio- i gruboziarniste, zlepieńcowate, mikowe, przeważnie kruche. W piaskowcach tych występują prze-warstwienia łupków szarych i zielonoszarych, mikowych, zlustrowanych. Miąższość I piaskowca ciężkowickiego dochodzi do 50 m, II od 10 do 130 m.

Utwory **oligocenu** reprezentowane są przez warstwy menilitowe i krośnieńskie.

Warstwy menilitowe o miąższości od 50 do 200 m, przykrywające serię pstrego eocenu, są łupkami ciemnoszarymi, brunatnymi, miejscami czarnymi, o przełamie ostrokrawędzistym, muszlowym, liściastym. Są zlustrowane, mikowe, bezwapniste. Występują w nich wkładki piaskowców szarych, drobnoziarnistych, z wpryśnięciami kalcytu. W spągu tych warstw występują rogowce o miąższości 10–20 m.

Warstwy krośnieńskie dolne wykształcone są jako szare, drobnoziarniste piaskowce, twarde, margliste, przeławiczone szarymi łupkami. Występuje wśród nich poziom łupków jasielskich – wstęgowych, ciemnych, marglistych, rozpadających się na płytki, odpornych na wietrzenie. Natomiast warstwy krośnieńskie środkowe to naprzemianległe łupki i piaskowce, a warstwy krośnieńskie górne reprezentowane są przez utwory facji łupkowej.

2.3. Własności zbiornikowe utworów fliszowych

Zasoby energii geotermalnej utworów karpackich są skromne głównie ze względu na niewielkie wydajności ujęć geotermalnych. Najkorzystniejsze warunki występują przypuszczalnie w strefach złóż węglowodorów, głównie poprzez obecność wód okalających złoża ropy i gazu.

Według danych ze strefy złożowej „Roztoki” (Dokumentacja złoża gazu ziemnego i ropy naftowej „Roztoki” (1969), PIG, Oddział Krakowski wraz z Dodatkami nr 3 (1974) i 5 (1996) do niej) w rejonie miasta za zbiorniki wód geotermalnych mogą być uznane paleo-ceńsko-eoceńskie piaskowce ciężkowickie oraz górnokredowe piaskowce warstw czarnorzeckich.

W analizowanej strefie złoża „Roztoki” występują zróżnicowane stosunki wodne. W poszczególnych blokach tektonicznych, odizolowanych od siebie poprzecznymi dyslokacjami,

w horyzontach wielowarstwowego złoża „Roztoki” przypuszczalnie najczęściej występują odrębne kontury granic gaz-woda w odniesieniu do poszczególnych warstw produkcyjnych. W warstwach czarnorzeckich występuje przy tym ponadhydrostatyczne ciśnienie złożowe o nadwyżce dochodzącej do 40% w poziomie piaskowcowym C. Zjawisko to tłumaczy się niedostatecznym sprasowaniem łupków w trakcie procesów tektonicznych.

W obszarze złożowym przebieg eksploatacji złóż gazu wskazuje, że woda okalająca gaz nie jest aktywna. Świadczą o tym spadki dennych ciśnień statycznych o 30–70% w stosunku do ciśnień pierwotnych. Szczególnie duże spadki (do 70%) zaobserwowano w bloku Sobniowa w horyzontach B i C warstw czarnorzeckich.

W miarę eksploatacji złóż obserwowano wzrost wykładników wodnych, a nawet zawodnienie otworów. Było to spowodowane powstawaniem stożków wodnych o zasięgu uzależnionym m.in. od wielkości depresji w otworach. Jednocześnie, niskie ciśnienia denne często uniemożliwiały wysyfonowanie płynu z odwiertów. W innych przypadkach zróżnicowane ilości wody wydobywanej wraz z gazem wynikały z cech wodnych danego horyzontu, głębokości otwarcia, jakości zacementowania rur okładzinowych itp.

Relatywnie najkorzystniejsze warunki wodne występują w otworze Sobniów 11 odwierconym w 1973 r., negatywnym dla eksploatacji gazu i zlikwidowanym na początku 1974 r. Otwór usytuowany jest w pobliżu Jasła w zachodniej części fałdu Roztok-Potoka (jednocześnie fałdu Hankówki) – rys. 2.

Stosunkowo dobre własności kolektorskie występują w tzw. II piaskowcu ciężkowickim o miąższości 100–130 m (rys. 2–4). Charakteryzuje go niskie zailenie (poniżej 10%) a porowatości wyznaczone laboratoryjnie są w zakresie 6–21% przy przepuszczalności dochodzącej do 286 mD. Miała tutaj miejsce charakterystyczna dla tych utworów, wysoka wydajność początkowa gazu (otw. Westweld 1 – 700 nm³/min). Omawiany poziom izolowany jest w stropie dużym, nieprzepuszczalnym kompleksem łupków pstrych (rys. 3 i 4).

