

**Władysław Duliński\*, Czesława E. Ropa\***

## **DOBÓR POMPY DO EKSPLOATACJI WÓD MINERALNYCH NAGAZOWANYCH DWUTLENKIEM WĘGLA**

### **1. WSTĘP**

Wody mineralne nasycone dwutlenkiem węgla, tzw. szczawy, są tworzywem bardzo niestabilnym i zmiany ich fizyczno-chemicznych własności mogą zachodzić już w czasie eksploatacji, transportu czy magazynowania. Wybór odpowiedniej metody eksploatacji i układu transportowo-magazynowego wody ma istotne znaczenie dla zachowania w stanie naturalnym wydobywanych wód od ich ujęcia do dostarczenia odbiorcy. Mając powyższe na uwadze, uzasadnione staje się rozpatrywanie każdego ujęcia wody i gazu indywidualnie, zarówno pod względem zastosowania metody eksploatacji, jak i przeznaczenia wydobywanych wód i towarzyszącego im dwutlenku węgla.

W praktyce uzdrowiskowej do eksploatacji wód mineralnych, ujmowanych w ostatnich latach głównie otworami wiertniczymi, stosowane są metody wydobywania samoczynnego, samoczynnego wymuszonego oraz wydobywanie za pomocą pomp wglębnych. Przy wyborze metody balneotechniki kieruje się przede wszystkim zapewnieniem dla odbiorcy dostawy wymaganej ilości wody o określonych parametrach fizyczno-chemicznych. Najbardziej odpowiednia zarówno dla złoża, jak i jakości wydobywanej wody jest eksploatacja samoczynna, korzystna również z punktu widzenia oszczędności energii. Jednak w naszych warunkach klimatycznych (dotyczy okresu zimowego) budowa napowierzchniowych urządzeń wydobywczych, niezbędnych przy eksploatacji samoczynnej, wymagałaby dodatkowych zabezpieczeń przed zamarzaniem.

Istotną rolę przy wyborze metody eksploatacji odgrywa także położenie odwiertu w stosunku do miejsca odbioru. Brak możliwości grawitacyjnego dopływu wody i CO<sub>2</sub> powoduje konieczność budowy przetłoczni, co wpływa niekorzystnie na jakość wody. Jeżeli zatem położenie odwiertu nie pozwala na grawitacyjny dopływ wody i CO<sub>2</sub> do odbiorcy, korzystnym rozwiązaniem jest eksploatacja za pomocą pompy głębinowej.

---

\* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

Dotychczasowe trudności w eksploatacji nagazowanych wód mineralnych za pomocą pomp głębinowych, powodowane zagazowywaniem się tych pomp w czasie pracy, zostały wyeliminowane przez zastosowanie pomp śrubowych. Pompy śrubowe nie powodują zjawiska kawitacji występującego w pompach odśrodkowych i wydobywają równocześnie wodę i gaz, tłocząc je bezpośrednio do odbiorcy. Dzięki temu separator, niezbędny do oddzielania gazu od wody, oraz urządzenia pomiarowe mogą być zainstalowane w pomieszczeniu rozlewni czy też pijalni wód mineralnych.

## 2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA POMP GŁĘBINOWYCH STOSOWANYCH W POLSCE [4–6]

W technice wydobywania wód z odwiertów stosowane są w Polsce podwodne agregaty pompowe typu G40 i G60, produkowane przez Pomorską Odlewnię i Emaliernię w Grudziądzu (obecna nazwa Hydro-Vacuum). Są to agregaty pompowe przeznaczone do pompowania wody czystej ze studzien i otworów wiertniczych. Częścią ruchomą pompy wirowej jest osadzony na obracającym się wale wirnik łopatkowy, powodujący zwiększenie krętu cieczy przepływającej przez wnętrze pompy. Zwiększenie wysokości podnoszenia w pompach wirowych można osiągnąć przez połączenie szeregowo kilku wirników, przy czym ciśnienia wytworzone przez poszczególne wirniki sumują się.

