



INSTRUKCJA SZKOLENIOWA GEOTRAINET

DLA

**FIRM WIERTNICZYCH
PŁYTKICH SYSTEMÓW GEOTERMALNYCH**



Geo-edukacja dla rynku zrównoważonego ogrzewania i chłodzenia geotermalnego

Projekt: IEE/07/581/S12.499061



INSTRUKCJA SZKOLENIOWA GEOTRAINET DLA FIRM WIERTNICZYCH PŁYTKICH SYSTEMÓW GEOTERMALNYCH

**Geo-edukacja dla rynku zrównoważonego
ogrzewania i chłodzenia geotermalnego**

Projekt: IEE/07/581/SI2.499061

Zebrane i zredagowane przez Europejską Radę Energii Geotermalnej

ISBN: 978-2-9601071-1-1

Opublikowano przez GEOTRAINET, Bruksela 2011

Niniejszą instrukcję zaplanowano jako część kursu szkoleniowego z geotermii powiązanego z demonstracją i doświadczeniem praktycznym.

Instrukcja została sporządzona przez GEOTRAINET.

Jest ona wspierana przez program Intelligent Energy Europe, lecz nie musi odzwierciedlać poglądów IEE.

© GEOTRAINET, BRUKSELA, 2011

PODZIĘKOWANIA

Niniejsza instrukcja została sporządzona dla projektu GEOTRAINET IEE/07/581/SI2.499061, sfinansowanego przez IEE. Szczególnie wdzięczni jesteśmy kursantom, którzy uczęszczali na różne kursy szkoleniowe i przyczynili się do uzupełnienia informacji zawartych w instrukcji podczas trwania projektu. Pragniemy również podziękować następującym ekspertom z dziedziny geotermii za ich wkład w publikację niniejszej instrukcji szkoleniowej:

PARTNERZY

Europejska Federacja Geologów: *Isabel Fernandez Fuentes (Koordynator projektu), Ruth Allington (GWP), Manuel Regueiro (ICOG), Dirk De Coster (VDC MILIEU ADVIES), David Norbury (David Norbury Ltd.), Iñigo Arrizabalaga (TELUR), Jorge Garcia (Webmaster).*

Europejska Rada Energii Geotermalnej: *Philippe Dumas, Burkhard Sanner, Walter J Eugster (POLYDYNAMICS), Jörg Uhde.*

Arsenal Research, Austria: *Marcello Farabegoli, Stefan Stumpf, Gundula Tschernigg, Christine Lengauer.*

BRGM, Francja: *Florence Jaudin, Pascal Monnot.*

GT Skills, Irlandia: *Gareth Ll. Jones, Paul Sikora (ECOCUTE), Pdraig Briody (BRIODY), Roisin Goodman (SLR), Maureen McCorry.*

Romanian Geoexchange Society, Rumunia: *Doinita Cucueteanu, Radu Polizu, Alex Aposteanu, Robert Gavriluc (UTCb).*

ASA Geoexchange, Rumunia: *Radu Hanganu-Cucu.*

Universidad Politécnica de Valencia, Hiszpania: *Javier F. Urchueguía.*

Uniwersytet Lund, Szwecja: *Olof Andersson (SWECO), Göran Hellström, Kjell Carlsson (GEOBORR GEOENERGI).*

Uniwersytet Newcastle, Zjednoczone Królestwo: *David Banks (HOLYMOOR), Cath Gandy, Adam Jarvis.*



Podręcznik pt.

GeoTrainet Training Manual for Drillers of Shallow Geothermal Systems
Instrukcja Szkoleniowa GeoTrainet dla Firm Wiertniczych Płytkich Systemów Geotermalnych

Podręcznik powstał w roku 2011 w wyniku realizacji projektu GeoTrainet, no. IEE/07/581/S12.499061. W ramach realizacji projektu Geothermal4PL został przetłumaczony z oryginału w języku angielskim na język polski na podstawie umowy licencyjnej z dnia 7.07.2017 ze stowarzyszeniem non-profit GeoTrainet AISBL z siedzibą w Brukseli. Tłumaczenie wykonała firma Lingua Lab z Krakowa, natomiast specjalistyczną korektę techniczną wykonał Maciej Kłonowski z zespołu projektowego oraz Polska Organizacja Rozwoju Technologii Pomp Ciepła.

Podręcznik stanowi najobszerniejszy opis dobrych praktyk stosowanych w wykonawstwie otworów wiertniczych dla płytkich systemów geotermalnych w wybranych krajach Unii Europejskiej w okresie realizacji projektu GeoTrainet, tj. w latach 2008-2011. Udostępnienie podręcznika w języku polskim przyczyni się do ujednolicenia standardów i poprawy jakości usług w branży płytkiej geotermii w Polsce.

Podręcznik nie stanowi zbioru obowiązujących przepisów prawa w Polsce, a Partnerzy projektu Geothermal4PL nie ponoszą żadnej odpowiedzialności prawnej w przypadku stosowania zawartych w nim treści w praktyce.

Podręcznik udostępniony jest wszystkim interesariuszom projektu Geothermal4PL w wersji z dnia 27.11.2017. Wszelkie uwagi co do treści podręcznika prosimy zgłaszać do zespołu projektu drogą e-mailową, pod adresem: geothermal4pl@pgi.gov.pl.

Warszawa, 27.11.2017

Geothermal4PL

Wsparcie zrównoważonego rozwoju i wykorzystania płytkiej energii geotermalnej na terenie obszarów objętych programem Mieszkanie Plus w Polsce

Support for sustainable development and use of shallow geothermal energy within the areas of the Mieszkanie Plus Programme in Poland

Beneficient / Beneficiary: Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy

Partner Norweski / Norwegian Partner: Christian Michelsen Research AS

Projekt Geothermal4PL, nr umowy 102/2017/Wn50/OA-XN-04/D, jest finansowany z Mechanizmu Finansowego EOG 2009-2014 w ramach Funduszu Współpracy Dwustronnej (FWD), Program PL04 "Oszczędzanie energii i promowanie odnawialnych źródeł energii".

Project Geothermal4PL, contract no 102/2017/Wn50/OA-XN-04/D, is financed by the EEA Financial Mechanism 2009-2014 within the framework of the Bilateral Cooperation Fund (BCF), Programme PL04 "Energy saving and promotion of renewable sources of energy".

Operatorami Programu w Polsce są Ministerstwo Środowiska i Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

The operators of the Programme in Poland are Ministry of Environment and National Fund for Environmental Protection and Water Management.

Warszawa, 27.11.2017

Spis treści

SEKCJA A. WSTĘP

ROZDZIAŁ 1. Przegląd płytkich systemów geotermalnych. *Burkhard Sanner*

ROZDZIAŁ 2. Ograniczenia. *Olof Andersson*

SEKCJA B. TEMATY OGÓLNE

ROZDZIAŁ 3. Płytkie konfiguracje i zastosowania geotermalne. *Olof Andersson*

ROZDZIAŁ 4. Warunki brzegowe. *Olof Andersson*

ROZDZIAŁ 5. Geologia. *Iñigo Arrizabalaga*

ROZDZIAŁ 6. Metody wiercenia. *Olof Andersson*

ROZDZIAŁ 7. Wiercenia próbne i pomiary podczas wiercenia. *Olof Andersson*

ROZDZIAŁ 8. Kwestie środowiskowe. *Olof Andersson*

SEKCJA C. ELEMENTY CHARAKTERYSTYCZNE DLA SYSTEMÓW ZAMKNIĘTYCH

ROZDZIAŁ 9. Otworowe wymienniki ciepła. *Burkhard Sanner*

ROZDZIAŁ 10. Instalacja i cementowanie. *Walter J. Eugster*

ROZDZIAŁ 11. Kontrola funkcji i jakości. *Walter J. Eugster*

SEKCJA D. ELEMENTY WŁAŚCIWE DLA SYSTEMÓW O UKŁADZIE OTWARTYM

ROZDZIAŁ 12. Typy warstw wodonośnych i ich właściwości. *Olof Andersson*

ROZDZIAŁ 13. Metody projektowania i konstrukcji odwiertów. *Olof Andersson*

ROZDZIAŁ 14. Instalacje w odwiertach. *Olof Andersson*

ROZDZIAŁ 15. Problemy i konserwacja. *Olof Andersson*

Lista autorów

Burkhard Sanner, EGEc, b.sanner@egec.org

Olof Andersson, SWECO, Szwecja, olof.andersson@sweco.se

Walter J. Eugster, Polydynamics, Szwajcaria, wje@polydynamics.ch

Iñigo Arrizabalaga, Telur Geotermia y Agua, S.A., Hiszpania, iarrizabalaga@telur.es

Literatura

Rekomenduje się skorzystanie z następujących źródeł:

McCorry, M., Jones, G.LI. (red.) 2011. *Geotrainet Training Manual for Designers of Shallow Geothermal Systems*. Geotrainet, European Federation of Geologists, Brussels. 192 str.

Sanner B. 2011. *Overview of shallow geothermal systems*. W: McCorry, M., Jones, G. LI. (red.) 2011. *Geotrainet Training Manual for Designers of Shallow Geothermal Systems*. Geotrainet, European Federation of Geologists, Brussels. 7-14

Oświadczenie

Wydawca i redaktorzy oraz osoby uczestniczące w opracowaniu tej instrukcji nie gwarantują, że jej zawartość jest kompletna lub pod każdym względem precyzyjna. Udostępniają oni tę instrukcję pod warunkiem, że nie będą ponosić odpowiedzialności za wszelkie zobowiązania powstałe z wszystkich czynności lub zaniechań wynikających z jej zawartości.

Okładka

Fotografia na okładce przedniej i tylnej: EGEc Members

Sekcja A:

Wstęp

ROZDZIAŁ 1

PRZEGLĄD PŁYTKICH SYSTEMÓW GEOTERMALNYCH

Autor: Burkhard Sanner

1. WSTĘP

Energia geotermalna, w odbiorze społecznym, jest często kojarzona z energią wulkanów i gejzerów. Jednakże, poza tymi spektakularnymi przejawami, istnieje również jej bardziej skromne oblicze. Przepływ ciepła geotermalnego z głębszych partii litosfery na powierzchnię nie jest zasadniczo odczuwany przez ludzi, chociaż sięga on około 40 TW mocy cieplnej, ostatecznie wysyłanej w przestrzeń kosmiczną. Wzrost temperatury w kierunku dolnym, ku głębszym warstwom naszej planety, wynosi średnio 3 K na każde 100 m głębokości, przy czym w przypadku anomalii geotermalnych ten wzrost ulega podwojeniu lub potrojeniu.

Ze względów zarówno technicznych, jak i administracyjnych oraz regulacyjnych, konieczne jest precyzyjne zdefiniowanie pojęcia „energia geotermalna”. Na podstawie doświadczeń niemieckich, Europejska Rada Energii Geotermalnej (EGEC) przyjęła definicję granicy dla geotermii jako powierzchnię stałą ziemi. Od lipca 2009 jest ona po raz pierwszy zawarta w ustawach legislacyjnych UE; Dyrektywa UE 2009/28/EC dotycząca promocji odnawialnych źródeł energii podaje:

Art.2:

Stosuje się również następujące definicje:

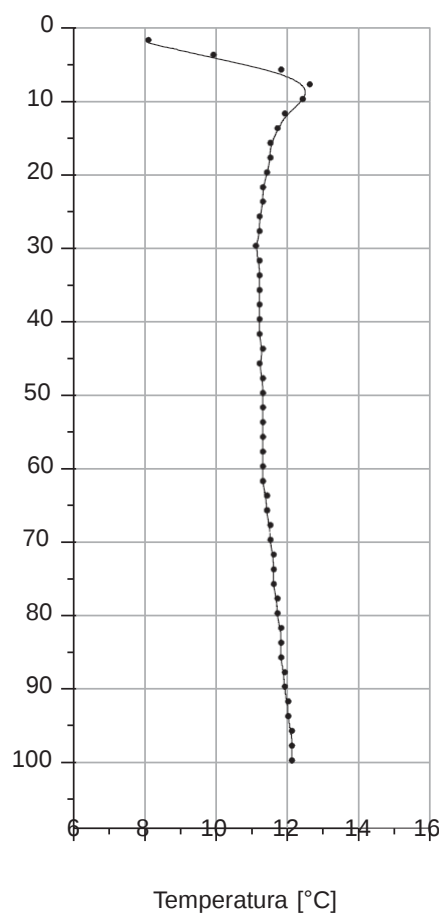
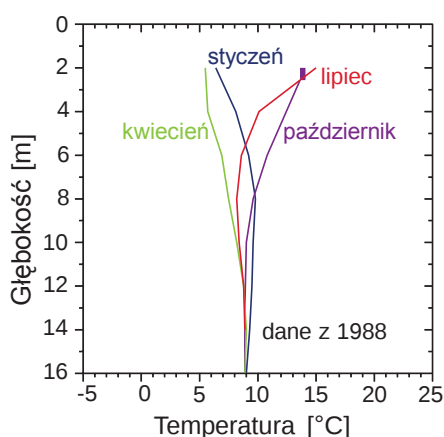
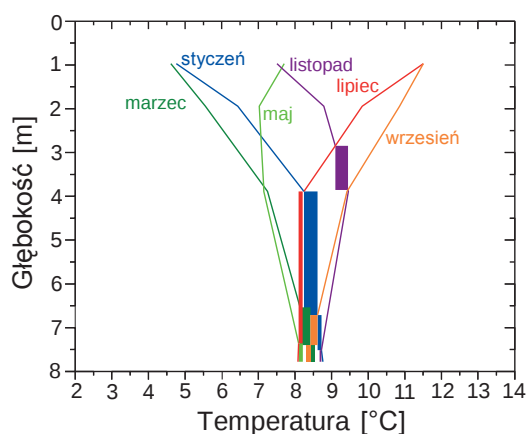
(c) „energia geotermalna” oznacza energię składowaną w postaci ciepła pod powierzchnią ziemi.

Rozróżnienie pomiędzy płytką i głęboką geotermią nie jest zdefiniowane. Historycznie stosowana jest głębokość ok. 400 m, odwołująca się do szwajcarskich propozycji z lat 80-tych ub. w. Ogólnie, płytkie systemy geotermalne mogą być uznane jako te, które nie cechują się wyższymi temperaturami, typowymi jedynie na znacznej głębokości, lecz w których stosuje się rozwiązania techniczne celem wykorzystania względnie niskich temperatur, dostępnych w górnych części skorupy ziemskiej o miąższości około 100 m lub więcej. W Ameryce Północnej technologia płytkiej geotermii określana jest również terminem „geo-wymiana”.

Dla płytkiej geotermii, niezaburzona temperatura podłoża, która stanowi podstawę dla poboru lub iniekcji ciepła, waha się pomiędzy $<2^{\circ}\text{C}$ a $>20^{\circ}\text{C}$, w zależności od warunków klimatycznych w regionie i głębokości otworu wiertniczego.

Istnieją dwie opcje wykorzystania stałych, niskich temperatur podłoża:

- zwiększenie lub zmniejszenie temperatury ciepła geotermalnego do poziomu użytkowego za pomocą pomp ciepła (gruntowe pompy ciepła, GSHP),
- podziemne magazynowanie energii cieplnej, UTES.

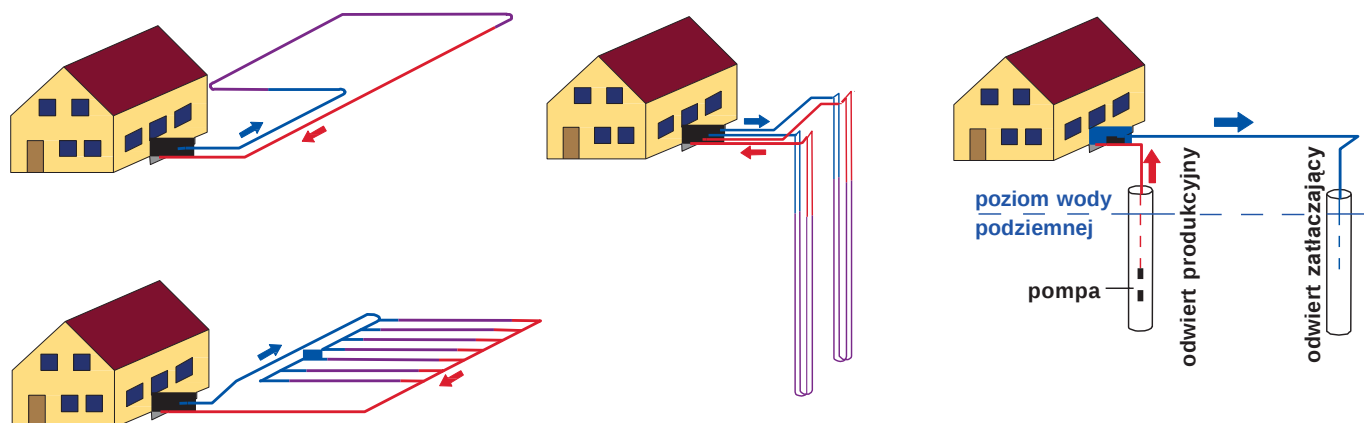


Rys. 1. Kształtowanie się stałych temperatur w „strefie neutralnej” na głębokości 10–20 m i kształtowanie się temperatur do głębokości 100 m (przeciwnie do ruchu wskazówek zegara od górnego lewego rogu): pomierzone w Obserwatorium Królewskim w Edynburgu, średnia z lat 1838–1854 (wg danych Everetta, 1860); pomierzone w polowej stacji testowej otworowego wymiennika ciepła w Schwalbach, Niemcy; przed TRT w Niemczech, 2007 (dzięki uprzejmości UBeG GbR)

Różne płytkie geotermalne metody przekazywania ciepła od lub do gruntu obejmują:

- poziome gruntowe wymienniki ciepła głębokość 1,2–2,0 m (układy poziome),
- pionowe (otworowe) wymienniki ciepła głębokość 10–250 m (układy pionowe),
- strumienie energii głębokość 5–45 m,
- systemy otwarte oparte na studniach ujmujących wody podziemne głębokość 4–>50 m,
- systemy otwarte oparte na wodzie z kopalń i tuneli.

Systemy wykorzystujące wymiennik ciepła zainstalowany w podłożu gruntowym zwane są również systemami „zamkniętymi”, natomiast systemy wykorzystujące wodę podziemną i wyposażone w wymiennik ciepła (np. parownik) na powierzchni terenu nazywane są systemami „otwartymi”. Schematy tych sposobów pokazano na rysunku 2, a zalety i wady systemów zamkniętych i otwartych wymieniono w tabeli 1.



Rys. 2. Schematyczny diagram większości popularnych metod gruntowych (od lewej): układy poziome, BHE (układy pionowe) i studnie wód podziemnych

Tabela 1. Podstawowe kryteria transportu ciepła i zalety/wady związane z systemami otwartymi lub zamkniętymi

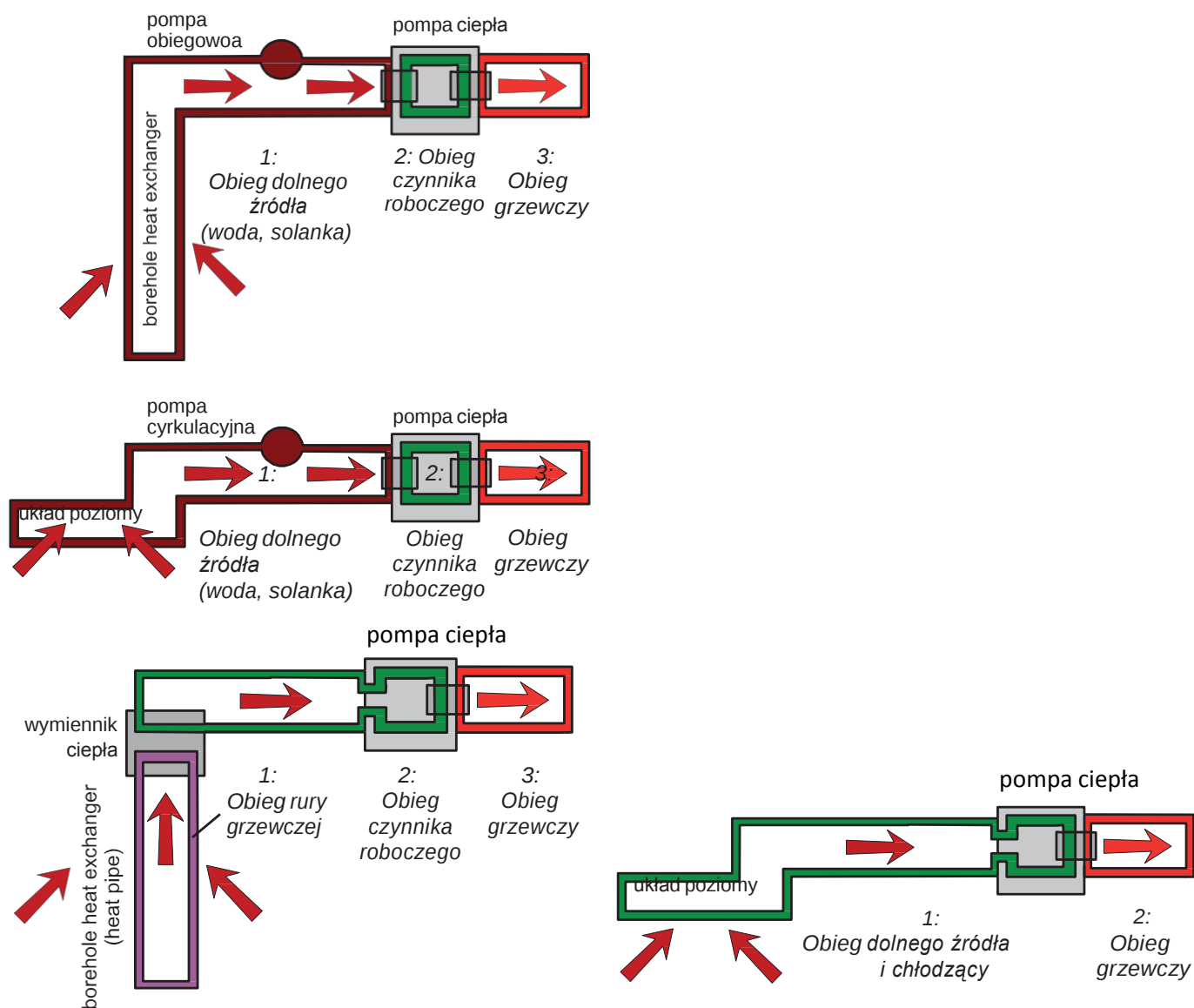
Systemy otwarte wykorzystujące wody podziemne	Systemy zamknięte z pionowym (otworowym) wymiennikiem ciepła (pionowe GWC)
Transport ciepła od powierzchni do odwiertu lub vice versa przez różnicę ciśnień (pompowanie)	Transport ciepła od powierzchni do pionowych GWC lub vice versa przez różnicę temperatur
Zalety: wysoka wydajność przy względnie niskim koszcie wykonania względnie wysoki poziom temperatury źródła ciepła / niski poziom źródła chłodu	Zalety: bez regularnej konserwacji bezpieczny w użytkowaniu może być stosowany praktycznie wszędzie
Wady: konieczność utrzymania odwiertu(ów) w odpowiednim stanie technicznym wymaga warstwy wodonośnej o wystarczającej wydajności właściwości chemiczne wody muszą być określone	Wady: ograniczona wydajność z otworu wiertniczego względnie niski poziom temperatury źródła ciepła / wysoki poziom źródła chłodu

O ile rysunek 2 przedstawia zewnętrzną postać różnych opcji gruntowych, o tyle rysunek 3 pokazuje szczegóły układów wewnętrznych dostępnych dla zamkniętych płytkich systemów geotermalnych. Różnią się one typem nośnika ciepła w obiegu gruntowym i sposobem, w jaki obieg ten jest sprzężony z obiegiem chłodniczym pompy ciepła. Najpopularniejszym układem jest wykorzystanie płynu jako nośnika ciepła (najczęściej woda z dodatkiem środka zapobiegającego zamarzaniu), który krąży w układzie gruntowym dzięki pracy pompy obieguowej.

Systemy bezpośredniego odparowania charakteryzują się rozszerzeniem obiegu chłodniczego do układu gruntowego, tj. nośnik ciepła jest medium roboczym pompy ciepła, a wewnątrz układu gruntowego zachodzi przepływ dwufazowy (ciecz/para). W praktyce, bezpośrednie odparowanie (DX) zostało zastosowane z sukcesem w GSHP z układem poziomym, podczas gdy połączenie z układami pionowymi wywołało problemy z powrotem oleju do sprężarki itd. Zaletą systemu DX polega na braku pompy cyrkulacyjnej i strat wymiany ciepła między obiegiem gruntowym i obiegiem czynnika (np. roztworu glikolu); jednakże, część energii dla obiegu czynnika roboczego przez układ gruntowy musi być zapewniona przez sprężarkę pompy ciepła.

Rury cieplne (Heat pipe) zbudowane są z dwufazowego systemu wewnątrz pojedynczej pionowej rury. Czynnik roboczy z niską temperaturą wrzenia jest odparowany przez pobrane ciepło z gruntu w dolnym odcinku rury.

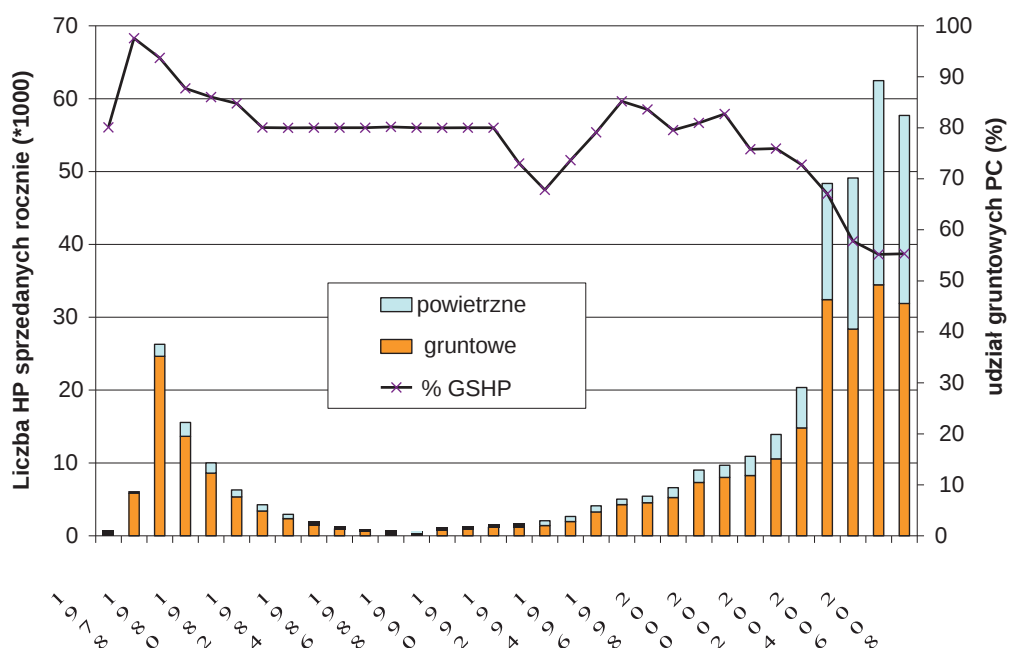
Powstała para wznosi się do szczytu rury ze względu na jej mniejszą gęstość i przenosi ciepło do obiegu chłodzenia przez wymiennik ciepła. Tym samym para ogrzewa się i ponownie skrapla, przepływając ponownie w postaci ciekłej po ścianie rury ku spodowi rury. O ile systemy solankowe i DX mogą być stosowane zarówno do ogrzewania i chłodzenia, o tyle rura grzewcza służy jedynie do celów ogrzewania, gdyż ciepło nie może być transportowane w dół do gruntu (siła napędzająca jest zapewniona przez grawitację, która działa tylko w jednym kierunku).



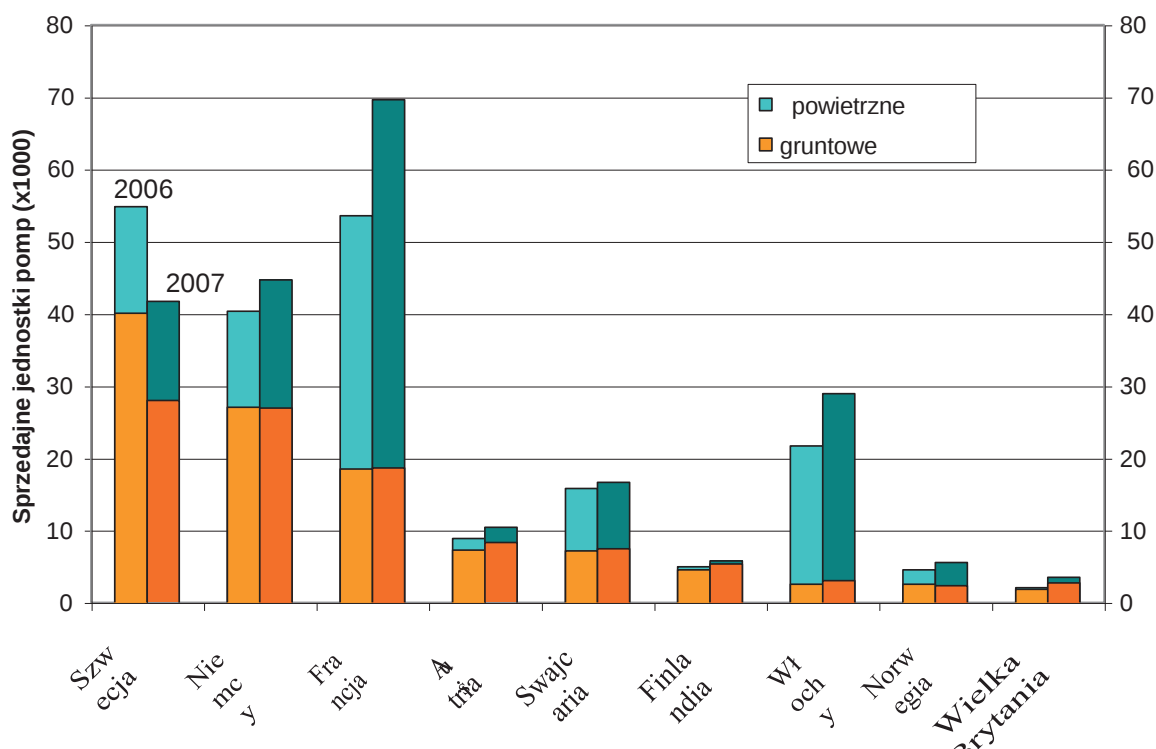
Rys. 3. Możliwe obiegi układów gruntowych: obieg płynu (roztworu glikolu) dla układów pionowych i poziomych (góra i lewo–środek), obwód rurki cieplnej dla układu pionowego (lewo dół) i obwód bezpośredniego parowania (DX) dla układu poziomego (prawo dół)

Najstarszy przykład GSHP w literaturze pochodzi z 1945 r. z Indianapolis (USA) i dotyczy systemu DX z układami poziomymi (Crandall, 1945). Już w 1947 r. artykuł Kemlera przedstawił wszystkie podstawowe konfiguracje GSHP, jakie stosujemy dzisiaj. W Europie (Austria, Niemcy, Szwecja, Szwajcaria) pierwsze GSHP ze studniami wód gruntowych i układy poziome pojawiły się około 1970 r., a pierwsze pionowe GWC przed 1980 r.

Po krótkim boomie w tych krajach około 1980 r., powiązany z drugim kryzysem cen ropy naftowej, rozwój w Europie był powolny w latach 80-tych i 90-tych ub. w., za wyjątkiem Szwecji i Szwajcarii.



Rys. 4. Rozwój sprzedaży pomp ciepła w Niemczech (wg danych z BWP i GtV-BV)



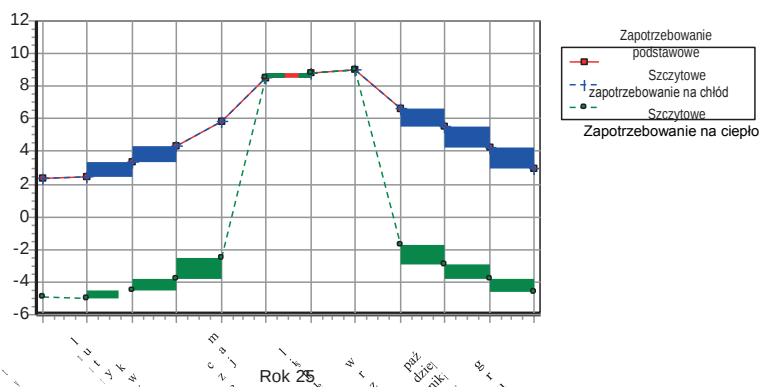
Rys. 5. Sprzedaż pomp ciepła w 2006 i 2007 r. w niektórych krajach Europy (wg danych z EHPA)

Od około 2000 r. silny rozwój rynku zaobserwowano w Niemczech (Rys. 4), następnie we Francji, a w 2010 r. technologia GSHP rozszerzyła się na wszystkie kraje UE. Rysunek 5 przedstawia jednostki pomp ciepła sprzedawane w niektórych krajach europejskich w 2006 i 2007 r., z czego wynika wysoki udział gruntowych pomp ciepła GSHP w regionach chłodniejszych oraz przewaga powietrznych pomp ciepła w krajach cieplejszych (Francja, Włochy).

Cały materiał potrzebny dla GSHP o odpowiednio wysokiej jakości jest dziś dostępny u producentów: prefabrykowane pionowe GWC, materiał wypełniający, rury tranzytowe, rury dobiegowe, pompy ciepła (Rys. 6). Dostępne są sposoby ustalania parametrów gruntowych (termicznych i hydraulicznych) (Rys. 7), opracowano zasady projektowania i metody obliczeniowe, zaś krajowe wytyczne i standardy wyznaczają ramy dla niezawodnych i trwałych instalacji.



Rys. 6. Przykłady produktów dla gruntowych PC: prefabrykowane pionowe GWC, przetestowane i doręczone na plac budowy (Foto: po lewej – Haka, środek – Rehaus)



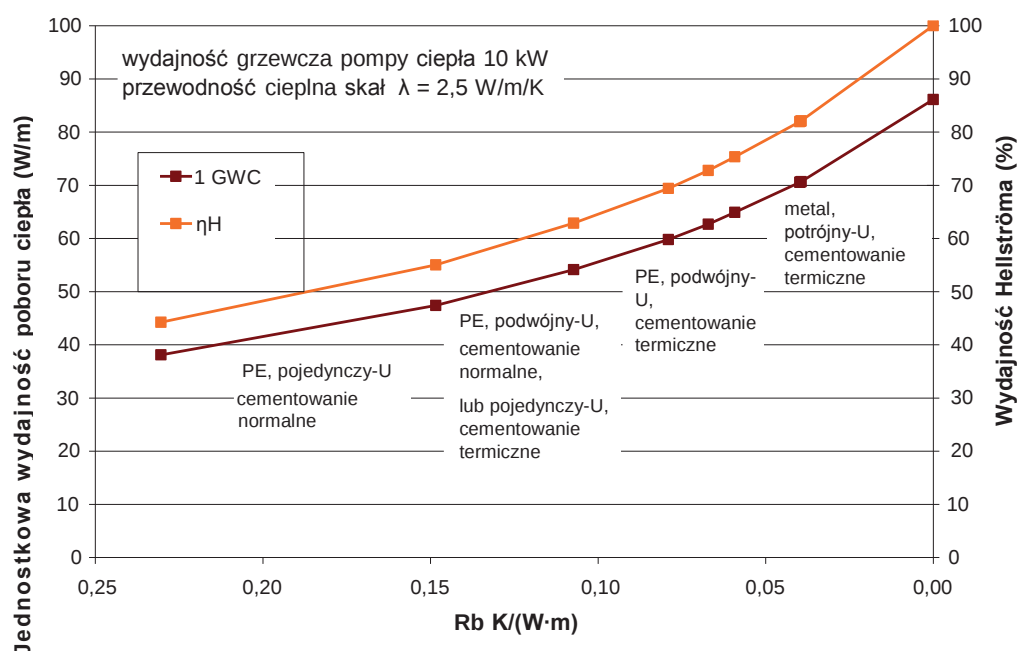
Rys. 7. Przykład testu reakcji termicznej dla ustalenia parametrów gruntowych (po lewej) i kalkulacja schematu pionowych GWC z użyciem oprogramowania EED (po prawej)

Przydatnym narzędziem dla porównywania różnych instalacji pionowych GWC jest jednostkowa wydajność poboru ciepła. Jest to maksymalna pojemność cieplna na parowniku pompy ciepła (wydajność chłodnicza) podzielona przez całkowitą długość pionowych GWC, podana w watach na metr długości pionowego GWC (W/m). W Europie we wczesnych latach 80-tych ub.w. standardowo w Niemczech przyjmowano wartość 50 W/m, zaś dla Szwajcarii 55 W/m. Wartości te były wówczas stosowane dla projektowania gruntowych PC w budownictwie mieszkaniowym zaś 50 W/m jest nadal stosowane dzisiaj jako zasada obowiązująca w przybliżeniu dla wielu mniejszych instalacji! Rzeczywisty właściwy pobór ciepła możliwy dla konkretnego projektu w dużym stopniu zależy od warunków gruntowych (przewodność cieplna), wymagań systemu (godzin pracy), wielkości systemu (ilość i odległość pionowych GWC, interferencja) itd. (Sanner, 1999). Co za tym idzie, system pionowych GWC nigdy nie powinien być projektowany w oparciu o zasadę poboru ciepła równego 50 W/m, a wartość właściwego poboru ciepła winna być stosowana jedynie dla porównania po dokonaniu dokładnej kalkulacji projektowej.

Ostatnio producenci niektórych nowych typów pionowych GWC twierdzą, że osiągnęli wartość właściwego poboru ciepła powyżej 100 W/m (najwyraźniej niezależnie od wszelkich właściwości cieplnych panujących w gruncie). Zastosowanie prostych rozważań pozwala na sprawdzenie prawdziwości takich deklaracji.

Transport ciepła w systemie pionowego GWC może być podzielony na dwa etapy:

- transport w niezaburzonym gruncie wokół otworu wiertniczego (uzależniony głównie od przewodności cieplnej gruntu k)
- transport od ściany otworu wiertniczego do płynu wewnątrz rur, uzależniony od typu cementowania, materiału rury, geometrii otworu wiertniczego itd., wyznaczony jako sumaryczny parametr R_b (opór cieplny otworu wiertniczego).



Rys. 8. Jednostkowa wydajność poboru ciepła (brązowa krzywa) i wydajności Hellströma (pomarańczowa krzywa)

jako funkcja oporności otworu wiertniczego dla różnych typów pionowych GWC w typowym domu jednorodzinnym w średnich warunkach gruntowych; z dobranymi parametrami; maksymalna jednostkowa wydajność poboru ciepła w teoretycznym maksimum $\eta H = 100$ nie może przekroczyć ok. 85 W/m

Jednostkowa wydajność poboru ciepła pionowego GWC może być jedynie policzona dla określonej instalacji, biorąc pod uwagę wszystkie parametry wymienione powyżej. Nowa konstrukcja pionowego GWC reklamowana jako wersja udoskonalona może jedynie wpłynąć na poprawę parametrów wnętrza otworu wiertniczego, dając niższą wartość R_b . Najlepszym pionowym GWC byłby system z oporem cieplnym $R_b = 0$ K/(W·m), tzn. samoczynnym transferem ciepła między ścianą otworu wiertniczego a płynem. Można to osiągnąć jedynie teoretycznie, lecz może on działać jako punkt odniesienia dla ustalenia wydajności rzeczywistego systemu pionowego GWC. Wydajność ta zwana jest wydajnością Hellströma i podana jest jako:

$$\eta H = \text{trwały pobór ciepła możliwy w konkretnym projekcie/pobór ciepła z } R_b = 0$$

gdzie: $\eta H = 100$ dla teoretycznego maksimum (Rys. 8).

