

Beata KŁOJZY-KARCZMARCZYK*, Artur KARCZMARCZYK**

Zanieczyszczone wody podziemne jako niskotemperaturowe źródło ciepła w systemach grzewczych

STRESZCZENIE. W systemach grzewczych z pompą ciepła istnieje możliwość wykorzystania, jako nośnika energii niskotemperaturowej, wód podziemnych. Przeprowadzone wstępne analizy oraz rozeznanie literaturowe wskazują, że przy racjonalnym wykorzystaniu wód podziemnych w celach energetycznych zagrożenie dla środowiska przyrodniczego jest niewielkie. Woda wykorzystywana w pracy pompy ciepła musi spełniać odpowiednie wymagania odnośnie parametrów fizykochemicznych. W wielu przypadkach okazuje się, że spełnienie takich wymagań jest niemożliwe. Płytko zalegające wody podziemne, pomimo dużych zasobów wydajnościowych ujęcia, często nie spełniają wymogów stawianych parametrom fizykochemicznym. Ze względu na swój charakter, najbardziej zanieczyszczone są wody podziemne zlokalizowane w utworach czwartorzędowych. Istnieje jednak możliwość wykorzystania wody zanieczyszczonej w sposób pośredni, stosując wymiennik pośredni (np. płytowy), który powinien zostać dobrany indywidualnie, w każdym przypadku dla zadanych, mniej korzystnych parametrów wody.

SŁOWA KLUCZOWE: systemy grzewcze, pompy ciepła, wody podziemne

* Dr inż., Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Pracownia Badań Środowiskowych i Gospodarki Odpadami, Kraków.

** Mgr inż., Stiebel Eltron Polska Sp. z o.o., Warszawa.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Eugeniusz MOKRZYCKI

1. Ogólna charakterystyka wykorzystania wód podziemnych jako źródła ciepła

W środowisku przyrodniczym znajdują się olbrzymie naturalne źródła energii o niskim potencjale, niskiej temperaturze. Źródła te mogą być wykorzystane w celach grzewczych, jeżeli ich potencjał energetyczny zostanie przeniesiony, poprzez dostarczenie dodatkowej energii, na wyższy poziom temperatury. Takie możliwości transportu wykazują systemy grzewcze z zastosowaną pompą ciepła. Wykorzystanie pomp ciepła w systemach grzewczych znajduje coraz częściej zastosowanie do ogrzewania budynków oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej, co przyczynia się znacząco do likwidacji niskiej emisji. Realizacja systemów grzewczych z pompą ciepła przyczynia się do wzrostu udziału energii odnawialnej w całkowitym zużyciu energii, co jest jednym z istotnych elementów wypełniania założeń polityki ekologicznej państwa (Kłojzy-Karczmarczyk, Karczmarczyk 2005a).