Piaskowce warstw czarnorzeckich są silniej zailone z powodu obecności wkładek iłu oraz jego występowania w formie dyspersyjnej. Warstwy te charakteryzuje ponadto duża zmienność facjalna w przekroju pionowym, jak i w poziomym rozprzestrzenieniu poszczególnych tworzących je horyzontów. W bloku Sobniowa (rys. 2) w horyzoncie A (rys. 3 i 4) piaskowiec jest względnie czysty (minimalne zailenie). Inaczej jest w profilu pionowym horyzontu B (rys. 3 i 4). Partie stropowe są najsilniej zailone. Część środkowa horyzontu – najmniej; chociaż współczynniki zailenia są rzędu 30–40%. Zailenie ponownie wzrasta, lecz nieznacznie, w części spągowej horyzontu. W horyzoncie C (rys. 3 i 4), o najkorzystniejszych parametrach zbiornikowych (zwłaszcza w poziomie położonym najwyżej, tzw. C1) zmiany zailenia są nieznaczne i wahają się od 5 do 20%. Analizy laboratoryjne wskazują na porowatości warstw czarnorzeckich w zakresie 6–23,3% (średnio 10–18%), a obliczone na podstawie pomiarów geofizyki wiertniczej – 10–20%. Przepuszczalności dochodzą tutaj do 250 mD. Piaskowce czarnorzeckie izolowane są w stropie poziomami łupków czarnorzeckich (rys. 3 i 4).

3. OTWÓR SOBNIÓW 11 – PO REKONSTRUKCJI POTENCJALNE UJĘCIE WÓD GEOTERMALNYCH W REJONIE JASŁA

Otwór Sobniów 11 (Dokumentacja... 1974) odwiercano w pobliżu Jasła w okresie od 5 V do 27 IX 1973 r., w obrębie fałdu Roztok-Potoka, ciągnącego się na przestrzeni 40 km od Bukowa na wschodzie do Jasła na zachodzie. Odwiercono go w odrębnym bloku tektonicznym, na zachód od produktywnego otworu Sobniów 12 (z ropą naftową i gazem ziemnym, w sąsiednim bloku tektonicznym). Lokalizację otworu Sobniów 11 pokazano na rysunku 2. Otwór usytuowano na rzędnej 229,5 m n.p.m. Głębokość końcowa to 2184 m, przy czym od głębokości około 1200 m (w spągowej części I-szych łupków pstrych), otwór jest stopniowo odchylony od pionu, co szczególnie wyraźnie zaznaczyło się w obrębie warstw czarnorzeckich, począwszy od głębokości około 1500 m (rys. 3 i 4). Do głębokości 150 m otwór zarurowano rurami 13 3/8", a przestrzeń między nimi i skałą zacementowano do wierzchu. Cementowanie do wierzchu wykonano również w odniesieniu do rur okładzinowych 9 5/8" (zarurowanie do 1002 m) oraz 6 5/8" (zarurowanie do 2119 m), tj. pomiędzy kolejną rurą okładzinową i skałą, a w części stropowej pomiędzy nią i rurą okładzinową o większej średnicy.

Wcześniej, w wytypowanych dziewięciu interwałach otworu przeprowadzono badania w okresie od 13 X 1973 r. do 7 II 1974 r., począwszy od dna otworu do powierzchni terenu. W piaskowcach czarnorzeckich objęły one po trzy próby w horyzontach C i B oraz jedną w horyzoncie A, a w II piaskowcu ciężkowickim dwa interwały. Próby przeprowadzono po wykonaniu najgłębiej usytuowanego korka cementowego w kolejnych perforowanych odcinkach rur okładzinowych. Korki cementowe usytuowane zostały w następujących interwałach głębokości w kierunku dna: 1300–1365 m, 1410–1430 m, 1440–1490 m, 1605–1670 m, 1685–1754 m, 1764–1801 m, 1841–1942 m, 1945–1957 m, 1985,5–2076 m oraz 2099,8–2119 m.

W horyzoncie C piaskowców czarnorzeckich w interwale 2040–2076 m zanotowano ślady solanki i gazu, a w dwóch wyższych interwałach przyływy gazu i solanki (180 l/h w interwale 1950–1964 m oraz 540 l/h w interwale 1930–1944 m).

W horyzoncie B piaskowców czarnorzeckich przyływy solanki ze śladami gazu nastąpiły z interwałów 1790–1800 m (słaby), 1741–1750 m (ok. 625 l/dm³) i 1661–1676 m (20 l/dm³).

W horyzoncie A piaskowców czarnorzeckich oraz w II piaskowcu ciężkowickim w interwale 1425–1430 m nie odnotowano dopływu wód, lecz wystąpiły słabe ślady gazu, natomiast z interwału 1350–1365 m II piaskowca ciężkowickiego dopływ solanki ze śladami gazu wyniósł 4 m³/h.