Bibliografia

Crandall, A.C. 1946. House Heating with Earth Heat Pump. *Electrical World*, 126/19, 94–95, New York.

Everett, J.D. 1860. On a method of reducing observations of underground temperatures. *Trans. Royal Society Edinburgh*, Vol. XXII, Part II, 429–439, Edinburgh.

Kemler, E.N. 1947. Methods of Earth Heat Recovery for the Heat Pump. *Heating and Ventilating*, Sept. 1947, 69–72, New York.

Sanner, B. 1999. Kann man Erdwärmesonden mit Hilfe von spezifischen Entzugsleistungen auslegen? *Geothermische Energie*, 26–27/99, 1–4, Geeste.

Sekcja A

ROZDZIAŁ 2 OGRANICZENIA

Autor: Olof Andersson

1. WSTĘP

Jak wykazano w poprzednim rozdziale, istnieje kilka różnych płytkich systemów geotermalnych dostępnych na rynku komercyjnym. Są to, mówiąc w skrócie, gruntowe pompy ciepła (GSHP) dla poboru ciepła (i chłodu) oraz podziemne magazyny energii cieplnej (UTES) dla aktywnego przechowywania ciepła i/lub chłodu. W rozdziale tym rozważano potencjalne możliwości stosowania tych systemów oraz warunki ograniczające je w praktyce.

Możliwość inwestycyjna jest pod wieloma względami powiązana z warunkami lokalnymi lub charakterystyką lokalizacji, nie tylko z klimatem i geologią, lecz również sposobem zastosowania. Zastosowanie może mieć miejsce w domach rodzinnych, budynkach komercyjnych i instytucjonalnych, jako sieciowe systemy grzewcze i chłodzące, lub nawet w obiektach przemysłowych. Wszystkie te obiekty charakteryzują się różną wielkością i specyficznymi wymaganiami przy projektowaniu systemu geotermalnego.

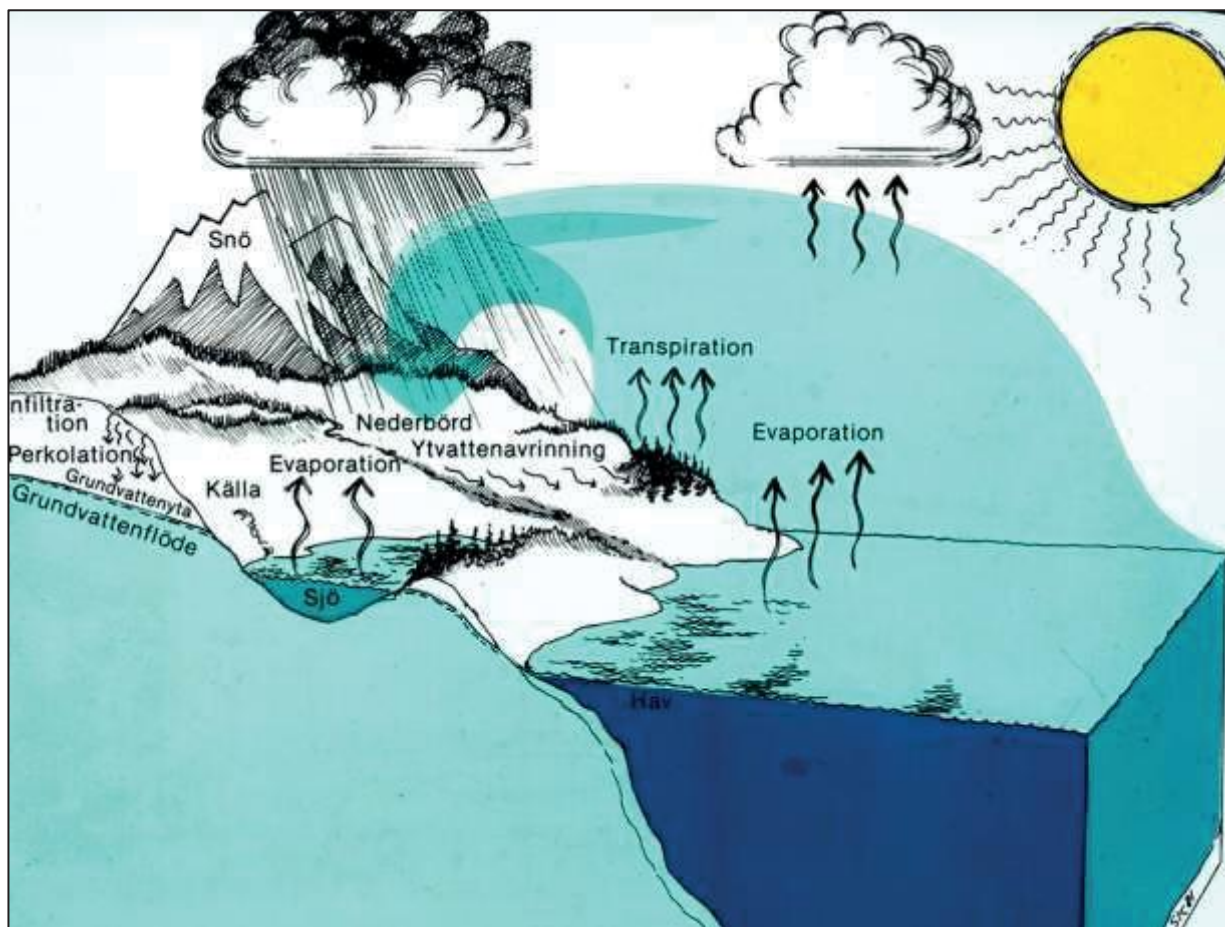
Ograniczenia mogą być postrzegane jako zewnętrzne warunki brzegowe, które prowadzą do decyzji o zatwierdzeniu koncepcji projektu lub jego odmowy. Mogą one wynikać z uwarunkowań fizycznych, tj. klimatu i warunków geologicznych, lecz również z innych warunków miejscowych, np. dostępności gruntu lub innych celów użytkowania gruntu. W zależności od kraju, istnieje wiele potencjalnych ograniczeń. Mogą mieć one charakter społeczny, kulturowy lub polityczny, częściej jednak ekonomiczny lub prawny. Mimo tego, ze względu na ich elastyczność, mogą prowadzić do dyskwalifikacji jednego typu systemu, a dopuszczenia innego. Bardzo ważne jest, by wszystkie potencjalne ograniczenia były rozważone na wstępnym etapie (etapie wykonalności) dla każdego projektu.

2. DLACZEGO PROJEKTANCI I WYKONAWCY WIERCEŃ POWINNI INTERESOWAĆ SIĘ WŁAŚCIWYM STUDIUM WYKONALNOŚCI?

Każda prawidłowo wykonana instalacja gruntowej pompy ciepła, uwzględniająca rozmiar i umiejscowienie inwestycji, powinna zacząć się od analizy studium wykonalności. Powodem tego jest stworzenie podstawy dla decyzji dotyczącej dalszego rozwoju projektu. Na tym etapie plan projektu powinien być sprawdzony z uwzględnieniem wszystkich ograniczeń technicznych, ekonomicznych, prawnych i środowiskowych, jakie mogą wpłynąć na projekt i finalizację. Jeśli projektant lub firma wiercąca nie jest świadomy ograniczeń, wówczas istnieje ryzyko, że koncepcja gruntowej pompy ciepła może okazać się niewykonalna w późniejszym etapie. Będzie to oczywiście prowadzić do przedwczesnego zakończenia inwestycji dla klienta i niepotrzebnych roszczeń wobec osób zaangażowanych w jej realizację. Może to również poważnie podważyć reputację i zaufanie do tych systemów, czego również należy unikać.

3. ASPEKTY POTENCJALNE

Na rysunku 1 przedstawiono dwa główne, odnawialne cykle poboru ciepła (lub chłodu) z płytko zalegających warstw geologicznych. Energia słoneczna jest siłą napędzającą dla cyklu hydrologicznego, a także dla procesów, które są podstawą dla tradycyjnej metody uzyskiwania energii odnawialnej, takich jak energia wodna, wiatrowa i uzyskana z biomasy.



Rys. 1. W cyklu hydrologicznym można odnaleźć wszystkie tradycyjne odnawialne źródła energii.
Geotermalny przepływ ciepła jest kolejnym źródłem odnawialnym

Średnie promieniowanie słoneczne, które jest absorbowane przez grunt, wynosi 1500 kWh/m^2 rocznie, podczas gdy geotermalny przepływ ciepła jest ograniczony do ok. $0,6 \text{ kWh/m}^2$. W praktyce oznacza to, że duża część ciepła płytko pobranego z gruntu pochodzi z energii słonecznej, a nie z ciepła geotermalnego z wnętrza ziemi. Podstawowa wiedza o tym, jak działa transfer ciepła pod ziemią, sugeruje, że energia uzyskana z przypowierzchniowych warstw geotermalnych może być uznana jako energia słoneczna. Z tego powodu jej potencjał jest niemal nieograniczony. Jednakże, umieszczanie pojedynczych pionowych systemów z układem zamkniętym zbyt blisko siebie doprowadza do ciągłego schładzania warstw podziemnych. W zależności od warunków geologicznych i klimatycznych oraz tego, jak dużo energii jest pobieranej, „bezpieczna” odległość waha się między 20 a 30 m. W normalnych warunkach, temperatura na głębokości około 10 m odpowiada średniej wartości temperatury w powietrzu (średnio $+14,3^\circ\text{C}$). Jednak zimą, w miejscach ośnieżonych, temperatura gruntu będzie o kilka stopni wyższa, gdyż śnieg będzie izolować powierzchnię. Na większych głębokościach temperatura gruntu będzie rosła ze względu na geotermalny przepływ ciepła. Przepływ ten powoduje powstanie gradientu geotermalnego, który średnio wynosi ok. $3^\circ\text{C}/100 \text{ m}$.

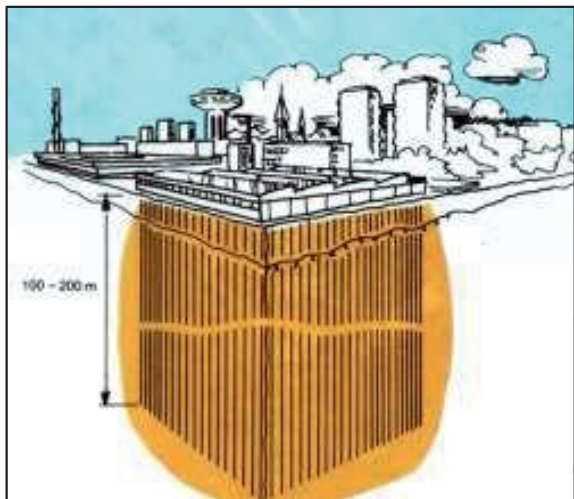
W krajach ze starymi skałami krystalicznymi gradient jest często znacznie mniejszy, podczas gdy w krajach ze skałami ilastymi gradient jest wyższy. Przepływ strumienia ciepła geotermalnego wynosi ok. 0,07 W/m². Zróżnicowanie jest raczej wysokie i zależy w dużym stopniu od położenia geograficznego i lokalnych warunków geologicznych.

4. LIMITY I OGRANICZENIA

4.1. Ograniczenia techniczne

W poprzedniej sekcji zostało wykazane, że naturalne źródła dla systemów gruntowych pomp ciepła (energii aerotermalnej - atmosferycznej i geotermalnej) są praktycznie nieograniczone, z zastrzeżeniem, by instalacje nie były położone zbyt blisko siebie. Podsumowując, źródło energii istnieje zawsze i z technicznego punktu widzenia nie ma ograniczeń w jej stosowaniu.

Dla podziemnych systemów sezonowego (lub czasem krótkoterminowego) magazynowania ciepła i chłodu, źródła przechowywanej energii mogą być różne. Takim źródłem jest na przykład ciepło odpadowe z przemysłowych procesów chłodzenia lub chłód odpadowy z parowników pomp ciepła. Takie typy źródeł mają zawsze ograniczenia techniczne, tj. obciążenie, czas trwania, temperatury, dostępność itd., które są charakterystyczne dla danego miejsca. Ograniczenia te powinny być oczywiście określone na wczesnym etapie danego projektu.



Rys. 2. Techniczne ograniczenia projektu magazynowania podziemnego mogą być związane z charakterystyką obciążenia, temperaturami pracy, dostępnością źródła energii itd. Istotne jest zdefiniowanie tych ograniczeń na wczesnym etapie projektu

4.2. Ograniczenia geologiczne

Zgodnie z zasadą, w dowolnych warunkach geologicznych technicznie możliwe jest zastosowanie jednego lub kilku typów systemów gruntowych pomp ciepła. Kwestia ta dotyczy wytypowania bardziej odpowiedniej konstrukcji, związanej ze specjalnymi warunkami geologicznymi w miejscu instalacji. Wymogi geologiczne różnią się zgodnie z tym, jaki rodzaj systemu ma być zainstalowany, co zostało podsumowane poniżej.

- **Systemy z układem zamkniętym** są ogólnie możliwe do stosowania w każdych warunkach geologicznych. Jednakże, czynniki ograniczające mogą wynikać z właściwości termicznych i problemów z wierceniem.

- **Systemy otwarte** (bazujące na przepompowaniu wody gruntowej) wymagają warunków geologicznych zawierających jedną lub kilka warstw wodonośnych. Zarówno geometria warstwy wodonośnej, właściwości hydrauliczne jak i właściwości chemiczne wód mogą być czynnikami ograniczającymi dla każdej lokalizacji.

4.3. Ograniczenia hydrogeologiczne

Warunki hydrogeologiczne w praktyce decydują o projektowaniu każdego systemu z układem otwartym. Parametry wejściowe, tj. typ warstwy wodonośnej, geometria, poziom i gradient wody podziemnej, skład teksturalny, właściwości hydrauliczne oraz zasięg są w rzeczywistości podstawą dla projektowania i realizacji takich systemów. Dla systemów z układem zamkniętym parametry te są mniej istotne, lecz w niektórych przypadkach mogą stanowić warunki ograniczające.

- **Na systemy z układem otwartym** może mieć wpływ przepływ wód podziemnych. Dla systemów z poborem ciepła stanowi to zasadniczo zaletę. Dla systemów z magazynowaniem ciepła i chłodu (BTES), może być to niekorzystne dla poboru chłodu. Co więcej, niski poziom wody gruntowej będzie ograniczać pobór ciepła i chłodu, jeśli nie będzie stosowane wypełnienie.

Warstwy wodonośne stosowane dla systemów otwartych mogą mieć ograniczoną produktywność (wydajność odwiertu) i/lub niekorzystny skład chemiczny. Ich wielkość i geometria mogą być również nieodpowiednie. Co więcej, warstwa wodonośna może być już eksploatowana jako np. źródło wody pitnej. Będzie to czynnik ograniczający, który uniemożliwi inwestycję. Z tego powodu system z układem zamkniętym może lub powinien być rozważany jako alternatywa.

4. 4. Warunki klimatyczne

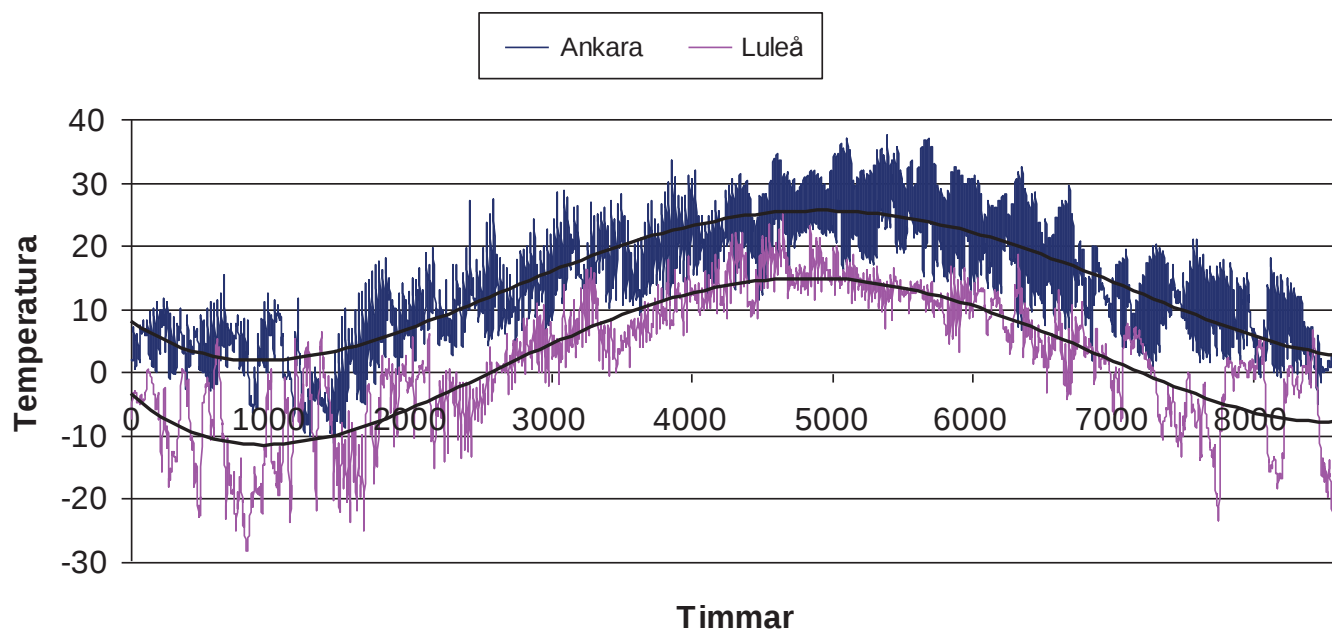
Tabela 1. Zasady wykonalności dla systemów gruntowych pomp ciepła w różnych klimatach

Typ klimatu	Warunki pogodowe	Systemy GSHP	
		GSHP	UTES
Tropikalny	Gorący, bez pór roku	Niewykonalne	Niewykonalne
Suchy	Gorący, chłodne noce	Niewykonalne	Magazynowanie chłodu noc–dzień
Śródziemnomorski	Ciepłe lato	Okazjonalnie wykonalne	Magazynowanie sezonowe ciepła i chłodu
Morski	Ciepłe lato	Wykonalne	Magazynowanie sezonowe ciepła i chłodu
Kontynentalny	Ciepłe lato	Łatwo wykonalne	Magazynowanie sezonowe ciepła i chłodu

Klimat odgrywa istotną rolę w stosowaniu systemów gruntowych pomp ciepła. Ma na to wpływ wiele czynników, lecz jednym zasadniczym warunkiem jest to, że temperatura otoczenia gruntowego odzwierciedla średnią temperaturę powietrza. Typ klimatu (tropikalny, suchy, śródziemnomorski, morski i kontynentalny) również ogranicza stosowanie niektórych systemów (tabela 1).

Innym czynnikiem klimatycznym jest wilgotność. W klimacie gorącym z wysoką wilgotnością proces chłodzenia umożliwiającego skraplanie ma określone wymagania temperaturowe. W praktyce oznacza to, że nie jest możliwe bezpośrednie chłodzenie budynku od gruntu. Jednakże, w takim przypadku możliwe są inne rozwiązania techniczne.

Jak przedstawiono w tabeli 1, najlepsza wydajność systemów UTES powiązana jest z kontynentalnymi warunkami klimatycznymi oraz z sezonowymi wahaniami temperatur w okresach letnich do zimowych. Takie warunki mogą mieć również charakter lokalny (patrz przykład z rysunku 3).



Rys. 3. Warunki klimatyczne dla stosowania UTES są niemal identyczne w miejscowościach Luleå (północna Szwecja) jak i w Ankarze (Turcja)

4.5. Ograniczenia środowiskowe

Systemy grzewcze z gruntowymi pompami ciepła będą ogólnie przyczyniać się do zmniejszenia globalnej emisji dwutlenku węgla i innych substancji szkodliwych dla środowiska. Jednakże, w zależności od kraju, i być może również lokalnie, mogą istnieć czynniki ograniczające, tj.:

- zanieczyszczenie gruntu i wody gruntowej przez otwory wiertnicze łączące się z powierzchnią oraz łączące różne warstwy wodonośne i nieodpowiednie stosowanie środków przeciwwzmacniających;
- zmiana podziemnej temperatury, która może wpłynąć na właściwości chemiczne oraz skład i wzrost bakterii w gruncie;
- emisje, uszkodzenia i lokalne zaburzenia (hałas itd.) spowodowane przez wiercenie i konstrukcję;
- zniszczenia budynków, fauny i flory przez systemy obsługujące.

W większości krajów tego rodzaju ograniczenia są przedmiotem legislacji. Wnioski o zatwierdzenie planu inwestycji z gruntową pompą ciepła mogą być niekiedy odrzucone przez instytucje prawne lub władze lokalne.

Ogólnie, trudniejsze jest uzyskanie akceptacji dla budowy systemów z układem otwartym niż w przypadku systemów z układem zamkniętym. Wynika to w większości krajów z obaw związanych z korzystaniem z wód podziemnych.

4.6. Ograniczenia ekonomiczne

W większości przypadków systemy gruntowych pomp ciepła na rynku komercyjnym powinny być efektywne ekonomicznie. Jednakże, na etapie badawczo-rozwojowym, realizowane mogą być instalacje nieekonomiczne oraz systemy, które uwzględniają cele środowiskowe. W takich przypadkach, korzystne finansowanie będzie w wielu przypadkach ograniczało mniej korzystny efekt ekonomiczny systemu. Mimo to, z czysto komercyjnego punktu widzenia, należy uwzględnić limity kosztów, w tym:

- łączne koszty eksploatacji i obsługi powinny być mniejsze niż dla systemów konkurencyjnych;
- dodatkowy koszt inwestycji dla gruntowych pomp ciepła powinien zwrócić się dzięki wartości zaoszczędzonej energii i obniżonych kosztów utrzymania podczas eksploatacji systemu.

Obliczony bezpośredni okres zwrotu różni się między poszczególnymi sektorami i krajami, lecz często uznaje się 10–15 lat jako rozsądną, górną granicę.

4.7. Legislacja jako czynnik ograniczający

Legislacja obejmuje złożony całokształt przepisów prawnych, kodeksowych oraz standardy i normy. Przepisy takie ustanowione są najczęściej w krajach, które już powszechnie stosują gruntowe pompy ciepła. W innych krajach ustawodawstwo może być bardzo ograniczone i można spotkać się z sytuacją rodem z „dzikiego zachodu”. Jest to czynnik samoograniczający, ponieważ władze lokalne nie potrafią prawidłowo przeprowadzić procedury w zakresie wniosku o pozwolenie. Z tego powodu dobre plany nie zawsze kończą się pozytywnie.

Na obecnym etapie wydaje się, że prawodawcy nie potrafią właściwie ocenić gruntowych pomp ciepła pod kątem zagrożeń. Tym samym, dla stworzenia w różnych krajach funkcjonalnej legislacji, prawodawca musi być bardziej świadomy, poinformowany i dodatkowo wyszkolony na temat założeń i działania gruntowych pomp ciepła.

Sekcja B:

Tematy ogólne

ROZDZIAŁ 3

PŁYTKIE KONFIGURACJE I ZASTOSOWANIA GEOTERMALNE

Autor: Olof Andersson

1. Wstęp

W płytkich systemach geotermalnych do ogrzewania i chłodzenia stosuje się głównie temperatury w zakresie od niskich do umiarkowanych. W górnych warstwach geologicznych panująca wewnątrz temperatura odpowiada średnim wartościom temperatury zewnętrznej i podlega podobnej zmienności cyklicznej rejestrowanej w ciągu roku (patrz rozdział 2). Wykorzystywanie ciepła wnętrza ziemi w systemie geotermalnym służy bezpośrednio jako źródło ciepła dla pomp ciepła. Może być ono również stosowane bezpośrednio do chłodzenia klimatyzacyjnego i przemysłowego, zwłaszcza w chłodniejszych strefach klimatycznych.

Podziemne systemy magazynowania energii cieplnej, znane jako systemy UTES, stanowią drugą grupę płytkich systemów geotermalnych. W tych przypadkach energia cieplna jest magazynowana w gruncie sezonowo lub podczas doby. Oznacza to zmianę temperatury poniżej lub powyżej temperatury naturalnej (w powietrzu). W celu zminimalizowania strat energii spowodowanych magazynowaniem, systemy te znajdują normalne zastosowanie w większych projektach. W większości przypadków systemy te będą zaprojektowane zarówno dla ogrzewania jak i chłodzenia, nawet jeśli przewiduje się zastosowanie ich dla magazynowania ciepła lub chłodu.

W rozdziale tym zawarto przegląd systemów opcjonalnych, który ułatwia podjęcie decyzji na wczesnym etapie o zastosowaniu płytkich systemów geotermalnych.

2. Dlaczego firmy wierzące i instalatorzy powinni interesować się różnymi płytkimi systemami geotermalnymi

Instalacja geotermalna, bez względu na jej wielkość i położenie geograficzne, jest jedną z opcji przy wyborze systemu grzewczego. Decyzja odnośnie do wyboru systemu będzie zawsze uzależniona od konkretnych warunków występujących w miejscu inwestycji (np. zapotrzebowanie energetyczne, warunki geologiczne i hydrogeologiczne, obowiązujące przepisy, lokalizacja i opłacalność). Jeśli firma wierząca nie zna opcjonalnych systemów, wówczas istnieje ryzyko niewłaściwego wyboru koncepcji instalacji geotermalnej i w najgorszym przypadku może zaszkodzić rozwojowi płytkich systemów geotermalnych.

3. Klasyfikacja płytkich systemów geotermalnych

W zależności od rozwoju geotermii w różnych krajach na świecie, jak i również w różnych grupach badawczych, nazewnictwo specjalistyczne jest zróżnicowane. Terminy system „otwarty” i „zamknięty” pochodzą z USA i dotyczą opisów systemów z otworami wiertniczymi z tworzywowymi rurami (zamknięte) i takich, gdzie woda gruntowa jest wypompowywana i zatłaczana przez studnie wodne (otwarte). Określenia te są również stosowane w Europie, lecz tu niektóre nazwy w zależności od kraju mają również odrębne znaczenie w terminologii, co będzie omówione dalej.

Systemy do magazynowania ciepła i chłodu w gruncie (UTES) zostały opracowane głównie w ramach Międzynarodowej Agencji Energetycznej (IEA), umowy wdrażającej konserwację energii przez magazynowanie energii (ECES), jako rezultat ponad 20 lat badań i rozwoju. Systemy te mogą być zdefiniowane jako systemy z układem zamkniętym i otwartym. Na rysunku 1 podano nazewnictwo stosowane w przypadku płytkich systemów geotermalnych. Przedstawia ona również polskie odpowiedniki dla każdego systemu (przetłumaczone z języka angielskiego). Nazewnictwo systemów stosowanych do poboru ciepła odwołuje się do terminu GSHP (gruntowe pompy ciepła), który jest często stosowany w nomenklaturze dla odróżnienia ich od pomp ciepła z zastosowaniem powietrza jako źródła ciepła.

Systemy do poboru ciepła (GSHP)

„Ciepło wód podziemnych” (układ otwarty)

„Ciepło skał” (zamknięty układ pionowy)

„Ciepło wierzchniej warstwy gleby” (zamknięty układ poziomy)

Systemy do poboru chłodu (bezpośrednie chłodzenie)

„Chłodzenie wodami podziemnymi” (układ otwarty)

„Chłodzenie za pomocą skał” (układ zamknięty)

Podziemne magazynowanie energii cieplnej (UTES)

„Magazynowanie w warstwie wodonośnej”, ATES (układ otwarty)

„Magazynowanie w otworze”, BTES (układ zamknięty)

„Magazynowanie w kawernach”, CTES (nie dotyczy)

Rys. 1. Wyrażenia i terminy dla popularnych płytkich systemów geotermalnych podzielone na systemy poboru bezpośredniego i systemy aktywnego magazynowania

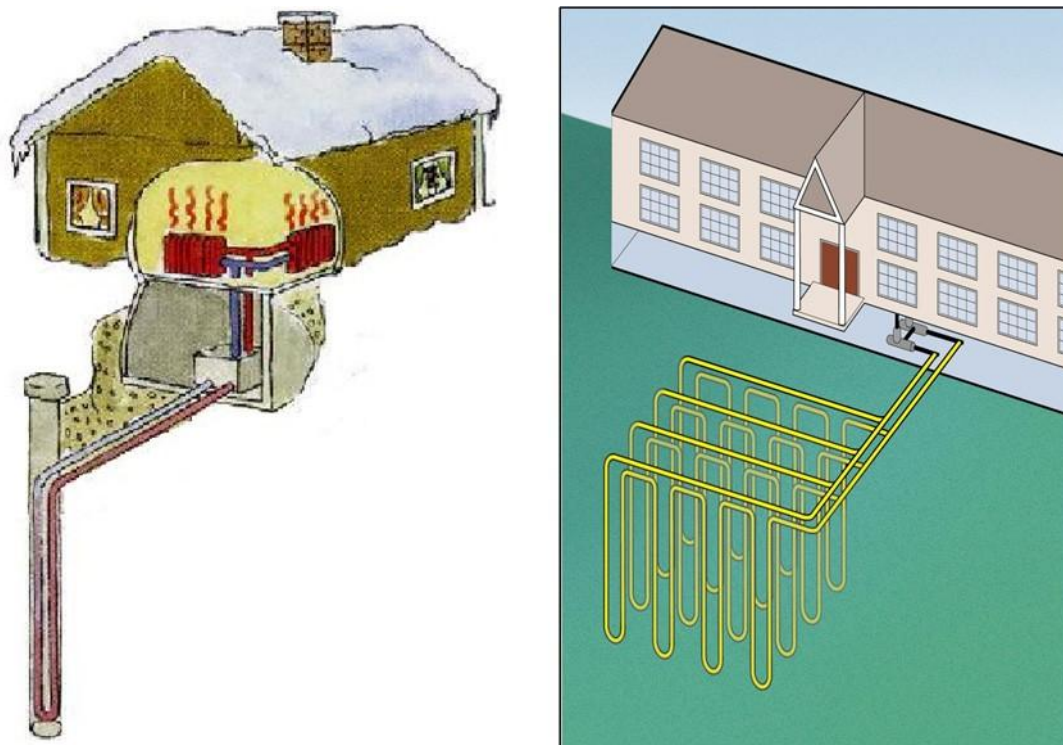
4. Przegląd systemów do bezpośredniego poboru energii

4.1. Zamknięty układ pionowy (system wykorzystujący ciepło skał)

System ten, stosowany dla budynków jednorodzinnych, składa się z jednego lub kilku otworów wiertniczych, w których zainstalowane są otworowe wymienniki ciepła (pionowe GWC). Otwory wiertnicze zwykle mają głębokość do 200 m i są wiercone w niemal wszystkich typach gleb i skał. Pionowy GWC jest połączony z pompą ciepła. Przez cyrkulację płynu przenoszącego ciepło (woda zmieszana ze środkiem przeciwzamarzającym), ciepło jest pobierane z otoczenia otworu wiertniczego i przenoszone do pompy, a przy wyższej temperaturze jest kierowane do budynku.

Podczas sezonu zimowego temperatura płynu i otoczenia otworu wiertniczego będzie się stopniowo obniżać. Wówczas płyn będzie często osiągał temperaturę wyraźnie poniżej temperatury krzepnięcia. W rezultacie, COP pompy ciepła będzie stopniowo spadać. Jednakże, w prawidłowo zaprojektowanym systemie, temperatura nie osiągnie tak niskiej wartości, by spowodować zatrzymanie pompy ciepła. Jest to de facto wielką zaletą instalacji gruntowych pomp ciepła w porównaniu z systemem, w którym powietrze jest źródłem ciepła.

Latem systemy te mogą zapewnić bezpośrednie, darmowe chłodzenie albo pompa ciepła pracuje jako urządzenie chłodzące i magazynuje ciepło w gruncie. Jest to oczywiście wielką zaletą, zwłaszcza w cieplejszych klimatach. System, stosowany również do chłodzenia, określany jest zgodnie z nazewnictwem jako BTES, patrz następna sekcja.



Rys. 2. Pionowe układy zamknięte stosowane dla budynków mieszkalnych jedno- i wielorodzinnych

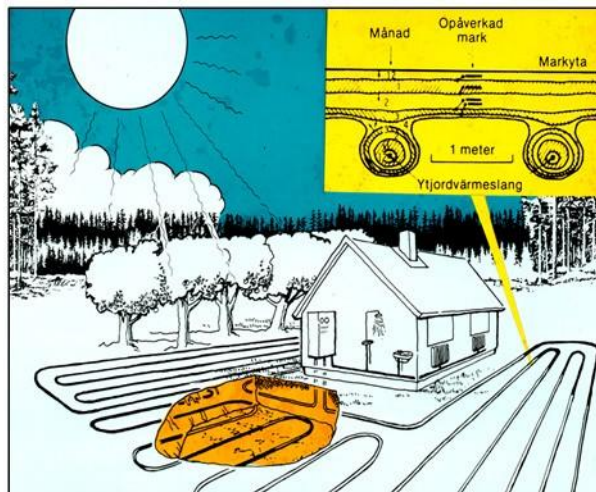
Jeśli system jest stosowany tylko do poboru ciepła, co jest najczęstszą praktyką w chłodniejszym klimacie, pojedynczy otwór wiertniczy osiąga swoją normalną temperaturę naturalnie podczas sezonu letniego. Jeśli stosowane jest kilka otworów wiertniczych, jest bardzo ważne, aby otwory wiertnicze nie znajdowały się zbyt blisko siebie. W przeciwnym razie naturalny odzysk energii (regeneracja dolnego źródła) nie będzie właściwie funkcjonować i temperatura otworów wiertniczych z biegiem lat będzie się stopniowo obniżać.

Z geologicznego punktu widzenia, najlepszą wydajność układów pionowych uzyskuje się w skałach krystalicznych z wysoką zawartością krzemionki, takich jak granity i gnejsy. Wśród skał osadowych najlepszą wydajność osiąga się w kwarcytach i gęstych piaskowcach z niską porowatością. Należy zdawać sobie sprawę, że niemal wszystkie typy skał są technicznie dopuszczalne, podobnie jak wszystkie typy gleb. Dzięki temu, układy pionowe charakteryzuje bardzo wysoki potencjał, bez względu na geologiczne warunki miejscowe.

Systemy pionowe mogą być również stosowane dla bezpośredniego chłodzenia, zwłaszcza dla klimatyzacji podczas sezonu letniego. W tych przypadkach ciepło jest kierowane do otworów wiertniczych i wówczas górotwór ulega naturalnej regeneracji podczas sezonu zimowego. W Szwecji taka metoda chłodzenia skał jest stosowana np. w przemyśle telekomunikacyjnym, zapewniając darmowe chłodzenie dla ok. 35 telewizyjnych masztów nadawczych i ok. 25 stacji rozdzielnic.

4.2. Systemy poziome z układem zamkniętym

Najpłytszym systemem jest układ poziomy (poziomy GWC). Składa się on z tworzywowej rury, która jest ułożona w ogrodzie domu mieszkalnego jak pokazano na rysunku 3. System ten może nie być interesujący dla firmy wierzącej, lecz może nadal być uznawany przez instalatora jako alternatywa dla układów pionowych.



Rys. 3. System z układem poziomym, który do zastosowania wymaga dużej otwartej przestrzeni

W porównaniu z układami pionowymi, konstrukcja tego systemu wymaga mniejszej inwestycji. Z drugiej strony jest on mniej wydajny ze względu na niższą temperaturę roboczą płynu. Jest to częściowo spowodowane względnie niższą przewodnością cieplną gleby w porównaniu ze skałą. Co więcej, technika jest oparta o proces zamrażania wody w glebie, co wymaga raczej niskiej temperatury płynu przez dłuższą część sezonu zimowego. Woda w tym procesie będzie zamarzała na powierzchni rury tworzywowej, tym samym tworząc wokół niej ring lodowy. Powstały lód będzie wywierać pozytywny wpływ na przewodność cieplną układu. Ponieważ szron topi się dość szybko wiosną, systemy te nie są odpowiednie dla każdego typu chłodzenia.

Zasadniczo rury są położone ok. 1 m poniżej powierzchni terenu z odległością pomiędzy nimi wynoszącą 1 m. W późniejszych latach opracowano bardziej kompaktowy system określany jako „slinky”. W skład jego konstrukcji wchodzi zwoje rur tworzywowych, które są pionowo umieszczone w wykopanych rowach, po jednym na każdej ścianie rowu.

Najlepszą wydajność systemów poziomych osiąga się w drobnoziarnistych typach gruntu z wysoką zawartością wody, tj. il i pył, powinno się natomiast unikać suchego żwiru i piasku.

4.3. Systemy z układem otwartym (systemy wód podziemnych)

Woda gruntowa jest wartościowym źródłem naturalnym, zwłaszcza wody pitnej. Dodatkowo, stosowanie wody gruntowej dla poboru energii jest względnie popularne w wielu krajach zarówno do ogrzewania, jak i chłodzenia, ponieważ systemy wód gruntowych są bardziej wydajne niż systemy z układem zamkniętym. Wynika to z faktu, że temperatura wód gruntowych jest praktycznie niezmienna w czasie (przy pompowaniu z głębokości 10 m lub większej), oraz że woda jest najlepszym nośnikiem ciepła (najwyższa pojemność cieplna).



Rys. 4. Wody gruntowe są doskonałym źródłem zarówno dla ogrzewania, jak i dla chłodzenia

Jak przedstawiono na rysunku 4, technologia „normalnych” studni wód gruntowych jest dodatkowo stosowana do poboru ciepła. Jednakże, wykonanie systemu z poborem i zatłaczaniem stanowi większe wyzwanie. W takich systemach musi zostać zastosowany obieg pod ciśnieniem, w idealnie szczelnych warunkach, dla uniknięcia problemów z kolmatacją i korozją, wywołanych przez procesy chemiczne. W celu odseparowania obiegu wody podziemnej od obiegu pompy ciepła stosuje się często wymiennik ciepła (patrz prawa górna część rysunku). Termin system „układu otwartego” jest tym samym bardzo mylący, gdyż cyrkulacja wód podziemnych w takim systemie również musi zachodzić w warunkach „zamkniętych”.

Dla zastosowań o małej skali (5–10 kW) na wsiach, eksploatowane mogą być pojedyncze studnie lub nawet studnie kopane. W tych przypadkach schłodzona woda jest kierowana do wody powierzchniowej lub infiltrowana przez zakopaną warstwę kamieni.

Dla większych systemów stosowano przede wszystkim odwierty podwójne, jeden lub kilka do produkcji i odpowiednią liczbę odwiertów do ponownego zatłaczania wody schłodzonej (zgodnie z wytycznymi środowiskowymi i legislacją obowiązującymi w kraju).

Odwiert produkcyjny (czerpalny) składa się z pompy głębinowej z rurą pionową oraz przewodu, który przechodzi przez szczelną pokrywę. Pompa powinna być umieszczona zdecydowanie poniżej najniższego poziomu depresji. W przypadku większych systemów pompy powinny być często sprawdzane. Zaletą jest również posiadanie rejestratora ciśnienia w odwiercie dla śledzenia poziomu depresji.

Odwiert zatłaczający (zrzutowy) jest wyposażony w końcówkę rury położoną znacznie poniżej zwierciadła wody podziemnej. Pokrywa powinna być bardzo szczelna i wyposażona w zawór wentylacyjny.