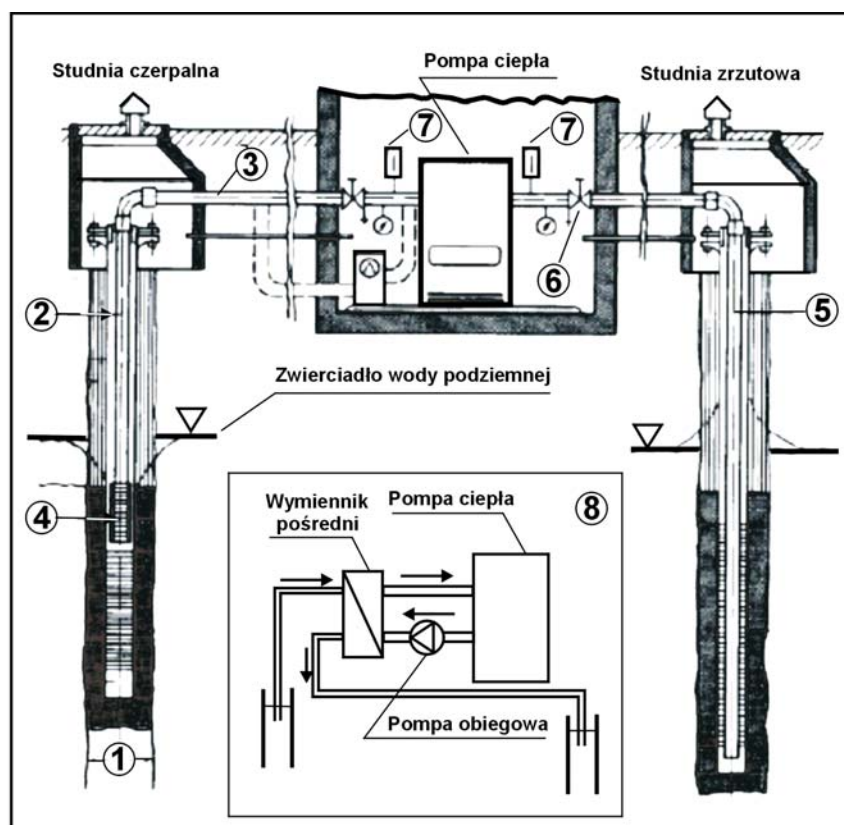
W systemach pracy pomp ciepła (Karczmarczyk 2003) wyróżnia się kilka układów. Jednym z nich jest układ dolnego źródła. Stanowić je może ośrodek (grunt, powietrze, woda) wraz z instalacją, dzięki której pozyskuje się energię ze środowiska niskotemperaturowego. Atrakcyjnym źródłem wykorzystywanym w systemach pracy pomp ciepła jako nośnik i akumulator energii jest woda. Minimalna temperatura wody, jaka może być podawana na pompę ciepła to 7°C, dlatego wody powierzchniowe można wykorzystywać tylko w okresie letnim. Zimą, kiedy zapotrzebowanie na energię znacznie wzrasta nie można wykorzystać wód powierzchniowych ze względu na ich niskie temperatury. Istnieje natomiast możliwość wykorzystania, jako nośnika energii niskotemperaturowej, wód podziemnych.

Generalnie źródło ciepła dla pracy pompy ciepła może stanowić woda o zróżnicowanej temperaturze:

- ✧ woda podziemna (zakres temperatur generalnie na poziomie +8 do +14°C na wejściu do urządzenia),
- ✧ woda powierzchniowa (zakres temperatur generalnie na poziomie +8 do +25°C na wejściu do urządzenia, przy czym maksymalna temperatura wód powierzchniowych uzależniona jest od maksymalnych temperatur powietrza występujących w okresie lata),
- ✧ wody technologiczne (zakres temperatur od +8 do +40°C na wejściu do urządzenia, przy czym maksymalna temperatura zależy od zakresu zastosowania czynnika chłodniczego po stronie odparowania).

Wykorzystanie wód podziemnych w celach energetycznych nasuwa wiele pytań związanych ze zmianą lub brakiem zmian niektórych parametrów fizykochemicznych wody, zachowania się warstw wodonośnych oraz prawidłowych od strony prawnej i technicznej sposobów pozyskiwania tych zasobów. Przeprowadzone wstępne analizy zmian parametrów hydrogeochemicznych oraz szerokie informacje techniczne wskazują, że przy racjonalnym wykorzystaniu wód podziemnych w celach energetycznych zagrożenie dla środowiska przyrodniczego jest niewielkie (Kłojzy-Karczmarczyk, Karczmarczyk 2005b).

Prawidłowy układ systemu woda/woda przy wykorzystaniu wód podziemnych składa się z dwóch studni: studnia eksploatacyjna (ujęcie wody) oraz studnia chłonna (studnia zrzutowa). Odległość pomiędzy studniami dla wydajności w przedziale 1—6 m³/h powinna wynosić około 18—20 m. Jest to odległość, która zapobiega zasysaniu w studni eksploatacyjnej wody schłodzonej, zrzucanej w studni chłonnej. Podstawowe elementy systemu woda/woda przy wykorzystaniu wód podziemnych przedstawiono schematycznie na rysunku 1.