W Dokumentacji złoża gazu ziemnego i ropy naftowej „Roztoki” (1969) zachowała się m.in. analiza wody 11/74 z otworu Sobniów 11, w której nie podano głębokości pobrania próby. Prawdopodobnie dotyczy ona głębokości poniżej 1350 m, gdzie nastąpił wspomniany

wypływ solanki. Byłaby to zatem woda typu chlorkowo-sodowego (genetycznie: woda węglanowo-sodowa) o pH 9, mineralizacji ogólnej 9 g/dm³, zawierająca jod w ilości 0,01 g/dm³, 57 mval Cl⁻, 8 mval HCO₃⁻, 2 mval CO₃²⁻, 2 mval SO₄²⁻, 47 mval Na⁺+K⁺ i 2 mval Ca²⁺.

Głębiej, tj. poniżej 1580 m (-1350 m n.p.m.), w obrębie piaskowca czarnorzeckiego (górną kreda), występowały wspomniane słabsze wypływy wód (maksymalnie ok. 586 l/h). Przez analogię do analizy wody z tego poziomu, lecz z mniejszej głębokości, którą wykonano dla otworu Hankówka 4 (rys. 4), przypuszczalnie są to wody typu chlorkowo-kwasowęglowo-sodowego (także genetycznie węglanowo-sodowe) o mineralizacji 11 g/dm³ lub nieco wyższej, gdyż wody występujące głębiej w otworze Sobniów 11, słabiej wydajne, mają na ogół mineralizację ok. 17 g/dm³. W dokumentacji znajduje się sześć innych analiz wód z otworu Sobniów 11 dla następujących głębokości:

- 2078–2080 m, mineralizacja 17 g/dm³ (Analiza wody 92/73),
- 1951–1964 m, mineralizacja 22 g/dm³ (93/73),
- 1938–1944 m, mineralizacja 17 g/dm³ (97/73),
- 1790–1800 m, mineralizacja 17 g/dm³ (101/73),
- 1741–1750 m, mineralizacja 12,8 g/dm³ (1/74),
- 1661–1676 m, mineralizacja 17,5 g/dm³ (2/74).

We wszystkich przypadkach badane wody określono jako genetycznie węglanowo-sodowe. W przypadku większych głębokości (1944–2080 m) zmineralizowane wody określono jako typu chemicznego chlorkowo-kwasowęglowo-sodowego, a z mniejszych głębokości – jako typu chemicznego chlorkowo-sodowego.

W przypadku poziomu piaskowca czarnorzeckiego, dla wspomnianego otworu Hankówka 4 z głęb. 1920–1976 m (-1620– -1670 m n.p.m), zachowała się jedna analiza wody (Dokumentacja... 1969). Występowała tam woda o pH 9 i ogólnej mineralizacji 11 g/dm³ typu chemicznego chlorkowo-kwasowęglowo-sodowego; genetycznie – woda węglanowo-sodowa. Zawierała 0,006 g/dm³ jodu i 0,03 g/dm³ bromu oraz 43 mval Cl⁻, 5 mval HCO₃⁻, 1 mval SO₄²⁻, 49 mval Na⁺+K⁺. Miała zabarwienie słomkowe, była słona i klarowna.

Powyższe informacje pozwalają wstępnie szacować, iż w przypadku otworu Sobniów 11 o relatywnie najlepszych parametrach geotermalnych w porównaniu z horyzontami w pobliskich otworach, możliwa byłaby eksploatacja do około 10 m³/h wody z horyzontu piaskowców ciężkowickich (z głębokości 1,4–1,5 km p.p.t.) i do około 5 m³/h z piaskowców czarnorzeckich (z głębokości 1,6–1,8 km p.p.t.). Prognozowana temperatura wód w złożu dla płytszego horyzontu to 45–50°C a dla głębszego – 55–60°C, przy mineralizacji odpowiednio 9 i 11 g/dm³.

Prognozowane niewysokie wydajności wód predestynują wstępnie złożę głównie do wykorzystania w celach rekreacyjnych i balneologicznych.

Likwidując otwór 7 II 1974 r., wykonanie ostatniego korka cementowego – od powierzchni do głębokości 30 m – poprzedzono usunięciem 350 m rurek eksploatacyjnych 2 3/8" oraz 900 m przewodu 3 1/2".

4. ZAGOSPODAROWANIA ENERGII GEOTERMALNEJ W REJONIE JASŁA – PROPOZYCJE WSTĘPNE

W strefie miasta otwór Sobniów 11 uznano za najbardziej korzystny do potencjalnej rekonstrukcji w aspekcie eksploatacji wód geotermalnych.

Wstępnymi analizami – energetyczną, ekonomiczną i ekologiczną, objęto potencjalną eksploatację wód z perspektywicznych tutaj horyzontów geotermalnych: z II piaskowca ciężkowickiego i piaskowca czarnorzeckiego – poziom „B”. W analizie uwzględniono prognozowane temperatury i mineralizację wód oraz przewidywane wydajności eksploatowanych wód (odpowiednio ok. 10 i 5 m³/h). W przypadku obu horyzontów, poziom zwierciadła wód w warunkach eksploatacji założono na poziomie terenu – co oznacza znaczącą redukcję energii zużywanej przez pompy eksploatacyjne.