Układ wody gruntowej musi być bardzo szczelny i pod ciśnieniem przez cały czas działania (aby zmniejszyć ryzyko korozji i kolmatacji).

Podczas zimy woda jest pompowana do wymiennika ciepła (rekomendowane rozwiązanie) lub bezpośrednio do parownika pompy ciepła (może powodować problemy z korozją i kolmatacją). Temperatura jest przeważnie obniżona o ok. 4–5°C.

Właczana schłodzona woda może powodować powstawanie przerw cieplnych w czasie, jeśli odległość między odwiertami nie jest wystarczająco duża. Przerwy cieplne między wąskimi odwiertami mogą być kompensowane przez iniekcję ciepła latem. Jednakże, takie środki zmieniają system w system ATES, patrz poniżej.

Wody gruntowe mogą być również stosowane do bezpośredniego chłodzenia. Wydajność takiego chłodzenia jest bardzo wysoka i dlatego instalacja tego typu wzbudza duże zainteresowanie. Maksymalne wymagania temperaturowe wynoszą typowo ok. 10°C dla przypadku chłodzenia klimatyzacyjnego i około 25°C dla przemysłowego.

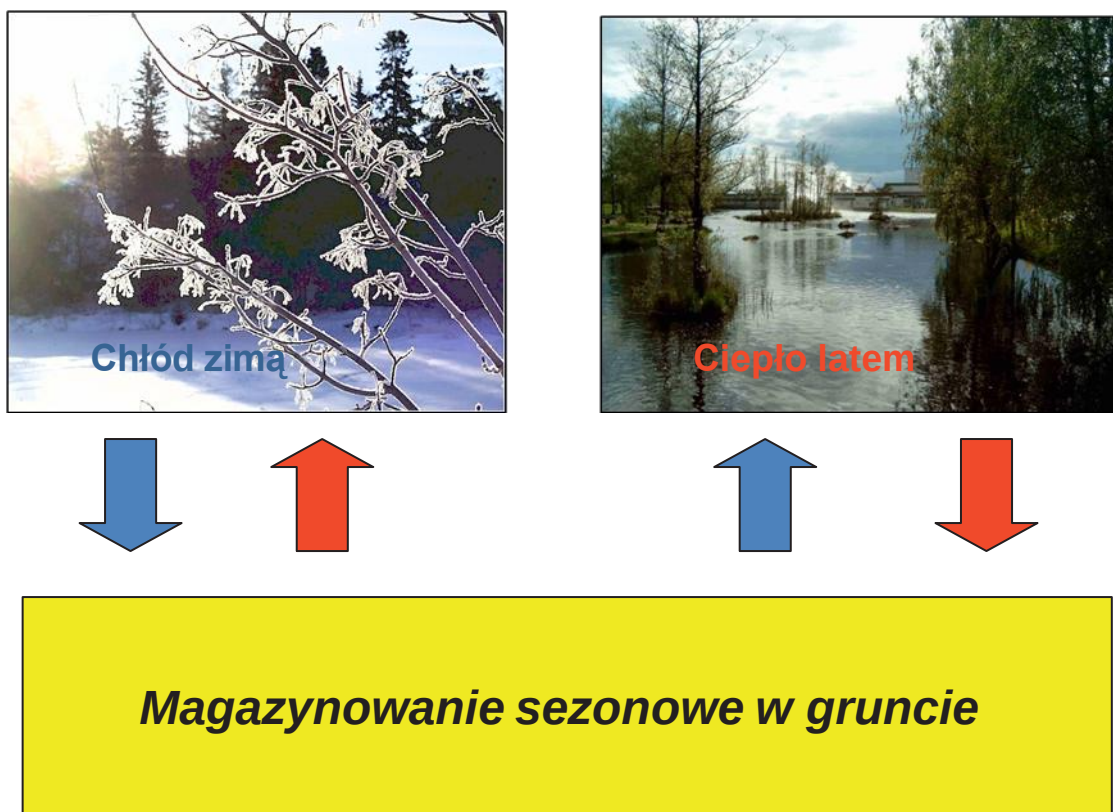
5. Przegląd systemów podziemnego magazynowania energii cieplnej (UTES)

5.1. Tło

Tradycyjnie dla zastosowań krótkoterminowych ciepło jest magazynowane w dużych stalowych zbiornikach. Magazynowanie długoterminowe (sezonowe) stało się realne dzięki wykorzystaniu wnętrza ziemi jako ośrodka magazynującego. Rozwój tych systemów, w ramach IEA, rozpoczął się we wczesnych latach 80-tych ub.w. Przetestowano dużą liczbę projektów, na podstawie których magazynowanie energii cieplnej w warstwie wodonośnej (ATES) i w otworze (BTES) zostały dopracowane do poziomu komercyjnego w wielu krajach.

Systemy te okazały się być zarówno technicznie jak i ekonomicznie wykonalne i są obecnie stosowane w różnych budynkach komercyjnych i instytucjonalnych, w wielu miejscach na całym świecie. Są one głównie stosowane dla połączonego systemu ogrzewania i chłodzenia, lecz w niektórych przypadkach są również stosowane tylko do magazynowania ciepła lub chłodu.

Główną koncepcją jest magazynowanie naturalnego ciepła podczas sezonu letniego w celu zastosowania go do ogrzewania budynku w czasie zimy, i odwrócenie tego systemu w okresie zimowym z magazynowaniem chłodu do chłodzenia w okresie letnim, patrz rysunek 5.



Rys. 5. Koncepcja sezonowego magazynowania naturalnego ciepła i chłodu pod ziemią

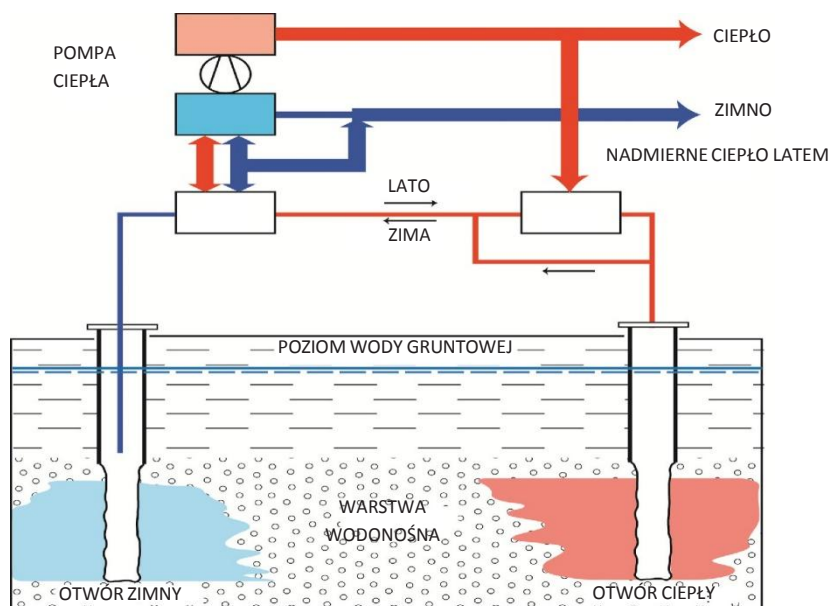
5.2. Magazynowanie w warstwie wodonośnej (ATES)

Poziom wodonośny składa się z warstwy geologicznej, która nie tylko zawiera wody podziemne, lecz również dostarcza wodę podziemną do odwiertu, który przechodzi przez warstwę. Stopień produkcji (wydajności odwiertu) jest związany z przepuszczalnością (przewodnością hydrauliczną) warstwy wodonośnej, która znacznie różni się w zależności od położenia. Większość warstw wodonośnych jest utworzona przez osady porowate, takie jak warstwa piasku lub niezbyt skonsolidowany piaskowiec, lecz niektóre warstwy wodonośne są bardziej związane z systemami spękań w twardszych typach skał.

Dzięki porowatości i/lub systemom spękań warstwa stanowi rodzaj bardzo wydajnego wymiennika ciepła w litej części poziomego wodonośnego. Tym samym, woda podziemna, przepływając w systemie, będzie podgrzewać lub ochładzać części stałe i w ten sposób utrzymywać w przybliżeniu stałą temperaturę w warstwie wodonośnej. W tym sensie magazynowanie będzie miało wysoką wydajność termiczną.

Przez wydzielenie z warstwy wodonośnej obszarów ciepłych i zimnych, oddzielnie mogą być magazynowane ciepło i chłód. Jest to oczywiście wielką zaletą zastosowań, w których chłodzenie stanowi zasadniczy element wymagań energetycznych.

Podstawowy system dla zastosowania ATES zarówno do ogrzewania jak i chłodzenia przedstawiono na rysunku 6. Jak wynika z rysunku, magazynowanie jest połączone z układem pompy ciepła i z centralnym systemem chłodzenia. System będzie zmieniał swój kierunek przepływu dwa razy do roku, wiosną i jesienią.



Rys. 6. Podstawowy schemat blokowy systemu ATES do ogrzewania i chłodzenia

Typowy system zaprojektowany dla połączonego ogrzewania i chłodzenia będzie pokrywał ok. 50–70% obciążenia grzewczego i 100% obciążenia chłodniczego. Jednocześnie, jeśli w szczytowym momencie będzie występować zapotrzebowanie na chłodzenie, pompa ciepła będzie obniżać temperaturę. Ciepło odpadowe ze skraplacza będzie następnie magazynowane w ciepłym obszarze warstwy wodonośnej.

Zakresy typowych temperatur wynoszą 5–8°C w obszarach magazynowych zimnych i 13–16°C w ciepłych. Współczynnik sezonowej wydajności (SPF) osiąga wartość 6–8 dla systemu stosowanego w strefie klimatu umiarkowanego.

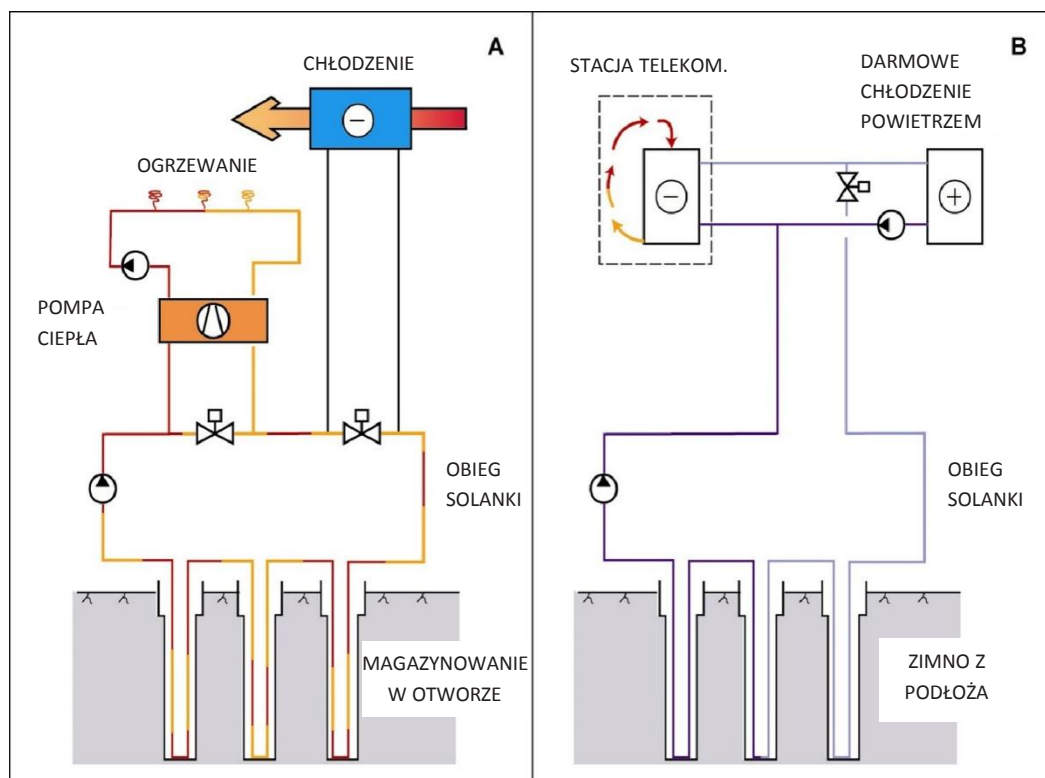
Istnieją również konfiguracje ATES, które pracują bezpośrednio w systemie wentylacji bez zastosowania pompy ciepła. Jednym z przykładów tego zastosowania jest lotnisko Sztokholm Arlanda, gdzie magazynowanie chłodu i ciepła odbywa się w ozie (płytką warstwą wodonośną utworzoną w jego grzbiecie). W tym przypadku obszary magazynowe ciepłe w okresie zimowym służą do wstępnego ogrzania powietrza wentylującego i do roztopienia śniegu na bramkach. Ciepła woda jest wówczas schładzana do ok. 4–5°C, co odpowiada temperaturze magazynowania w obszarach zimnych warstwy wodonośnej i jest następnie wykorzystana w układzie klimatyzacyjnego chłodzenia lotniska. System został zaprojektowany dla wydajności obciążenia wynoszącej 6 MW przy produkcji energii około 20 GWh (ciepło–chłód). Maksymalna prędkość przepływu wody podziemnej przez pięć odwiertów w obszarach zimnych i sześć odwiertów w ciepłych wynosi 200 l/s.

Magazynowanie sezonowe i krótkoterminowe wyłącznie chłodu znalazło kolejne zastosowanie w instalacji ATES w Szwecji. Chłód jest pobierany z wody powierzchniowej o temperaturze nieco powyżej temperatury zamarzania. System ten jest najczęściej połączony z sieciowym systemem chłodzenia. Jednym z przykładów krótkoterminowego magazynowania jest urządzenie ATES umieszczone w ozie w Sztokholmie. Magazynowanie z wydajnością 15 MW moc chłodniczej zbudowane jest z 12 odwiertów o wysokiej efektywności.

5.3. Magazynowanie w otworze wiertniczym (BTES)

System magazynowania w otworze wiertniczym (BTES) składa się z określonej liczby gęsto rozmieszczonych otworów wiertniczych, w których otworowe wymienniki ciepła (pionowe GWC) są zainstalowane i połączone dla utworzenia systemu z układem zamkniętym. Otwory wiertnicze służą jako gigantyczny wymiennik ciepła z gruntem i skałą. Energia cieplna jest magazynowana lub pobierana z otoczenia otworu wiertniczego dzięki obiegowi płynu w pionowych GWC o temperaturze wyższej lub niższej niż ta, która jest obserwowana pod powierzchnią ziemi. Ponieważ otwory wiertnicze są rozstawione blisko siebie, będą one na siebie oddziaływać. Tym samym wszelkie zmiany temperatury w obszarze otworów wiertniczych wpływają na temperaturę otaczającej je masy skalnej. Im wyższa przewodność cieplna skały, tym szybciej będzie przesyłane ciepło lub chłód. Ze względu na dużą pojemność magazynowania, która w ten sposób powstaje, ciepło lub chłód będzie magazynowane przez długi czas, umożliwiając powstanie magazynowania sezonowego.

Najpopularniejszy system BTES jest zaprojektowany do produkowania zarówno ciepła, jak i chłodu. Zasadnicza konfiguracja takiego systemu jest pokazana na rysunku 7. Rysunek przedstawia również koncepcję chłodzenia przemysłowego, w tym przypadku stacji telekomunikacyjnej.



Rys. 7. Podstawowy system dla połączonego ogrzewania i chłodzenia klimatyzacyjnego (A) oraz dla chłodzenia przemysłowego (B)

System obsługujący pompę ciepła, łączący ogrzewanie i chłodzenie, jest stosowany dla wszystkich typów budynków komercyjnych i instytucjonalnych, takich jak: biura, szkoły, szpitale, sklepy, kościoły i różne rodzaje budynków administracyjnych.

Podczas sezonu zimowego ciepło jest pobierane z górotworu. Temperatura magazynowania spada stopniowo znacznie poniżej obserwowanej w naturze. Podczas sezonu letniego schłodzona skała służy jako darmowe źródło chłodu i poboru, który będzie prowadzić do odzysku termicznego w skale. Jednakże, magazynowanie chłodu może nie być wystarczające do pokrycia zapotrzebowania. W tym przypadku, do pokrycia szczytowych wartości obciążeń, jako urządzenie schładzające stosuje się pompę ciepła. System ten jest charakterystyczny dla klimatu zimnego lub umiarkowanego i znajduje częste zastosowanie w północnej Europie, przez co znany jest jako „konstrukcja europejska”.

Jeśli zapotrzebowanie na chłód jest porównywalnie wysokie jak na ciepło lub nawet wyższe, zbudowano system, w którym cały chłód jest wytwarzany przez pompę ciepła. Ten projekt znany jest jako „konstrukcja amerykańska”. Ciepło skraplacza jest w tym przypadku magazynowane w gruncie. Oznacza to, że pod koniec lata skała zostanie podgrzana znacznie powyżej naturalnej temperatury. Ze względu na wysoką temperaturę magazynowania, praca pompy ciepła podczas nadchodzącej zimy będzie bardziej wydajna niż w „konstrukcji europejskiej”, która pracuje przy niskiej temperaturze magazynowania. Z drugiej strony, w „konstrukcji europejskiej” dużą ilość chłodu generuje się za darmo.

Niezależne typy projektów tych systemów działają z umiarkowanymi temperaturami magazynowania i często z SPF w zakresie 5–6.

Systemy BTES, w porównaniu z ATES, mogą być mniej wydajne. Jednakże, prawidłowo skonstruowany system BTES nie wymaga żadnej lub będzie poddany minimalnej konserwacji. Ma on również długą żywotność techniczną i będzie łatwiejszy w obsłudze. Systemy te są możliwe do zastosowania niemal wszędzie, lecz w pewnych warunkach geologicznych ich instalacja może być utrudniona. Wybór metody i głębokości wiercenia jest istotnym aspektem przy wdrażaniu tych systemów.

Względnie łatwo jest uzyskać pozwolenie na uruchomienie systemu BTES. Zasadniczą kwestią jest jednak to, jak uniknąć zanieczyszczenia środowiska podziemnego i wód podziemnych. W chwili obecnej, wiele krajów wdraża przepisy określające sposób prawidłowego wypełniania otworów wiertniczych. Inne kraje, głównie skandynawskie, w większości przypadków dopuszczają jedynie otwory wiertnicze wypełnione wodą podziemną.

Dodatkowe informacje

Sanner, B. 2001. Shallow geothermal Energy, *GHC Bulletin*, June 2001.

Andersson, O., 2007. Aquifer Thermal Energy Storage (ATES). W: „*Thermal energy storage for sustainable Energy Consumption*”, Red., Paksoy, H., Rozdział 6. Springer, 2007.

IEA-ECES. Strona internetowa: www.iea-eces.org.

Sekcja B

ROZDZIAŁ 4

Warunki brzegowe dla zastosowań UTES

Autor: Olof Andersson

1. Wstęp

Kompletny płytki system geotermalny zawiera nie tylko jeden lub kilka otworów wiertniczych czy studni. W skład systemu wchodzi również połączenie z instalacjami wewnętrznymi, takimi jak: pompy ciepła i wymienniki ciepła, rury i armatura, źródło zasilania i system sterujący. Bardziej lub mniej złożony system jest zaprojektowany do produkcji ciepła i/lub chłodu dla określonego budynku lub zespołu budynków. Może on również obejmować dystrybucję ciepła i chłodu, lecz jest to często przedmiotem zainteresowania innych podmiotów budowlanych.

Firma wierząca może być zapytana o wycenę całego systemu lub jedynie części takiego systemu. Niezależnie od kosztów, powinien być rozważony szereg warunków ograniczających, związanych z odpowiedzialnością. Głównymi takimi ograniczeniami są:

- ograniczenia kontraktowe, w zakresie prac dla wykonawcy wiercenia,
- ograniczenia systemowe, oznaczające limity techniczne dla płytkich zastosowań geotermalnych, takich jak: wymagania dotyczące obciążeń, temperatury, prędkości przepływu oraz ciśnienia systemowego,
- naturalne warunki brzegowe, takie jak klimat i, nie mniej ważne, warunki geologiczne w danej lokalizacji,
- ograniczenia związane z aspektami ekonomicznymi, środowiskowymi i regulacyjnymi.

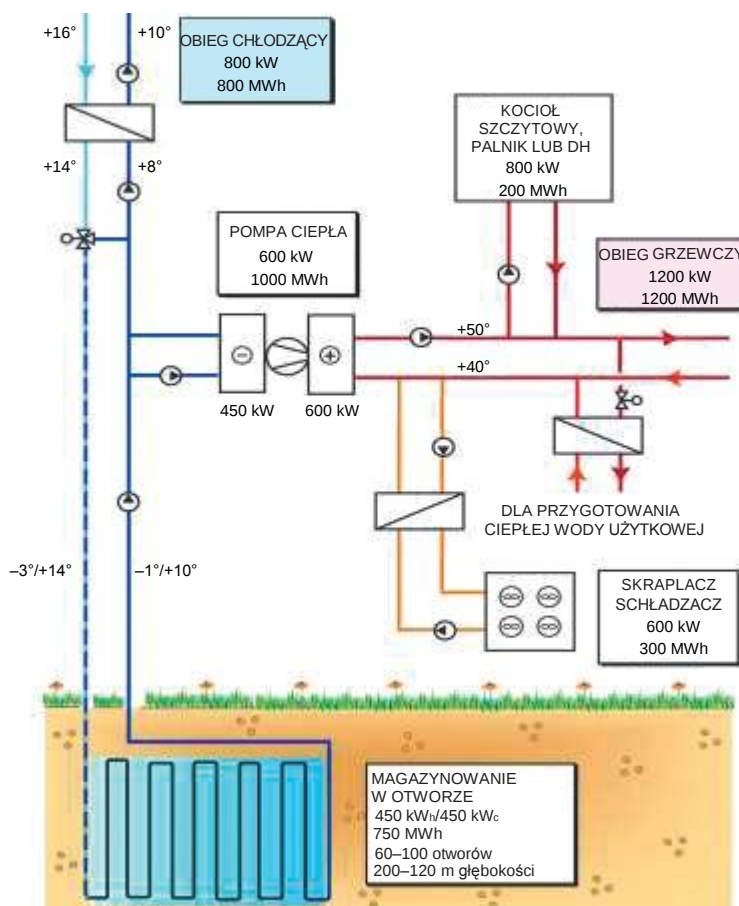
2. Dlaczego firmy wierzące i instalatorzy powinni interesować się różnymi ograniczeniami

Firma wykonująca wiercenie lub instalację musi mieć świadomość, że konstrukcja płytkiego systemu geotermalnego może być zadaniem złożonym, biorąc pod uwagę związaną z tym odpowiedzialność kontraktową. Z technicznego punktu widzenia musi ona również rozważyć funkcjonalne oczekiwania wobec części konstruowanego systemu. Często wykonawca musi również uwzględnić lub wziąć pełną odpowiedzialność za kwestie środowiskowe i związane z nimi pozwolenia. Ostatecznie, w projektach o dużej skali spodziewa się, że wykonawca będzie koordynował swoją pracę z innymi wykonawcami na miejscu.

3. Ograniczenia kontraktowe i techniczne

Forma kontraktu jest opisana w dokumentach przetargowych. Wśród opcji znajdują się: kontrakt „pod klucz”, przeniesienie funkcjonalnej odpowiedzialności na wykonawcę, lub kontrakt, w którym klient jest odpowiedzialny za projekt. Jak pokazano na rysunku 1, granica zakresu prac często obejmuje zewnętrzny obszar budynku (linia zielona) lub pokrywa cały zakład produkcji ciepła i chłodu (linie czerwone).

Łatwo zrozumieć, że wybór zakresu prac będzie grał istotną rolę, nie tylko przy kalkulacji wartości kontraktu, lecz również ze względu na odpowiedzialność, funkcjonalnie powiązaną z kontraktem.



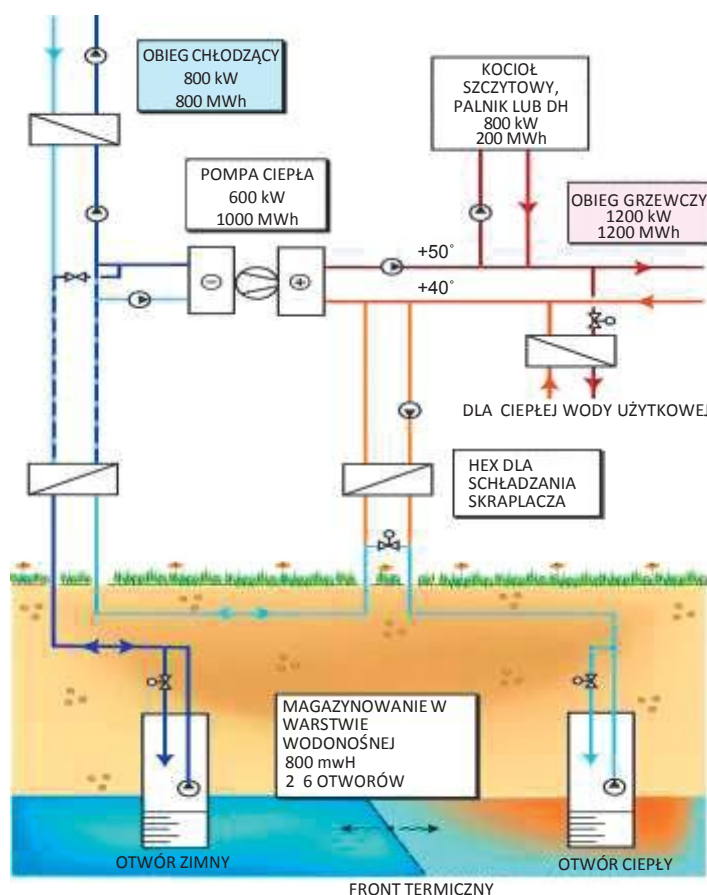
Rys. 1. Przykłady różnych ograniczeń kontraktowych dla systemu BTES

Dla systemu BTES, jak pokazano na rysunku 1, istnieją również pewne ograniczenia techniczne, konieczne do rozważenia. Jednym z nich jest zjawisko rozszerzania lub kurczenia tworzywowych rur (PE) pod wpływem temperatury płynu. Górny poziom temperatury płynu nie może przekroczyć $+20^{\circ}\text{C}$. W wyższych temperaturach wytrzymałość tworzywa sztucznego stopniowo się zmniejsza. Dolny poziom temperatury zależy od środka przeciwmrozającego dla cementowanych otworów wiertniczych i wartości najniższej temperatury parownika dozwolonej dla pompy ciepła. W przypadku otworów wiertniczych bez cementowania proces zamarzania wody w otworze wiertniczym wpływa na osiąganą wartość dolnej granicy temperatury układu. Zachodzi to w średniej temperaturze płynu wynoszącej -4°C , jeśli zastosowana jest pojedyncza U-rurka.

Kolejnym ograniczeniem technicznym w systemie BTES jest prędkość przepływu. Górne i dolne granice zależą od różnych czynników i parametrów, takich jak: liczba otworów wiertniczych, sposób ich połączenia (równoległe i/lub szeregowo), wymiary rur i oczywiście właściwości termiczne. Górna granica prędkości przepływu dla ogrzewania zależy od maksymalnych, dopuszczalnych strat ciśnienia w rurach, podczas gdy dolna jest zdefiniowana przez wymagania pompy ciepła. Dolna granica prędkości przepływu dla chłodzenia bezpośredniego nie istnieje.

Systemy ATES (rysunek 2) mają zróżnicowane ograniczenia techniczne. Oczywistym ograniczeniem jest lokalizacja warstwy wodonośnej. Poza tym umiejscowienie warstwy wodonośnej powinno być również rozważone ze względu na dodatkowe, bardziej społeczne, kwestie związane z gospodarką wodami podziemnymi, środowisko- we i dodatkowo uwzględnione ogólne prawo regionalne/lokalne. W niektórych państwach obowiązuje również prawo krajowe, które może znacznie ograniczać techniczne wykorzystywanie wód podziemnych.

W celu ochrony całego systemu przed problemami związanymi z procesami chemicznymi zachodzącymi w wodzie, układ wód podziemnych jest odseparowany od innych obiegów płynu przez wymienniki ciepła. W istniejących systemach ATES dominującym problemem operacyjnym są procesy chemiczne zachodzące w wodach podziemnych. Skład chemiczny wody może być nawet tak niekorzystny, że nie będzie możliwości jej zastosowania w ATES. Tym samym procesy chemiczne w wodzie związane są z korozją i/lub kolmatacją i mogą być w tym przypadku dodatkowym ograniczeniem dla wykorzystania technicznego.



Rys. 2. Systemy ATES mają różne ograniczenia techniczne

Warstwa wodonośna musi oczywiście mieć odpowiedni rozmiar i właściwości hydrauliczne, takie jak przepuszczalność i ograniczenia hydrauliczne, aby była użyteczna dla zastosowań ATES. Wydajność warstwy wodonośnej i odwiertów musi odpowiadać obciążeniowym wymaganiom systemu. Z punktu widzenia temperatury może istnieć górne ograniczenie związane ze złuszczeniem. Zasadniczo, odpowiednie byłyby temperatury poniżej 35–40°C.

Dla prawidłowej termicznej funkcjonalności magazynowania należy zabezpieczyć wystarczającą przestrzeń między odwiertami. Odległość między obszarami ciepłym i zimnym musi być taka, żeby przebiecie cieplne nie obniżyło funkcjonalności systemu.

4. Ograniczenia geologiczne związane z wierceniem

Niezależnie od wybranego systemu, lokalne warunki geologiczne będą odgrywać istotną rolę przy wykonywaniu otworów wiertniczych i odwiertów.

Większość popularnych metod wiercenia dla płytkich systemów geotermalnych przedstawiono w tabeli 1. Jak można wywnioskować z tabeli, dolne wiercenie udarowo-młotkowe (DTH) dominuje w skałach skonsolidowanych, podczas gdy konwencjonalne wiercenie obrotowe na wodę lub płuczkę będzie dominującą metodą dla wiercenia w formacjach luźnych lub słabo skonsolidowanych.

Tabela 1. Metody wierceń dla płytkich systemów geotermalnych

Typ systemu	Narzędzie kablowe	DTH z powietrzem	DTH z wodą	Konwencjonalny Obrotowy	Systemy ślimakowe
Układ zamknięty	Nigdy	Dominuje w twardych skałach	Rzadko, lecz w coraz szerszym użyciu	Częste w skałach osadowych	Częste dla płytkich otworów
Układ otwarty	Rzadko (tylko duże odwierty)	Często	Rzadko, lecz w coraz szerszym użyciu	Częste w skałach osadowych	Rzadko

Kwestie ogólne związane z warunkami powierzchniowymi, które mogą być postrzegane jako ograniczenia, dotyczą:

- przestrzeni dla wiertnicy i sprzętu towarzyszącego, która nie zawsze może być dostępna,
- zagadnień środowiskowych, takich jak hałas przy wierceniu powyżej dopuszczalnych poziomów, utylizowanie wody i płuczki oraz ryzyko związane z zanieczyszczeniami, które mogą ograniczyć procedurę wiercenia, a nawet doprowadzić do jego zamknięcia.

Główne techniczne limity lub ograniczenia podczas wiercenia z powietrzem w skonsolidowanych formacjach to:

- napotkanie na przepuszczalne spękania lub pustki z wysokim dopływem wody, które uniemożliwiają dalsze wiercenie, pod warunkiem, że przepływ będzie odcięty przez zainstalowanie rur lub przez zatłaczanie cementu,
- napotkanie na warstwy luźne lub niestabilne strefy strukturalne, co wywołuje ciągłe wydobywanie drobnych frakcji w otworze wiertniczym. Zacementowanie takich stref w celu dalszego wiercenia w dół może nie być możliwe,
- obecność, podczas wiercenia na wodę lub płuczkę, wysoce przepuszczalnych stref, które prowadzą do całkowitej utraty płynu, lub uderzanie w większe kamienie podczas wiercenia ślimakowego.

Sekcja B

ROZDZIAŁ 5

GEOLOGIA

autor: Iñigo Arrizabalaga

1. WSTĘP

Uwzględnienie warunków geologicznych jest kwestią obowiązkową w każdej procedurze projektowania płytkiego systemu geotermalnego. W porównaniu z konwencjonalnymi instalacjami grzewczymi i chłodzącymi, charakterystyka gruntu jest dodatkowym elementem, który należy przeanalizować podczas projektowania gruntowych pomp ciepła. Projekt instalacji gruntowych pomp ciepła musi opierać się na dokładnej wiedzy na temat warunków geologicznych w miejscu lokalizacji, co wraz ze sposobem integracji tych danych podczas doboru wymiarów pompy ciepła stanowi parametry kluczowe dla jego sukcesu.

Różnice między skałami a glebą, z uwzględnieniem podstawowej klasyfikacji różnych rodzin skał, zrozumienie ich rozmieszczenia w gruncie, znajomość fundamentalnej mechaniki gruntów, zachowania termicznego i hydro- geologicznego są zagadnieniami koniecznymi, które należy wziąć pod uwagę projektując źródło zasilania i duże systemy gruntowych pomp ciepła.

W małych systemach, podstawowa wiedza geotechniczna i hydrogeologiczna może być przydatna dla uniknięcia zagrożeń związanych z bezpieczeństwem i ochroną środowiska. Duża liczba projektantów zaangażowana jest jedynie w zakresie budowlanym systemu geotermalnego. Bardzo często projekt układu, nawet dużych instalacji, jest wykonany przez producenta pompy ciepła kilkaset kilometrów od miejsca inwestycji. Nie mają oni wystarczająco szerokiej wiedzy na temat warunków gruntowych i metodologii rozpoznania terenu, aby użyć jej w opracowaniu projektu. Rozpoznanie to, zwłaszcza w nowych miejscach wierceń, powinno uwzględniać koszt i trwałość systemu geotermalnego oraz warunki środowiskowe.

Najczęstszym problemem jest niedocenienie znaczenia kwestii warunków geologicznych w procesie projektowania. W najlepszym wypadku spowoduje to wzrost kosztów projektu. W innych przypadkach może doprowadzić do nieprawidłowej pracy systemu.

Popularnymi zagadnieniami są:

- Jak wybrać między układem otwartym a zamkniętym?
- Jak policzyć długość układu zamkniętego?
- Jak policzyć wydajność przepływu z odwiertu dla dopasowania do obciążenia termicznego budynku?
- W jaki sposób warunki geologiczne wpływają na wybór metody wiercenia, wykonanie otworu wiertniczego i koszty?

Podejście geologiczne jest potrzebne od początkowej fazy projektu. Zgromadzenie wszelkiego rodzaju informacji geologicznej, geotechnicznej, hydrogeologicznej i termogeologicznej dla obszaru projektu będzie pomocne i może przynosić duże oszczędności.

Rozdział ten ma na celu przypomnienie, objaśnienie i udoskonalenie wiedzy geologicznej projektantów gruntowych pomp ciepła, reprezentujących dziedzinę budowlaną. Zawarte w nim informacje służą poprawie zrozumienia własności gruntu oraz ułatwią nawiązywanie komunikacji między członkami interdyscyplinarnych zespołów projektowych.

2. KONCEPCJE ENERGII GEOTERMALNEJ

Rozdział ten ma na celu objaśnienie niektórych koncepcji związanych z energią geotermalną:

- a. Skąd ona pochodzi?
- b. Jakie są główne parametry?
- c. Geologia.
- d. Jaka jest zależność między energią cieplną i wodą w gruncie?
- e. Czemu służy pilotażowy otwór wiertniczy?

Ad. a. Energia geotermalna jest energią magazynowaną w postaci ciepła pod powierzchnią ziemi.

Energia geotermalna o niskiej entalpii lub płytka energia geotermalna jest energią magazynowaną przy bardzo niskim potencjale, w temperaturze zazwyczaj poniżej 25°C.

W najpopularniejszej technologii opracowanej dla stosowania energii geotermii płytkiej lub o niskiej entalpii, zazwyczaj, lecz nie zawsze, używane są pompy ciepła.

Energia geotermalna o niskiej entalpii ma kilka źródeł. W wielu miejscach zastosowana energia może wynikać z:

- głębokiego przepływu geotermalnego. Reaktor, jakim jest jądro Ziemi, zapewnia nieskończony przepływ ciepła ku powierzchni. W efekcie, gradient geotermalny wynosi średnio 3°C/100 m głębokości, a prędkość przepływu ciepła na powierzchni wynosi 30–100 mW/m²;
- absorbowanego promieniowania słonecznego. Uwzględniając przekazywanie ciepła na powierzchni, należy wziąć pod uwagę kilka czynników, takich jak: ułamek promieniowania słonecznego rozproszonego w gruncie, przesączanie się wody i transport ciepła z powietrzem przez konwekcję i promieniowanie termiczne. Często zakłada się jedynie, że temperatura gruntu (dla pierwszych 10 m) jest funkcją temperatury powierzchniowej. Poniżej 10 m (czasami powyżej 10 – 20 m) temperatura gruntu nie jest już wrażliwa na roczne wahania temperatury powietrza;
- adwekcji. Przepływ wody podziemnej jest w stanie przenosić duże ilości energii wzdłuż gruntu. Proces ten, znany jako przepływ adwekcyjny, jest głównym czynnikiem zapewniającym energię w wielu płytkich systemach geotermalnych;
- pojemności skały dla magazynowania ciepła. Skała, ze swoją zdolnością do magazynowania energii cieplnej, średnio ok. 0.65 kWh/m³/°C, zapewnia dużą ilość energii, zwłaszcza w systemach pionowych z układem zamkniętym, gdzie otwór wiertniczy może obejmować tysiące metrów sześciennych skały;
- uzupełniania sztucznego (regeneracja). Pojemność skały dla magazynowania może zapewnić doskonale niedrogie magazynowanie termiczne w skali sezonowej z możliwością wykorzystania ciepła odpadowego z procesu chłodzenia, mrożenia, nadwyżki słonecznej itd.

Ad. b. Głównymi parametrami definiującymi termiczne właściwości gruntu są:

- przewodnictwo termiczne gruntu,
- objętościowa pojemność cieplna,
- temperatura gruntu nienaruszonego (bez poboru ciepła).

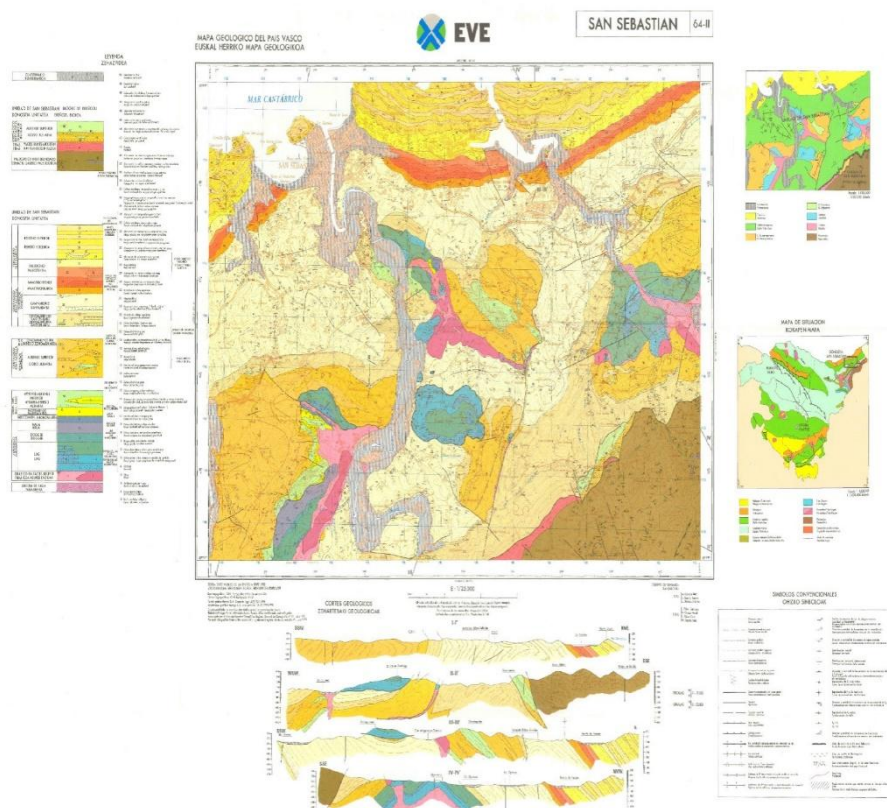
Zdolność gruntu do przesyłania i magazynowania ciepła zależy od pewnej liczby czynników, głównie:

- mineralogii skał. Ogólnie, im wyższa zawartość kwarcu, tym wyższa przewodność cieplna,
- gęstości. Wysoka gęstość materiału zazwyczaj oznacza zamkniętą teksturę i brak pustek. Im wyższa gęstość, tym wyższa przewodność cieplna i dyfuzyjność,
- wilgotności. Obecność wody poprawia transport ciepła nawet przy braku przepływu. Wypełnia ona pustki, zwiększając przewodność cieplną skały lub gleby.