Rys. 1. Podstawowe elementy systemu woda/woda przy wykorzystaniu wód podziemnych
(Materiały Techniczne Stiebel Eltron)

1 - średnica odwiertu (np. przy średnicy filtra 4½" min. 220 mm), 2 — rura tłoczna (hermetyczna i zabezpieczona przed korozją), 3 — rury zasilania i powrotu (zabezpieczone przed korozją i zamarzaniem), 4 — głębiniowa, zanurzeniowa pompa ssąca, 5 — rura opadowa studni zrzutowej wody, 6 — kurki pobierania próbek wody, 7 — termometry, 8 — układ z wymiennikiem pośrednim

Fig. 1. Basic elements of water/water system using the underground waters
(Stiebel Eltron Technical Materials)

1 — well's diameter (e.g. at filter diameter of 4½" min. 220 mm), 2 — delivery pipe (hermetic and protected against corrosion), 3 — supply and return pipes (protected against corrosion and freeze), 4 — deep-well, immerse suction pump, 5 — down - pipe of the well, 6 — water sampling cocks, 7 — thermometer, 8 — indirect exchanger system

Zasady wykorzystania wody podziemnej przez pompę ciepła podlegają między innymi wybranym zapisom ustawy Prawo ochrony środowiska z dnia 27 kwietnia 2001 roku (Dz.U. 2001.62.627 z późn. zmianami), ustawy Prawo geologiczne i górnicze z dnia 4 lutego 1994 roku (Dz.U. 94.27.96 z późn. zmianami) oraz przede wszystkim ustawy Prawo wodne z dnia 18 lipca 2001 roku (Dz.U. 2001.115.1229 z późn. zmianami). Jest to szczególne korzystanie z wód w celach energetycznych. Wykorzystanie wód podziemnych przez pompy ciepła nie stanowi zwykłego korzystania z wód, gdyż nawet przy minimalnej mocy pompy ciepła, wymagany jest pobór wody w ilości większej niż 5 m³ na dobę. W czasie pracy pompy ciepła istnieje ponadto możliwość obniżenia zwierciadła wody podziemnej lub jego spiętrzenia oraz mieszania wód o różnym składzie. Zjawiska takie zachodzą, gdy woda jest pobierana i oddawana w zasięgu różnych warstw wodonośnych. Zmiana warunków hydrodynamicznych spowodowana piętreniem lub obniżaniem zwierciadła wód podziemnych może prowadzić do zawodnienia strefy aeracji, a tym samym powodować rozpuszczenie nagromadzonych tam związków mineralnych, wzrost mineralizacji wód gruntowych oraz długookresowe charakterystyczne procesy glebotwórcze.

2. Wartości graniczne parametrów fizykochemicznych stawiane wodom

Woda wykorzystywana w pracy pompy ciepła musi spełniać odpowiednie wymagania odnośnie parametrów fizykochemicznych (temperatura, pH, przewodność elektrolityczna właściwa, twardość ogólna, obecność agresywnego CO₂, stężenie chlorków, siarczanów, żelaza, manganu). Producenci pomp ciepła stawiają określone, niejednokrotnie bardzo wysokie wymagania co do jakości wody zastosowanej jako układ WQA (dolne źródło pompy ciepła). Tabela 1 przedstawia wartości graniczne parametrów fizykochemicznych jednego z producentów pomp ciepła (Materiały Techniczne Stiebel Eltron Polska Sp z o.o.). Wymagane wartości generalnie są zbliżone do wymaganych rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 19 listopada 2002 roku w sprawie wymagań dotyczących jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. 2002.203.1718).