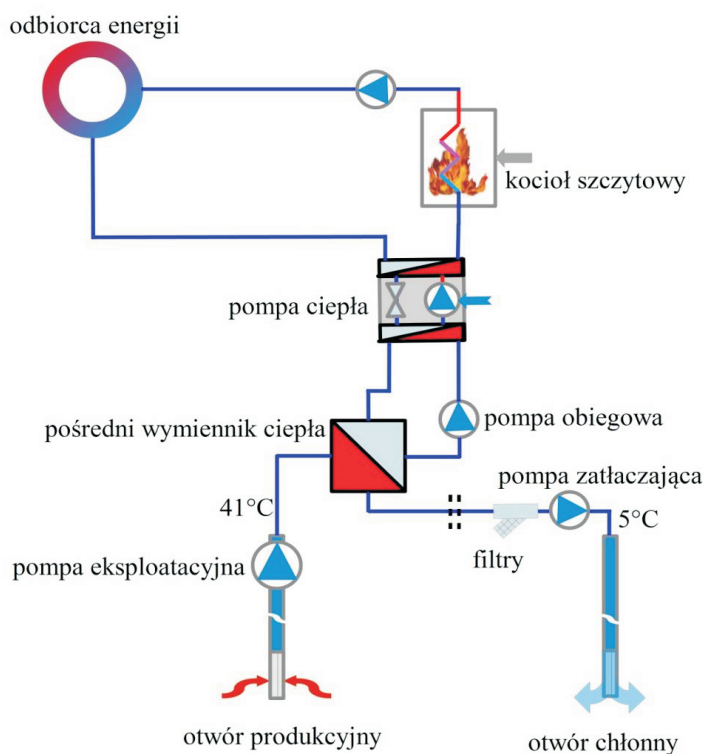
Przy średnicy rur eksploatacyjnych 6 5/8" (średnica rury wewnętrznej otworu Sobniów 11) możliwe byłoby osiągnięcie na głowicy otworu produkcyjnego z obu wskazanych horyzontów, zbliżonej temperatury wody termalnej wynoszącej około 41°C. Wynika to z obliczeń przeprowadzonych przy zastosowaniu metodyki wg L. Pająka (w: Barbacki i in. 2009) dla ciągłej eksploatacji nominalnego strumienia przez jeden miesiąc otworem eksploatacyjnym o wskazanej średnicy. Na tej podstawie zasoby mocy ujęcia termalnego oszacowano na 93 do 419 kW zależnie od zastosowanej technologii, tj. odpowiednio: przy wykorzystaniu energii jedynie w wymiennikach i przy zastosowaniu pomp ciepła.

Wykorzystując energię złoża w wymiennikach ciepła, tj. przy schładzaniu do 25°C, można uzyskaną energię zastosować: (1) w wielkopowierzchniowych systemach ogrzewania (podłogowego, ściennego, sufitowego) lub przy ogrzewaniu nadmuchowym, (2) do wstępnego podgrzewania ciepłej wody użytkowej, (3) w basenach rekreacyjnych. W przypadku poboru wód z poziomu B piaskowca czarnorzeckiego moc ujęcia (bez pomp ciepła) wynosiłaby 93 kW, a w przypadku poboru z II piaskowca ciężkowickiego 186 kW. Wykorzystując energię złoża przy zastosowaniu pomp ciepła można by uzyskać odpowiednio moce termalne 209 kW i 419 kW. Uwzględniając moc napędową pomp ciepła, przy dostawie czynnika grzewczego na poziomie 50°C, sumaryczna moc grzewcza pomp ciepła wynosiłaby odpowiednio 285 kW i 570 kW.

Zakładając standardowe wykorzystanie zasobów w ciepłownictwie (centralne ogrzewanie i przygotowanie ciepłej wody użytkowej), technicznie możliwy potencjał energii cieplnej szacuje się w przedziale 650–3990 GJ/rok. W przypadku produkcji energii cieplnej z geotermii bez użycia pomp ciepła, dla poziomu piaskowca czarnorzeckiego B byłaby to wartość 650 GJ/rok a dla II piaskowca ciężkowickiego 1300 GJ/rok. Przy użyciu pomp ciepła byłyby to odpowiednio wartości energii grzewczej 2000 GJ/rok i 3990 GJ/rok.

W celu poszerzenia analizy energetycznej o wstępne analizy ekonomiczne i ekologiczne założono trzy warianty wykorzystania zasobów geotermalnych: (1) ciepłownictwo, (2) balneorekreacja (baseny rekreacyjne, częściowo odkryte, o powierzchni lustra wody 500 m²) i (3) balneoterapia (zastosowania lecznicze w wannach, w pomieszczeniach zamkniętych).

Na rysunku 5 pokazano schemat potencjalnej eksploatacji dla kierunku (1), a na rysunku 6 dla kierunków (2) lub (3).