Ad. c. Geologia jest również głównym czynnikiem kształtującym krajobraz. Siły tektoniczne fałdują i tworzą uskoki w skałach. Czynniki wietrzenia, transportu i depozycji są kluczowymi zagadnieniami związanymi z nieustanną transformacją środowiska geologicznego. Warunki krajobrazowe będą determinować warunki lokalne projektu, od których zależy rodzaj zastosowanego sprzętu wierzącego.

Poza tym, geologia zapewnia dobrą informację o mechanicznych i geotechnicznych właściwościach skały, które mają kluczowy wpływ na koszt prac wiertniczych (Rys. 1). Głównymi parametrami, według ich wpływu na koszt, są:

- stopień spękania,
- tekstura,
- płaszczyzny słabości: eksfoliacja, stylolity,
- ciężar właściwy i gęstość,
- porowatość,
- przepuszczalność,
- twardość,
- wytrzymałość na ściskanie,
- ścieralność,
- elastyczność,
- plastyczność.



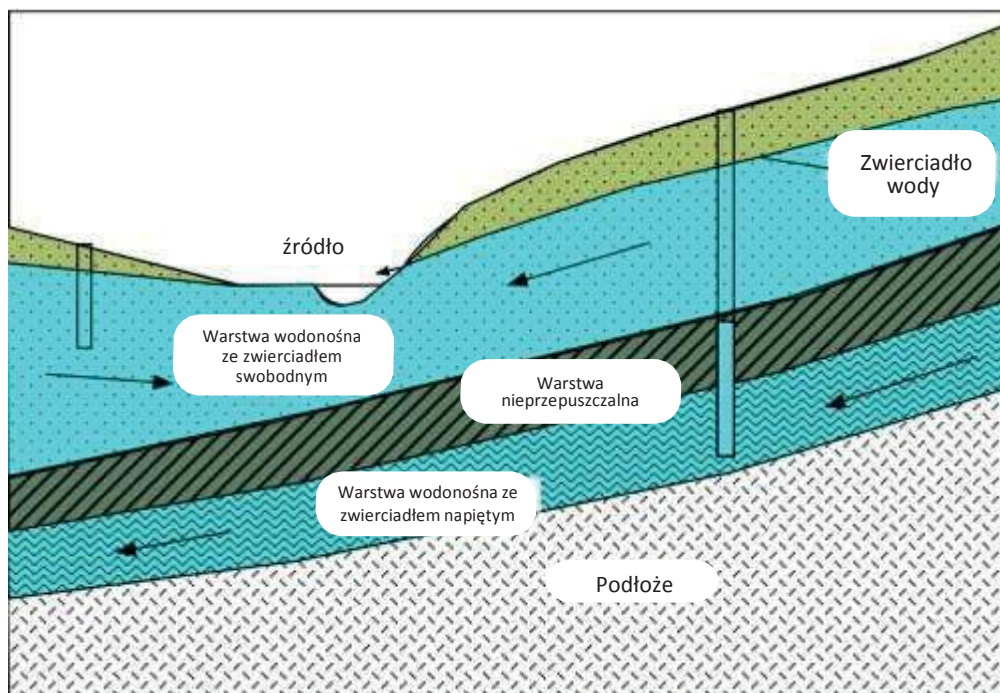
Rys. 1. Przykład mapy geologicznej podłoża skalnego

Prędkość penetracji (ROP). ROP będzie zależać od różnych właściwości skały, z których główne to:

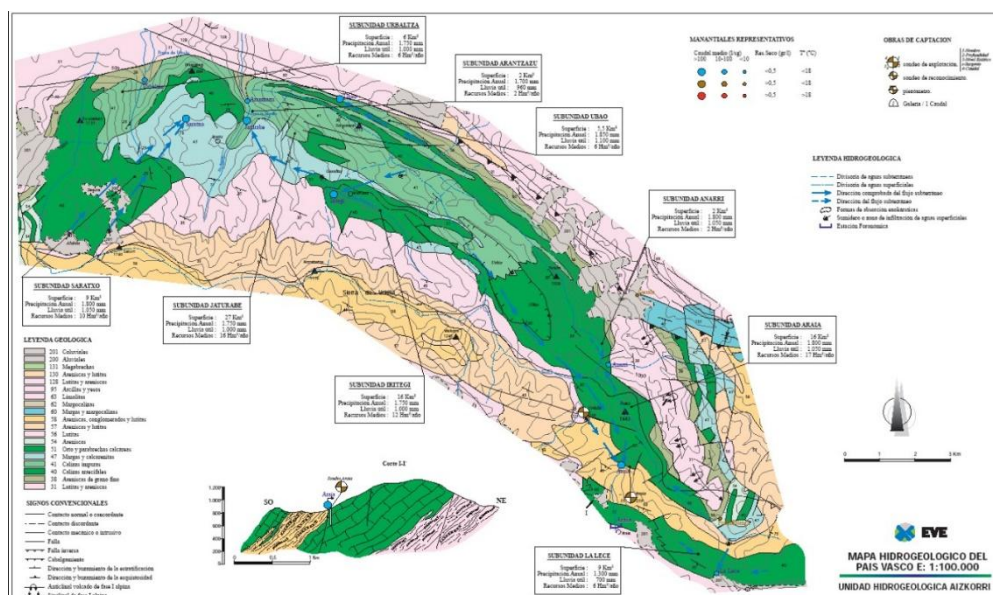
- Stabilność:

Trzy bardzo istotne parametry wpływają na zdolność przewierconego gruntu do utrzymania stabilnych ścian otworu wiertniczego i mają bardzo duży wpływ na ostateczny koszt projektu:

- średnica otworu wiertniczego,
- zapotrzebowanie na dodatkowe wzmocnienia pomocnicze.



Rys. 2. Hydrogeologia, schemat warstwy wodonośnej



Rys. 3. Mapa hydrogeologiczna

Ad. d. Hydrogeologia jest kolejną dziedziną, która musi być koniecznie uwzględniona przy analizach wstępnych (Rys. 2 i 3).

Lokalizacja wody podziemnej ma podstawowe znaczenie w procedurach projektowania systemów gruntowych pomp ciepła, ponieważ:

- wyznacza ona typologię systemu geotermalnego. Przy wystarczającej wydajności warstw wodonośnych, układ może być zaprojektowany jako otwarty lub system odwiertu ze stojącą kolumną, z uwzględnieniem nawet zwiększonej podaży wody w pilotażowym otworze wiertniczym. W przeciwnym przypadku, ostatecznym rozwiązaniem może być system z układem zamkniętym;
- pozycja zwierciadła wody wpływa na przewodność cieplną gruntu;
- przepływ adwekcyjny może przekazywać dużą ilość energii, zwiększając widoczną przewodność cieplną gruntu i zapewniając wyższe współczynniki poboru i zrzutu;
- z drugiej strony, adwekcja może wykluczać sezonowe magazynowanie termiczne w gruncie;
- zanieczyszczenie wody podziemnej jest głównym ryzykiem środowiskowym technologii gruntowych pomp ciepła. Dla oceny zagrożenia zanieczyszczeniem i dla zaprojektowania schematu uszczelnienia otworu wiertniczego jest niezbędna stosowna wiedza na temat warunków hydrogeologicznych miejsca instalacji geotermalnej.

Ad. e. Pilotażowy otwór wiertniczy

Dobrym przykładem narzędzia rozpoznania geologicznego dla systemów geotermalnych o pionowym układzie zamkniętym jest pilotażowy otwór wiertniczy. Wiercenie pilotażowego otworu wiertniczego z odpowiednią kontrolą geologiczną dostarcza pełnowartościowej informacji o:

- profilu litologicznym,
- stopniu spękania podłoża,
- hydrogeologii:
 - pozycji zwierciadła wody,
 - warstwach wodonośnych,
 - produktywności, właściwej prędkości przepływu, depresji,
 - hydrochemii,
 - wyborze wypełnienia/cementu,
- parametrach wiercenia:
 - stabilności formacji, pustkach i próżniach,
 - zdolności do przewiercenia,
 - średnicach,
 - zapotrzebowaniu na rury pomocnicze,
 - prędkości wiercenia,
- koszcie wiercenia,
- otworze wiertniczym dla instalacji wymiennika PE dla testu reakcji termicznej (TRT).
- dodatkowej rurze dla profilowania otworu wiertniczego, temperaturze gruntu niezaburzonego, profilowaniu temperatury przed, podczas i po TRT, innych rodzajach profilowań geofizycznych itd.

3. ZASOBY TECHNICZNE I ZAWODOWE

Zasoby techniczne potrzebne dla tej fazy będą różnić się zgodnie ze skalą projektu.

W małych instalacjach poniżej 30 kW wystarczające są: podstawowa wiedza geologiczna, wykształcenie i doświadczenie. Wiele krajów i rejonów autonomicznych ma służby geologiczne, opracowujące kompleksową dokumentację na temat miejsca pracy, mapy geologiczne i hydrogeologiczne, bazy danych wód podziemnych, ryzyko skażenia wód podziemnych, mapy gleb i spadków terenu itd.

Dodatkowo, wiele firm wiercących może dostarczyć danych na temat litologii, profilu geologicznego, prognozy wód podziemnych itd. Pomaga nam to uzyskać informację geologiczną, wymaganą przez władze górnicze, wodne i lokalne.

Większe instalacje, przekraczające 30 kW, wymagają pogłębionej i bardziej szczegółowej wiedzy geologicznej. Włączenie hydrogeologa do zespołu projektowego może być obowiązkowe, zwłaszcza w systemach z układem otwartym opartych o wody podziemne.

Profile zawodowe profesjonalistów pracujących w branży geotermalnej, tak jak w hydrogeologicznej, są różne.

Przygotowanie zawodowe osób pracujących w tej branży powinno być ugruntowane kwalifikacjami z dziedzin: geologii, górnictwa lub inżynierii lądowej, z dobrą wiedzą na temat hydrogeologii. Projektant powinien rozumieć mapę geologiczną. Musi on przynajmniej znać podstawową klasyfikację skał i identyfikować główne typy skał na obszarze inwestycji. Powinien również być zaznajomiony z podstawami geologii strukturalnej i rozumieć zależności geologiczne między różnymi materiałami podłoża, ich orientacją i procesami deformacji.

W wielu projektach o średniej i dużej skali może być obowiązkowe posiadanie kwalifikacji geotermalnych w celu uzyskania odpowiedniego zabezpieczenia przed zagrożeniami lub do zintegrowania części geotermalnej z projektem budynku.

3.1. Wykorzystanie zasobów

Wiedza geologiczna na temat systemów gruntowych pomp ciepła musi być zintegrowana od pierwszego etapu i będzie niezbędna przez cały proces projektowy. Geologia dostarcza bezpośrednio lub pośrednio informacji o:

- typie układu: otwarty, zamknięty, odwiert ze stojącą kolumną
- termicznych właściwościach gruntu/wód podziemnych
- rentowności układu: system kopany/wiercony, wykonanie studni/otworu wiertniczego
- warunkach środowiskowych.

Zakres wiedzy jest bardzo złożony i odpowiada wybranej typologii. Może obejmować on od kartografii geologicznej/geotechnicznej po próbne pompowanie ujęcia wód podziemnych lub odwiertu do ponownego zatłaczania.

4. WYDAJNOŚĆ ENERGETYCZNA I KORZYŚĆ EKONOMICZNA

Energetyczna wydajność systemu geotermalnego jest w pełni związana z rodzajem obiegu. Wydajność w systemie geotermalnym waha się od współczynnika sezonowej wydajności (SPF) wynoszącego <3 w wielu

poziomych kopanych

systemach geotermalnych z układem zamkniętym do >5 w kilku systemach z układem otwartym, mających źródło w wodach podziemnych. Dla tego samego rodzaju, np. systemu pionowego z układem zamkniętym, obciążenie termiczne budynku i wydajność zmiany długości mogą wahać się od <3,5 do >4,5 w zależności od przewodności cieplnej gruntu i prędkości wody podziemnej w skali Darcy'ego.

Właściwości gruntu, obciążenia termiczne budynku i koszt energii będą określać rentowność i możliwości zastosowania systemu geotermalnego. Rodzaj układu będzie definiować zakres kosztowy systemu geotermalnego. Systemy pionowe z układem zamkniętym mogą zazwyczaj dostarczać energię rzędu kilkuset kW. Można łatwo osiągnąć cenę >1200 € za 1 kW zainstalowanej mocy, z okresem zwrotu wynoszącym ponad 12 lat.

Dla odmiany, system wykorzystujący wody podziemne z układem otwartym może dostarczyć energię rzędu kilku MW i jej cena może być mniejsza niż 100 €/kW, przy kilkumiesięcznym okresie zwrotu.

4.1. Przepisy

Główne zalecenia dotyczą materiałów i procedur wypełniania i cementowania. W niektórych krajach centralnej Europy, takich jak: Francja, Niemcy, Austria i Szwajcaria, wymagane jest cementowanie otworu wiertniczego masą uszczelniającą, zazwyczaj mieszkankami cementowo-bentonitowymi, w celu uniknięcia zanieczyszczenia warstwy wodonośnej. Po umieszczeniu mieszanki cementowej i zdjęciu rur nie są zazwyczaj wykonywane dalsze testy weryfikujące proces cementowania. Przepisy te mogą być przydatne w niektórych warunkach geologicznych, np. na terenach: krasowych, o niskim położeniu zwierciadła wody, z gipsem, nieskonsolidowanych głazowisk, z wyłączeniem innych obszarów.

W pozostałych krajach, np. z obszaru Skandynawii, otwór wiertniczy wypełnia się wodą. Pierścień osłaniający głowicę jest zacementowany i przestrzeń wewnętrzna między U-rurką i osłoną jest uszczelniona pakerem z gumy ekspansywnej. Takie wykonanie jest uważane za wystarczająco bezpieczne, by zagwarantować, że przez otwór wiertniczy nie zachodzi skażenie warstw wodonośnych od powierzchni.

W wielu krajach brak jest przepisów regulacyjnych. Podobnie jak w innych przypadkach, procedura uszczelniania zależy od warunków geologicznych i hydrogeologicznych. Często nie da się zapobiec zanieczyszczeniom krzyżowym między różnymi potencjalnymi warstwami wodonośnymi przez samo cementowanie. Wymaga to specjalnej procedury, np. umieszczenia zacementowanych rur okładzinowych, izolujących górną warstwę wodonośną przed przewierceniem dolnej warstwy wodonośnej. Bardzo podobna sytuacja może mieć miejsce w przypadku silnych warunków artezyjskich. Z drugiej strony, wymaganie uszczelnienia obszarów o niskiej przepuszczalności, po- zbawionych warstw wodonośnych wzdłuż całego otworu wiertniczego, nie jest potrzebne i jedynie zwiększa koszt wiercenia i obniża transport ciepła przez przestrzeń pierścieniową otworu wiertniczego.

„Taka sama recepta nie zawsze jest najlepsza na różne choroby”. Wykwalifikowany personel musi zbadać i zaprojektować bezpieczne rozwiązania dla każdych warunków hydrogeologicznych.

5. WNIOSKI

W geologii badane jest zachowanie energii cieplnej (ciepła) w gruncie. Dopasowany projekt średniej lub dużej wielkości płytkiego systemu geotermalnego nie może być wykonany bez analizy zagadnień geologicznych.

Projektanci muszą znać podstawowe zagadnienia związane z: transportem ciepła w gruncie, czynnikami

wpływa-

jącymi na cenę energii, procesami ładowania oraz rozładowania ciepła i rolą wody podziemnej. Muszą również

mieć wiedzę w zakresie podstawowych zagadnień geologicznych i hydrogeologicznych, znać główne formacje skalne i litologiczne, umiejscowienie warstw wodonośnych i ich „słabe punkty”, przynajmniej dla konkretnego obszaru roboczego, w celu wyboru najbardziej korzystnego rodzaju obiegu w danej lokalizacji. Muszą być oni świadomi konsekwencji i zagrożeń wynikających ze złej oceny geologicznej.

Najczęstszą konsekwencją nieprawidłowych decyzji jest zwiększony koszt i nieprawidłowe funkcjonowanie systemu geotermalnego. W przypadku wyboru niewłaściwego rodzaju obiegu może być wybrana droższa alternatywa, zwiększająca koszt systemu geotermalnego. Czasami limit wydatków może być przekroczony, prowadząc do zatrzymania projektu. Niedostateczna wiedza o energetycznych właściwościach gruntu może również prowadzić do złych decyzji. W najgorszym przypadku możemy mieć do czynienia z niewłaściwym projektem. System nigdy nie będzie pracował prawidłowo lub kłopoty pojawią się po kilka latach operacji. Ponadto, mylna ocena geologiczna może powodować zagrożenia geotechniczne i środowiskowe, niektóre nawet o konsekwencjach karnych.

5.1. Przyszłość

Przyszły rozwój tej dziedziny będzie wymagał zwiększenia znaczenia profesjonalistów o dużym doświadczeniu w projektowaniu geotermalnym. W projektach o średniej i dużej skali, ich wiedza będzie konieczna w ramach multidyscyplinarnego zespołu roboczego. Zadaniem dla specjalisty będzie ustalenie właściwości gruntu, zachowania wody podziemnej, zdolności magazynowania termicznego, lokalizacji projektu lub wybór najlepszego i najbezpieczniejszego schematu środowiskowego przekazywania ciepła dla otworu wiertniczego. W celu poprawy projektu odwiertów i kontroli jakości pracy będą szeroko stosowane specjalistyczne metody hydrogeologiczne i geofizyczne.

Dodatkowe informacje

Bibliografia

Wiele podręczników dotyczących projektowania geotermalnego poświęca przynajmniej jeden rozdział objaśnieniu niektórych podstawowych kwestii geologicznych.

Strony internetowe

Kraje Unii Europejskiej mają szeroką sieć służb geologicznych, z usługami sieciowymi oferującymi przydatne informacje, w tym: geologiczne i hydrogeologiczne, bazy danych ujęć wody, zestawienia przewodności cieplnej gruntu, temperatur wód podziemnych, hydrochemiczne itd.

Patrz: <http://www.uni-mainz.de/FB/Geo/Geologie/GeoSurv.html>

Innymi interesującymi stowarzyszeniami są:

Międzynarodowe Stowarzyszenie Hydrogeologów (IAH): www.iah.org

Narodowe stowarzyszenia geologiczne, górnicze oraz budowlane na swoich stronach internetowych dysponują obszernymi informacjami na te tematy.

Patrz: <http://geology.about.com/>, gdzie można znaleźć obszerną informację geologiczną dla odświeżenia swojej szkolnej wiedzy na temat geologii.

Sekcja B

ROZDZIAŁ 6

METODY PŁYTKICH WIERCEŃ GEOTERMALNYCH

Autor: Olof Andersson

1. Wstęp

Płytkie systemy geotermalne są często wiercone do głębokości mniejszej niż 200 m i składają się z otworów wiertniczych dla systemów z układem zamkniętym lub otwartym.

Zakłada się, że wszyscy wiertacze specjalizujący się w branży płytkiej geotermii mają umiejętności wiercenia nabyte poprzez doświadczenie i/lub edukację. Każdy obecnie może podać się jednak za wiertacza, gdyż w żadnym z państw członkowskich UE nie prowadzi się szkoleń z uznanymi certyfikatami dla wiertaczy.

Wyposażenie w sprzęt, metody oraz procedury wiercenia różnią się zasadniczo w różnych krajach (czasem również w ramach tego samego kraju) w zależności od warunków geologicznych i „kultury” wiercenia.

- **Wiercenie otworów wiertniczych i studni to sztuka powiązana z ostrożnością, rozsądkiem, wyobraźnią i doświadczeniami, uzyskiwanymi przez wiele lat.**
- **Zawód ten wymaga szerokiej wiedzy o urządzeniach, sprzęcie towarzyszącym, geologii, hydrogeologii, bezpieczeństwie, „pracach gorących”, przedsiębiorczości i legislacji.**

W zawodzie wiertacza należy pamiętać o zachowaniu ww. cech.

W rozdziale tym przegląd opcjonalnych systemów wiercenia przedstawiony jest jako baza dla przekazania „know how” odnośnie do prawidłowych metod i procedur między krajami i regionami.

2. Dlaczego firmy wierzące i instalatorzy powinni interesować się różnymi sposobami wiercenia?

Wykorzystanie podłoża jako zasobu energii cieplnej znajduje się nadal na wczesnym etapie rozwoju w większości krajów UE. W krajach o dłuższej tradycji, takich jak Szwecja i Niemcy, metody wiercenia zostały dostosowane do systemu płytkiej geotermii, a co za tym idzie, zdobyte doświadczenia mogą ułatwić pozostałym krajom opracowanie metod wiercenia. Jest to oczywiście korzystne dla szybszego wdrażania technologii i może w dłuższej perspektywie być podstawą dla wspólnego procesu certyfikacji w UE.

3. Klasyfikacja metod wiercenia

Wiercenie jest procesem, w którym stosowane są urządzenia do utworzenia wąskiego otworu w gruncie, często na znaczną głębokość. Sprzęt wierzący jest zasilany energią, uzyskaną często dzięki silnikom Diesla lub elektrycznym oraz układom hydraulicznym. Wydajność procesu jest znacznie zróżnicowana i zależy od tego, ile energii wejściowej w rzeczywistości zużyto do wykonania otworu oraz jaka jest wielkość strat energii w procesie.

Świder nie zużywa energii jedynie do wglębnego drażenia gleby lub skał, lecz jest ona również konieczna do powstania sił (ciągu) podczas wiercenia i pokonania oporu przy obrocie (moment obrotowy). Ponadto, część energii jest również stosowana dla wypłukania zwińcin na powierzchnię. Na rysunku 1 przedstawiono najpopularniejsze sposoby wiercenia z uwzględnieniem procesów niszczenia, czyszczenia otworu wiertniczego i sił wywieranych na sprzęt wierzący.

	Wiercenie narzędziem przewodowym	Wiercenie udarowe z powietrzem	Konwencjonalne wiercenie obrotowe	Wiercenie ślimakowe	Wiercenie soniczne
Wywierane siły mechaniczne	grawitacja	(ciąg) (moment obrotowy) udar	ciąg moment obrotowy	(ciąg) moment obrotowy	(ciąg) (moment obrotowy) wibracja
Metoda oczyszczania otworu	podnoszenie szlamówką	płukanie powietrzem lub wodą	płukanie wodą lub płuczką	podnoszenie lub transport skręcony	aparat rdzeniujący powietrze lub woda
Siły niszczące	miażdżenie przez uderzenia	miażdżenie przez wysoką częstotliwość suwy	miażdżenie przez ciśnienie (strumień)	ściananie	odepchnięcie miażdżenie (strumień)

Rys. 1. Opis popularnych metod wiercenia na podstawie analizy wywieranych sił i procesów

4. Opis i ocena metod

4.1. Wiercenie narzędziem przewodowym

Metoda wiercenia narzędziem przewodowym historycznie pochodzi z Chin, gdzie była stosowana ponad 2600 lat temu. Upowszechniła się w Europie, gdy studnie wiercone stały się popularnym źródłem wody i była dominującą metodą wiercenia studni do lat 50-tych ub. w. Została wówczas stopniowo wyparta przez bardziej wydajne i o wiele szybsze obrotowe metody wiercenia.

W płytkich wierceniach geotermalnych jest nadal okazjonalnie stosowana dla wielkowymiarowych odwiertów ekranowanych w formacjach grubookruchowych, tj. osady rzeczne i ozy.

4.2. Wiercenie udarowe z powietrzem

Wiercenia udarowe, stosujące pneumatyczne młoty górne, wprowadzono na początku ubiegłego wieku. Metoda ta była w tym czasie stosowana do wierceń budowlanych i wierceń strzałowych w przemyśle górnictwa. W latach 70-tych ub. w. wprowadzono metodę wiercenia młotem dolnym (DTH) dla studni wodnych w twardych skałach. Od tamtego czasu była ona rozwijana i stała się jedną z najbardziej wydajnych metod wiercenia. Jest często stosowana dla wykonania otworów wiertniczych w skałach krystalicznych oraz w skonsolidowanych skałach osadowych. Metoda ta dominuje na obszarze tarczy Bałtycko-Skandynawskiej z granitami oraz gnejsami i paleozoicznymi skałami osadowymi na jej granicy. Metodę tę stosuje się również miejscowo w pozostałej części Europy, zwłaszcza w regionach ze skonsolidowanymi skałami. Na rysunku 2 pokazano typową wiertnię z przeciętnej wielkości wiertnicą i kompresorem.



Rys. 2. Wiertnia z wierceniem udarowym składająca się z wiertnicy i pojemników na zwierciny oraz kompresor położony w pewnej odległości od wiertnicy

Młot DTH jest tradycyjnie napędzany przez sprężone powietrze, uzyskane przez potężne kompresory. W latach 70-tych ub. w. większość kompresorów uzyskiwała ciśnienie robocze ok. 10 bar, podczas gdy w latach 90-tych osiągnęła wartość ok. 20 bar. Obecnie stosuje się często kompresory 30 bar, co powoduje, że wielkość penetracji wynosi aż 0,5–1,0 m/min przy wierceniu w granitach i gnejsach.

Wiertnice zaprojektowane do wierceń udarowych są zdolne do pracy z żerdziami wierzącymi do głębokości przeciętnie 200–250 m, co jest praktycznym limitem głębokości dla systemów wiercenia z układem zamkniętym. Jednakże, głębokość ta może być ograniczona przez niekorzystne struktury geologiczne, takie jak tektonicznie niestabilne strefy spękań. Głębokość docelowa jest często ograniczona przez wejście w obszar wysoce przepuszczalnych spękań. W takich przypadkach ciśnienie powietrza, stosowane do przenoszenia wody na powierzchnię, obniża moc przeznaczoną do napędzania młota. Nawet przy ciśnieniu kompresora wynoszącym 30 bar nie jest możliwe dalsze wiercenie z wydajnością przepływu wody na poziomie 15–20 l/s.

Wiercenie w skałach osadowych nie będzie możliwe, dopóki cała formacja nie zostanie skonsolidowana. Na przykład, luźna warstwa nieskonsolidowanego pyłu lub piasku w formacji skonsolidowanej będzie w sposób ciągły wytwarzana przez ciśnienie hydrostatyczne w kierunku otworu wiertniczego. Oznacza to, w najgorszym przypadku, koniec dalszego wiercenia, i będzie granicznym poziomem, na który można włożyć otworowy wymiennik ciepła.

Zaletą wiercenia udarowego jest to, że otwory mogą być wykonane w różnych kierunkach. Oznacza to, że kilka otworów może być wykonanych z niemal tego samego punktu, tworząc konfigurację o kształcie trójkąta. Czasem stosowane są ustawienia pod kątem do 45°, lecz częstsze jest kierowanie otworów wiertniczych pod kątem 10–20°. Jest to popularnie w przypadku płytkich zastosowań geotermalnych w miastach o ograniczonej powierzchni dla wiercenia.

Udarowo wiercone otwory wiertnicze w żadnym przypadku nie będą idealnie proste. Pomiary wykonane w „prostych” otworach wiertniczych charakteryzują się odchyleniem, które w typowym układzie o długości 150 m ma wielkość rzędu 10–20 m. Stwarza to ryzyko, zwłaszcza, jeśli system składa się z gęsto rozmieszczonych otworów wiertniczych (BTES). W takiej sytuacji jeden otwór lub kilka otworów wiertniczych mogą się krzyżować, powodując uszkodzenia. Problem ten może być przynajmniej częściowo wyeliminowany przez dodatkowe wyposażenie świda, młota i przewodu wiertniczego w prowadniki kierujące.

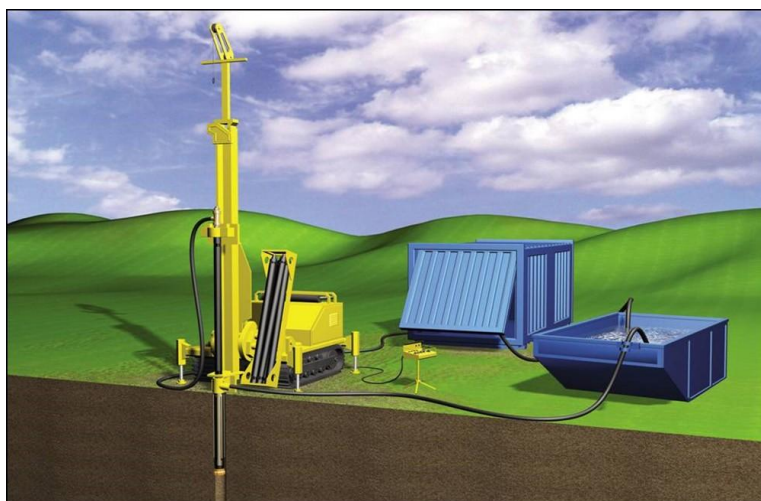
Innym zagrożeniem płynącym z otworów wiertniczych położonych blisko siebie jest to, że otwory wiertnicze mogą łączyć się poprzez spękania. W takich przypadkach wysokie ciśnienie powietrza stosowane przy wierceniu może powodować uszkodzenia już ukończonych pobliskich otworów wiertniczych. W Skandynawii problem ten jest typowy dla niezacementowanych otworów wiertniczych, lecz nie stanowi dużego ryzyka dla zacementowanych. Główne obserwacje wynikające ze stosowania metody wiercenia DTH dla płytkiej geotermii w Skandynawii wymienione są poniżej.

- **Skały ze strefami spękanymi mogą powodować problemy ze stabilnością i stanowić przeszkodę dla umieszczania pionowych GWC.**
- **Natrafienie na przepuszczalne spękania w skale spowolni prędkość penetracji i w najgorszym przypadku uniemożliwi dalsze wiercenie.**
- **Pozbywanie się wyprodukowanej wody podziemnej i zwiercin może wywołać dodatkowe problemy i koszty.**
- **Ciśnienia powstałe na skutek istnienia systemów spękań mogą spowodować przebicie między blisko położonymi otworami wiertniczymi (zwłaszcza BTES) i powodować różne rodzaje uszkodzeń.**
- **W zastosowaniach BTES z głębokimi otworami wiertniczymi można powziąć specjalne środki dla uniknięcia penetracji między otworami.**

4.3. Wiercenie udarowe z wodą

Dla wykonania wierceń geotermalnych opracowano hydrauliczny młot DTH napędzany wodą (Wassara) i wprowadzono go na rynek, szczególnie w Skandynawii. W dalszej części przytoczono informacje na temat tej metody oraz zilustrowano działanie na rysunku 3.

- Metoda została opracowana przez LKAB w latach 90-tych ub.w.
- Służy głównie dla wierceń otworów strzałowych w przemyśle górniczym.
- System pracuje pod wysokim ciśnieniem 150–200 bar.
- Czysta woda musi być stosowana przy prędkości przepływu wynoszącej 3–5 l/s.
- Czyszczenie i recyrkulacja wody są wciąż w fazie rozwoju.
- Prędkość wiercenia jest często wyższa niż w przypadku DTH z powietrzem.
- Koszt wiercenia jest nieznacznie wyższy niż DTH z powietrzem.
- System stosowany jest głównie dla głębokich otworów wiertniczych (> 200 m) i głębokich wierceń orurowanych.



Rys. 3. System Wassara ma młot napędzany czystą wodą

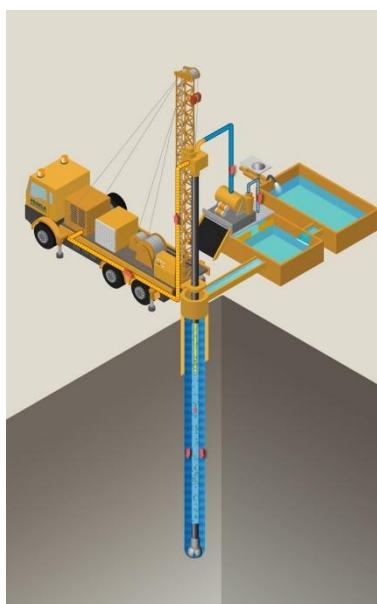
Ponieważ metoda Wassara łączy wydajność wiercenia udarowego z korzyściami posiadania hydraulicznego stabilizującego nadciśnienia w otworze wiertniczym, podobnie jak w konwencjonalnej metodzie obrotowej, staje się ona stopniowo coraz częściej stosowana w Skandynawii dla płytkiej geotermii. Szczególnie dotyczy to głębszych otworów w skałach krystalicznych i w regionach z młodszymi skałami osadowymi.

Czynnikiem ograniczającym przy metodzie Wassara jest to, że woda płucząca musi być oczyszczona z cząsteczek, zwłaszcza mniejszych frakcji pyłu i większych iłu. System dla czyszczenia zwrotnej wody ze zwiercin musi być jeszcze dopracowany, aby był w pełni konkurencyjny rynkowo. Tym samym, znaczące zużycie wody podczas wiercenia jest wciąż przeszkodą.

4.4. Konwencjonalne wiercenie obrotowe

Ze względu na warunki geologiczne, konwencjonalna metoda obrotowa jest dominującym sposobem wiercenia w obszarach ze skałami osadowymi. Była ona oryginalnie opracowana w przemyśle wydobywczym ropy naftowej i gazu ziemnego na przełomie XIX i XX w. i stała się „metodą wierceń ropy naftowej”, którą stosuje się obecnie. Metoda była przystosowana do płytkiego wiercenia z wodą w latach 40-tych ub. w. i od tego czasu stopniowo zastąpiła na świecie metodę z narzędziem przewodowym.

W skonsolidowanych skałach osadowych stosuje się „świder gryzowy” z trzema końcówkami do miażdżenia lub rozbijania skały na fragmenty (zwierciny). Dla wiercenia w skałach miękkich stosowany jest inny rodzaj świda – świder skrawający. Oddziela on kawałki skały na dnie otworu wiertniczego. Dzięki przepłukaniu płynu przez żerdzie wierzące i na zewnątrz świda, dno otworu wiertniczego jest oczyszczone ze zwiercin, które są przetransportowane na powierzchnię w pierścieniu między żerdziami a ścianą otworu wiertniczego. Płyn jest wówczas oczyszczony przez odseparowanie zwiercin od płynu z zastosowaniem sita (sito mechaniczne) i przez sedymentację w zbiornikach lub osadniku. Płyn jest wówczas recykulowany z powrotem przez pręty (cyrkulacja prosta). Przy większych wymiarach płyn jest cyrkulowany w sposób przeciwny (cyrkulacja odwrócona). Dla płytkich systemów geotermalnych z układem zamkniętym praktycznie zawsze stosuje się metodę cyrkulacji prostej, jeśli to możliwe z wodą jako medium płynnym.



*Rys. 4. Konwencjonalne wiercenie obrotowe i różne stosowane świdry
(świder gryzowy z trzema końcówkami i świder skrawający)*

W zależności od warunków geologicznych i hydrogeologicznych, do wody należy dodawać domieszki. Jest to często wykonywane w celu stabilizacji otworu wiertniczego (zapobieganiu zapadania się otworu wiertniczego) i/lub zapobieganiu utracie płynu, w sytuacji gdy natrafi się na warstwy wysoce przepuszczalne. Popularną tego typu domieszką do wody jest bentonit, naturalny minerał ilasty. Przy wierceniu odwiertów dla systemów z układem otwartym należy unikać bentonitu i zastąpić go substancją, która jest zdolna do samodegradacji, taką jak organiczne polimery (CMC). Płyn z domieszkami zmieniającymi jego właściwości jest zwany płuczką wiertniczą.

Metoda obrotowa ma kilka zalet w porównaniu z wierceniem udarowym z powietrzem. Najbardziej istotne jest to, że otwór wiertniczy może być stabilnie utrzymany w nadciśnieniu hydrostatycznym, które jest w nim wytworzone w porównaniu z hydrostatycznym ciśnieniem w warstwie. Oczywiście nie dotyczy to przypadku, gdy osiągnięty jest poziom artezyjskiej warstwy wodonośnej. Należy wtedy zwiększyć gęstość płynu przez dodanie na przykład drobnoziarnistej kredy lub innych dodatków. Z drugiej strony, oczywistą wadą jest to, że konwencjonalne wiercenie obrotowe w skałach twardych jest zbyt powolne, a w praktyce nawet nieodpowiednie dla magmowych typów skał.

Poniżej opisano częste problemy i obserwacje towarzyszące wierceniu konwencjonalną metodą obrotową w skałach osadowych.

- **Strefy spękań w skałach mogą powodować problemy ze stabilnością i stanowić przeszkodę dla umieszczania otworowego wymiennika ciepła.**
- **Wysoce przepuszczalne warstwy będą powodować utratę cyrkulacji, co spowolni pracę.**
- **Natrafienie na artezyjskie warstwy wodonośne może spowodować zapadnięcie się otworu wiertniczego i w najgorszym przypadku zapadnięcie się rur okładzinowych.**
- **Większość tych problemów może być rozwiązana poprzez zastosowanie prawidłowej technologii płuczki, z dodatkiem bentonitu.**
- **Płuczka bentonitowa nie powinna być stosowana dla odwiertów z układem otwartym. Zamiast tego należy stosować płuczkę polimerową (CMC).**

4.5. Wiercenie ślimakowe

Metoda wiercenia ślimakowego wykorzystuje dobrze znaną zasadę drążenia do wykonywania otworów w materiale miękkim. Stosuje się ją często dla geotechnicznych badań lokalnych, lecz na większą skalę również dla wiercenia studni wodnych i w płytkich systemach geotermalnych do umiarkowanej głębokości.

Zgodnie z zasadą, ślimak obracany jest w dół gleby i albo wyciągany z powrotem w pewnych interwałach dla opróżnienia zwojów, albo (częściej) materiał jest automatycznie transportowany przez zwoje na powierzchnię, jak pokazano na rysunku 5.



Rys. 5. Wiercenie ślimakowe, które w prezentowanym przypadku jest wykonywane przez narzędzie puste w środku

Dla płytkich zastosowań geotermalnych metoda może być stosowana dla średnich głębokości i systemów z układem zamkniętym penetrujących drobnoziarniste osady. Dla wiercenia w skałach należy rozważyć inne metody.

4.6. Wiercenie soniczne

Metoda wiercenia sonicznego jest względnie nowa na rynku, pomimo tego, że była ona opracowana w latach 90-tych ub. w. Siłą napędową dla penetracji świda jest wibracja o wysokiej częstotliwości, która jest przekazywana z obrotowej głowicy w dół. Wiercenie soniczne przypomina metodę z górnym młotem, lecz odróżnia się tym, że straty energii są o wiele mniejsze.