W zależności od wysokości podnoszenia rozróżnia się pompy wirowe:

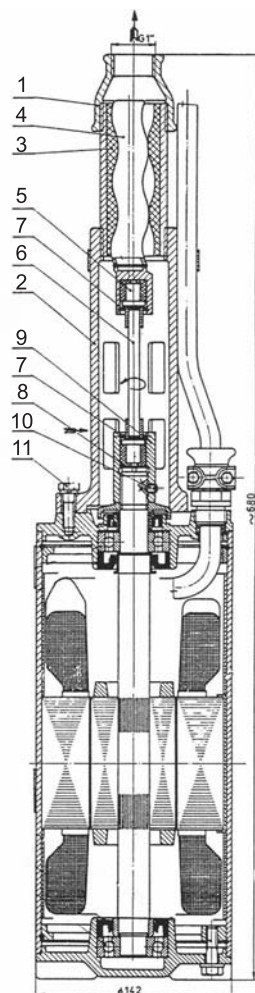
- niskiego ciśnienia ( $H_p < 20$  mSW),
- średniego ciśnienia ( $20 \leq H_p \leq 60$  mSW),
- wysokiego ciśnienia ( $H_p > 60$  mSW).

Zastosowanie pomp tego typu daje dobre rezultaty przy pompowaniu wód nienagazowanych. W przypadku wód nagazowanych, na skutek występowania zjawiska kawitacji, następuje zagazowywanie się pomp w czasie pracy i występują przerwy w wydobywaniu wody. Zjawisko kawitacji występuje w tym większym stopniu, im większe jest nagazowanie wody. Zalecane w przypadku wydobywania wód nagazowanych zapuszczenie pompy znacznie poniżej ciśnienia nasycenia nie eliminuje powstawania zjawiska kawitacji.

Alternatywnym rozwiązaniem było zastosowanie pompy głębinowej Grundfos typu SP, która służy do tłoczenia wody pitnej oraz wód mineralnych i termalnych. Są to pompy wirowe, wieloczołowe, z wirnikami promieniowymi lub diagonalnymi, napędzane asynchronicznymi silnikami elektrycznymi. Dwanaście odpowiednio zestopniowanych wielkości konstrukcyjnych tworzy kompletny program 140 agregatów pompowych różnych wielkości. Zakres stosowanych pomp jest bardzo szeroki zarówno w odniesieniu do wydajności (do 280 m<sup>3</sup>/h), wysokości podnoszenia (do 500 m), jak i mocy (od 0,37 do 185 kW). Pompy te, dzięki pewnym różnicom konstrukcyjnym w porównaniu z pompami typu G40 czy G60, miały dawać lepsze efekty przy eksploatacji nagazowanych wód.

Problem wyeliminowania trudności związanych z zagazowywaniem się pomp przy eksploatacji wód nagazowanych, w szczególności w przypadku dużych wartości wykładników gazowych, został rozwiązany przez wprowadzenie na rynek krajowy pomp śrubowych czeskiej firmy SIGMA LUTIN. Pompy te służą do pompowania wody pitnej i użytkowej do temperatury 20°C i pH w zakresie 6,5÷12, najczęściej z głębinowych i małośrodkowych

odwiertów. Samodzielny zespół wstępny 1"EVGU-16-8-GU-80, z trójfazowym asynchronicznym silnikiem elektrycznym typu 1P60-112-01 dostosowanym do pracy pod wodą, przedstawiono na rysunku 1.



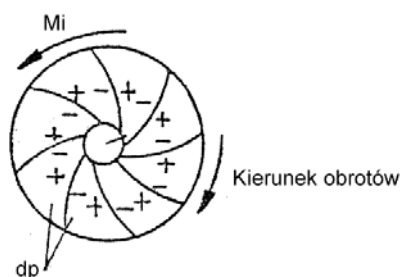
**Rys. 1.** Schemat wstępnej pompy śrubowej: 1 – nasadka, 2 – korpus ssący, 3 – stojak, 4 – wrzeciono, 5 – przegub gumowy, 6 – wał łączący, 7 – pierścień zabezpieczający, 8 – podkładka, 9 – sprzęgło, 10 – śruba M6×8, 11 – śruba M8×25