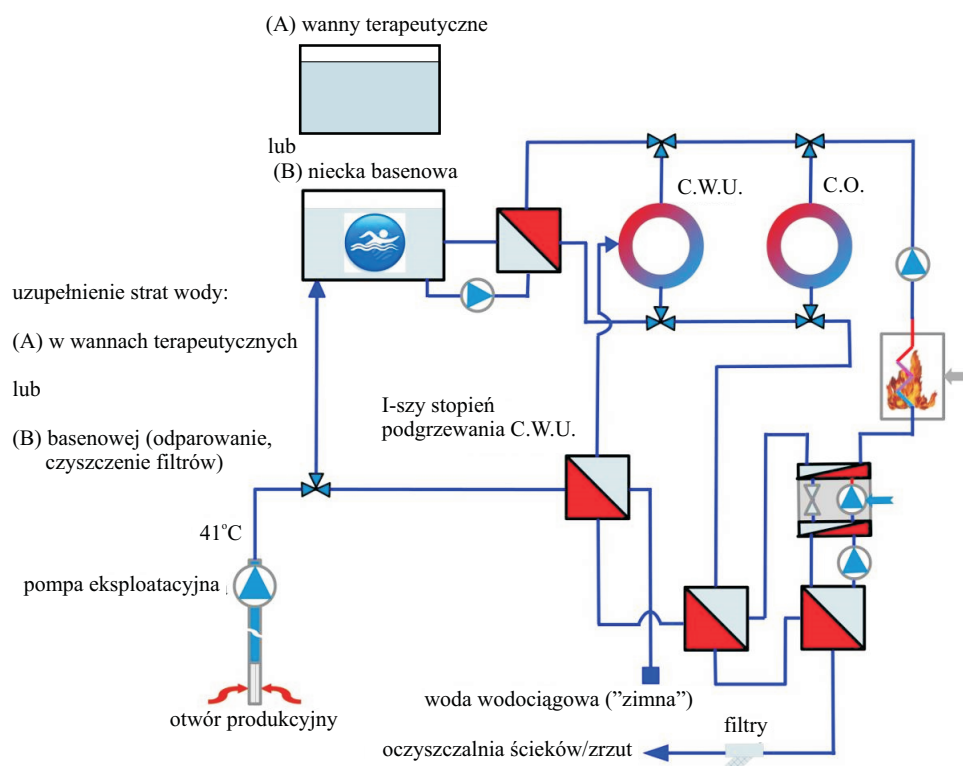


Rys. 5. Schemat technologiczny układu wykorzystującego energię geotermalną w celach ciepłowniczych

Fig. 5. Technological scheme of the system utilizing geothermal energy for heating purposes

Ze względu na znaczący strumień i mineralizację wydobywanej wody, wykorzystanie energii geotermalnej w ciepłownictwie wymagałoby zastosowania dubletu geotermalnego. Wynikałaby stąd konieczność wykonania otworu chłonnego. Oznacza to jednocześnie znaczące podniesienie poziomu nakładów inwestycyjnych. W przypadku pozostałych dwóch zastosowań możliwym wariantem jest eksploatacja jednootworowa, jeśli uzyskano by stosowne pozwolenia i woda pokapielowa i pozabiegowa poprzez oczyszczalnię komunalną mogłaby trafiać do odbiorników powierzchniowych (np. rzek Jasiołki lub Wisłoka).

Przewidywane zapotrzebowanie na energię dla danego rodzaju odbiorcy ustalono na podstawie charakterystycznych krzywych uporządkowanego zapotrzebowania na moc dla obiektów komunalnych (Pająk 2009) i basenów rekreacyjnych (Pająk 2008). W związku z tym udział energii odnawialnej w ogólnym bilansie zapotrzebowania na energię w analizowanych wariantach oszacowany może być na poziomie 10–20%. Oznacza to konieczność korzystania z energii konwencjonalnej dla każdego z analizowanych wariantów, której



Rys. 6. Schemat technologiczny układu wykorzystującego energię geotermalną i wody termalne w celach: (A) balneorekreacyjnych lub (B) balneoterapeutycznych

Fig. 6. Technological scheme of the system utilizing geothermal energy and thermal waters for the purposes of: (A) balneo-recreation or (B) balneo-therapeutics

źródłem w analizowanym przypadku byłby wysokometanowy gaz ziemny dostarczany np. poprzez sieć Tarnowskiego Oddziału Polskiej Spółki Gazownictwa.

Najniższych prognozowanych nakładów inwestycyjnych na pozyskanie wód i energii geotermalnej należy oczekiwać przy wykorzystaniu geotermii w balneorekreacji i/lub balneoterapie. Wymagany poziom nakładów inwestycyjnych na te cele, na podstawie dostępnych analiz (Barbacki i in. 2013), prognozowany jest na poziomie 3,3–4,5 mln zł (netto), natomiast wykorzystanie wód termalnych w ciepłownictwie wymagałoby nakładów na poziomie 11 mln zł, z czego około 7 mln. zł na należałoby przeznaczyć na wykonanie otworu chłonnego. Ze względu na wysokie nakłady inwestycyjne jednostkowe całkowite koszty wytworzenia energii cieplnej będą we wszystkich wariantach wyższe od kosztów w przypadku alternatywnego zastosowania gazu ziemnego. Jednak koszty eksploatacji systemu podczas produkcji energii, uwzględniające jedynie zakup dodatkowych nośników energii (gazu), dla wariantów geotermalnych będą niższe niż w wariantcie zakładającym alternatywne wykorzystanie gazu ziemnego.