Metoda była pierwotnie opracowana dla opróbowania rdzenia w formacjach nieskonsolidowanych, lecz została następnie udoskonalona do wiercenia otworów bosych w niemal wszystkich typach skał. Umożliwia ona również przepłukanie przez płyn lub przepuszczenie powietrza. Z tych względów metoda ta jest bardzo elastyczna dla wiercenia w różnych warunkach geologicznych. Brak informacji opisanych w literaturze utrudnia ocenę skuteczności tej metody dla płytkich zastosowań geotermalnych.

Poza elastycznością, umożliwiającą pracę w różnych warunkach geologicznych, metoda ta ma kilka potencjalnych zalet. Są nimi zmniejszona konieczność konserwacji, obniżony hałas i łatwiejsze usuwanie rur okładzinowych w porównaniu z metodami wierceń udarowych.

5. Wiercenie nadkładu

5.1. Tymczasowe rury okładzinowe

W większości sytuacji płytkie wiercenie geotermalne wiąże się z przewiercaniem nadkładu i na tym etapie umieszczaniem rur okładzinowych przed kontynuowaniem wiercenia bosego w litej skale. W rzadkich przypadkach gleba nie jest wystarczająco twarda, by być stabilna blisko powierzchni. W tym przypadku, rury okładzinowe powinny być zastąpione przez rurę pionową, która jest wiercona lub wpychana tylko na ok. 1 m w głąb.

Istnieją dwa rodzaje osłony rur, których charakterystyka spełnia procedury wiercenia i odpowiada warunkom geologicznym, specyficznym dla lokalizacji. Jeden to system tymczasowy, połączony na gwincie i typowo obracany w dół w tym samym czasie, gdy otwór jest wiercony tuż poniżej poziomu rury. Jest to metoda standardowa dla zacementowanych otworów wiertniczych, wykonywana przy użyciu odpowiedniej wiertnicy do jednoczesnej obsługi rotacji zarówno rur okładzinowych, jak i przewodu wiertniczego. Świder pilotujący jest przymocowany do przewodu wiertniczego i koronki pierścieniowej na końcu rur okładzinowych. Podczas wiercenia zwierciny są wypychane na powierzchnię za pomocą powietrza lub rzadziej wody.

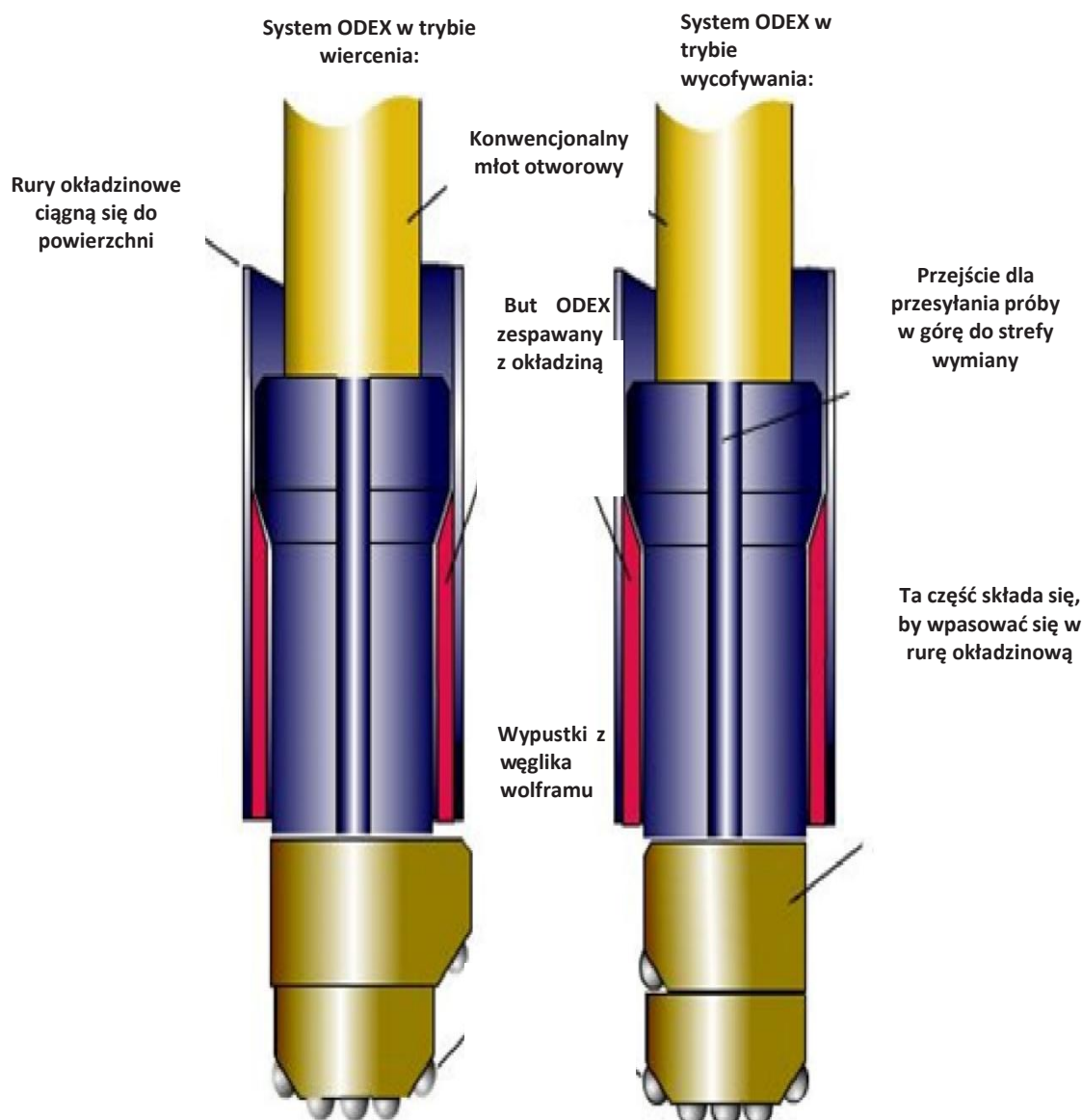
Jeśli wiercenie jest wykonane konwencjonalną metodą obrotową, rury okładzinowe mogą być ustawione po wywierceniu i ustabilizowaniu otworu. Kolumna wówczas zwisa nad dnem otworu i można następnie wiercić otwór bosy o mniejszym rozmiarze.

Po cementowaniu rury okładzinowe są usuwane i rozłączone. Podczas tego etapu mieszanka cementowa może dostawać się do przepuszczalnych stref, które były odcięte przez kolumnę podczas cementowania. Może to wymagać ponownego cementowania do poziomu powierzchni na późniejszym etapie, gdy pierwsza mieszanka utwardzi się.

5.2. Stałe rury okładzinowe

W Skandynawii stosowane są stałe rury okładzinowe. Zgodnie z normami, rury okładzinowe powinny być dowiercone przynajmniej na głębokość dwóch metrów do poziomu twardej i nieprzepuszczalnej skały. Kolumnę wierci się za pomocą specjalnego systemu, zwanego wierceniem nadkładu z mimośrodowym świdrem (ODEX), patrz rysunek 6. Ze względu na siły powstające podczas stosowania metody ODEX, rury okładzinowe muszą mieć spawane złącza. Co więcej, zgodnie z normami, rury okładzinowe muszą być uszczelnione na dolnym końcu w taki sposób, że woda z powierzchni terenu nie może dostawać się do otworu wiertniczego. Celem jest oczywiście ochrona wód podziemnych w skałe, które w przeciwnym razie mogłyby być zanieczyszczone przez przepływ w pierścieniu między rurami okładzinowymi a ścianą otworu wiertniczego, w przestrzeni o szerokości ok. 5 mm. Przestrzeń ta jest zasadniczo zacementowana, lecz rzadko na całej swojej długości. Często wypełnia się dno otworu przez

3 m mieszanki cementowej, następnie podnosi rury okładzinowe o 3 m i ponownie opuszcza w dół. Ostatecznie, tzw. but rur dopychany jest mocno do dna w celu uszczelnienia zacementowanej przestrzeni. Wiercenie pełnego otworu rozpoczyna się następnie w sposób bardziej lub mniej bezpośredni.



Rys. 6. Zasada i sprzęt stosowany dla metody wiercenia ODEX

Metoda ODEX, która była wprowadzona w latach 70-tych ub. w., znalazła zastosowanie na całym świecie i pojawiło się po niej kilka metod równoważnych, takich jak TUBEX, NO-EX, i SYMMETRIX, przy czym dwie ostatnie to metody z koronką pierścieniową. Wszystkie one mają jednak wspólną cechę, polegającą na tym, że rury okładzinowe prowadzone są w dół bez ich rotacji, a obracana jest jedynie koronka pierścieniowa.

Dodatkowe informacje

Australian Drilling Industry. Training Committee 1996. *Drilling – The manual of Methods, Applications and Management*. CRC Press LCC, 1997.

Tuomas G. 2004. *Water Powered Percussive Rock Drilling*. Luleå University of Technology, praca doktorska, 2004: 58.

Strona www.groundsourcesolutions.com 2011, *How the Sonic Drilling Works*.

Sekcja B

ROZDZIAŁ 7

Wiercenia próbne i pomiary podczas wiercenia

Autor: Olof Andersson

1. Wstęp

Płytki system geotermalny, opracowany na dużą skalę, zawiera określoną liczbę otworów wiertniczych dla układu zamkniętego lub dla otwartego. Przed wykonaniem rzeczywistej konstrukcji istotne jest rozpoznanie konkretnych cech i właściwości podłoża w miejscu instalacji w celu uniknięcia kosztownych awarii i problemów. Tym samym, wiercenia próbne są ważnym etapem prac w ramach wykonawstwa każdego wielkoskalowego płytkiego systemu geotermalnego.

Wiercenia próbne powinny być wykonywane na wczesnym etapie.

Ocena rezultatów jest zasadnicza dla końcowego projektu, lecz także dla celów zezwolenia.

Istnieją duże różnice w procedurze próbnego wiercenia w zależności od tego, czy jest wykonywane dla systemów z układem zamkniętym bądź otwartym.

Główne parametry dla systemów z układem zamkniętym są pozyskane przez TRT w otworze próbnym.

Główne parametry dla systemów z układem otwartym są pozyskane przez próbną pompowanie.

Mimo to, w obu wypadkach geologia musi być dokumentowana podczas wiercenia.

ETAP PROJEKTU UTES	ANEKS 13 PODZADANIE	WYKORZYSTANIE WYNIKÓW
STUDIA WYKONALNOŚCI DECYZJA WSTĘPNA	A. PROCEDURY WIERCEN PRÓBNYCH 	MODELOWANIE HYDROGEOLOGICZNE, GEOLOGICZNE SYMULACJE
OPIS RAM PROJEKTOWANIE SZCZEGÓŁÓW	B. KRYTERIA PROJEKTOWE 	ZAPOBIEGANIE AWARIOM OPTYMALIZACJA WYDAJNOŚCI
KONSTRUKCJA KONTROLA NADZÓR	C. METODY KONSTRUKCJI 	PRAWIDŁOWE FUNKCJONOWANIE WYDAJNOŚĆ I OPLACALNOŚĆ
RUCH PRÓBNY, REGULACJA RUCH DŁUGOTERMINOWY	D. MONITORING OPERACYJNY 	WYKRYWANIE AWARII WIEDZA NA TEMAT KONSERWACJI

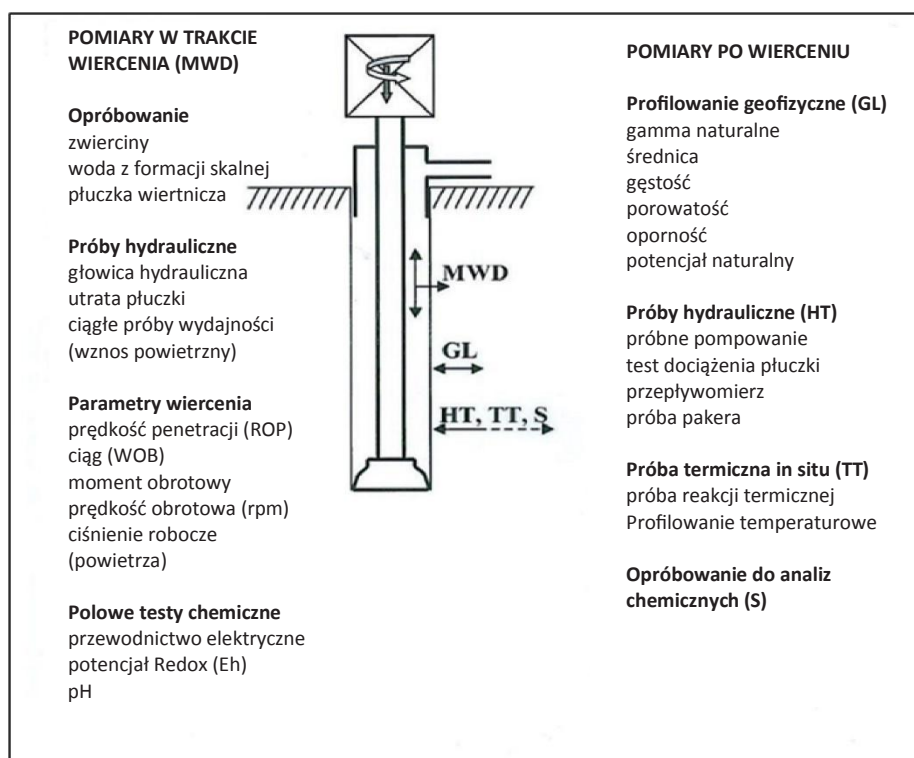
Rys. 1. Wielkoskalowy płytki system geotermalny powinien uwzględniać wiercenia próbne jako podstawę projektu

2. Dlaczego firmy wierzące i instalatorzy powinni interesować się wierceniami próbnymi?

Firma wierząca lub instalacyjna musi zdawać sobie sprawę, dlaczego wiercenia próbne są podstawą udanej instalacji. Jak zilustrowano na rysunku 1, prawidłowo przeprowadzone wiercenia próbne będą źródłem informacji o właściwościach podłoża projektowanego systemu. Informacje zebrane podczas wykonywania otworów próbnych stanowią dane wejściowe do organizacji procesu wiercenia i rozważenia potencjalnych problemów związanych z wierceniem, tym samym umożliwiając oszacowanie kosztów wiercenia.

3. Potencjalne pomiary w trakcie i po wierceniu

Podczas wiercenia otworu próbnego, dzięki opróbowaniu i pomiarom, można uzyskać cenne informacje dla prawidłowego określenia właściwości warstw geologicznych, które są penetrowane. Często obowiązkiem wykonawcy wiercenia jest zebranie i dostarczenie tego zapisu projektantowi. Na rysunku 2 pokazano zestaw potencjalnych parametrów, jakie można pozyskać podczas wiercenia (MWD),



Rys 2. Potencjalne parametry, jakie mogą być uzyskane z wiercenia próbnego w trakcie wiercenia i po nim

Parametry, które są możliwe do udokumentowania podczas wiercenia, zależą od stosowanej metody wiercenia. Mimo to, opróbowanie zwiercin zawsze będzie istotną kwestią, tak jak pomiary przynajmniej niektórych parametrów wiercenia.

Podczas i po zakończeniu wiercenia można wykonać różne testy, czasem przez wiertnika, w innych przypadkach w formie usługi podmiotu zewnętrznego. Dla systemów z układem zamkniętym rekomenduje się zawsze wykonanie testu reakcji (odpowiedzi) termicznej (TRT) w celu oszacowania właściwości warstw geologicznych. Dla systemów z układem otwartym są przeprowadzane różne formy próbnych pompowań w połączeniu z chemicznymi analizami wód podziemnych.

4. Planowanie wiercenia próbnego

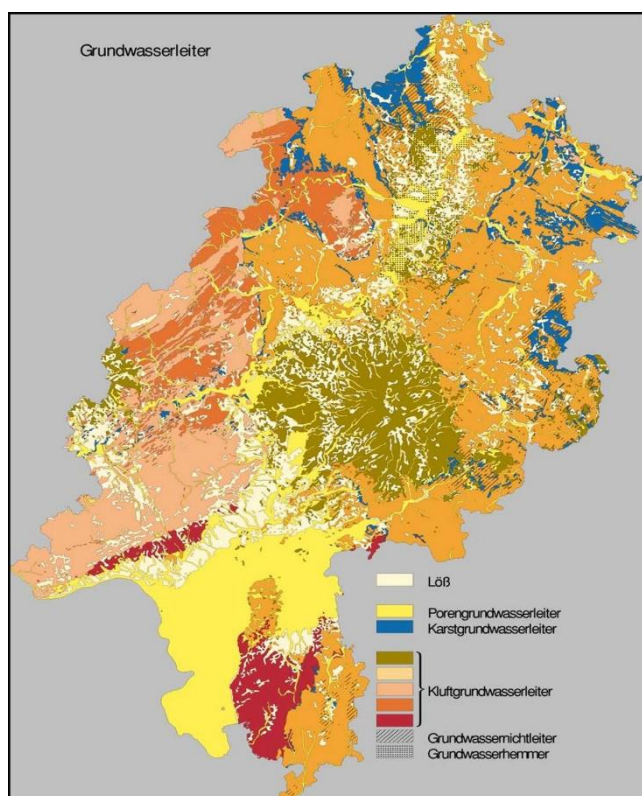
W zależności od tego, czy system stanowi układ zamknięty czy otwarty, program wierceń próbnych może być całkiem odmienny. Zasadnicze podejście do planowania odwiertów próbnych lub wierceń próbnych dla otworów wiertniczych powinno jednak polegać na przestrzeganiu pewnej procedury w celu uwzględnienia większości zagadnień, których ustalenie jest istotne dla zaprojektowania systemu.

Ważne jest, również dla wiertacza, posiadanie szerokiej wiedzy koncepcyjnej na temat projektu w celu zrozumienia, dlaczego i w jakim zakresie wykonywane są otwory próbne. Umożliwia to omówienie programu wierceń próbnych z projektantem na wczesnym etapie i uzyskanie dodatkowych opinii na temat pracy, jaką należy wykonać.

Poniżej przedstawiono listę kontrolną dla takiej procedury, uwzględniającą zasadę współpracy z projektantem.

- Należy ustalić kolejność „ładunków” grzewczych i chłodniczych dla podjęcia decyzji w kwestii wielkości, liczby oraz położenia i odległości między odwiertami próbnymi lub otworami wiertniczymi.
- Należy zweryfikować powierzchniowe warunki gruntowe w celu rozmieszczenia otworów wiertniczych lub odwiertów w prawidłowych punktach.
- Należy ustalić geologiczne i hydrogeologiczne warunki obszaru w celu zaplanowania wiercenia.
- Na podstawie informacji z powyższych punktów należy opracować koncepcyjny program wierceń i dokumentacji.
- Na koniec należy upewnić się, że przestrzegane są lokalne przepisy i możliwe ograniczenia, i jeśli jest to wymagane, iż załatwione są pozwolenia na wiercenie.

W celu zbadania lokalnych warunków geologicznych wskazane jest zapoznanie się z mapami geologicznymi, które są dostępne w większości krajów. Sposób pozyskiwania informacji zilustrowano na rysunku 3.



- mapy topograficzne, geologiczne i hydrogeologiczne
- istniejące badania hydrogeologiczne, w tym geofizyka
- przegląd odwiertów na obszarze
- (archiwa lub bazy danych)
- badanie granic działek i użytkowania terenu
- sprawdzenie ograniczeń lub przeszkód w korzystaniu z wody gruntowej na danym obszarze

Rys. 3. Wykorzystanie map geologicznych i innych istniejących dokumentów jest sposobem na uzyskanie informacji dla planowania wierceń próbnych

W przypadku planowania programu dokumentacji, należy uwzględnić następujące parametry:

- **jednostki stratygraficzne na podstawie prób zwiercin (wszystkie projekty),**
- **rozkład wielkości ziaren w warstwie wodonośnej przez gęste i dokładne opróbowanie i analizy sitowe zwiercin (głównie projekty z układem otwartym),**
- **metody wiercenia ze specjalnym opróbowaniem mogą być wymagane dla projektu filtra odwiertu, tj. rdzeniowanie (tylko projekty z układem otwartym),**
- **prędkość penetracji, korzystnie jako funkcja innych parametrów wiercenia (wszystkie projekty),**
- **wydajność wznosu powietrza jako funkcja głębokości (wszystkie projekty),**
- **utratę płuczki, poziomy i ilości (wszystkie projekty),**
- **wysokość statyczna po wierceniu (wszystkie projekty),**
- **właściwości chemiczne wody (głównie projekty z układem otwartym).**

5. Metody geo-dokumentacji

W zależności od metody wiercenia stosowanej w wierceniu próbnym, możliwości dokumentacji są różne, a próby i pomiary będą różnej jakości. Opróbowanie z zastosowaniem wiercenia udarowego z powietrzem jest znacznie prostsze i ma wyższą jakość, gdyż zwierciny są natychmiast usuwane na powierzchnię z bardzo wysoką prędkością. Opróbowanie przy konwencjonalnym wierceniu obrotowym i proste płukanie wodą lub płuczką charakteryzuje się znacznie dłuższym czasem transportu, a zwierciny z różnych poziomów są wymieszane, chyba, że zastosowano specjalne metody opróbowania.

Prostym sposobem uzyskania lepszej jakości opróbowania przy konwencjonalnym wierceniu obrotowym jest oddzielenie transportu zwiercin przez przerwanie penetracji i płukanie ich przez określony czas. Zwierciny będą wówczas usuwane podczas przerwy w wierceniu. Na głębokości 100 m czas transportu zwiercin wynosi około 2 minut. Zastosowanie przerwy wynoszącej ok. 30 sekund powinno zabezpieczyć próbę.

Wiercenie z powietrzem w obszarach o uwodnionych spękaniach lub w przepuszczalnych warstwach porowatych spowoduje przeniknięcie wody do otworu wiertniczego i wypłynięcie jej z otworu wraz ze zwiercinami i powietrzem. Im głębiej znajduje się wlot wody, tym wyższa jest prędkość przepływu. Schemat ten można dość łatwo zastosować do udokumentowania tak zwanej „wydajności wznosu powietrza” jako funkcji głębokości. Sposób pomiaru polega na umożliwieniu wnikięcia powietrza, zwiercin i wody do zbiornika i utrzymaniu w nim stałego poziomu wody. Przed dodaniem kolejnej żerdzi wiertniczej przewód wiertniczy wyciąga się na 1 m powyżej dna otworu, a kompresor wypompowuje całą wodę, która dostaje się do otworu wiertniczego. Objętość wody dostającej się do zbiornika jest mierzona przez około minutę i wykreślona na diagramie. Na podstawie diagramu nie można określić miejsca, gdzie występuje przepuszczanie, lecz określenie rzędu jego wielkości jest bardzo ważne dla dalszego projektowania i planowania sposobu oraz głębokości wiercenia.

Podobny rodzaj pomiaru może być wykonany przy wierceniu konwencjonalną metodą obrotową. W tym przypadku utrata cyrkulacji jest mierzona w zbiorniku zwrotnym, stosowanym dla osadzania zwiercin. Dla uzyskania poprawnego pomiaru należy znać objętość suwów pompy dolewanej wody i płuczki.

Prędkość penetracji (ROP) jest funkcją sił stosowanych w procesie wiercenia, patrz tabela poniżej. Jeśli WOB (wiercenie obrotowe) lub robocze ciśnienie powietrza (przy wierceniu udarowym) jest utrzymane na stałym poziomie, stopień konsolidacji warstwy penetrowanej można ocenić na podstawie współczynnika ROP. Dane te mogą być wówczas wykorzystane do wykrycia jednostek o różnych właściwościach mechanicznych i tym samym prędkość penetracji osiąga wysoką wartość.

Parametry wiercenia
• prędkość penetracji (ROP) • prędkość obrotowa (RPM) • waga na świdrze (WOB) • opór przy obrocie (moment obrotowy) • prędkość przepływu płynu (SPM) • robocze ciśnienie powietrza (bar)

Tabela 1. Parametry wiercenia, które mogą być stosowane do oceny geologicznej i właściwej procedury wiercenia

Większość parametrów procesu może być dość łatwo rejestrowana urządzeniami ciśnieniowymi na systemach hydraulicznych, łącznie z momentem obrotowym. Moment obrotowy jest ściśle związany z WOB w wierceniu obrotowym, lecz będzie mniej istotny przy wierceniu udarowym, gdzie ciśnienie powietrza jest dominującym parametrem dla ROP.

6. Przykłady wierceń próbnych

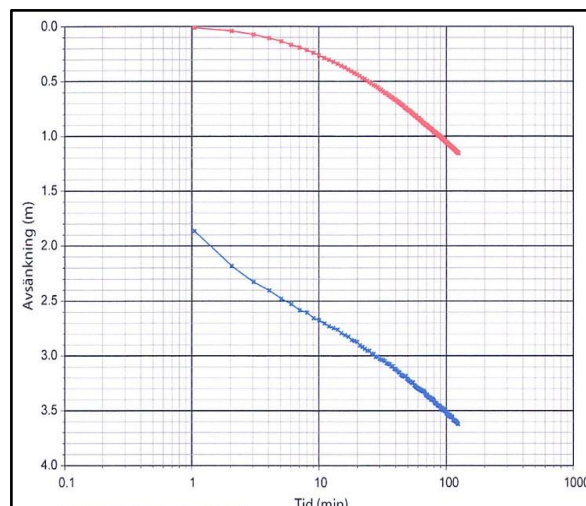
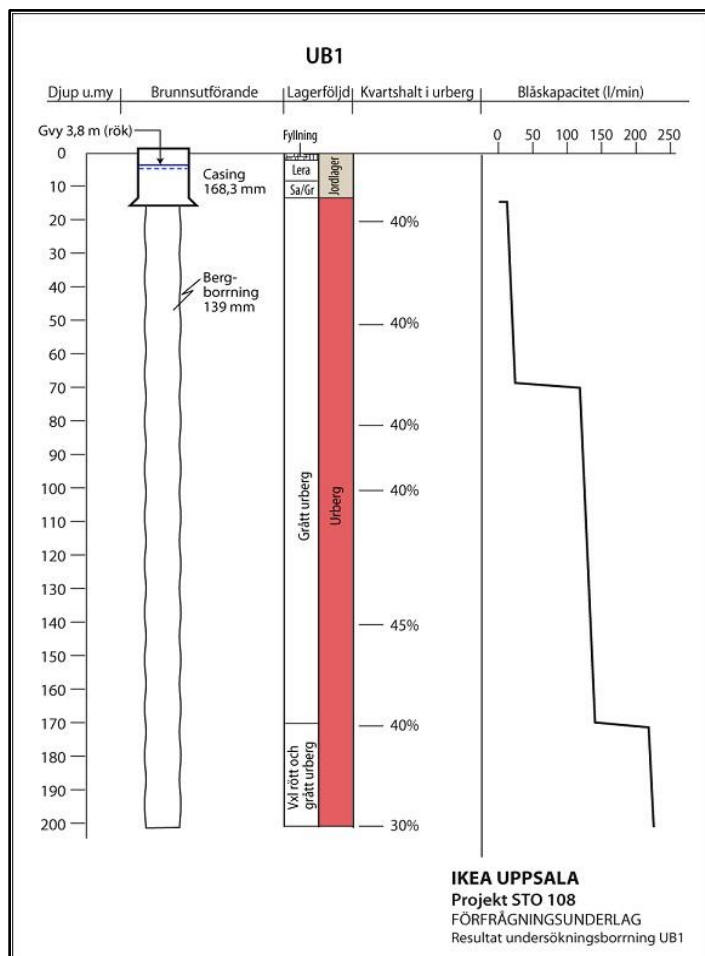
6.1. Wiercenia próbne w skałach krystalicznych

Na rysunku 4 pokazano przykład wyników wiercenia próbnego dla IKEA Uppsala w Szwecji. Jest to jeden z dwóch otworów próbnych, wykonanych dla systemu BTES pokrywającego obszar otworów wiertniczych wynoszący ok.

2500 m². Liczba otworów wiertniczych wynosi 100, wierconych do głębokości 170 m. Przestrzeń między otworami wiertniczymi to ok. 5 m.

Jak przedstawiono na rysunku 4, dominującą skałą jest granit z warstwą ok. 15 m nadkładu, który składa się ze żwiru i piasku przykrytego iłem.

Otworki próbne wiercono omywanym powietrzem narzędziem DTH i podczas wiercenia pobierano próby, a wydajność wznosu powietrza mierzona była co 6 m. Po wierceniu i przed umieszczeniem BHE, oba otworki były testowane pod kątem wydajności, w celu ustalenia przepuszczalności spękań skalnych i połączenia hydraulicznego między dwoma otworkami wiertniczymi.



Test wydajności

– Czas trwania: 120 minut

Prędkość przepływu: 2 l/s

– Depresja: 3,65 m

– Delta s : 0,8 m

Wartość K: 0,2 mm/dzień

– Połączenie z UB2 ustanowione

Fig 4. Wyniki wiercenia próbnego dla urządzenia BTES w skale krystalicznej dla IKEA Uppsala, Szwecja

Kilka tygodni po wykonaniu otworów wiertniczych oba z nich przeszły test TRT, służący jako podstawa projektu magazynowania w otworze wiertniczym.

Na podstawie wyników uzyskanych z otworów próbnych, wiertacz określił sposób wiercenia otworów do dolnej strefy spękań i mógł dość precyzyjnie oszacować koszt wiercenia w swojej ofercie.

6.2 Wiercenia próbne w skałach osadowych

Kolejny przykład dotyczy wiercenia próbnego w wapieniu, zawierającym przynajmniej jedną warstwę przepuszczalną, która jest związana z porowatością oraz spękaniami.

Planowana lokalizacja znajdowała się w południowo-zachodniej Szwecji w mieście Malmö, w którym zainstalowano wcześniej systemy ATES na obszarze tego samego wapienia. Otwory próbne wiercono na zamówienie sklepu IKEA, w celu znalezienia najlepszej lokalizacji dla systemu ATES. Dwa odwierty wiercono metodą DTH z powietrzem. Wyniki z jednego z tych odwiertów próbnych są pokazane na rysunku 5.

Ponieważ wapień jest skonsolidowany, wiercenie było wykonane przez DTH i omywane powietrzem. Wyniki pokazano na rysunku 5.

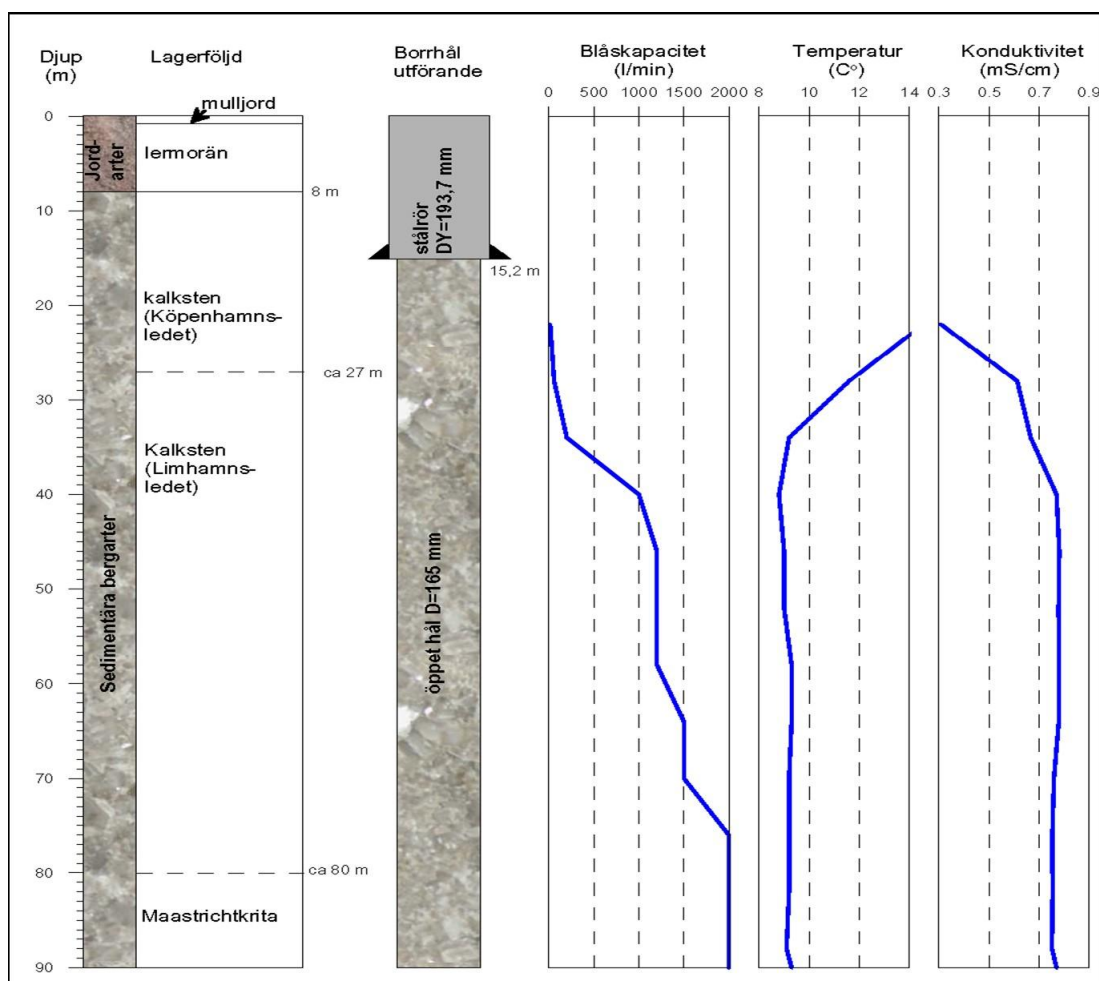


Fig 5. Wyniki wiercenia próbnego dla urządzenia BTES w wapieniu dla IKEA Malmö, Szwecja

Krzywe temperatury i przewodności wody wskazywały, że warstwa wodonośna charakteryzowała się podobną jakością wody. Nieprzepuszczalny górny wapień z wierzchu był pokryty gliną ilastą, a wysokość statyczna była bliska punktowi powierzchniowemu, na poziomie którego warstwa wodonośna jest napięta.

Na krzywej wydajności wzniosu powietrza wyraźnie widać, że warstwa wodonośna jest położona w zakresie głębokości ok. 35–75 m. Dzięki tym pomiarom można stwierdzić, że warstwa wodonośna ma miąższość około 40 m, i że przepuszczalność jest związana z podstawową porowatością oraz systemem kilku spękań.

Po wykonaniu odwiertu i testów wydajności z opróbowaniem wody i pomiarami temperatury kontynuowano badanie terenowe z dłuższym próbnym pompowaniem. System został ostatecznie zaprojektowany z uwzględnieniem tych wyników, a instalacja ATES została skonstruowana z pięcioma studniami ciepłymi i sześcioma zimnymi.

Dodatkowe informacje

Andersson, B. 2003, *Geo data Collection for UTES Applications by Use of Test Drillings*. Department of Engineering Geology, Lund Institute of Technology, Lund University. Praca Licencjacka, 2003.

Andersson, O. 1981, *Drilling and documentation. Drilling technologies and methods for geological data collection while drilling*. University of Lund, Dept. of Quaternary Geology, Thesis 8 (po szwedzku).

Sekcja B

ROZDZIAŁ 8

Problemy środowiskowe na wiertni

Autor: Olof Andersson

1. Wstęp

Głównym celem stosowania płytkich systemów geotermalnych jest zapewnienie wszystkim rodzajom odbiorców ogrzewania i chłodzenia powierzchniowego bez stosowania paliw kopalnych. W tym rozumieniu technologia powinna być postrzegana jako doskonały sposób na zmniejszenie zagrożeń wynikających z ocieplenia klimatu. Najbardziej widoczne zalety stosowania płytkiej geotermii to:

- mniejsza emisja szkodliwych dla środowiska gazów cieplarnianych,
- obniżenie zawartości ciał stałych i mikrocząsteczek (pyłów), które mogą powodować problemy zdrowotne.

Zbudowanie i obsługa instalacji geotermalnej może powodować jednak lokalne zaburzenia środowiskowe, które należy wziąć pod uwagę i, na ile to możliwe, wyeliminować w prawidłowym projekcie i rozważnie wykonanej konstrukcji.

2. Dlaczego firmy wiertnicze i instalatorzy powinni interesować się problemami środowiskowymi?

Na wykonanie otworów wiertniczych składa się szereg etapów, których realizacja może być niemożliwa i stanowić przeszkodę dla lokalnego środowiska, zarówno na powierzchni, jak i w gruncie. Istotne jest wykonanie przynajmniej prostej analizy ryzyka i przygotowanie się na zarówno spodziewane, jak i nieprzewidziane wydarzenia, które mogą wystąpić podczas konstrukcji.

3. Problemy ogólne

Systemy z układem otwartym wpływają na otoczenie w czasie, gdy otwory są wiercone. Często pojawia się hałas związany z pracującą wiertnicą i kompresorem lub pompą płuczki, również z transportem na ciężarówkach oraz z pracą z rurami okładzinowymi i żerdziami wiertniczymi. Obsługa wody lub płuczki wiertniczej może mieć również niekorzystne oddziaływanie na środowisko. Jednakże, kwestie te są rozwiązywane zgodnie z lokalnymi procedurami. Inne rodzaje oddziaływań środowiskowych są powiązane z możliwymi oddziaływaniami podpowierzchniowymi w postaci zaburzenia naturalnych warunków panujących w podłożu. Poniżej są wymienione występujące problemy, odpowiednio dla systemów z układem zamkniętym i otwartym, które powinny być częścią środowiskowej kontroli jakości podczas wiercenia i wykonywania instalacji.

Problemy dotyczące systemów z układem otwartym:

- zanieczyszczenie wody podziemnej przez odprowadzenia z powierzchni,
- zanieczyszczenie wody podziemnej przez otwory wiertnicze, penetrujące kilka warstw wodonośnych,
- zanieczyszczenie podłoża przez wyciek płynów przewodzących ciepło,
- zanieczyszczenie gleby przez wyciek oleju lub chemikaliów, stosowanych przy wierceniu,
- mrożenie otworów wiertniczych penetrujących ilastą glebę, która jest wrażliwa na osiadanie,
- obniżenie ciśnienia porowego w ilastej glebie przez drenaż, który może powodować osiadanie.
- wywiercanie pustek, które mogą zapadać się i powodować osiadanie lub powstawanie dziur.

Problemy dotyczące systemów z układem otwartym to:

- powstawanie lejów depresji, powodujących osiadanie w glebach, które są wrażliwe na kompaktację,
- powstawanie lejów ciśnieniowych, powodujących zjawiska wynoszenia i uszkodzenia wodne budynków, fauny i flory,
- zanieczyszczenie wód podziemnych przez substancje z powierzchni,
- zanieczyszczenie przez wewnętrznie uwalniane substancje lub chemikalia,
- zanieczyszczenie gleby przez wyciek oleju lub chemikaliów, stosowanych przy wierceniu,
- oddziaływania na faunę i florę wywołane przez interakcję temperatury z dołu,
- przyrost ilości bakterii i zmiana składu w podłożu.