Ruch obrotowy wału silnika przenoszony jest za pomocą sprzęgła (9) do wału łączącego (6) z przegubami gumowymi (5) na wrzeciono pompy (4). Podczas obrotów wrzeciono w jamie stojaka (3) wytwarzają się zamknięte przestrzenie, w których jest ciecz transportowana z przestrzeni zasysania korpusu ssącego (2) do korpusu tłocznego. Ilość transportowanej cieczy jest zależna od wymiarów wrzeciona i stojaka oraz od obrotów. Ciśnienie cieczy wytworzone przez pompę natychmiast dostosowuje się do przeciwności w przewo-

dzie ciśnieniowym i może osiągnąć wartości, które mogą spowodować uszkodzenie pompy lub silnika elektrycznego. Jakkolwiek pompa posiada urządzenia zabezpieczające przed nadmiernym wzrostem ciśnienia, to dobór pompy winien być bardzo dokładny w odniesieniu do wydajności i wysokości podnoszenia. Pompa ta przetłacza wodę i gaz w zakresie wysokości podnoszenia do 80 mSW. Na wielkość tego ciśnienia składa się różnica poziomów pomiędzy zwierciadłem wody w odwiercie a jej wypływem, opory przepływu w przewodzie wydobywczym i transportowym wody oraz ewentualne nadciśnienie.

### 3. WPLYW ZJAWISKA KAWITACJI NA PRACĘ POMPY

Zjawisko kawitacji wywołane jest miejscowym spadkiem ciśnienia poniżej tzw. wartości progowej. Przy przepływie cieczy kawitacja zachodzi w miejscach znacznego wzrostu prędkości i uzewnętrznia się poprzez uwalnianie gazu z wody na skutek zmniejszenia ciśnienia poza łopatką wirnika pompy. Wynika stąd, że w każdej pompie pomiędzy przednią i tylną stroną łopatki występują różnice ciśnień ( $dp$ ). Zgodnie ze schematem (rys. 2) znakiem „+” oznaczono nadciśnienie, znakiem „-” podciśnienie w wirniku pompy.



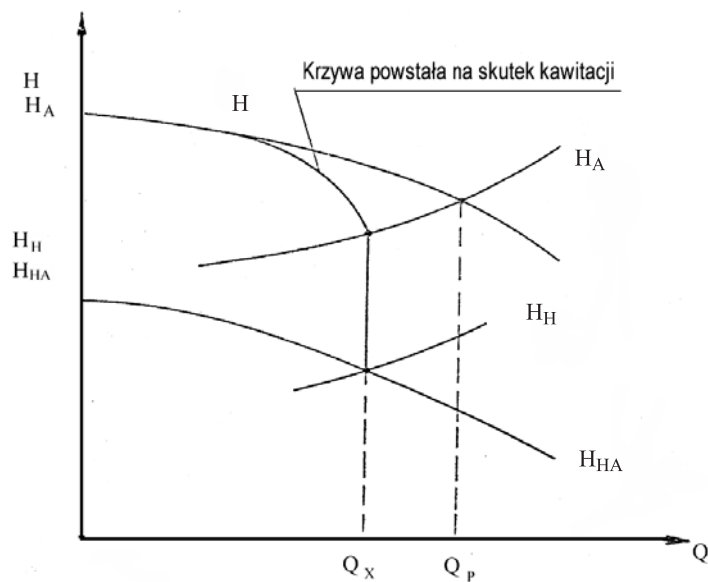
Rys. 2. Schemat powstawania kawitacji w pompie odśrodkowej

Spadek ciśnienia wywołujący zjawisko kawitacji wpływa na obniżenie wysokości podnoszenia oraz nierównomierny przepływ płynu. Wybór pompy do eksploatacji nagazowanych cieczy jest właściwy, gdy w punkcie pracy istnieje wystarczające zabezpieczenie przeciw kawitacji. Wielkość tego zabezpieczenia zależy od rodzaju pompy i całego zestawu wydobywczego, a jego podstawową wartość podaje zależność

$$S \geq 0,5 H_H \quad (1)$$

Zabezpieczenie przed kawitacją przedstawiono graficznie na rysunku 3. W punkcie ssania pompy wysokość ciśnienia wynosi  $H_{HA}$ . Pompa zużywa całkowitą wysokość ciśnienia  $H_H$ . Dodatnia różnica tych obu wartości daje pewność zabezpieczenia przeciw kawitacji, którą można zapisać

$$S_H = H_{HA} - H_H \quad (2)$$



**Rys. 3.** Zabezpieczenie przeciw kawitacji:  $Q_x$  – strumień przepływu w punkcie  $x$ ,  $Q_p$  – strumień przepływu w punkcie  $p$ ,  $H_A$  – całkowita wysokość podnoszenia urządzenia,  $H$  – wysokość podnoszenia pompy,  $H_{HA}$  – całkowita wysokość ciśnienia w urządzeniu,  $H_H$  – całkowita wysokość ciśnienia pompy