Wyniki przeprowadzonych analiz zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Zestawienie parametrów technicznych, ekonomicznych i ekologicznych dla rozpatrywanych wariantów potencjalnego wykorzystania zasobów wód geotermalnych z otworu Sobniów 11 i alternatywnego źródła energii (gazu ziemnego i pomp ciepła)

Tabela 1

Summary of technical, economic and environmental parameters for the considered variants of the potential use of geothermal resources from the hole Sobniów 11 together with alternative energy source (natural gas and heat pumps)

Lp.	Parametr	Wariant 1	Wariant 2a	Wariant 2b	Wariant 3a	Wariant 3b	Gas ziemny
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Eksploatowany horyzont	piaskowce ciężkowickie	piask. ciężk.	piask. czarnorz.	piask. ciężkow.	piask. czarnorz.	-
2	Strumień wody termalnej [m ³ /h]	10	5	5	5	5	-
3	Sposób eksploatacji	dublet geotermalny (jeden otwór nowy i jeden rekonstruowany)	jednotworowy (rekonstrukcja)	jednotworowy (rekonstrukcja)	jednotworowy (rekonstrukcja)	jednotworowy (rekonstrukcja)	-
4	Sposób wykorzystania wód termalnych	ciepłownictwo	balneologia	balneologia	balneoterapia	balneoterapia	ciepłownictwo
5	Głębokość otworu	1 500	1 500	1 800	1 500	1 800	-
6	Średnica otworów/u [cale]	6 5/8	6 5/8	6 5/8	6 5/8	6 5/8	-
7	Temperatura w złożu [°C]	45-50	45-50	55-60	45-50	55-60	-
8	Temperatura na głowicy otworu [°C]	41	41	41	41	41	-
9	Moc cieplna bezpośrednio z geotermii [kW]	186	93	93	93	93	-
10	Moc cieplna z geotermii przy wykorzystaniu pomp ciepła [kW]	571	286	286	286	286	-
11	Moc szczytowych kotłów gazowych [kW]	571	286	286	286	286	1 142
12	Moc cieplna całkowita [kW]	1 142	571	571	571	571	1 142
13	Całkowita prod. energii cieplnej [GJ/rok]	9 004	6 483	6 483	5 403	5 403	9 004
14	Produkcja energii z geotermii bezpośrednio [GJ/rok]	1 762	881	881	881	881	0

Tabela 1 cd.

Table 1 cont.

1	2	3	4	5	6	7	8
15	Produkcja energii z pomp ciepła [GJ/rok]	6 522	5 152	5 152	5 152	5 152	0
16	Prod. en. z kotłów szczytowych [GJ/rok]	720	450	450	251	251	9 004
17	Ilość zużytego gazu ziemnego [tys. m ³ /rok]	24	15	15	8	8	294
18	Ilość zużytej energii elektrycznej [MWh/rok]	693	461	461	461	461	0
19	Nakłady inwestycyjne całkowite [tys. zł]	1 1337	3 369	4 369	3 369	4 369	900
20	otwór produkcyjny (rekonstrukcja) [tys. zł]	2 300	2 300	3 300	2 300	3 300	0
21	otwór chłodny [tys. zł]	7 000	0	0	0	0	0
22	pompy ciepła [tys. zł]	1 142	571	571	571	571	0
23	kotły szczytowe [tys. zł]	457	228	228	228	228	800
24	wymienniki ciepła [tys. zł]	86	43	43	43	43	0
25	rurociągi i armatura [tys. zł]	253	126	126	126	126	0
26	budynki [tys. zł]	100	100	100	100	100	100
27	Całkowite koszty obsługi [tys. zł/rok]	1 048	558	606	535	583	653
28	Koszty zakupu nośników energii [tys. zł/rok]	410	271	271	259	259	568
29	Koszty remontów i napraw [tys. zł/rok]	49	21	23	21	23	14
30	Amortyzacja środków trwałych [tys. zł/rok]	589	190	235	190	235	71
31	Koszty utylizacji wody [tys. zł/rok]	0	77	77	66	66	0
32	Koszt jedn. wytworzenia en. cieplnej [zł/GJ]	116	86	93	99	108	72
33	Koszt en. cieplnej w paliwie [zł/GJ]	46	42	42	48	48	63
34	Emisja B(a)P [kg/rok]	0,13	0,09	0,09	0,09	0,09	0
35	Emisja sadzy [kg/rok]	12,47	8,31	8,31	8,31	8,31	0

Tabela 1 cd.

Table 1 cont.