4. Uwagi specjalne

4.1. Praca w obszarach ochrony wód

Warstwy wodonośne, stosowane do poboru wody, są często chronione. W każdym kraju w takich obszarach należy zwrócić specjalną uwagę na instalacje płytkich systemów geotermalnych. Władze mogą nawet zakazać budowy instalacji. Nawet jeśli tego nie zrobią, należy przestrzegać obowiązujących przepisów. W związku z tym, zgodnie z ogólnym zaleceniem, należy: **zawsze pilnować, by były przestrzegane przepisy związane z ochroną obszarów wodnych.**

4.2. Natrafienie na wodę pod ciśnieniem artezyjskim

Czasami, i prawdopodobnie niespodziewanie, woda podziemna znajdująca się pod ciśnieniem artezyjskim może powodować nie tylko problemy techniczne, lecz również problemy związane z lokalnym środowiskiem, jak pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Przykład wypływu artezyjskiego powodującego problemy środowiskowe

Z technicznego punktu widzenia, można wykonać szczelne cementowanie, pod warunkiem że ciśnienie artezyjskie nie jest zbyt wysokie, przez zastosowanie pakierów i innych form sprzętu uszczelniającego. Istnieje jednak zawsze ryzyko przebicia, jeśli nie przez samą mieszkankę cementową, to na zewnątrz rur lub w spękaniach zamkniętych przez otwór wiertniczy. Z tego powodu rekomenduje się:

1. uszczelnianie artezyjskich otworów wiertniczych zawsze poprzez odpowiednie cementowanie,
2. ponownie rozważenie projektu i zmianę głębokości, by zakończyć otwory wiertnicze zdecydowanie powyżej artezyjskich warstw wodonośnych.

4.3. Ukryte przeszkody

Podłoże może skrywać kilka różnych struktur i przeszkód powstałych na skutek działalności człowieka, które muszą być uwzględnione przed wierceniem. Takimi „ukrytymi zagrożeniami” dla bezpiecznego wiercenia mogą być pustki (jak przedstawiono na rysunku 2), woda i rury gazowe lub kable elektryczne.



Rys. 2. Osłabiony grunt zapadł się i spowodował uszkodzenia

Mogą istnieć różne ukryte przeszkody, zwłaszcza w obszarach miejskich, które mogą powodować szkody środowiskowe i które w niektórych przypadkach również są połączone z zagrożeniami dla zdrowia. Tym samym, **przed rozpoczęciem prac wiertniczych należy zawsze dokonywać kartowania potencjalnych ukrytych struktur, takich jak rury i kable.**

Sekcja C:

Elementy charakterystyczne dla systemów zamkniętych

Rozdział 9

Konstrukcja otworowych wymienników ciepła

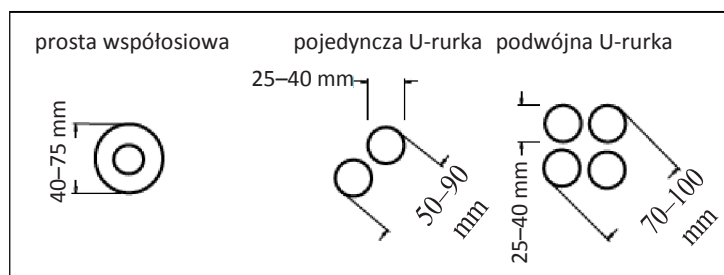
Autor: Burkhard Sanner

1. WSTĘP

Otworowy wymiennik ciepła (pionowy GWC) służy do transportu płynu w gruncie i umożliwia wymianę ciepła od podłoża do płynu (pobór ciepła, systemowy tryb ogrzewania) lub od płynu do podłoża (załaczanie ciepła, systemowy tryb chłodzenia). System pionowych GWC składa się z rur wypełnionych płynem. Ponieważ musi on być zainstalowany do konkretnej głębokości, ma on określone wymiary. Pionowy GWC musi uwzględniać projekt powrotu płynu z najgłębszego poziomu w otworze wiertniczym na powierzchnię.

Różne metody realizacji obiegu płynu wewnątrz pionowych GWC z pompą ciepła przedstawiono w rozdziale 1 na rysunku 3. Ze względu na potrzebę cyrkulacji płynu w dół do wnętrza ziemi i ponownie w górę, istnieje jedynie kilka podstawowych wariantów systemu pionowych GWC, w którego skład wchodzi:

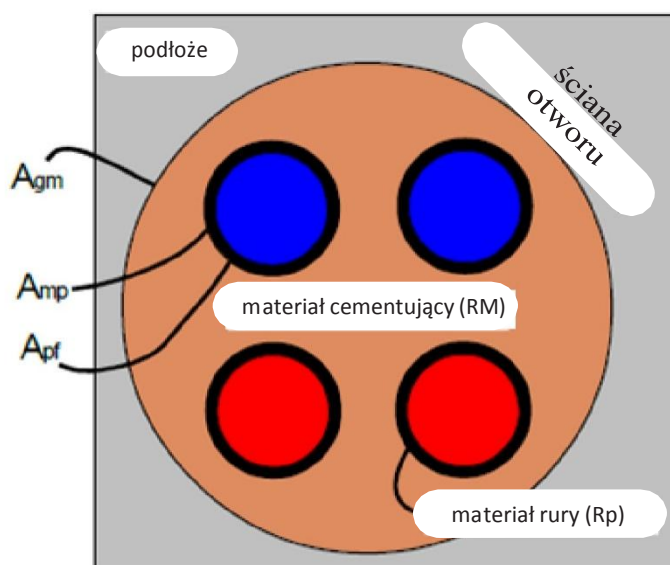
- rury współosiowe (lub koncentryczne), znane także jako rura w rurze,
- U-rury (dwie lub więcej prostych rur połączonych w głowicy),
- jedynie rurki ciepłe (patrz rozdział 1, rysunek 3). W tym przypadku pojedyncza rura jest wystarczająca, ponieważ para wodna może wznosić się w górę w centrum rury, podczas gdy skropliny przepływają w dół wzdłuż ścian rury.



Rys. 1. Przekroje przez trzy najczęściej występujące typy BHE

Skuteczność systemu pionowych GWC może być wyznaczona za pomocą sumarycznego współczynnika oporu termicznego otworu wiertniczego R_b . Parametr ten obejmuje wszystkie zjawiska transportu ciepła z gruntu na zewnątrz otworu wiertniczego z uwzględnieniem płynu wewnątrz rury (Rys. 2). W przypadku projektu pionowych GWC, konstrukcja układu może wpływać wyłącznie na te parametry, gdyż podłoże na zewnątrz otworu wiertniczego nie podlega zmianom.

Maksymalna wydajność systemu pionowych GWC w danych warunkach obciążenia (tj. dopuszczalna różnica temperatur grunt-płyn i planowany czas pracy) może być wyznaczona i wykreślona w funkcji R_b (patrz rozdział 1, rysunek 8). Tym samym na jakość typu pionowych GWC wpływają wartości współczynników oporu termicznego – R_b i wydajności Hellströma – ηH . Zależy ona głównie od materiału, wielkości i konfiguracji rury oraz wypełnienia pierścienia.



A: odporności przenoszenia
B: odporności materiału

$$R_b = A_{gm} + R_m + A_{mp} + R_p + A_{pf}$$

Rys. 2. Składowe R_b pokazane w przekroju BHE z podwójnym U

W celu zwymiarowania pionowych GWC do zakładanego obciążenia grzewczego i/lub chłodniczego są dostępne różne metody, zarówno dla mniejszych jak i większych projektów. Dla mniejszych systemów, stosowanych w domach jedno-rodzinnych, projekt jest wykonany na podstawie tabel lub nomogramów (np. VDI 4640, SIA 384/6 lub polskie wytyczne PORT PC cz.1) lub obliczeń z użyciem łatwego w obsłudze oprogramowania. Dla większych systemów, wymagane są obliczenia projektowe z użyciem prostego oprogramowania tj. EED lub z symulacją numeryczną. Granica między systemem małym a dużym wynosi ok. 30 kW mocy grzewczej.

Sekcja C:

Rozdział 10

INSTALACJA i CEMENTOWANIE

Autor: Walter J. Eugster

1. WSTĘP

Instalacja otworowego wymiennika ciepła (pionowego GWC) i cementowanie otworu wiertniczego są tak samo istotne dla wykonania i przyszłej pracy systemu, zarówno podczas samego wiercenia, jak i podłączania pionowych GWC do pompy ciepła (HP). Następujące elementy systemu muszą zapewniać dobre działanie:

- Otwór wiertniczy musi pozostać otwarty aż do zakończenia cementowania. Tym samym należy zdjąć pomocnicze rury okładzinowe bezpośrednio po cementowaniu.
- Rurki pionowych GWC wymagają bardzo ostrożnego obchodzenia się podczas transportu, magazynowania na wiertni i instalacji.

Cementowanie wymaga specjalnej uwagi i ostrożności. Mieszanka cementowa powinna spełniać trzy główne funkcje:

- ochrony wód podziemnych
Uszczelnianie otworu wiertniczego w celu uniknięcia wszelkich pionowych przepływów wody wzdłuż pionowych GWC
- termiczną
Zapewnienie dobrego kontaktu termicznego między ścianami pionowych GWC i otaczającym podłożem,
- techniczną
Ochronę wbudowanych rur pionowych GWC przed mechanicznym uszkodzeniem.

Prace instalacyjne i wypełniające przestrzeń pierścieniową są wykonywane przez firmę wierzącą. Projektant powinien wiedzieć, czego należy spodziewać się po tej fazie pracy.

2. PROCEDURA INSTALACJI

2.1. Prace wstępne

Zaleca się, by niektóre prace przygotowawcze były wykonane przed włożeniem pionowego GWC do otworu wiertniczego. Zespół wierzący może przeprowadzić ten etap podczas fazy wiercenia.

Jeśli długość systemu pionowego GWC przekracza 50 m, należy zamontować go na rozwijaku i przymocować do niego (Rys.1). W ten sposób unika się rozwijania BHE na ziemi w miejscu konstrukcji, co stanowi wysokie ryzyko mechanicznego uszkodzenia BHE. Jeśli system BHE jest dłuższy niż 150 m, rozwijak jest dodatkowo wyposażony w hamulec dla zapewnienia powolnego i ostrożnego wprowadzenia do otworu wiertniczego.

Rury systemu pionowego GWC wymagają wizualnej inspekcji dla wykrycia uszkodzeń. Dla rurek PE100/PN16/SDR11 dopuszczalne są przesięcia i uszkodzenia do maksimum 10% grubości ich ścian.

Zaleca się również, aby pierwsza kontrola szczelności rury była wykonana z zastosowaniem powietrza pod ciśnieniem ok. 6 bar dla wykrycia uszkodzeń, zwłaszcza gdy transport pionowych GWC na miejsce budowy i/lub przechowywanie ich nie były wykonane pod nadzorem wiertników.

Na końcówce pionowego GWC mocowane są wówczas dodatkowe obciążenia oraz rura zatłaczająca.

Należy pamiętać, że najkorzystniej jest stosować elementy pionowych GWC spawane fabrycznie. Jeśli elementy dodatkowe są przyspawane w **głowicy pionowych GWC na wiertni, wiertacz musi posiadać ważny certyfikat spawacza.**



Rys. 1. Pionowe GWC na rozwijaku podczas pierwszej próby szczelności z zastosowaniem powietrza (fot.: Polydynamics Engineering Zurich)



Rys. 2. Pionowe GWC gotowe do instalacji z dodatkowym obciążeniem, osłoniętym spodem i piątą rurą zatłaczającą (fot.: Polydynamics Engineering Zurich)

2.2. Instalacja pionowych GWC

Instalacja pionowych GWC powinna być przeprowadzona jak najbardziej pionowo w otworze wiertniczym (Rys. 2 i 4). Aby tego dopilnować, niektórzy wiertacze stosują rolki prowadzące. Należy osłaniać ostre końce rur, aby zapobiec uszkodzeniu rur pionowych GWC przez obtarcie (Rys. 3). Instalację pionowych GWC należy wsuwać ostrożnie i powoli z kontrolą prędkości wprowadzania do otworu wiertniczego.

Warunki ciśnieniowe wewnątrz/na zewnątrz rur pionowych GWC wymagają specjalnej uwagi

- rury pionowych GWC muszą być wypełnione wodą, jeśli otwór wiertniczy jest nią wypełniony,
- należy uwzględnić następujące ograniczenia ciśnienia dla rur PE100/PN16/SDR11:

Dp (wewnętrzna–zewnętrzna): maks. 21 bar

Dp (zewnętrzna–wewnętrzna): maks. 8 bar!!

Jeśli wartości te są przekroczone, system pionowych GWC zaczyna się zapadać!!!

Po całkowitym zainstalowaniu, przycina się rury pionowych GWC do wymaganej długości (często są one dostępne tylko w pewnych określonych długościach).

Podczas przygotowania do cementowania wymagane jest, aby system pionowych GWC był całkowicie wypełniony wodą (Rys. 5) pod początkowym ciśnieniem i hermetycznie uszczelniony (zawór). Należy uwzględnić ograniczenia ciśnieniowe dla rur.



Rys. 3. Dwie różne osłony końcówek rur (fot.: Polydynamics Engineering Zurich)



Rys. 4. Rolki prowadzące zapewniające pionowy kierunek wkładania
(fot.: Polydynamics Engineering Zurich)



Rys. 5. Należy przyciąć rury na wymaganą długość, wypełnić je wodą, zastosować początkowe ciśnienie i uszczelnić
(fot.: Polydynamics Engineering Zurich)

3. CEMENTOWANIE

Materiał cementujący (wypełniający) musi spełniać różne wymagania, wyznaczone przez lokalne władze lub przez profesjonalne stowarzyszenia.

Uzgodnieniom mogą podlegać następujące właściwości materiałowe:

- minimalna gęstość zawiesiny cementującej,
- minimalna stabilność zawiesiny,
- minimalna wytrzymałość na ściskanie utwardzanego materiału podsadzającego,
- maksymalna przepuszczalność hydrauliczna utwardzanego materiału podsadzającego,
- opcjonalnie, minimalna przewodność cieplna,
- opcjonalnie, minimalna odporność na uszkodzenia strukturalne po kilku cyklach zamrażania–rozmarzania.



Rys. 6. Różne typy sprzętu cementującego
(fot.: Polydynamics Engineering Zurich)



Rys. 7. Podczas cementowania, pomocnicze rury okładzinowe wciąż zapobiegają zapadaniu się otworu wiertniczego. System pionowych GWC jest pod ciśnieniem
(fot.: Polydynamics Engineering Zurich)

Preferowanym rozwiązaniem jest zastosowanie materiału wypełniającego o stałej mieszance i kontrolowanej jakości, produkowanego i pakowanego przemysłowo. Mieszanki własnej produkcji, wytwarzane na wiertni, nigdy nie mają jednakowej, wystandaryzowanej jakości, w porównaniu z materiałami mieszanymi przemysłowo.

Materiał cementujący jest mieszany w zbiornikach o określonej objętości i pompowany przez rurę zatłaczającą do otworu wiertniczego, lub jest stale mieszany z zastosowaniem pompy dozującej (Rys. 6). Jakość zawiesiny cementującej musi być niezmienna podczas całej procedury cementowania i sprawdzona poprzez pomiary gęstości.

Aby zagwarantować ochronę wód podziemnych przed zanieczyszczeniem przez materiał cementujący, wiertnik musi dokładnie przestrzegać specyfikacji sposobu mieszania dostarczonej przez producenta.

Cementowanie otworu przeprowadza się przy pomocy zamocowanej rury zatłaczającej lub metalowych żerdzi montujących pionowe GWC, które są sukcesywnie usuwane podczas cementowania (Rys. 7). Cementowanie musi być zasadniczo wykonane od podstawy do góry otworu wiertniczego, przestrzegając tzw. procesu wykonawczego. Rura zatłaczająca pozostaje w otworze wiertniczym, a najgłębsza żerdź musi znajdować się poniżej poziomu materiału cementującego przez cały proces cementowania. **Zalewanie cementu od góry za pomocą jakichkolwiek wiader lub pompowanie zawiesiny od góry jest niedozwolone.**

Proces cementowania jest zakończony, gdy zawiesina cementująca wypływająca przy zakończeniu odwiertu ma wymaganą jakość. Następnie usuwa się pomocnicze rury okładzinowe i system pionowego GWC jest przygotowany do końcowych testów.

Uwaga: Aby uniknąć niekontrolowanego wypływu gazu lub wody z otworu wiertniczego, proces cementowania musi nastąpić niezwłocznie po wprowadzeniu rur pionowego GWC do otworu!

Ze względu na ograniczenia dotyczące różnicy ciśnień wewnątrz/na zewnątrz instalacji pionowych GWC, w tabeli 1 przedstawiono następujące ograniczenia systemowe i rekomendacje zgodnie z normami pionowych GWC PE100/PN16/SDR11.

Tabela 1. Ograniczenia techniczne zgodne z normą pionowych GWC PE100/PN16/SDR11

Gęstość zawiesiny cementującej	Dozwolona długość rur pionow. GWC bez zastrzeżeń	Cementowanie jedynie, gdy system pionowych GWC	Długość rur pionowych GWC przekracza
1200 kg/m ³	do 400 m	bez ograniczeń	bez ograniczeń
1400 kg/m ³	200 m	>200 m	bez ograniczeń
1600 kg/m ³	120 m	120–340 m	>340 m
1800 kg/m ³	100 m	100–260 m	>260 m
2000 kg/m ³	80 m	80–200 m	>200 m

Na rynku dostępnych jest wiele różnych materiałów cementujących. Niektóre z nich mają wyższą przewodność cieplną, inne prezentują wyższą odporność na cykle zamrażania–rozmrażania, a inne wymagają jedynie krótkiego czasu dla uzyskania względnie wysokiej kompresji i/lub wytrzymałości na ściskanie.

Tym samym, istnieje szeroki zakres różnych produktów o różnych właściwościach fizycznych. W gestii wiertaczy lub projektantów jest wybór optymalnego materiału dla określonych zastosowań. Oczywiście, cena mieszanki cementowej jest dodatkowym, istotnym kryterium doboru materiałów przez klienta.

Wyższa przewodność cieplna układu, przykładowo, powoduje obniżenie odporności otworu wiertniczego i zwiększa pojemność cieplną systemu pionowych GWC. Jest to zaletą, zwłaszcza w przypadku chłodzenia. W przypadku ogrzewania, można warunkowo skracać całkowitą długość rur pionowych GWC.

Zarówno wyższa przewodność cieplna, jak i odporność na cykle zamrażania–rozmrażania wymagają stosowania podwyższonej gęstości zawiesiny cementującej. Zwiększa to wymagania techniczne dla systemu pionowych GWC. Należy to dodatkowo uwzględnić w projekcie systemu.

4. WSKAZÓWKI I UWAGI DLA PROJEKTANTÓW

Organy licencjonujące mogą nałożyć specjalne wymagania odnośnie jakości systemu pionowych GWC, długości, pozycji, cementowania itd. – należy je zawsze przestrzegać!

Aby uniknąć opóźnień spowodowanych nieprofesjonalną obsługą, doradza się zatrudniać jedynie doświadczonych, certyfikowanych wiertników pionowych GWC z uprawnieniami lub certyfikatami, zatwierdzonymi w kraju lub za granicą, którzy zapewnią:

- doświadczony zespół wiercący dla wykonania pracy,
- odpowiednią wiedzę specjalistyczną z dziedziny wierceń, pozwalającą na pracę w konkretnych warunkach geologicznych i hydrogeologicznych,
- zastosowanie wiertnic wyposażonych w odpowiedni ochronny sprzęt wykrywający, np.: wypływy gazu i wody artezyjskiej oraz zespół wiertników przeszkolony do radzenia sobie w takich przypadkach.

Sekcja C:

Rozdział 11

KONTROLA FUNKCJONALNOŚCI I JAKOŚCI

Autor: Walter J. Eugster

1. KONTROLA SYSTEMU

Wyciek, ciśnienie, temperatura (Rys. 1)

Obwód otworowego wymiennika ciepła (pionowego GWC) powinien być wyposażony przynajmniej w:

- armaturę do wypełniania i płukania,
- urządzenie odpowietrzające,
- nadciśnieniowy zawór bezpieczeństwa,
- manometr,
- urządzenie do kontroli ciśnienia,
- zbiornik wyrównawczy,
- oraz preferencyjnie, w urządzenie do kontroli poziomu zamarzania (jeśli nie jest dodany środek przeciwwzamarzający).

Urządzenia sterujące temperaturą

Każdy pojedynczy obwód pionowego GWC powinien być wyposażony w zawory: kontroli przepływu i odcinający, żeby umożliwić dostosowywanie przepływu i spadku ciśnienia każdego pojedynczego obwodu.

Uwaga: naturalna rozszerzalność rur pionowych GWC na większych głębokościach (wymuszona przez ciśnienie słupa płynu przy długościach >250–300 m) może przekroczyć objętość naczynia zbiorczego. Efekt ten zależy od wyboru materiału cementującego.

2. PRÓBY, ODBIÓR I DOKUMENTACJA

2.1. Próby końcowe

Na końcowe próby pionowych GWC składają się dwa etapy:

- próba przepływu,
- próba szczelności na wycieki (próba ciśnieniowa).

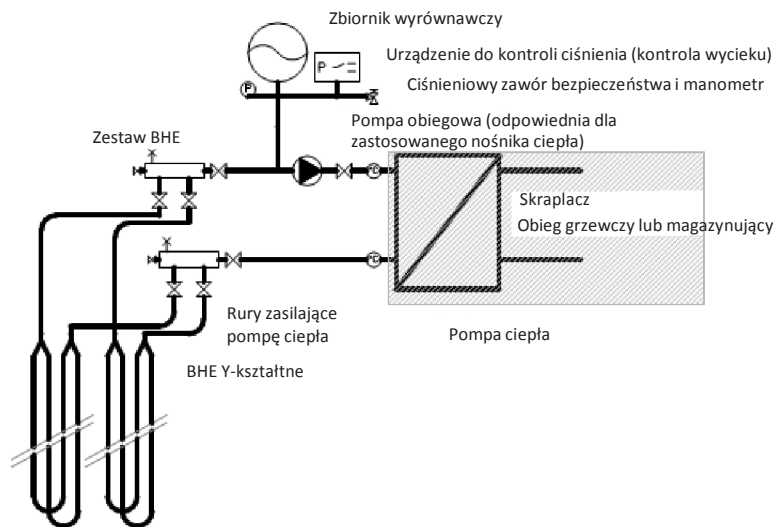
Przed wykonaniem prób jest konieczne przepłukanie rur pionowych GWC z obu stron (Rys. 2), w celu oczyszczenia, wypłukania brudu lub wszelkich innych pozostałości w rurach.

a) Płukanie pionowych GWC

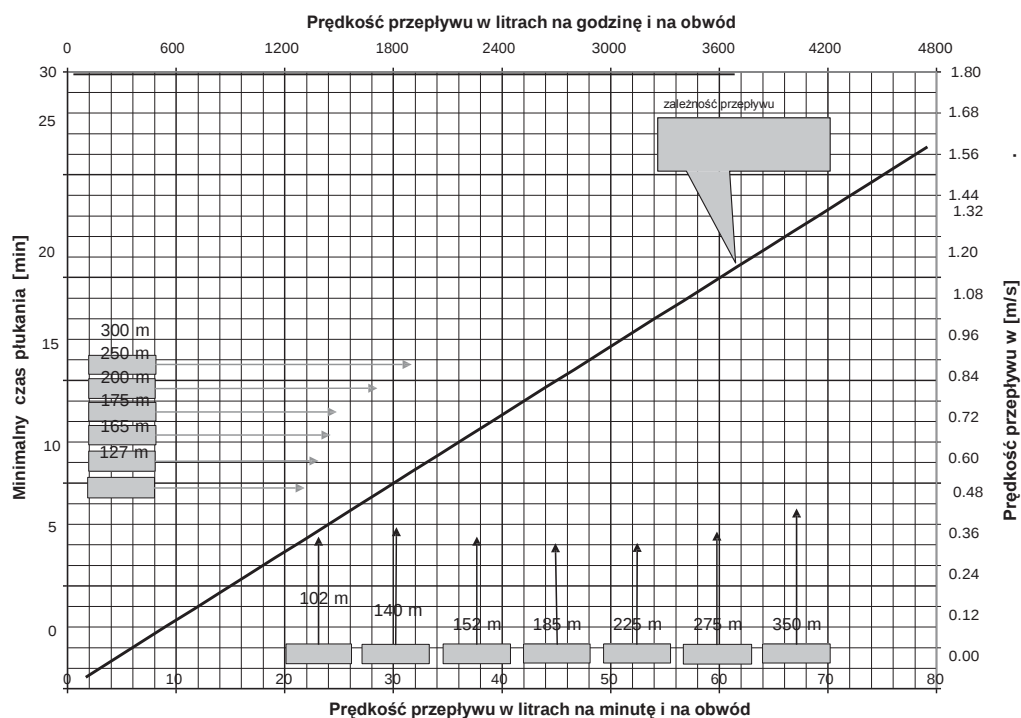
Należy napompować czystą wodę w każdy obieg pionowego GWC, aż do całkowitego wypłukania cząsteczek brudu. Wskazane jest przepłukanie obustronne, dopóki każdy obwód nie będzie czysty.

b) Próba przepływowa

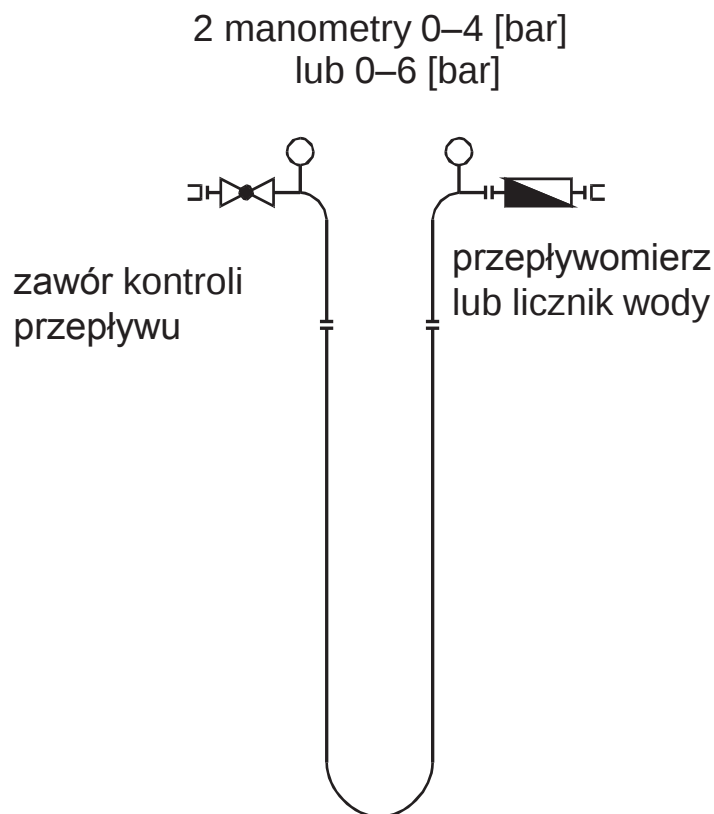
Próba przepływowa jest wykonana w celu wykazania, że obieg pionowego GWC nie ma zwiększonego spadku ciśnienia, co wskazuje na zwiększenie oporu hydraulicznego (Rys. 3, 4).



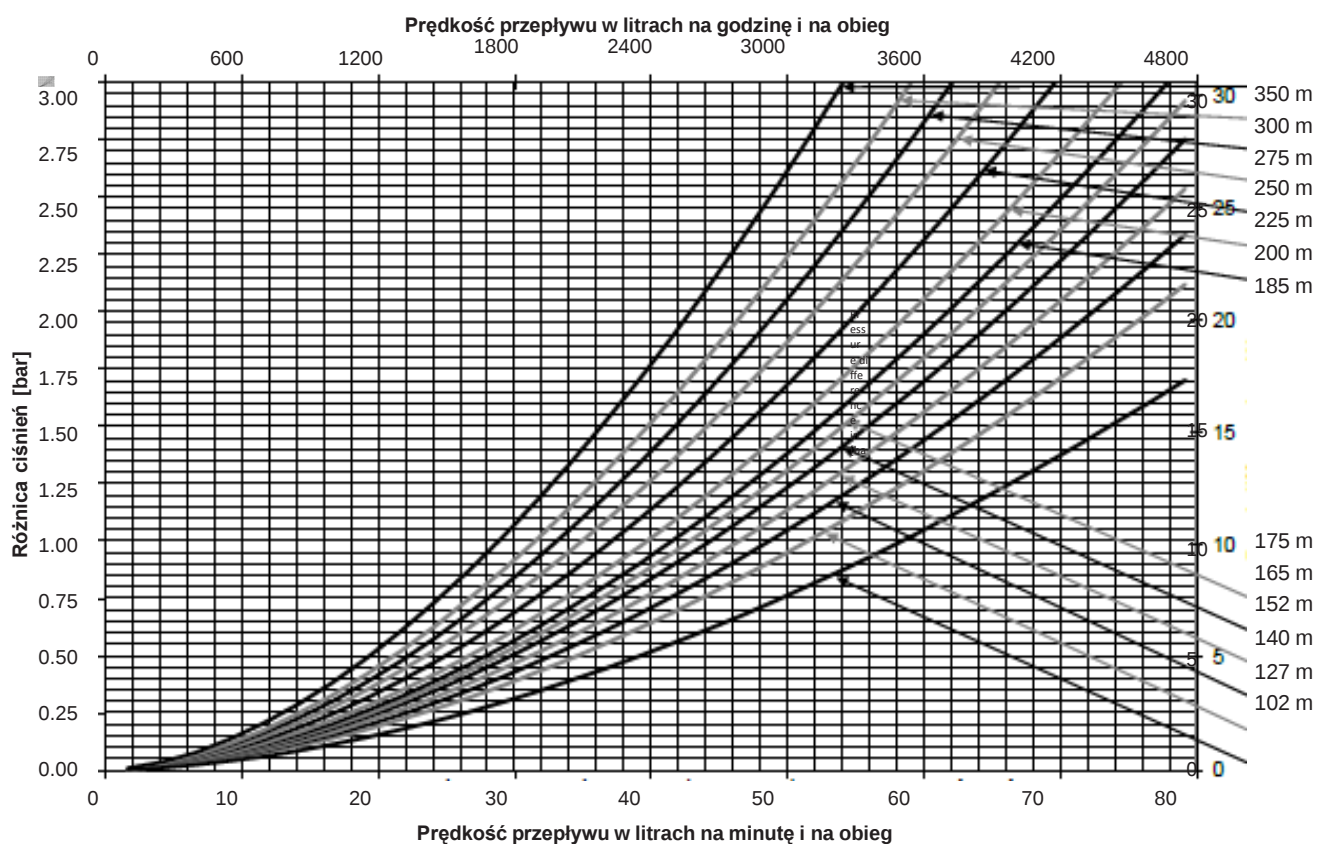
Rys. 1. Przykład minimalnego osprzętu obiegów głównych obejmujących 2 pionowe GWC (rysunek za SIA 384/6 (SN 546 384/6))



Rys. 2. Przykład minimalnego czasu płukania dla rury pionowego GWC $\varnothing 40 \times 3,6$ mm w zależności od prędkości przepływu i długości pionowego GWC (wykres z SIA 384/6 (SN 546 384/6))



Rys. 3. Konfiguracja próby przepływu (wykres: Polydynamics Engineering Zurich)



Rys. 4. Teoretyczny maksymalny dopuszczalny spadek ciśnienia na obwodzie BHE, $\varnothing$ rury 40x3,6 mm
(wykres z SIA 384/6 (SN 546 384/6))

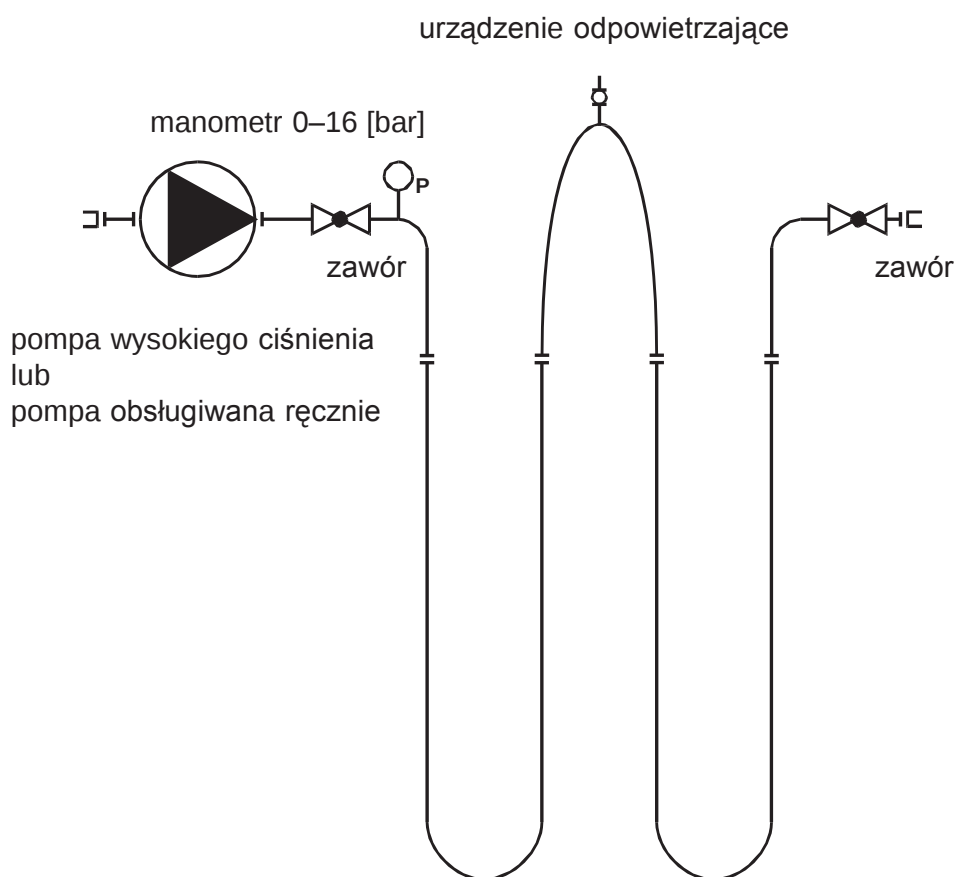
Nieznaczne nadciśnienie (na zewnątrz/w środku) podczas instalacji może prowadzić do deformacji rur pionowych GWC do kształtu owalnego o mniejszym polu przekroju. Efekt ten zwiększa spadek ciśnienia. Wymagana jest wówczas zwiększona cyrkulacja dla zapewnienia wymaganej prędkości przepływu.

Różnica ciśnień (zasilanie-powrót) przy stałej prędkości przepływu nie może przekroczyć pewnych wartości teoretycznych. Próba przepływu może być połączona z płukaniem rur. Sprzęt niezbędny do wykonania próby przepływu składa się z:

- 2 manometrów (0–4 lub 0–6 bar),
- 1 zaworu kontroli przepływu,
- 1 miernika przepływu (wystarczający jest wirnikowy miernik wody).

c) Próba szczelności na wycieki (próba ciśnieniowa)

Próba szczelności na wycieki (ciśnieniowa) musi spełniać przepisy PN-EN 805. Dla rur polietylenowych (PE) próba ciśnieniowa musi być wykonana jako „próba kompresji”. Nadciśnienie (wewnątrz / zewnątrz) jest wywierane na rurę na całej długości. Etap ten powoduje nieznaczne rozdęcie rury PE na całej jej długości. Następnie obniża się skokowo ciśnienie o ok. 10% ciśnienia próbnego (Rys. 5). Spadek ciśnienia powoduje ponowną kompresję rury. Jeśli rura jest szczelna, obserwowany jest wzrost ciśnienia.



Rys. 5. Konfiguracja próby szczelności na wycieki (wykres: Polydynamics Engineering Zurich)

Dla wykonania próby ciśnieniowej wymagany jest następujący sprzęt:

- pompa wysokiego ciśnienia lub pompa obsługiwana ręcznie,
- 2 zawory odcinające,
- 1 manometr 0–16 bar,
- urządzenie odpowietrzające, jeśli jednocześnie poddawane są próbie oba obwody.

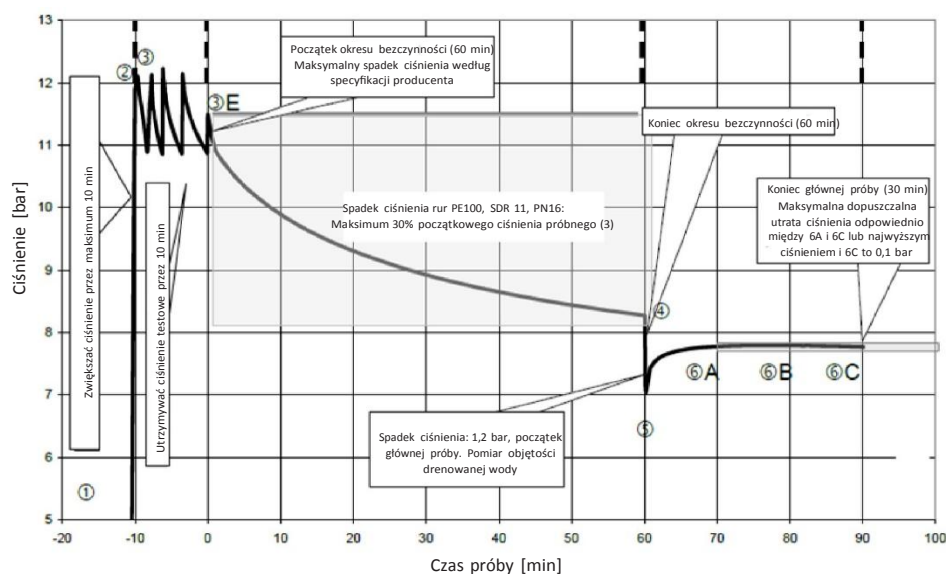
Próba ciśnieniowa musi być wykonana niezwłocznie po zakończeniu cementowania, w momencie kiedy materiał cementujący jeszcze nie stwardniał.

Próba ciśnieniowa dla rur PE100/PN16/SDR11 jest rekomendowana zgodnie z normą SIA 384/6 (SN 546 384/6):

- nadciśnienie przy podstawie pionowego GWC: >0,5 bar podczas próby,
- ciśnienie przy przepuszczaniu ciepłej wody pionowego GWC : 7,5 bar. Szczegółowa procedura próby

ciśnieniowej (Rys. 6):

- 1 h Okres beczynności. Bez wywierania nadciśnienia na rurę 1
- Zastosować ciśnienie próbne. Dla pionowych GWC PE100/PN16/SDR11 patrz tabela 1. Dla innych materiałów przestrzegać specyfikacji producenta 2
- 10 min. Utrzymać próbę ciśnieniową 3
- 1 h Okres beczynności. Rura rozszerzy się na całej długości
- Pomiar ciśnienia. Spadek ciśnienia nie może przekroczyć specyfikacji producenta 4
- Skokowy spadek ciśnienia o przynajmniej 10% ciśnienia testowego 5
- 10 min. Pierwszy pomiar ciśnienia 6 A
- 20 min. Drugi pomiar ciśnienia 6 B
- 30 min. Trzeci i ostatni pomiar ciśnienia 6 C



Rys. 6. Graficzne przedstawienie procedury próby ciśnieniowej (wykres z SIA 384/6 (SN 546 384/6))

Instalacja pionowego GWC zalicza test, jeśli różnica ciśnień (spadek ciśnienia) między pomiarami C i A nie przekracza 0,1 bara.

Górna część instalacji nie powinna być wypełniona wodą przy zewnętrznej niskiej temperaturze, gdyż istnieje ryzyko zamrożenia instalacji.