Gdy spada pewność zabezpieczenia, to znaczy, że punkt przecięcia krzywych  $H_{HA}$  i  $H_H$  znajduje się przy przepływie  $Q_x$  mniejszym od  $Q_p$ . Wówczas urządzenie może osiągnąć tylko wydajność  $Q_x$ , a nie  $Q_p$ , ponieważ przy przekroczeniu wartości  $Q_x$  występuje zjawisko kawitacji pompy.

#### 4. ANALIZA WARUNKÓW DOBORU SPOSOBU EKSPLOATACJI NAGAZOWANYCH WÓD MINERALNYCH

Analiza warunków doboru sposobu eksploatacji [1, 3] i zagospodarowania wody mineralnej przedstawiona zostanie na przykładzie odwiertu niekorzystnie usytuowanego w stosunku do odbiorcy wody i gazu. Odwiert, którym eksploatowana jest szczawa wodorowęglanowo-magnezowo-wapniowo-żelazista o ogólnej mineralizacji 0,59%, ma głębokość 120 m. Otwór zarurowany jest kolumną rur PCV o średnicy 150/165 mm. Filtr znajduje się na głębokości 90÷115 m, a rura podfiltrowa jest długości 0,5 m. Z odwiertu wydobywana jest woda mineralna w ilości  $Q = 0,55 \text{ m}^3/\text{h}$ . Równocześnie z wodą wydobywany jest dwutlenek węgla w stanie rozpuszczonym, średnio  $2384 \text{ mg}/\text{dm}^3$ , i w stanie wolnym określanym przez wykładnik gazowy  $WG = 3,35 \text{ m}^3/\text{m}^3$ . Średnia temperatura wydobywanej wody wynosi  $10^\circ\text{C}$ . Niezależnie od  $\text{CO}_2$  wydobywanego wraz z wodą w odwiercie w przestrzeni pierścieniowej panuje nadciśnienie gazowego dwutlenku węgla wynoszące 2,2 bara. Przy założonym wydobywaniu dynamiczny poziom wody w odwiercie stabilizuje się na głębokości 66 m od głowicy odwiertu.

#### 4.1. Obliczenie ciśnienia nasycenia

Parametrem mającym duże znaczenie zarówno w eksploatacji samoczynnej, jak i za pomocą pomp w głębinnych, jest ciśnienie nasycenia. Z uwagi na wspomniane wyżej niekorzystne położenie odwiertu w stosunku do odbiorcy wody, mimo możliwości uzyskania wydobycia samoczynnego dodatkowo wspomaganego przez gaz z przestrzeni pierścieniowej, tego sposobu eksploatacji w danym przypadku nie przewiduje się. Określenie ciśnienia nasycenia i jego głębokości pod poziomem dynamicznym wody w odwiercie pozwala na ustalenie głębokości zapuszczenia pompy głębinnej, która zgodnie z zasadą powinna być poniżej panującego ciśnienia nasycenia.

Dla wymienionych wyżej wielkości wydobycia CO<sub>2</sub> w stanie wolnym i rozpuszczonym obliczono sumaryczną ilość tego gazu

$$a' = a + WG \times \rho = 2,384 + 3,35 \times 1,976 = 8,97 \text{ g/dm}^3 \quad (3)$$

gdzie:

- $a'$  – sumaryczna ilość CO<sub>2</sub> [g/dm<sup>3</sup>],
- $a$  – ilość CO<sub>2</sub> rozpuszczonego w wodzie w danej temperaturze [g/cm<sup>3</sup>],
- $\rho$  – gęstość CO<sub>2</sub> w warunkach normalnych [g/cm<sup>3</sup>].