1	2	3	4	5	6	7	8
36	Emisja pyłu całkowitego [kg/rok]	264,38	176,09	176,09	176,09	176,09	0
37	Emisja CO ₂ [kg/rok]	768 996,02	510 390,95	510 390,95	498 323,74	498 323,74	544 488,36
38	Emisja CO [kg/rok]	1 656,57	1 103,01	1 103,01	1 100,82	1 100,82	99,04
39	Emisja NO _x przeliczona na NO ₂ [kg/rok]	1 347,51	896,34	896,34	888,56	888,56	351,14
40	Emisja SO ₂ [kg/rok]	4 484,52	2986,85	2 986,85	2 986,85	2 986,85	0
41	Węglowodory alifatyczne [kg/rok]	84,47	56,17	56,17	55,57	55,57	27,01
42	Węglowodory aromatyczne [kg/rok]	83,03	55,27	55,27	55,07	55,07	9
43	Emisja B(a)P [kg/GJ]	0	0	0	0	0	0
44	Emisja sadzy [kg/GJ]	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0
45	Emisja pyłu całkowitego [kg/GJ]	0,029	0,027	0,027	0,033	0,033	0
46	Emisja CO ₂ [kg/GJ]	85,402	78,725	78,725	92,237	92,237	60,475
47	Emisja CO [kg/GJ]	0,184	0,17	0,17	0,204	0,204	0,011
48	Emisja NO _x przeliczona na NO ₂ [kg/GJ]	0,15	0,138	0,138	0,164	0,164	0,039
49	Emisja SO ₂ [kg/GJ]	0,498	0,461	0,461	0,553	0,553	0
50	Węglowodory alifatyczne [kg/GJ]	0,009	0,009	0,009	0,01	0,01	0,003
51	Węglowodory aromatyczne [kg/GJ]	0,009	0,009	0,009	0,01	0,01	0,001
52	Oplacalność pozyskania energii cieplnej, uwzględniając jednostkowe koszty całkowite jej pozyskania w odniesieniu do gazu ziemnego podane w wierszu 32 (opisowo)	nieopłacalny	nieopłacalny	nieopłacalny	nieopłacalny	nieopłacalny	–

Podane ceny i koszty związane z parametrami ekonomicznymi są wartościami netto. Wartości w wierszach 14 i 15, wyższe niż wynikałoby to z danych zamieszczonych w tekście, uwzględniają poprawkę wynikającą z dłuższej pracy instalacji w ciągu roku z dość wysoką mocą w związku ze zwiększonym zapotrzebowaniem odbiorcy na moc. W odniesieniu do wiersza 29 założono, że w każdym z wariantów budynku ciepłowni byłby identycznym obiektem przemysłowym. Wartości w wierszach od 34 do 51 obliczono na podstawie wskaźników podanych przez Pająka (2007).

Należy podkreślić, że potencjalne zastosowanie wody w balneoterapii lub balneorekreacji wykorzystuje nie tyle jej walory energetyczne, ile przede wszystkim walory lecznicze. Ich wartość byłaby możliwa do oszacowania jedynie na poziomie analizy rynku. Na podstawie obserwacji istniejących obiektów tego typu można stwierdzić, że to co przyciąga potencjalnych klientów/pacjentów do obiektów balneorekreacyjnych i balneoterapeutycznych, to nie czysta energia, lecz pozytywne działanie tych wód na organizm człowieka.

WNIOSKI

Przeprowadzone analizy wskazują, że Jasło posiada potencjał geotermalny znacznie skromniejszy niż np. Podhale, jednak z powodzeniem może być wykorzystany w balneorekreacji i balneoterapii. Z kolei wykorzystanie go w ciepłownictwie byłoby ekonomicznie mało opłacalne. Znaczne zwiększenie ekonomicznej efektywności takich przedsięwzięć umożliwiałaby rekonstrukcja istniejącego, zlikwidowanego bądź kończącego produkcję otworu naftowego. Jako obiekt do potencjalnej rekonstrukcji wskazano otwór Sobniów 11.

W tym samym, ale szerszym kontekście, zasadna wydaje się zatem analiza archiwalnych materiałów geologicznych z obszaru polskiej części Karpat Wschodnich właśnie pod kątem wytypowania potencjalnych do rekonstrukcji starych otworów poszukiwawczych. Byłoby to interesujące zwłaszcza dla lokalnych władz samorządowych, głównie w aspekcie poszerzenia oferty regionów o możliwość udostępnienia nowych obiektów balneorekreacyjnych, a także/lub balneoterapeutycznych.