Tabela 1. Ustalenie ciśnienia próbnego dla pionowego GWC PE100/PN16/SDR11 (wg SIA 384/6 (SN 546384/6))

Długość BHE [m]	Gęstość zawiesiny cementowej				
	1200 kg/m ³	1400 kg/m ³	1600 kg/m ³	1800 kg/m ³	2000 kg/m ³
60	8,0 bar	8,0 bar	9,0 bar	10,0 bar	11,0 bar
80	8,0 bar	9,0 bar	10,0 bar	12,0 bar	14,0 bar
100	8,0 bar	9,0 bar	11,0 bar	14,0 bar	17,0 bar
120	8,0 bar	10,0 bar	13,0 bar	17,0 bar	21,0 bar
140	8,0 bar	11,0 bar	15,0 bar	19,0 bar	24,0 bar
160	9,0 bar	12,0 bar	17,0 bar	22,0 bar	27,0 bar
180	9,0 bar	13,0 bar	19,0 bar	25,0 bar	31,0 bar
200	9,0 bar	14,0 bar	21,0 bar	27,0 bar	34,0 bar
220	10,0 bar	15,0 bar	23,0 bar	30,0 bar	
	Ciśnienie próbne dla różnych długości pionowych GWC i gęstości zawiesiny				
	Bez zwykłych prób szczelności na wycieki. Testowanie jedynie według specyfikacji producenta.				



Rys. 7. Ochrona końcówek pionowych GWC (fot.: Polydynamics Engineering Zurich)



Rys. 8. Przykład uszczelnienia pionowych GWC po próbach końcowych (fot.: Polydynamics Engineering Zurich)

Po końcowych próbach, pionowe GWC zazwyczaj oddaje się klientowi do użytku (właścicielowi lub instalatorowi).

Końcowe podłączenie do kompletnego systemu pompy ciepła może nastąpić w terminie późniejszym – od kilku dni do kilku miesięcy. Z tego powodu system pionowych GWC musi być chroniony przed wszelkimi przypadkowymi uszkodzeniami podczas dalszych prac. Końcówki pionowych GWC muszą być dobrze zamknięte, a także prawidłowo oznaczone i osłonięte (Rys. 7, 8).

3. ODBIÓR

Końcowe próby *pionowych GWC* stanowią odbiór prac wiertniczych. Klient powinien otrzymać zaproszenie do udziału w testach końcowych. Wszystkie profile wierceń i zapisy prób należy przekazywać klientowi.

Wiertnik przekazuje swoją odpowiedzialność za wykonany system *pionowych GWC* klientowi i od tego momentu zaczyna obowiązywać gwarancja prawna.

Końcowy odbiór ma miejsce po wykonaniu całkowitego montażu systemu pompy ciepła (PC). Obejmuje to przynajmniej następujące etapy:

- próbę szczelności na wycieki kompletnego systemu hydraulicznego,
- sprawdzenie temperatury, ciśnienia i prędkości przepływu w systemie,
- sprawdzenie funkcjonalności każdego urządzenia,
- uruchomienie systemu pompy ciepła,
- przekazanie klientowi kompletnej dokumentacji,
- poinstruowanie przyszłego operatora systemu odnośnie użytkowania i konserwacji systemu oraz sposobu działania w przypadku zakłóceń.

4. DOKUMENTACJA

Jeśli nie regulują tego istotne przepisy krajowe, przynajmniej następujące dane muszą być umieszczone w miejscu instalacji urządzenia (pompy ciepła) i udokumentowane w materiałach projektu:

- rok konstrukcji,
- dane firmy wykonującej wiercenie,
- ilość, długość i odległość *pionowych GWC*,
- długość i średnice rur zasilających/powrotnych między pompą ciepła i *pionowymi GWC*,
- marka, dokładny opis produktu oraz mieszanki nośnika ciepła,
- objętość obwodów *pionowych GWC*,
- prędkość przepływu i wysokość tłoczenia pompy cyrkulacyjnej(-ych),
- marka i dokładna nazwa produktu pompy ciepła,
- wydajność grzewcza i chłodnicza pompy ciepła w projektowanej temperaturze.

Następujące dane dodatkowe powinny uzupełnić dokumenty projektu:

- karta i profil wiercenia oraz – jeśli dotyczy – ekspertyza geologiczna,
- mapa miejsca z dokładną (pomierzoną) lokalizacją *pionowych GWC* i rur zasilających/powrotnych,
- obliczona wydajność *pionowych GWC* (wymiarowanie),
- zapisy prób końcowych i rejestracja produkcji (odbior).

5. KONSERWACJA

Zgodnie z zasadą, instalacja *pionowych GWC* nie wymaga konserwacji!
Niemniej, należy:

- zmierzyć lub sprawdzić ciśnienie systemowe (corocznie przez operatora). Zanotować wartość w rejestrze,
- zapisać każdy dodatek cieczy (woda lub środek przeciwzamarzający, dodana objętość, ciśnienie przed i po dodaniu),
- sprawdzać funkcję ochronną środka przeciwzamarzającego dla nośnika ciepła co 10 lat.

6. MONITORING

Podstawą przyszłych optymalizacji systemu jest monitoring systemu. W procesie kontroli systemu powinny być zapisane i bezpiecznie przechowywane następujące parametry systemowe:

- całkowity czas pracy sprężarki,
- minimalna temperatura zasilania / powrotna obwodu *pionowych GWC*,
- temperatura zasilania / powrotna obiegu cieplnego / dane użytkownika,
- opcjonalnie: zużycie energii elektrycznej.

Jeśli nie istnieje automatyczny rejestrator danych, należy zapisać je w rejestrze.

Dla mniejszych instalacji, należy zapisywać te parametry początkowo codziennie lub cotygodniowo; później wystarczy zapis comiesięczny lub coroczny.

Dla większych instalacji zalecany jest bardziej szczegółowy i automatyczny monitoring.

Sekcja D:

Elementy właściwe dla systemów o układzie otwartym

Rozdział 12

Typy warstw wodonośnych i ich właściwości

Autor: Olof Andersson

1. Wstęp

Przy projektowaniu systemów z układem otwartym jest istotna podstawowa wiedza o warunkach występowania wód podziemnych, w tym parametrów warstwy wodonośnej, jej rozmiarów, wydajności i ograniczeń, składu chemicznego wód itd. Niektóre z tych czynników są również znaczące dla systemów z układem zamkniętym.

Najbardziej istotnymi parametrami i właściwościami warstwy wodonośnej w układzie otwartym, są:

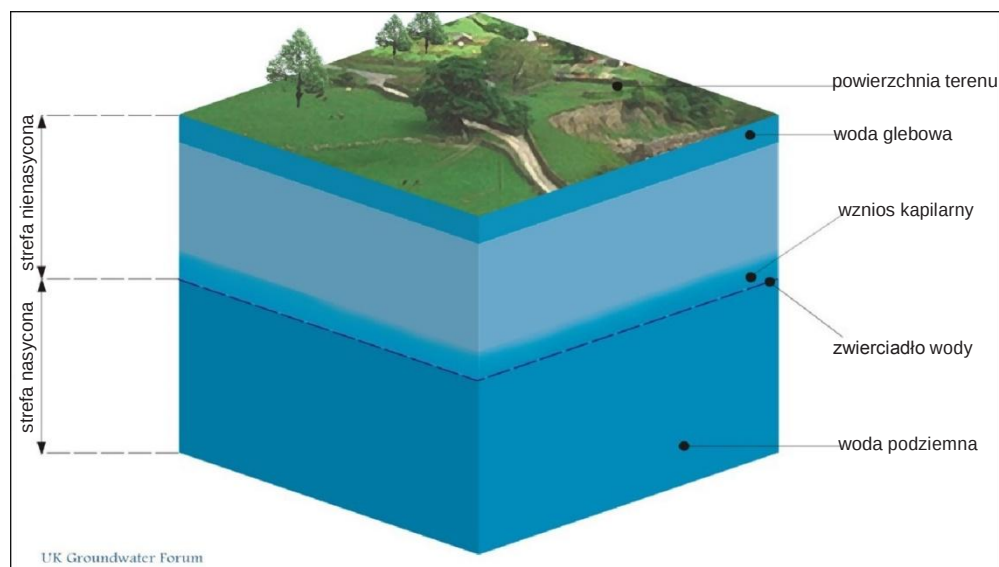
- geometria (granice i miąższość arealu),
- wysokość statyczna (zwierciadło wód podziemnych lub poziom hydrostatyczny),
- gradient wody podziemnej (dla wykrycia naturalnego kierunku przepływu),
- przewodność hydrauliczna (przepuszczalność),
- zdolność przepuszczania (przewodność hydrauliczna $\times$ miąższość),
- współczynnik magazynowania (wydajność jako funkcja objętości),
- współczynnik wycieku (wyciek pionowy do warstwy wodonośnej),
- warunki brzegowe (otaczające wartości graniczne, dodatnie lub ujemne).

2. Dlaczego firmy wierzące i instalatorzy powinni interesować się różnymi ograniczeniami?

Niezależnie od typu projektu, wiertacz musi zawsze być świadomy możliwości natrafienia na wodę podziemną podczas wiercenia. Obecność i parametry wody podziemnej mają zawsze istotne znaczenie przy planowaniu i wykonywaniu niemal wszystkich prac wiertniczych. Wpływają one na wybór metody, z jaką będą bezpiecznie wykonane otwory wiertnicze. Zrozumienie tych zagadnień jest tym samym najważniejszą kwestią dla wszystkich wiertaczy.

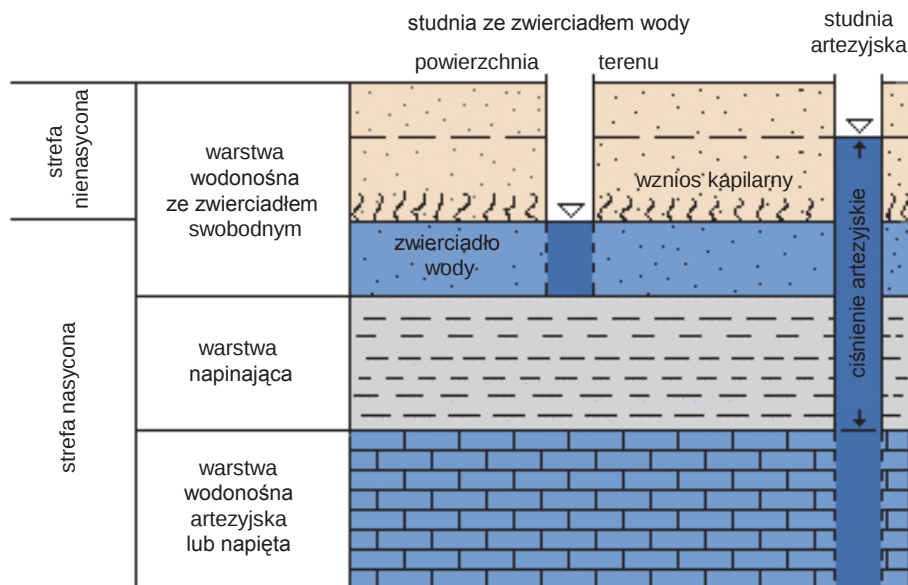
3. Typy warstw wodonośnych

Wody podziemne mogą występować niemal wszędzie. Zwierciadło wód podziemnych zdefiniowano jako poziom, pod którym wszystkie pory lub spękania są nasycone wodą, patrz rysunek 1.



Rys. 1. Strefa nasycona definiuje zwierciadło wód podziemnych. Warstwa wodonośna jest w praktyce określona jako ograniczona formacja geologiczna, z której woda podziemna może być pompowana z zastosowaniem studni wodnych

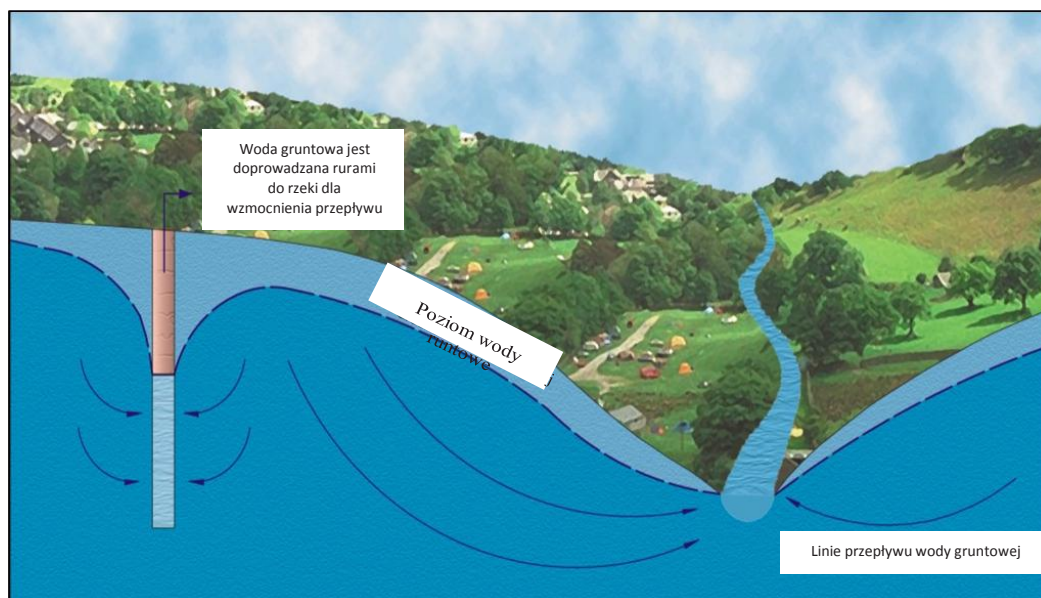
Istnieją dwa typy warstw wodonośnych – warstwy charakteryzujące się zwierciadłem swobodnym i napiętym. Jeśli poziom wodonośny nie jest izolowany od powierzchni terenu warstwą słabo przepuszczalną, jak na rysunku 1, zwierciadło wód podziemnych jest swobodne. Jeśli przepuszczalna formacja poniżej zwierciadła wód podziemnych jest przykryta przez warstwę mniej przepuszczalną, warstwa wodonośna jest uznawana za napiętą, patrz rysunek 2.



Rys. 2. Typy warstw wodonośnych: ze swobodnym zwierciadłem wód podziemnych i napiętym z wysokością statyczną (ciśnienie artezyjskie)

W napiętym typie warstwy wodonośnej wysokość statyczna (ciśnienie hydrauliczne) występuje powyżej poziomu powierzchni warstwy wodonośnej. Ciśnienie artezyjskie może czasem spowodować powstanie odwiertów z samowypływem powyżej tego poziomu (studnie artezyjskie).

W naturze wody podziemne są elementem cyklu hydrologicznego. Tym samym są one naturalnie zasilane i drenowane. Czasem drenaż skutkuje powstaniem źródła, lecz częściej wpływa do jeziora lub rzeki, jak zilustrowano na rysunku 3.



Rys. 3. Przepływ wód podziemnych w swobodnej warstwie wodonośnej, w tym przypadku częściowo do rzeki i częściowo do studni wodnej

Na rysunku 3 przedstawiono również zjawisko tworzenia się leja depresji wokół odwiertu podczas pompowania wód podziemnych. Wielkość i kształt tego leja są związane głównie z prędkością pompowania i hydraulicznym przewodnictwem warstwy wodonośnej.

Dla napiętych warstw wodonośnych naturalne zasilanie i przepływ są bardziej ograniczone w porównaniu z warunkami swobodnymi. Różnicą jest również to, że lej depresji będzie większy, gdyż odzwierciedla on tylko spadek ciśnienia hydraulicznego. Istotne jest rozpoznanie, czy w przypadku, gdy „studnia artezyjska” przedstawiona na rysunku 2 będzie pompowana, dodatkowe zasilanie zachodzić będzie również przez warstwę uszczelniającą.

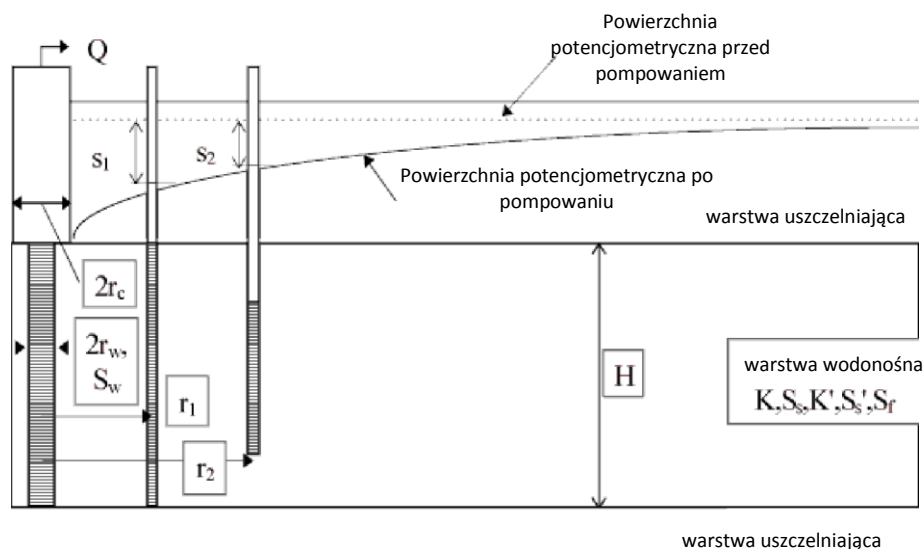
Poziom zwierciadła wód podziemnych waha się sezonowo podczas roku w zależności od klimatu. Najbardziej istotne są opady oraz sezonowość ich występowania. W europejskich strefach klimatycznych większość uzupełniania wody ma miejsce poza okresami wegetacyjnymi.

4. Jak uzyskać dane na temat właściwości warstwy wodonośnej?

Studiowanie map topograficznych, geologicznych i hydrogeologicznych oraz ich opisów, danych z istniejących odwiertów i miejsc dawnych badań, które zawierają dane geofizyczne oraz opis wcześniejszego, próbnego pompowania itd., umożliwia zrozumienie warunków hydrogeologicznych. Wszelkie informacje dotyczące właściwości chemicznych wód podziemnych są istotne, podobnie jak informacje o naturalnej temperaturze wód podziemnych. Stanowi to pierwszy etap badania terenu, szczególnie dla systemów z układem otwartym. Dla tego typu zastosowań wymagane są jednak bardziej szczegółowe informacje.

Następny etap badań terenu może obejmować wiercenia próbne, profilowania geofizyczne i próbne pompowania z analizami właściwości chemicznych wód w celu pełnego zrozumienia warunków warstwy wodonośnej.

Poza właściwościami chemicznymi wód, najbardziej istotnym parametrem opisującym warstwę wodonośną jest *przepuszczalność* (lub *przewodnictwo hydrauliczne*). Jest ona zdefiniowana jako opór wody podczas przepływu w materiale warstwy wodonośnej oraz wyrażona jako prędkość przepływu (m/s), gdy oddziałuje na niego grawitacja (gradient 1.0) i jest głównym parametrem do szacowania wydajności odwiertu w różnych częściach warstwy wodonośnej. Podczas dłuższego próbnego pompowania można wyznaczyć wartości kilku innych właściwości hydraulicznych. Podczas takiej próby monitoruje się zwierciadło wody podziemnej i ustala wielkość leja depresji wokół pompowanego odwiertu, patrz rysunek 4.



Rys. 4. Właściwości hydrauliczne warstwy wodonośnej są uzyskane podczas dłuższego próbnego pompowania w studniach obserwacyjnych lub rurach, w celu określenia kształtu leja depresji

Na podstawie próbnego pompowania przepuszczalność oceniana jest jako *przesączalność* (m^2/s). Parametr ten określa dodatkową przepuszczalność na kolejnym metrze. Dzieląc przesączalność przez miąższość warstwy wodonośnej uzyskuje się wartość średniej przepuszczalności między odwiertem pompującym i punktami obserwacyjnymi.

Jeśli próba trwa aż do stanu stabilnego (lej depresji jest w pełni rozwinięty), można ustalić współczynniki wycieku oraz magazynowania. Czynniki te są mniej istotne, lecz mogą być znaczące przy modelowaniu i symulacjach. Ponadto, ograniczenia warunków inwestycyjnych (pozytywne lub negatywne) stanowią podstawę do modelowania, zwłaszcza, gdy zachodzą one blisko lokalizacji odwiertów.

Dodatkowe informacje

Downing, R.H. 1998. Groundwater our hidden asset. *British Geological Survey*.

Missteart, B., Banks, D. & Clark, L. 2006. *Water Wells and Boreholes*. Wiley, Chichester, str. 514. ISBN/ISSN: 978-0-470-84989-7.

Fletcher G. Driscoll, 2008. *Groundwater and wells*. Wydanie trzecie. Johnson Screens Ltd, St Paul Minnesota.

Sekcja D:

Rozdział 13

Typy odwiertów i metody konstrukcji

Autor: Olof Andersson

1. Wstęp

Systemy z układem otwartym zawierają pewną liczbę odwiertów umieszczonych w tej samej warstwie wodonośnej. Funkcja tych odwiertów obejmuje produkcję (pobór), zatłaczanie, lub jednoczesną produkcję z zatłaczaniem wody.

Niezależnie od tego, czy odwierty mają funkcje pojedyncze lub podwójne, muszą być prawidłowo skonstruowane. W przeciwnym razie wystąpią poważne problemy operacyjne systemu i w najgorszym przypadku zostanie on wyłączony.

Prawidłowy odwiert musi spełniać następujące wymaganie funkcjonalne. Powinien:

- pozwolić na dostawanie się lub zatłaczanie wody z najniższym możliwym oporem przepływu,
- produkować wodę bez drobnych substancji pochodzących z warstwy wodonośnej,
- być skonstruowanym w sposób, który umożliwia ochronę warstwy wodonośnej przed zanieczyszczeniami.

2. Dlaczego firmy wierzące powinni interesować się metodami konstrukcji odwiertu?

Wykonawca wiercenia musi być świadomy, że konstrukcja odwiertów dla systemu z układem otwartym stanowi wyzwanie i może być zadaniem złożonym, biorąc pod uwagę wymagania opisane powyżej. Prawdopodobne jest, że odpowiedzialność za projekt i konstrukcję odwiertu będzie spoczywać bezpośrednio na wykonawcy wiercenia, gdyż na rynku zakłada się, że są oni bardziej doświadczeni niż projektanci płytkich systemów geotermalnych.

3. Typy odwiertów i procedury konstrukcji

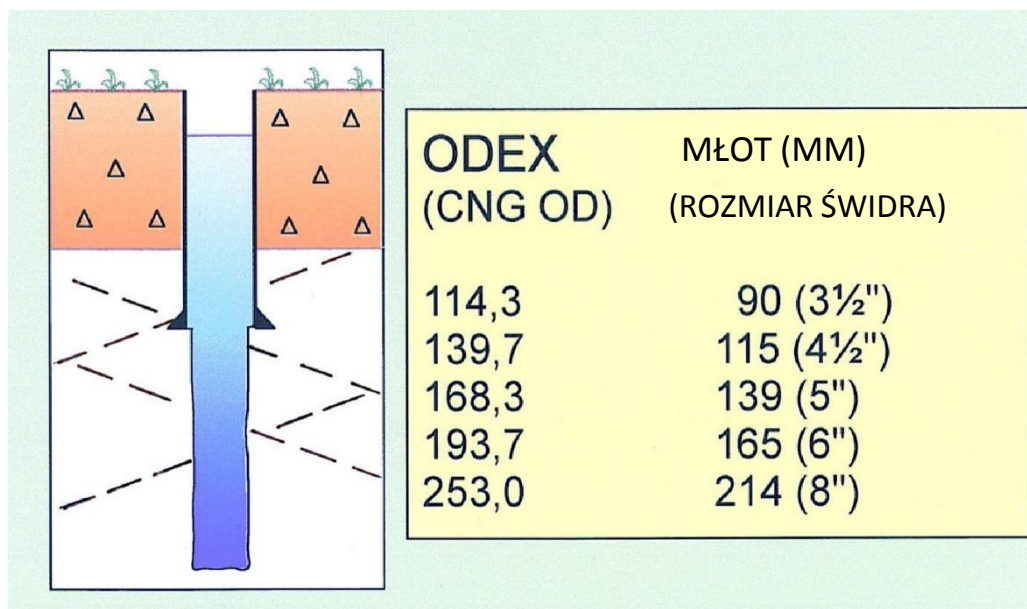
3.1. Wstęp

Nie ma wyraźniej różnicy między projektowaniem i konstrukcją studni wodnych i studni zasilających a odwiertami stosowanymi w celach energetycznych. Dla płytkich systemów geotermalnych z układem otwartym, odwierty są jednak stosowane zarówno do zatłaczania, jak i do jednoczesnego poboru z zatłaczaniem.

Istnieją dwa główne typy studni wierconych, z *otworem bosym* i z *filtrem*. Występuje również trzeci typ studni, *studnia kopana*. Ten typ studni ma często ograniczoną wydajność, lecz jest czasem stosowany w kraju dla mniejszych systemów gruntowych pomp ciepła. Ze względu na stabilną temperaturę wód podziemnych, system taki pracuje z wysoką wydajnością. Problemem może być jednak utylizacja schłodzonej wody, jeśli w pobliżu nie ma wody powierzchniowej.

3.2. Wykonanie odwiertu z otworem bosym

Otworki bosc, czasem zwane odwiertami, są najprostszym typem studni wierconej. Składają się one z rur okładzinowych oraz otworu boscgo, jak zilustrowano na rysunku 1, i odwierty te są typowo stosowane w rożnego typu formacjach skonsolidowanych.



KORZYSTNIE W ARCHAICZNYCH I CAŁKOWICIE SKONSOLIDOWANYCH SKAŁACH OSADOWYCH

Rys. 1. Sposób wykonania studni z otworem bosym (odwiert)

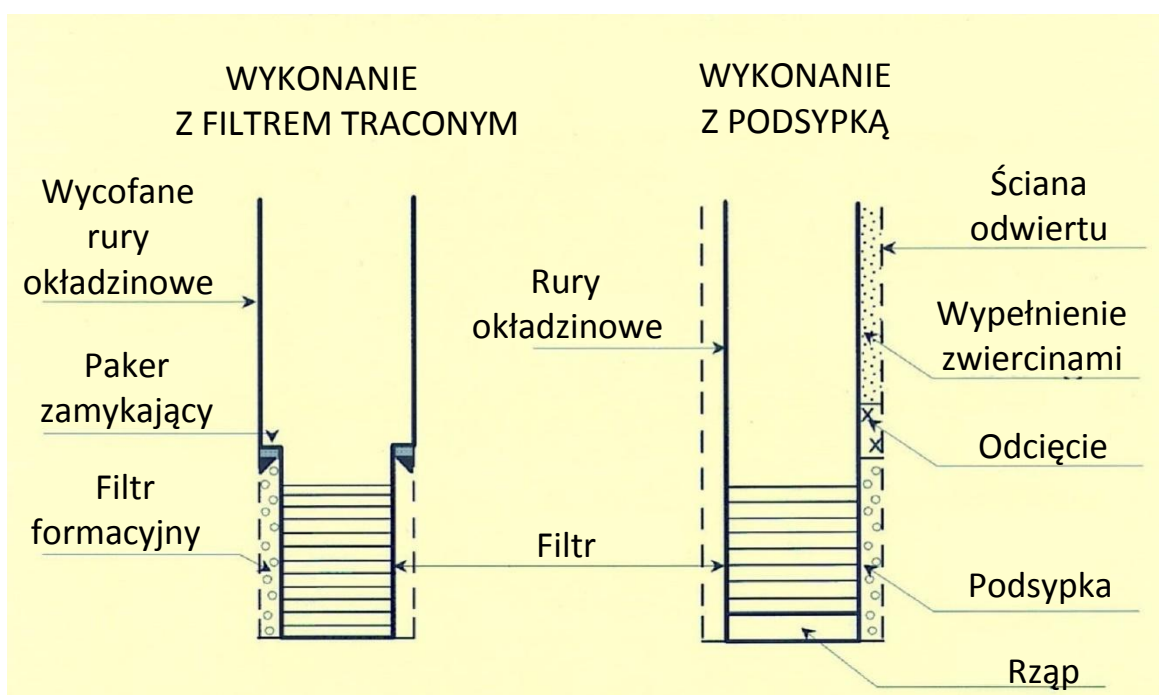
Konstrukcja wykonywana jest typowo w czterech etapach. W pierwszym etapie (1) rury okładzinowe są wprowadzane w d przez poziom nadkładu w celu ustabilizowania skały. Korzystne jest wykonywanie odwiertu przez zastosowanie metod ODEX lub TUBEX, można rownie stosować inne sposoby wiercenia udarowego, tj. NO-EX i TUBEX lub metody OD z obrotowymi rurami okładzinowymi. Sporadycznie, zwłaszcza dla płytkich odwiertów o dużych wymiarach, rury okładzinowe wprowadza się w d metod z narzędziem przewodowym.

W drugim etapie (2) rury okładzinowe uszczelnia się przez cementowanie. Służy to ochronie wód podziemnych przed zanieczyszczeniem z powierzchni przestrzeni pierścieniowej między rurami okładzinowymi i wierconym otworem. Inną funkcj mieszanki cementowej jest zapewnienie szczelnych warunków podczas zatłaczania. Uzupełnianie lub zatłaczanie wody w odwiercie wymaga ciśnienia na poziomie nawet 2–3 bar. Mieszanka cementowa powinna być pompowana w d i wypychana na powierzchnię przez ciśnienie z zastosowaniem pakera lub korka. Przed cementowaniem rury okładzinowe powinny być wepchnięte ok. 1 m, a nastepnie dopchnięte. Dzieki dopchnięciu rur okładzinowych nieco głębiej, ochroni si mieszankę cementową wokół pierścienia podczas utwardzania, co umożliwia dalsze wiercenie otworu boscgo (3). Wykorzystuje się metodę wiercenia DTH, lecz oczywiście można rownie stosować inne metody wiercenia twardych skał.

Ostatnim etapem (4) jest czyszczenie otworu wiertniczego, które typowo wykonuje się przez wznos powietrza przez żerdzie wiertnicze. Istotne jest, by przed zakończeniem tego etapu woda była całkowicie wolna od cząsteczek widocznych gołym okiem. W niektórych przypadkach, w zależności od rodzaju skały, otwór jest wielokrotnie oczyszczany, dla osiągnięcia prawidłowego rezultatu.

3.3 Wykonanie odwiertu z filtrem

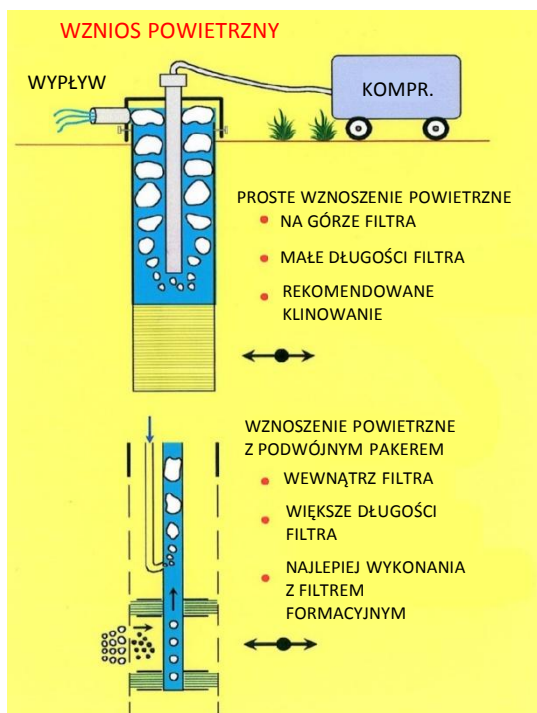
Jak przedstawiono na rysunku 2, istnieją dwa typy odwiertów z filtrem. Jeden polega na „wykonaniu z podsypką”, a drugi „wykonaniu z filtrem formacyjnym”. Drugi typ odwiertu jest zwany również „wykonaniem z filtrem traconym”, gdyż ta metoda stosuje wwiercane rury okładzinowe jako produkcyjne rury odwiertu. Projekt ten jest najpopularniejszy.



Rys. 2. Dwa główne typy odwiertów z filtrem i ich główne projekty i elementy

Wykonanie odwiertu z filtrem traconym

Wykonanie wiercenia z filtrem traconym stosuje się dla płytkich odwiertów o wysokiej wydajności umieszczonych w ozach, deltach glacyfluwalnych i brzegach rzek z grubymi żwirami i piaskami. Konstrukcję wykonuje się w czterech głównych etapach, z czego pierwszym jest dowiercenie rur okładzinowych (1), najlepiej do dna warstwy wodonośnej. Może być to wykonywane z użyciem dowolnej z wymienionych wcześniej metod wiercenia z rurami okładzinowymi. W następnym etapie (2) filtr z pakerem zamykającym, umieszczony na górze, obniża się do dna rur okładzinowych. Wykonuje się to stosując kabel podłączony do haka na płycie dennej filtra. Gdy filtr znajdzie się na żądanym miejscu, kolejnym etapem (3) jest podciągnięcie rur okładzinowych z powrotem do góry filtra, w ten sposób by paker spoczywał na półce buta rur okładzinowych, tworząc szczelne połączenie (patrz również rysunek 7, na kolejnych stronach). Ostatecznie (4), wprowadza się do odwiertu powietrze pod ciśnieniem lub wodę przez tłoczenie hydrauliczne. Głównym celem jest wypłukanie materiału droboziarnistego i nagromadzenie gruboziarnistego wokół filtra, jak zilustrowano na rysunku 5. Proces powinien być przeprowadzany z dużą siłą i trwać do momentu, gdy woda jest całkowicie pozbawiona zanieczyszczeń.



Metoda łatwa i praktyczna w przeprowadzeniu, jeśli odwiert został wywiercony z użyciem powietrza.

Najczęściej stosowana metoda dla wykonania odwiertów z filtrem traconym, działa najlepiej z procedurą „włącz i wyłącz”, która będzie pomocna do wytworzenia ruchu cząsteczek.



Rys. 5. Wznoszenie powietrzne jest najpopularniejszą metodą zagospodarowania wykonń z filtrem formacyjnym

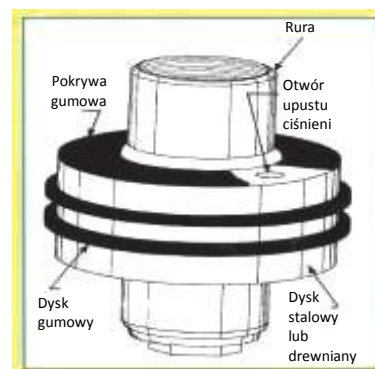
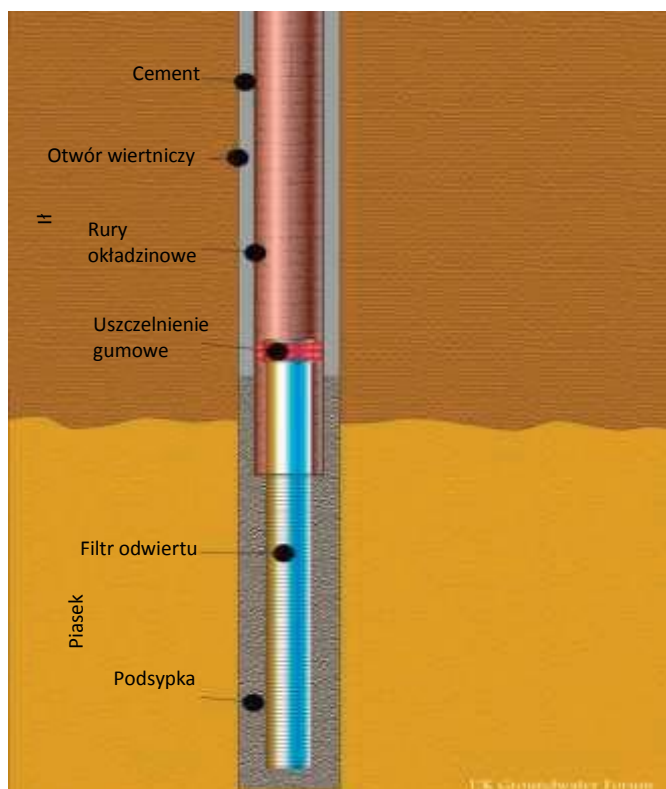
Aby prawidłowo oczyścić odwiert metodą wznoszenia powietrzem, dla większych długości filtra (>6 m zgodnie z zasadą ogólną) można zastosować podwójny pakier. Dzięki temu siła płuczka skupia się w sekcjach filtra, a tym samym czyszczenie jest bardziej skuteczne.

Często stosowaną metodą czyszczenia przygotowawczego jest hydro-iniekcja. W tym przypadku narzędzie tłoczące z dyszami umieszcza się na żerdzi wiertniczej i obraca wewnątrz filtra. W metodzie tej stosuje się wodę pod wysokim ciśnieniem, w celu uzyskania strumienia, który spenetruje szczeliny filtra i przemieści ziarna na zewnątrz. Metoda ta jest bardziej wydajna, jeśli wodę pompuje się również podczas wykonywania odwiertu.

Wykonanie odwiertu z podsypką

Odwierty z podsypką często stosuje się dla głębszych warstw wodonośnych w osadach deltowych i nieskonsolidowanych piaskowcach. Sposoby wiercenia mogą być różne, lecz dominująca jest metoda obrotowa, z normalnym lub odwróconym obiegiem płuczki.

Typową konfigurację takiego odwiertu pokazano na rysunku 6. Konstrukcja związana jest z kolejnymi etapami, tj.: (1) wiercenie w dół tymczasowej kolumny wstępnej lub rury pionowej, (2) wiercenie otworu bosego z wodą lub płuczką, (3) wprowadzanie filtra i produkcyjnych rur okładzinowych z elementami centrującymi do otworu, (4) umieszczenie podsypki, najlepiej przez pompowanie jej w dół rurą, (5) przepompowanie odwiertu dla podsypiania żwiru i odmierzenia wierzchu podsypki, (6) uszczelnienie podsypki przez umieszczenie iltu pęczniącego lub mieszanki cementowej na wierzchu żwiru, (7) podsadzanie reszty pierścienia, często z użyciem zwiercin, (8) czyszczenie odwiertu metodą prawidłową, tj. przepompowanie lub pompowanie z włączaniem/wyłączeniem pompą głębinową, i ostatecznie, (9) jeśli jest to wymagane, dalsze oczyszczanie, najlepiej przez wypłukiwanie. Stosowane być mogą również inne metody, takie jak hydro-iniekcja, wznoszenie powietrzem i łokowanie.



Na całym świecie z korzyścią stosowane są w odwiertach wysortowane osady drobnoziarniste (osady delt lub nieskonsolidowane piaskowce).

Podsyпка działa jak filtr dla cząstek drobnych, lecz jest wrażliwa na kolmatację przez cząsteczki drobnoziarniste.

Wypłukiwanie jest praktycznym rozwiązaniem dla zagospodarowania lub czyszczenia otworu.

Rys. 6. Przykład odwiertu z podsypką. W górnym lewym rogu element wypłukujący stosuje się często podczas zagospodarowania

W porównaniu z metodami z filtrem formacyjnym, wykonanie odwiertu z podsypką musi być zagospodarowane bardziej łagodnie, by nie mieszać podsyпки z drobniejszymi cząsteczkami z formacji wodonośnej. W takim przypadku wydajność odwiertu będzie spadać, czasem drastycznie.