Korzystając z wykresu podającego zależność rozpuszczalności dwutlenku węgla w wodzie od temperatury i ciśnienia [2], określono wielkość ciśnienia nasycenia  $P_n = 4,2$  bara abs., tj. 3,2 bara nadciśnienia. Wynika stąd, że ciśnienie nasycenia będzie się znajdować na głębokości 98 m od głowicy odwiertu. Ponieważ filtr w odwiercie zaczyna się od głębokości 90 m, pompa nie może być zapuszczona poniżej ciśnienia nasycenia, celem wyeliminowania zjawiska kawitacji występującego w przypadku pomp typu G40 i G60, a także Grundfos.

Podstawowymi parametrami przy doborze pompy jest wydajność wody oraz ciśnienie eksploatacyjne i transportowe wody, na które składają się wysokość geodezyjna, opory przepływu i ewentualne nadciśnienie w separatorze. W rozpatrywanym przypadku, dla zapewnienia ciągłej dostawy wody i CO<sub>2</sub> do odbiorcy, zdecydowano zastosować pompę śrubową typ 1"EVGU(3") o wydajności  $Q = 0,69$  dm<sup>3</sup>/s. Ponieważ ilość wydobywanej i transportowanej cieczy zależy od wymiarów wrzeciona i stojaka oraz obrotów omawianej pompy, ciśnienie wytworzone przez pompę natychmiast dostosowuje się do przeciwcisnienia i może osiągnąć wartości, które spowodują uszkodzenie pompy lub silnika. W związku z powyższym, oprócz dokładnego doboru pompy w zakresie wydajności i ciśnień, w czasie pracy pompy nie należy stosować regulacji przepływu zaworami dławiącymi ani uruchamiać pompy przy zamkniętym przewodzie odpływu.

## 5. WNIOSKI

Eksploatacja wody mineralnej z omawianego przykładowo odwiertu może odbywać się samoczynnie lub, dla bezpieczeństwa, przy wykorzystaniu ciśnienia CO<sub>2</sub> z przestrzeni pierścieniowej odwiertu.

Z uwagi na warunki terenowe usytuowania odwiertu wydobywczego w odniesieniu do odbiorcy wody i gazu korzystniej jest zastosować wydobywanie za pomocą pomp głębinowych.

Obliczone ciśnienie nasycenia, na podstawie wykładnika gazowego i ilości CO<sub>2</sub> rozpuszczonego w wodzie, wynosi 3,2 bara. Ponieważ poziom dynamiczny wody w odwiercie znajduje się na głębokości 66 m od głowicy, dowodzi to, że ciśnienie nasycenia znajduje się na głębokości usytuowania filtru.

Z uwagi na to, że ciśnienie nasycenia znajduje się w filtrze, pompa z konieczności musi być umieszczona w strefie przepływu dwufazowego, narażona jest tym samym na zagazowanie.

Celem wyeliminowania trudności wynikających ze zjawiska kawitacji i zagazowywania się pompy, zastosowano pompę śrubową, która dostarcza wodę i gaz bezpośrednio z odwiertu do separatora znajdującego się w pomieszczeniu u odbiorcy.

## LITERATURA

- [1] Duliński W., Ropa C., Reško D., Szarek W.: *Hydro- i termodynamiczne problemy otworowej eksploatacji wody i CO<sub>2</sub> na przykładzie odwiertu Zuber I w Krynicy*. Zeszyty Naukowe AGH Sozologia i Sozotechnika, z. 35, 1992
- [2] Duliński W., Ropa C.: *Eksploatacja, własności i zagospodarowanie naturalnego dwutlenku węgla*. Zeszyty Naukowe AGH Górnictwo, z. 3, 1994
- [3] Wilk Z.: *Eksploatacja złóż płynnych surowców mineralnych*. Katowice, Wydawnictwo Śląsk 1969
- [4] *Pompy wirowe Gruntfos typ SP. Dokumentacja techniczna*. Warszawa, 1992
- [5] *Samozasysające pompy typu S. Dokumentacja techniczno-ruchowa*. Warszawa, Wydawnictwo Przemysłu Maszynowego WEMA 1975
- [6] *Zespół wgłębny I"EVGU-16-8-GU-80. Instrukcja obsługi i montażu*. SIGMA LUTIN 2005