LITERATURA

- BARBACKI A., BUJAKOWSKI W., PAJAŁ L., 2009 — Optymalne strefy lokalizacji otworów geotermalnych dla zbiorników: Kredy Dolnej, Jury Dolnej i Triasu oraz potencjalne kierunki wykorzystania zbiornika triasowego [W:] Bujakowski W. (red.), 2009. Opracowanie i testy zintegrowanej metodyki prac sejsmo-magnetotellurycznych w aspekcie rozpoznania przestrzennego wglębnej budowy geologicznej dla wskazania optymalnej lokalizacji otworów geotermalnych. Wydawnictwo Revel, Kraków, s. 138–146.
- BARBACKI A., BUJAKOWSKI W., PAJAŁ L., TOMASZEWSKA B., KASZTELEWICZ A., SKRZYPCZAK R., HERMAN Z., HAJTO M., CAPIK M., 2013 — Możliwości wykorzystania istniejących otworów do celów eksploatacji wód geotermalnych w rejonie Karpat Wschodnich [W:] Górecki W. (red. naukowy). Atlas Geotermalny Karpat Wschodnich, formacje fliszowe oraz utwory mioceńskie i mezozoiczno-paleozoiczne podłoża Karpat Wschodnich, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, s. 608–631.
- CHOWANIEC J., OSZCZYPKO N., WITEK K., 1983 — Hydrogeologiczne cechy warstw krośnieńskich w centralnej depresji karpackiej. *Kwartalnik Geologiczny* t. 27, z. 4, Warszawa.
- CHOWANIEC J., POPRAWA D., 1998 — Thermal waters of the Polish part of the Carpathians. *Prz. Geol.* vol. 46, nr 8/2, Warszawa, s. 770–774.
- CHOWANIEC J., POPRAWA D., WITEK K., 2001 — Występowanie wód termalnych w polskiej części Karpat. *Prz. Geol.*; nr 49, s. 734–742.

- Dodatek nr 3 do Dokumentacji złoża gazu ziemnego i ropy naftowej „Roztoki” (1969) 1974. PIG, Oddział Krakowski, Nr 2096,5033/218.
- Dodatek nr 5 do Dokumentacji złoża gazu ziemnego i ropy naftowej „Roztoki” (1969), 1995. PIG, Oddział Krakowski, PGNiG Oddział Sanok.
- Dokumentacja wynikowa otworu Sobniów 11, 1974. Przedsiębiorstwo Poszukiwań Naftowych Jasło. PGNiG Oddział Sanok.
- Dokumentacja wynikowa otworu Sobniów 14, 1975. Przedsiębiorstwo Poszukiwań Naftowych Jasło. PGNiG Oddział Sanok.
- Dokumentacji złoża gazu ziemnego i ropy naftowej „Roztoki”, 1969. PIG, Oddział Krakowski. Nr 2096/218.
- GÓRECKI W. (red.), 2013 — Atlas Geotermalny Karpat Wschodnich, AGH WGGiOŚ –Kraków.
- JABCZYŃSKI Z. (red.), 1985 — Ilościowa ocena zasobów prognostycznych ropy naftowej i gazu ziemnego w Karpatach polskich i wyznaczonych w ich obrębie stref perspektywicznych. Prob. Węzł. 01.1. Arch. SNTITPNG- Kraków.
- KSIĄŻKIEWICZ M., 1972 — Budowa geologiczna Polski, Tektonika-Karpaty, cz. 3. Instytut Geologiczny, Wyd. Geologiczne, Warszawa.
- PAJAŁ L., 2007 — Wybrane zagadnienia dotyczące pozyskania ciepła z pierwotnych nośników biomasy. Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja nr 3, s. 22–27.
- PAJAŁ L., 2008 — Wymiana ciepła i masy w całorocznych basenach odkrytych – model matematyczny zachodzących procesów, część I i II. Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja nr 7–8 i 9, s. 37–42 i 15–17.
- PAJAŁ L., 2009 — Optymalizacja kompozycji i harmonogramu pracy hybrydowych źródeł energii, część II. Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja nr 5, s. 14–18.
- RYŁKO W., 2004 — Budowa geologiczna Polski, Stratygrafia cz. 3a – Karpaty, Peryt & Piwocki (red.), PIG, Warszawa.
- ŻYTKO K. i IN., JANKOWSKI J. i in., 2013 — Mapa geologiczno-strukturalna wschodniej części Karpat [W:] Górecki W. (red. naukowy). Atlas Geotermalny Karpat Wschodnich, formacje fliszowe oraz utwory mioceńskie i mezozoiczno-paleozoiczne podłoża Karpat Wschodnich, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, s. 87.

GEOHERMAL WATER OF THE JASŁO AREA AND THE POSSIBILITY OF THEIR UTILIZATION

ABSTRACT

The article presents the elements of the geological and hydrogeological conditions of Eastern Carpathians in terms of the practical possibilities of using geothermal water reservoirs for a particular focus on the area Jasło. Due to the expected low yield, the reservoirs may be relevant mainly local. The analyzed data derived mainly from exploration drillings conducted in order to the exploration and exploitation of bitumen. By example of reservoir zone „Roztoki” near Jasło it was demonstrated a potential for exploitation of geothermal waters after reconstruction of one of the abandoned exploration wells. Based on the data of PGNiG – Sanok, the analysis occurring

horizons was made and pointed out the possibility of utilizing the local resources of geothermal waters. The initial multivariate analysis of energy, economic and environmental potential of geothermal resources were made. Also pointed-out to reconstruction the well S-11, which would constitute a fundamental part of the future technological system.

KEY WORDS

Geothermal waters, possibilities of using geothermal waters, Eastern Carpathians, Jasło