Biorąc pod uwagę zasoby wód podziemnych z obszaru Polski, zauważa się często, że spełnienie wymogów stawianych parametrom fizykochemicznym dla wód podziemnych nie zawsze jest możliwe. Szczególnie płytko zalegające wody podziemne, pomimo dużych zasobów wydajnościowych ujęcia, nie spełniają wymogów stawianych przez producenta urządzeń. Ze względu na swój charakter, najbardziej zagrożone zanieczyszczeniem są wody podziemne zlokalizowane w utworach czwartorzędowych.

Czwartorzędowe piętro wodonośne stanowi główne i najbardziej powszechne piętro wodonośne na terenie Polski. Znaczne zasoby tych wód zlokalizowane są na obszarze makroregionu wschodniego i zachodniego Niżu Polskiego oraz makroregionu środkowopolskiego. Mniejsze znaczenie utworów tego piętra dla zaopatrzenia w wodę wykazuje

TABELA 1. Wartości graniczne parametrów fizykochemicznych wód zastosowanych jako dolne źródło dla pomp ciepła (Materiały Techniczne Stiebel Eltron)

TABLE 1. Boundary value of physical — chemical parameters of waters used as a lower source for the heat pump (Stiebel Eltron Technical Materials)

Parametr	Seria WPF..., WPF...M. (wymyennik ze stali szlachetnej)	Seria WPW..., WPW...M. (wymyennik ze stali nierdzewnej)	Wartości dopuszczalne dla wód przeznaczonych do picia i na potrzeby gospodarcze [Dz.U. 2002.203.1718]
Wartość pH	6—9	nie wymagane	6,5—9,5
Chlorki Cl	< 300 mg/dm ³	< 300 mg/dm ³	< 250 mg/dm ³
Chlor wolny Cl ₂	< 0,5 mg/dm ³	< 0,5 mg/dm ³	0,1—0,3 mg/dm ³
Azotany NO ₃	< 100 mg/dm ³	nie wymagane	50
Siarczany SO ₄	< 70 mg/dm ³	nie wymagane	150
Wolny kwas węglowy H ₂ CO ₃	< 20 mg/dm ³	nie wymagany	nie określono
Żelazo Fe oraz mangan Mn	< 3 mg/dm ³ *	< 3 mg/dm ³ *	< 0,2 mg/dm ³
Tlen O ₂	< 2 mg/dm ³ **	< 2 mg/dm ³ **	nie określono
Przewodność elektrolityczna	50—1000 μS/cm	nie wymagane	2500 μS/cm

* Wartość obowiązuje pod warunkiem, że na drodze ze studni czerpalnej poprzez pompę ciepła do studni chłonnej, do wody nie dostaje się tlen poprzez nieszczelności w systemie rurowym; tlen prowadzi do wytrącania się żelaza powodując niebezpieczeństwo zamulenia studni chłonnej, z tego powodu rury zasysania i odprowadzenia wody muszą znajdować się stale głęboko poniżej zwierciadła wody podziemnej.

** Warunek ten jest z reguły spełniony; w przypadku wykorzystania środowiska wód otwartych (rzeki, jeziora itd.) należy dokonać sprawdzenia wartości pH i zawartości tlenu „in situ”.

jedynie zapadlisko przedkarpackie, obszar pasa wyżyn środkowopolskich oraz Karpaty i Sudety. Występowanie utworów czwartorzędowych w tych obszarach ograniczone jest do dolin rzecznych, kotlin, zapadlisk tektonicznych oraz struktur kopalnych (Malinowski red. 1991).

Poziomy wodonośne systemu czwartorzędowego występują najczęściej na głębokości od kilkunastu do 50 m, w strukturach kopalnych do ponad 200 m, a w dolinach rzecznych od kilku do kilkunastu metrów (Malinowski red. 1991; Kleczkowski red. 1995). Zbiorniki wód czwartorzędowych, często pozbawione izolacji od powierzchni terenu, stale są narażone na zanieczyszczenie, a jakość wód wykazuje szerokie zróżnicowanie. Cechą charakterystyczną wód zanieczyszczonych jest wysoka mineralizacja (przewodność elektrolityczna właściwa) oraz podwyższone zawartości związków żelaza, manganu, siarczanów, a niekiedy też wysoka twardość wody i intensywna barwa. Stężenia poszczególnych składników często przekraczają wartości dopuszczalne dla wód przeznaczonych do picia i na potrzeby gos-

podarcze, zgodnie z rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 19 listopada 2002 roku. Zanieczyszczone wody podziemne mogą być ujmowane w celach gospodarczych dopiero po skutecznie przeprowadzonym procesie uzdatnienia.

3. Znaczenie wymiennika pośredniego w systemie pompy ciepła

Ogólnie rosnące zainteresowanie wykorzystaniem wód podziemnych w celach energetycznych w systemach pomp ciepła skłania do rozważenia możliwości wykorzystania wód zanieczyszczonych jako nośnika energii niskotemperaturowej. Szczęólnego znaczenia w tym aspekcie nabiera wykorzystanie podziemnych wód zanieczyszczonych, zalegających na głębokościach do około 30 m, ze względu na korzystny bilans energetyczny (pobór mocy elektrycznej przez pompę głębinową).

W wielu przypadkach okazuje się, że spełnienie wymagań producenta pomp ciepła pod kątem parametrów fizykochemicznych wód podziemnych jest nierealne. Istnieje jednak możliwość wykorzystania wody zanieczyszczonej w sposób pośredni, stosując wymiennik pośredni (np. płytowy), który powinien zostać dobrany indywidualnie, w każdym przypadku w odniesieniu do zadanych, mniej korzystnych parametrów wody.

Zastosowane wymienniki płytowe muszą zostać przystosowane do zmiennych, indywidualnych warunków każdego systemu. W praktyce stosuje się często wymienniki płytowe skręcane. Takie rozwiązanie umożliwia, w razie konieczności, okresowe czyszczenie wymiennika.

Stosując układ z wymiennikiem pośrednim (rys. 1) istnieje możliwość odizolowania niekorzystnych warunków pozyskiwania ciepła ze środowiska zanieczyszczonych wód podziemnych. Zastosowanie wymiennika pośredniego, pomimo dodatkowych kosztów, jest korzystne szczególnie dla średnich i większych mocy grzewczych (wydajność warstwy wodonośnej na poziomie od kilku do kilkunastu m³/h), ze względu na wysoką średnioroczną temperaturę źródła ciepła (temperatura wód podziemnych) na poziomie około 8—10°C.

Podsumowanie i wnioski

Woda jest atrakcyjnym źródłem wykorzystywanym w systemach pracy pomp ciepła, a jako nośnik i akumulator energii wykorzystywana jest woda podziemna, powierzchniowa lub technologiczna. Wykorzystanie wód podziemnych przez pompy ciepła prowadzi do obniżenia temperatury wody powracającej do środowiska w zakresie 3—5°. Przeprowadzone wstępne analizy zmian parametrów hydrogeochemicznych oraz szerokie informacje

techniczne wskazują, że przy racjonalnym wykorzystaniu wód podziemnych w celach energetycznych zagrożenie dla środowiska przyrodniczego jest niewielkie.

Woda wykorzystywana w pracy pompy ciepła musi spełniać odpowiednie wymagania dotyczące parametrów fizykochemicznych. W wielu przypadkach okazuje się, że spełnienie takich wymagań jest niemożliwe. Płytko zalegające wody podziemne, pomimo dużych zasobów wydajnościowych ujęcia, nie spełniają wymogów stawianych dla parametrów fizykochemicznych. Ze względu na swój charakter, najbardziej zanieczyszczone są wody podziemne zlokalizowane w utworach czwartorzędowych.

Zastosowanie układu z wymiennikiem pośrednim pozwala na wyeliminowanie niekorzystnych warunków pracy pompy ciepła. Realne jest wykorzystywanie wody zanieczyszczonej w sposób pośredni, stosując np. wymiennik płytowy, który powinien zostać dobrany indywidualnie, w każdym przypadku przy uwzględnieniu zadanych, mniej korzystnych parametrów wody.

Notowany ciągły wzrost ceny paliw (gaz, olej) stosowanych w tradycyjnych systemach grzewczych oraz postanowienia Unii Europejskiej w zakresie pozyskiwania źródeł odnawialnych stanowią przesłankę do wykorzystania zanieczyszczonych wód podziemnych jako niskotemperaturowego źródła ciepła dla potrzeb WQA, jako odnawialnego, niekonwencjonalnego źródła energii. Istotne znaczenie w tym procesie mogą odegrać zanieczyszczone wody podziemne, które w tradycyjnym ujęciu hydrogeologicznym, jako źródło wody pitnej, mogą być stosowane dopiero po skutecznie przeprowadzonym procesie uzdatniania.

Literatura

- KARCZMARCZYK A., 2003 — Pompa ciepła a projektowanie nowych systemów grzewczych. *Polski Instalator* 6/2003, s. 12—15.
- KLECKOWSKI A.S. (red), 1995 — Mapa obszarów Głównych Zbiorników Wód Podziemnych (GZWP) w Polsce wymagających szczególnej ochrony. Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH, Kraków.
- KŁOJZY-KARCZMARCZYK B., KARCZMARCZYK A., 2005a — Systemy grzewcze z pompą ciepła jako element realizacji założeń programów ochrony środowiska. *Polityka Energetyczna* t. 8, z. spec., s. 517—525, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- KŁOJZY-KARCZMARCZYK B., KARCZMARCZYK A., 2005b — Wskaźniki nasycenia wód względem wybranych faz mineralnych przy zmianie temperatury z zastosowaniem pomp ciepła. *Współczesne Problemy Hydrogeologii*, tom XII, s. 811—813, Wyd. Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń.
- MALINOWSKI J. (red.), 1991 — Budowa geologiczna Polski, tom VII — Hydrogeologia. Wyd. Geol., Warszawa.
- Materiały Techniczne Stiebel Eltron Polska Sp. z o.o.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 19 listopada 2002 roku w sprawie wymagań dotyczących jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. 2002.203.1718).
- Ustawa Prawo geologiczne i górnicze z dnia 4 lutego 1994 roku z późniejszymi zmianami (Dz.U. 94.27.96 z późn. zmianami).

Ustawa Prawo ochrony środowiska z dnia 27 kwietnia 2001 roku z późniejszymi zmianami (Dz.U. 2001.62.627 z późn. zmianami).

Ustawa Prawo wodne z dnia 18 lipca 2001 roku z późniejszymi zmianami (Dz.U.2001.115.1229 z późn. zmianami).

Beata KLOJZY-KARCZMARCZYK, Artur KARCZMARCZYK

Contaminated underground waters as low-temperature source of heat in the heating systems

Abstract

The possibility of underground waters utilization as a low-temperature energy carrier exists in the heating systems using the heat pump. Preliminary analyses show that the efficient use of underground waters for energy purposes does not cause great environmental hazard. Water used in the heat pump must meet suitable requirements concerning physical–chemical parameters. In many cases it is impossible. Shallow underground waters, in spite of great intake efficiency, do not meet the requirements for physical–chemical parameters. Underground waters accumulated in Quaternary formations are mostly polluted. There is a possibility, however, to use the water in indirect way, applying the indirect exchanger (e.g. plate heat exchanger), which should be selected individually in each case for lesser favourable water parameters.

KEY WORDS: heating systems, heat pumps, underground waters