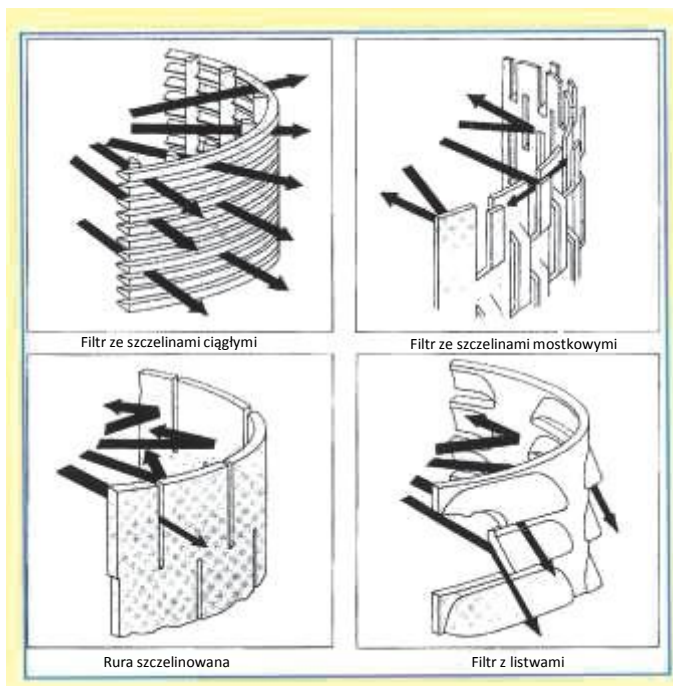
4. Wskazówki dla projektowania odwiertów z filtrem

4.1. Wybór typu filtra

Techniczną funkcją filtra powinno być: (1) przepuszczenie wody przez filtr z minimalnymi stratami tarcia, (2) uniknięcie wejścia drobnych cząstek do odwiertu oraz (3) umożliwienie zagospodarowania lub konserwacji. Powinien być on również (4) odporny na korozję.

Aby wypełnić te kryteria filtr powinien mieć: (1) duży obszar wejściowy, (2) otwory zapobiegające dostawianiu się cząsteczek lub kolmatacji otworów, (3) otwory pozwalające na mechaniczną obróbkę na zewnątrz filtra oraz (4) być wykonany z odpornego na korozję materiału, ze względu na właściwości chemiczne wody.

Na rynku studni wodnych dostępnych jest kilka typów filtrów, z których najpopularniejsze pokazano na rysunku 7. Ciągły typ szczelinowany najbardziej pasuje do kryteriów podanych powyżej, podczas gdy wszystkie pozostałe mają mniej szeroki zasięg stosowania lub ograniczenia, które zwiększają straty wywołane tarciami.



Zdjęcie pokazujące ciągły filtr szczelinowy wraz z prostym typem pakera stosowanego dla wariantów z filtrem traconym.

Rys. 7. Różne typy filtrów ze strzałkami pokazującymi skuteczność zagospodarowania

Większość filtrów standardowo wykonuje się z odpornego na korozję materiału ze stali nierdzewnej. Filtry szczelinowe są jednak powszechnie wykonane z tworzyw sztucznych, stosowanych częściej w węższych odwiertach próbnych i odwiertach obserwacyjnych.

Istotnym czynnikiem dla wyboru filtra jest głębokość odwiertu. Filtry umieszczone w nieskonsolidowanych formacjach muszą wykazywać wytrzymałość na ściskanie, które odpowiada naprężeniom poziomym w gruncie. Z tego powodu filtry wykonane z tworzyw sztucznych mają zastosowanie jedynie na mniejszych głębokościach.

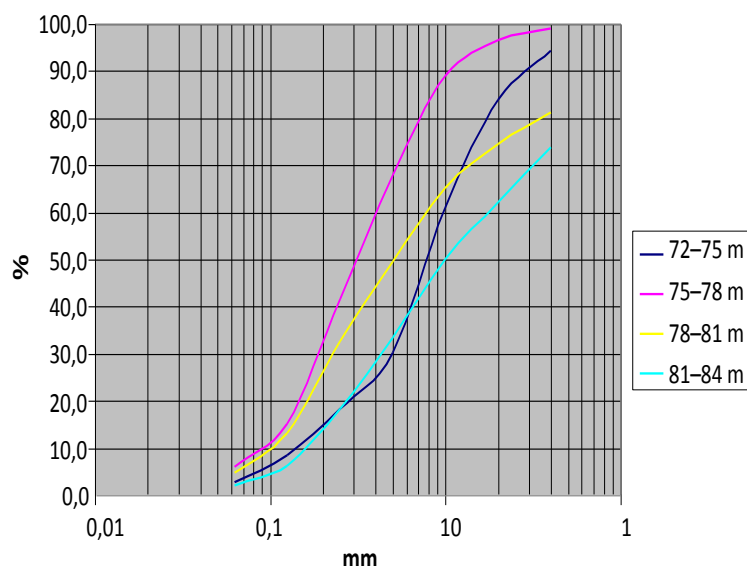
4.2 Wybór rozmiaru szczelin dla filtra formacyjnego

Projekt tego typu odwiertu wymaga analizy granulometrycznej. Dlatego należy przed projektowaniem precyzyjnie pobrać próbki.

Krzywe granulometryczne są stosowane do projektowania filtrów w naturalnie powstałych formacjach wokół filtra. Odnosząc się do przykładu na rysunku 8, pierwszym etapem jest zdefiniowanie współczynnika jednorodności (U_c) przez oddzielenie frakcji, w której 60% próby przechodzi przez sita (d_{60}) od frakcji, w której przechodzi 10% (d_{10}). Przykładowo, wartość U_c wyniesie 4,0, spełnia to kryterium pierwsze, dając wartość $U_c > 2,5$.

Następnym etapem w procedurze projektowania jest wybór rozmiaru szczeliny filtra. Mając na uwadze cel, którym jest wymycie największej możliwej ilości materiału drobnoziarnistego i zbudowanie odcinka gruboziarnistego wokół filtra, wybór ma duże znaczenie. Jeśli rozmiar szczeliny jest zbyt duży, odwiert może okazać się źródłem produkcji piasku. Jeśli jest zbyt wąski, wydajność może nie być wystarczająco wysoka, jak jest to oczekiwane, lub może wystąpić proces kolmatacji w filtrze, spowodowany gromadzeniem drobnych cząstek podczas zagospodarowania.

Krzywe granulometryczne, Gamle Union, Brønn 2



Główne kryteria

Niezgodność (d_{60}/d_{10}) powinna wynosić $>2,5$.

Warstwa z najdrobniejszą frakcją powinna być podstawą dla projektu (fioletowa krzywa).

Wymiar szczeliny filtra powinien być dobrany tak, by około 50–60% materiału mogło być oczyszczone (czerwona linia).

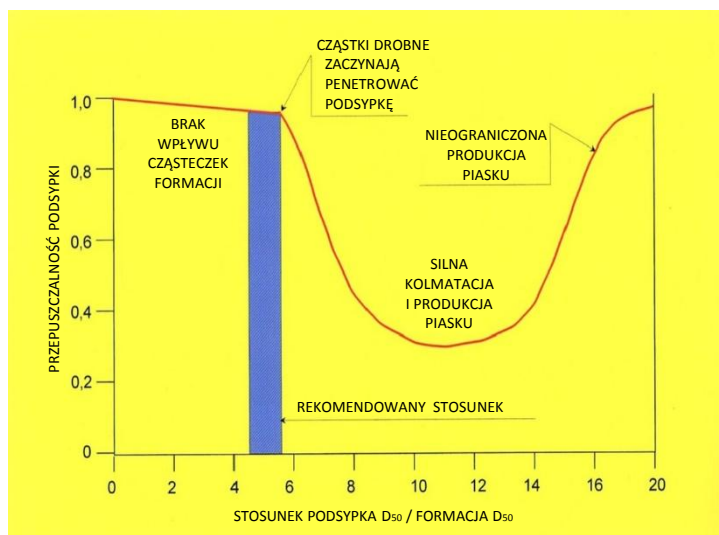
Rys. 8 Krzywe granulometryczne są stosowane do wyboru rozmiaru szczeliny filtra

Poza kryteriami opisanymi wcześniej i przedstawionymi na figurze, warstwa z materiałem drobnoziarnistym musi być pokryta warstwą o grubszej frakcji wzdłuż filtra. Warstwa drobniejsza będzie w tym przypadku wypłukana i zastąpiona przez grubsze ziarna na obrzeżu filtra.

Na podstawie przedstawionego przykładu na rysunku rozmiar szczeliny powinien wynosić 0,3 mm. Nie jest to jednak rozmiar standardowy. Należy wybrać najbliższy standardowy wymiar, w tym wypadku 0,25 mm. Inne standardowe rozmiary to 0,5, 0,75, 1,0 oraz 1,5 i 2,0 mm.

4.3 Wybór podsypki o jednej frakcji

W odwiercie z podsypką przestrzeń między ścianą otworu wiertniczego a filtrem jest wypełniona frakcją, jest wiele bardziej przepuszczalną niż formacja piaszczysta, w której umieszczono odwiert. Podstawową funkcją podsypki jest, zgodnie z zasadą, zapobieganie dostawianiu się drobnych cząstek do odwiertu. Z drugiej strony przepuszczanie wody przez podsypkę powinno odbywać się z minimalnym oporem przepływu. Dla osiągnięcia tych wymagań stosunek średnicy między rozmiarami ziaren podsypki i formacji piaszczystej powinien być rzędu 4,5–5,5. Jest to stosunek teoretyczny wynikający z tego, że pory podsypki nie przepuszczają piasku z formacji do podsypki, pod warunkiem, że stosunek jest większy niż 5,5. Przedstawiono to na rysunku 9, z której można wywnioskować, że dla stosunku średnic rzędu 8–12 będą występować zarówno silna kolmatacja, jak i związane z nią problemy z produkcją piasku. Wynika również, że stosunek średnic ziaren rzędu 16–29 będzie powodował nieograniczoną produkcję piasku. Ten rodzaj podsypki stosuje się jedynie jako filtr podpierający ścianę otworu wiertniczego dla zapobieżenia dostawianiu się fragmentów skał do odwiertu.



Rys. 9. Optymalny stosunek wielkości ziaren między podsypką a piaskiem formacji

Podstawowe kryteria:

Rozrzut (d60/d10) powinien być <2,5.

Poziom o najdrobniejszym uziarnieniu w warstwie wodonośnej powinien stanowić bazę dla projektu.

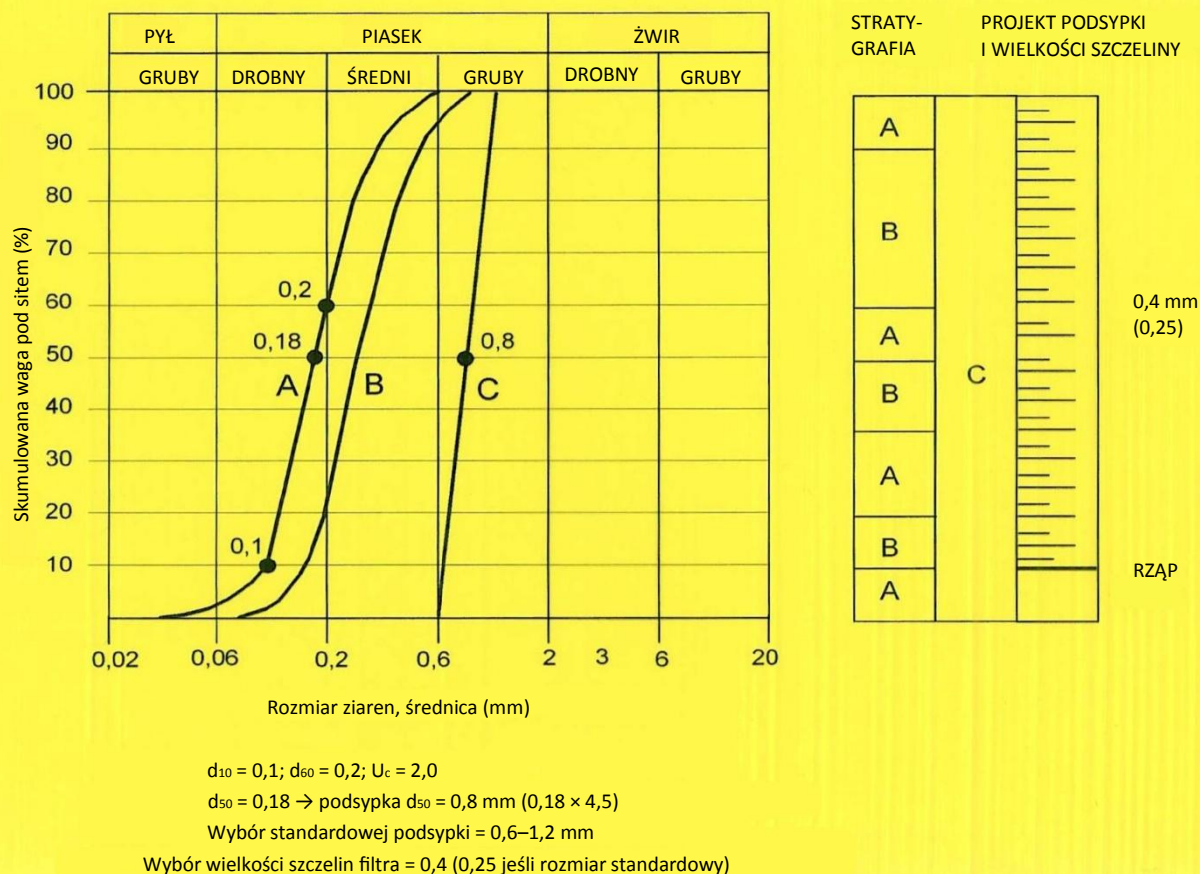
Podsypka powinna mieć wielkość ziaren d50 <5 razy wartości d50 formacji piasku (optymalne wartości zawarte są w granicach niebieskiej kolumny).

Z krzywych rozkładu uziarnienia wynika po pierwsze, że odwierty z podsypką stosuje się, jeśli wartość U_c wynosi <2,5. Mogą one być oczywiście również wykonane dla słabiej wysortowanych formacji, jeśli z jakiegokolwiek powodu nie można zastosować naturalnie powstającego filtra formacyjnego. Po drugie, dla ustalenia wymiarów podsypki należy przeprowadzić próbę o najdrobniejszych ziarnach.

Dla wykonania podsypki wskazane jest zastosowanie ziaren o nieco mniejszym rozmiarze od wartości teoretycznej. Dużą zaletą jest zminimalizowanie ryzyka kolmatacji i produkcji piasku, nawet w przypadku obniżenia jej przepuszczalności. W popularnych podsypkach stosuje się ziarna o standardowym wymiarze, mierzonym w zakresie $d_{50} \geq 0,8$. Wymiary ziaren w podsypce 0,8 mm będą wahać się w zakresie ok. 0,6–1,0 mm.

Materiał podsypki powinien być jak najlepiej wysortowany w pojedynczej frakcji i składać się z okrągłych lub słabo obtoczonych ziaren kwarcu. Rozmiar szczeliny filtra powinien być przynajmniej o 0,2 mm mniejszy niż najdrobniejsze ziarna podsypki.

Na rysunku 10 przedstawiono przykład zaprojektowania podsypki o pojedynczej frakcji. W tym przypadku, dla typowego osadu deltowego, można wyróżnić dobrze wysortowane warstwy piasku średnioziarnistego (B) i średnio- do drobnoziarnistego (A). Wszystkie warstwy są dobrze rozdzielone, a wartość U_c uzyskana z analizy sitowej wynosi ok. 2,0. Podstawą projektu jest materiał z warstwy piasku o najdrobniejszych ziarnach o wartości d_{50} wynoszącej 0,18 mm. Podsypka w tym przypadku charakteryzuje się 4,5 × większą wartością, co daje $d_{50} = 0,8$ mm. Standardowy żwir, w tym przypadku, ma rozmiary 0,6–1,2 mm. Maksymalny wymiar szczeliny filtra, opisany w literaturze, wynosi 0,4 mm. Pomimo tego, w tym przypadku, standardowy rozmiar powinien wynosić 0,25 mm. Jeśli wybrano 0,5 mm, istnieje ryzyko, że najdrobniejsze cząsteczki podsypki będą powodować kolmatację złoża filtracyjnego.



Rys. 10. Przykład wyboru podsypki (C) i filtra na podstawie rozkładu rozmiarów ziaren najdrobniejszej warstwy (A)

4.4 Podsypki o wielu klasach

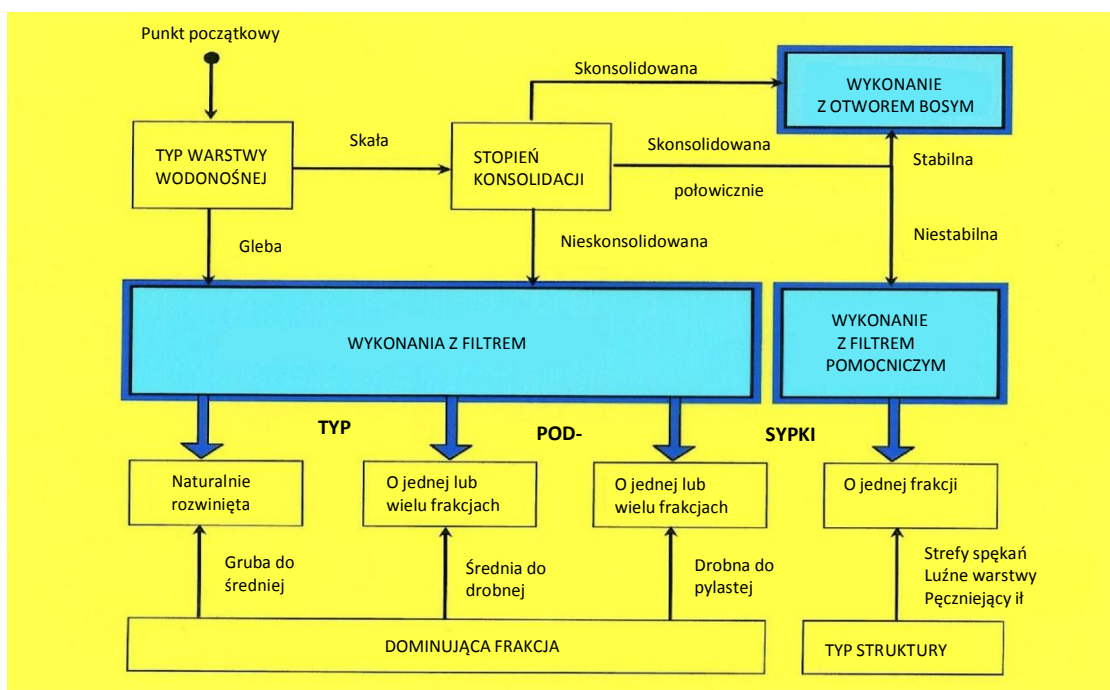
Zasadą wyboru podsypki o wielu klasach i sit szczelinowych jest dostosowanie projektu odwiertu do złożoności warstw wodonośnych. W takim projekcie najistotniejsze jest ustalenie dokładnych poziomów, miąższości i frakcji każdej warstwy. Stanowi to oczywiście wyzwanie przy wierceniach próbnych i towarzyszącej im metodyce pobierania prób. Najprawdopodobniej wiąże się z tym również profilowanie geofizyczne, takie jak profilowanie kawernomierzem, elektryczne oraz gamma.

W projekcie wykorzystywane są różne podsypki dla różnych poziomów w warstwach wodonośnych. Celem jest wykorzystanie pełnej przepuszczalności, również w wypadku stref mniej produktywnych. Ten typ odwiertu stanowi duże wyzwanie dla zaprojektowania, a nawet większe przy konstrukcji. Tym samym rekomendowane jest stosowanie jedynie najbardziej wydajnych stref z podsypką o pojedynczej frakcji oraz sekcji niewypełnionych, przechodzących przez mniej wydajne warstwy.

5. Wybór rodzaju odwiertu

W celu wyboru prawidłowego rodzaju odwiertu istotne jest posiadanie szczegółowej wiedzy, nie ze względu na zapotrzebowanie na jego wydajność, lecz również, co jest bardziej istotne, dokładnej znajomości lokalnych warunków geologicznych i hydrogeologicznych.

Na podstawie wyników uzyskanych dla istniejącej dokumentacji (map geologicznych, archiwów otworów itp.) oraz wierceń próbnych, pierwszy etap we wszystkich projektach odwiertów obejmuje alternatywne połączenie tej wiedzy, co przedstawiono na rysunku 11.



Rys. 11. Schemat blokowy dla wyboru typu odwiertu w oparciu o warunki geologiczne

Ze schematu blokowego wynika, że stopień konsolidacji jest głównym czynnikiem wyboru. Jeśli formacja jest wystarczająco skonsolidowana, by zachować stabilność podczas wiercenia i właściwe pompowanie wody, nie istnieje zapotrzebowanie na filtry. W tym przypadku wykonanie odwiertu z otworem bosym staje się wyborem najprostszym i najtańszym.

Jeśli przewiduje się, że otwór wiertniczy będzie częściowo niestabilny ze względu na strefy spękań lub inne struktury tektoniczne w litej skale, sugeruje się wykonanie filtra pomocniczego. Może on składać się z linera szczelinowego, którym może być stalowa rura okładzinowa lub szczelinowa rura z tworzywa sztucznego, wokół których upakowany jest gruboziarnisty materiał filtra.

Najbardziej skomplikowana sytuacja wiąże się z zaprojektowaniem i skonstruowaniem otworów z podsypką w formacjach, które są zdominowane przez piasek drobnoziarnisty. Te rodzaje warstw wodonośnych ograniczają możliwość zastosowań studni. Dla warstw, które są zdominowane przez występowanie piasku średnioziarnistego, rozwiązanie z pojedynczą podsypką (lub o wielu frakcjach) jest jedyną alternatywą. W warstwach wodonośnych z piaskiem grubym i średnim, w większości przypadków wybiera się naturalnie wykształcony filtr formacyjny. Jednakże, kryterium wartości $U_c > 2,5$ decyduje o tym, czy jest to możliwe. Jeśli warunek ten nie jest spełniony, musi być zastosowane rozwiązanie z podsypką.

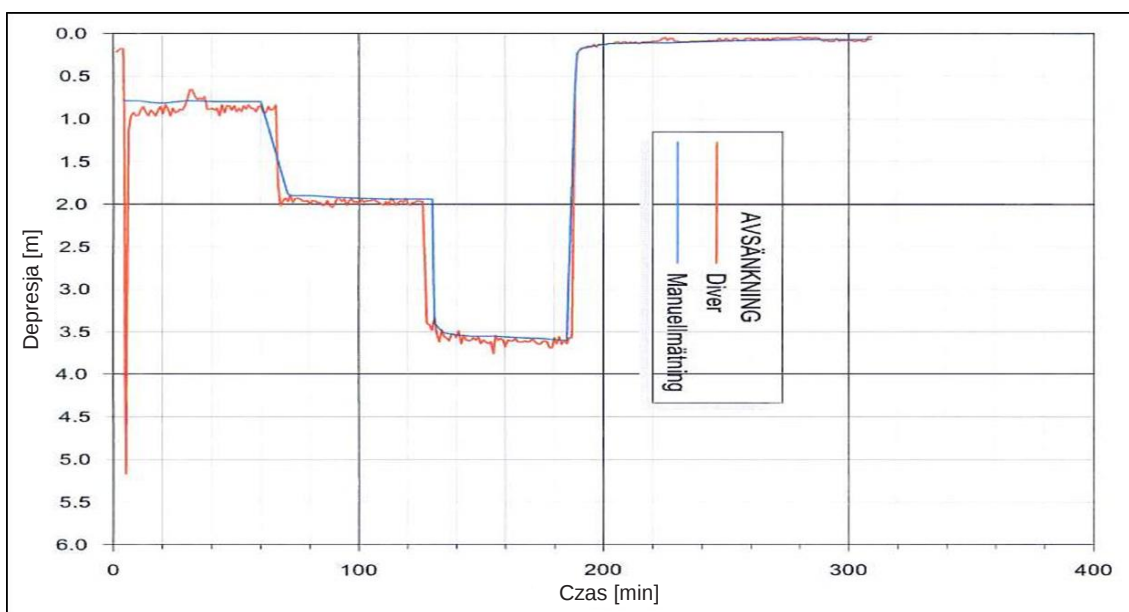
6. Próby po zakończeniu wykonywania otworu

Jak pokazano poniżej, istnieje kilka powodów, dla których wiertacz musi sprawdzić konstrukcję odwiertu po zagospodarowaniu.

- Wydajność odwiertu może nie być niewystarczająco dobra, jak jest to wymagane.
- W przeciwnym przypadku, może być konieczne wykonanie drugiej obróbki.
- Rzeczywista wydajność właściwa (nie ta zaprojektowana) będzie stanowić podstawę dla wyboru i ustalenia głębokości pompy.
- Symulacje modelowe będą bazowały na rzeczywistej wartości przewodnictwa hydraulicznego (nie tej przewidywanej).
- Należy pobrać próby niezmażonej wody, by sprawdzić jej właściwości chemiczne i fizyczne.
- Z kontraktowego punktu widzenia, należy zebrać wszystkie wyniki próby, by sprawdzić, czy są spełnione wymagania umowy.

W każdy odwiercie z filtrem występuje pewien opór dopływu wody przez filtr. Jest to określane jako wydajność odwiertu i zdefiniowane przez stosunek pomiędzy depresją w warstwie wodonośnej do poziomu wody wewnątrz odwiertu. Opór ten zwiększa się, jeśli występuje kolmatacja cząsteczek na powierzchni filtra, lub jeśli odwiercie nie jest prawidłowo zagospodarowane. Naturalnie zagospodarowane odwiertu mają wyższą wydajność niż odwiertu z podsypką. Powodem powyższego jest często fakt, że drobne cząsteczki z warstwy wodonośnej są akumulowane na podsypce i formują naskórek, który jest mniej przepuszczalny. Często wartości współczynnika wydajności wynoszą 0,85–0,97 dla odwiertów naturalnie zagospodarowanych i 0,60–0,80 dla nowo skonstruowanych. Wartość depresji pomiędzy 3 a 40% wynika ze strat wywołanych tarciami, powstałych, gdy woda dostaje się do odwiertu.

Na rysunku 12 podano przykładowe etapy próby depresji, w tym przypadku dla odwiertu z naturalnie rozwiniętym filtrem formacyjnym.



Rys. 12. Przykład etapu próby depresji dla ustalenia wydajności odwiertu

Na rysunku przedstawiono wielkość depresji każdego etapu; wydajność całkowita może być łatwo obliczona przez ocenę wydajności właściwej na każdym etapie. Przez wydajność właściwą rozumie się prędkość przepływu (Q) podzieloną przez wielkość depresji (s). Jeśli stosunek Q/s jest równy na każdym etapie, wydajność jest wysoka. Jeśli spada przy wzroście prędkości przepływu, jest ona niższa.

Zazwyczaj wykonawca wiercenia przeprowadza te krótkotrwałe próby i przekazuje pomiary klientowi do oceny. Dlatego ważne jest, by wykonawca wiercenia znał obowiązujące procedury dla takich próbnych pompowań oraz wiedział, jak przeprowadzać wiarygodne pomiary. Poniżej przedstawiono listę proponowanych procedur.

1. Należy zainstalować pompę głębinową w odwiercie z rurą pionową i rurą odpływową. Upewnić się, że pompa nie znajduje się zbyt wysoko w odwiercie, powodując nagłe zasysanie powietrza. Ponadto, upewnić się, czy pompa jest wystarczająco duża, by zapewnić spodziewaną prędkość przepływu.
2. Należy zapewnić zasilanie elektryczne pompy i umieścić miernik przepływu oraz zawór na rurze odpływowej. Sprawdzić, czy wypływ znajduje się na takim poziomie, że nie będzie miał negatywnego wpływu na środowisko i na samą próbę.
3. Jeśli głębinowy miernik ciśnieniowy (nurek) jest stosowany do profilowania depresji, należy zainstalować go razem z pompą na etapie 1. Upewnić się, że jest on zaprogramowany na częsty zapis. Nawet jeśli jest stosowany nurek, muszą być podczas próby przeprowadzone odczyty manualne, najlepiej sondą elektryczną, jako pomiary pomocnicze.
4. Należy wykonać pierwszą szybką próbę przez ok. 10–15 minut, by sprawdzić, czy wszystko działa poprawnie. Przy tej próbie również mierzyć poziom depresji i sprawdzić, jak działa zawór do regulacji różnych prędkości przepływu.
5. Należy poczekać przynajmniej przez okres trwający tyle, co krótka próba sprawdzająca, aby ustabilizować warunki panujące w odwiercie. Następnie wykonać pomiar referencyjny w odwiercie i, jeśli możliwe, w innych okolicznych odwiertach.
6. Należy uruchomić pompę i wykonać ręczne pomiary z najkrótszymi możliwymi interwałami przez pierwsze 10 minut, stopniowo z dłuższymi interwałami przed odcięciem (po ok. 2 godzinach dla prób z pojedynczym przepływem). Należy odnotować także prędkość przepływu co najmniej raz na 10 minut.
7. Jeśli pożądana jest próba etapowej depresji, należy poświęcić 30–45 minut na każdy etap i powtórzyć pomiary z krótkimi interwałami na początku każdego etapu. Wzrost prędkości przepływu powinien być regulowany przez zawór z góry założoną wielkością obrotów otwierających, określoną w etapie 4.
8. Przed zatrzymaniem pompy przy odpływie powinna być pobrana próba wody. W niektórych przypadkach w większej ilości, niż wymaga tego próba. Przy opróbowaniu wody należy zapisywać odczyt temperatury (w większości nurków ma również wbudowany termometr)
9. Jeśli jest to wymagane, na końcowym etapie należy również manualnie zmierzyć wartości uzupełnienia i z zastosowaniem nurka. Pomiar ręczny powinien być wykonywany przede wszystkim w krótkich interwałach.
10. Należy podnieść pompę i wyciągnąć nurek. Wszystkie uzyskane dane i próby wody należy, celem oceny, przekazać klientowi tak szybko, jak będzie to praktycznie możliwe.

Wykonawca wiercenia jest czasem proszony o dodatkowe wykonanie dłuższych próbnych pompowań. W takim przypadku, powinno się zasadniczo stosować identyczne procedury jak w odniesieniu do przygotowań praktycznych. Pomiary te są jednak często wykonywane przez zewnętrzny serwis innego podmiotu. Próby te obejmują pomiary na określonej liczbie odwiertów obserwacyjnych lub rur, rejestrowanie poziomów wody w jeziorach, parametry klimatyczne itd. i mogą być kontynuowane przez kilka tygodni lub nawet miesięcy.

7. Wskazówki dodatkowe

Wiadomo, że technologia odwiertu doczekała się jedynie nielicznych opracowań badawczych i edukacyjnych. Wiedza i doświadczenie wynikają zasadniczo z praktyki samych wiertaczy studni wodnych i, podobnie jak metody wiercenia, różnią się w poszczególnych krajach i regionach.

Poza tym, jak wspomniano wcześniej w rozdziale, dodatkowe rekomendacje dotyczące odwiertów z filtrem są następujące:

- Nigdy nie należy stosować bentonitu jako dodatku do płuczki wiertniczej, ponieważ może spowodować stałą kolmatację porów. Zamiast tego należy stosować polimery (CMC), które ulegają samodegradacji.
- Korzystne jest stosowanie ciągłych odmian ze szczelinami, które okazały się być bardziej wydajne, mniej wrażliwe na kolmatację, i dzięki którym, można łatwiej stosować w odwiercie metody obróbki mechanicznej.
- Dla odwiertów z podsypką, należy zawsze używać elementów centrujących, w celu ustawienia kolumny odwiertu w środku. W przeciwnym wypadku trudno umieścić żwir, co zwiększa ryzyko produkcji piasku.
- Aby uniknąć sortowania, zanieczyszczenia i powstawania zasypów podczas umieszczania podsypki przez opadanie grawitacyjne, pompowanie jej w dół przez pionową rurę daje najlepszy efekt, rozpoczynając wypełnianie żwiru od dna instalacji.
- Obliczona miąższość podsypki powinna wynosić przynajmniej 50 mm i sięgać zdecydowanie powyżej górnego poziomu filtra (przynajmniej 20% długości filtra).
- Należy uważać, by nie wpuszczać powietrza do warstwy wodonośnej podczas zagospodarowywania odwiertu z użyciem wznoszenia powietrznego. Dostanie się powietrza skutkuje kolmatacją, pogarszającą przepuszczalność i trudno będzie wykonać ponowne płukanie.

Dodatkowe informacje

Fletcher G. Driscoll, 2008. *Groundwater and wells*, Wydanie trzecie. Johnson Screens Ltd, St Paul Minnesota.

Sekcja D:

Rozdział 14

Instalacje i nadbudowy odwiertów

Autor: Olof Andersson

1. Wstęp

System z układem otwartym tworzy oddzielny obwód, z którego ciepło i/lub chłód jest przesyłane do innych obwodów przez wymienniki ciepła. Właściwości termiczne wody podziemnej zależą od stanu i sposobu zagospodarowania odwiertów, z których woda jest pompowana i do których jest zwracana.

Niezależnie od tego, czy odwierty mają pojedynczą lub podwójną funkcję, muszą być prawidłowo wyposażone, by być funkcjonalne. Poza tym, istotne jest monitorowanie wydajności, gdyż urządzenia te ułatwiają wykrywanie potencjalnych problemów związanych z wykonanym odwiertem. Parametry, które należy mierzyć w sposób ciągły, lub przynajmniej krótkotrwały, wewnątrz odwiertów lub przy nich, obejmują:

- wielkość depresji jako funkcję prędkości przepływu,
- ciśnienie zatłaczania jako funkcję prędkości przepływu,
- prędkości przepływu każdego odwiertu,
- temperaturę panującą wewnątrz i poza otworem wiertniczym.

Zaleca się również, żeby zasilanie z obiegu wód podziemnych było monitorowane pod kątem ciśnienia, prędkości przepływu i temperatury, o ile system zawiera kilka odwiertów.

2. Dlaczego firmy wierzące powinni interesować się instalacjami w odwiertach?

Wykonawca wiercenia, w ramach kontraktu, może nie brać odpowiedzialności za projektowanie systemu monitoringu, lecz w wielu przypadkach będzie instalował urządzenia. Poza tym, wiertacz jest w większym lub mniejszym stopniu odpowiedzialny za zachowanie się odwiertu również po wykonaniu. Może zaistnieć sytuacja, że wykonawca wiercenia będzie związany umową konserwacji odwiertów, które wykonał.

3. Instalacje w odwiercie

3.1. Wybór pompy

Pompy głębinowe są stosowane do obsługi obwodu, w którym krąży woda podziemna. Parametry pompa powinny być dobrane przy uwzględnieniu prędkości przepływu i wysokości statycznej. Na wielkość wysokości statycznej wpływają następujące parametry:

- straty wywołane tarciami w systemie rur przy pełnej prędkości przepływu,
- długość wznoszenia przy maksymalnej depresji,
- oraz ciśnienie zatłaczania przy uzupełnianiu.

Silnik pompy dostarcza mocy do przeciwdziałania oporowi przepływu, a odpowiednia liczba wirników umożliwia osiągnięcie całkowitego przepływu. Silnik elektryczny zasadniczo pracuje ze stałą prędkością, lecz z czasem stało się popularne dostosowanie prędkości przepływu do chwilowego zapotrzebowania, dzięki dodatkowej kontroli częstotliwości. Na rysunku 1 przedstawiono pompę głębinową wraz ze sprzętem do kontroli częstotliwości, który zapewnia oszczędność energii elektrycznej.



- Pompa powinna być umieszczona zdecydowanie poniżej przewidywanej, maksymalnej depresji.
- W odwiertach z filtrem nigdy nie należy umieszczać pompy w rzapie odwiertu (silnik jest schładzany przez wodę przechodzącą przez pokrywę).
- Kontrola częstotliwości pozwoli zaoszczędzić elektryczność i będzie korzystna dla systemu kontrolnego.

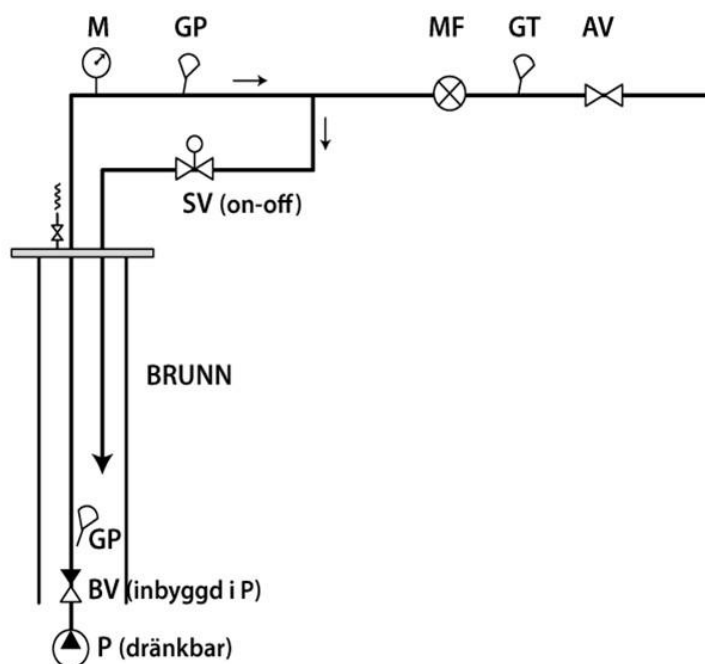


*Rys. 1 Pompa głębinowa z silnikiem i wirnikiem oraz dojściem wody położonym pomiędzy nimi.
Na fotografii po prawej stronie przedstawiono skrzynki do kontroli częstotliwości (po lewej)
i do połączeń elektrycznych dla pompy i urządzeń kontrolnych w odwiercie i jego pobliżu (po prawej)*

4. Urządzenia do kontroli i monitoringu

Dla kontrolowania kierunku przepływu i śledzenia zachowania i funkcjonowania odwiertów stosowanych w systemach z układem otwartym, niezwykle istotne jest monitorowanie prędkości przepływu, temperatury oraz depresji i/lub oporu zatłaczania. W ten sposób problemy związane z kolmatacją odwiertów mogą być wcześniej wykryte i można je wyeliminować.

Częstą praktyką, przynajmniej w większych systemach, jest instalowanie urządzeń do profilowania prędkości przepływu, temperatury i ciśnienia. Przykład takiej instalacji jest pokazany na rysunku 2 dla odwiertu, który jest stosowany zarówno do poboru, jak i zatłaczania wody podziemnej. Taki odwiert wyposażony jest w pompę głębinową z wbudowanym zaworem zwrotnym i rurą tłoczącą dla uzupełniania. Jest on zamknięty podczas poboru i otwarty podczas zatłaczania. Tego rodzaju odwierty są charakterystyczne dla systemów ATES, które pracują z przepływami dwukierunkowymi.



sprzęt kontrolny i monitorujący
zawór odcinający (AV)
temperatura (GT)
miernik przepływu, oba kierunki (MF)
silnik nastawczy, wł.–wył. (SV)
ciśnienie zatłaczania (GP)
manometr (M)
depresja (GP)

Rys. 2. Przykład urządzeń kontrolnych i monitorujących dla odwiertów stosowanych zarówno do poboru, jak i zatłaczania

Należy stale monitorować i przestawiać na wykresach wszystkie parametry. W ten sposób można śledzić funkcjonalność systemu, a w razie konieczności korygować program kontrolujący.

Istotne jest, żeby góra odwiertu była nieprzepuszczalna dla powietrza. Najczęściej stosuje się pokrywę z kołnierzem, lecz opcjonalnie mogą być zastosowane pokrywy rozprężne. Rury zwrotne w odwiertach, stosowanych zarówno do poboru, jak i zatłaczania mogą być podwójne ze względu na ograniczoną przestrzeń w rurach okładzinowych, co przedstawiono na rysunku 3.



W większości zastosowań do rur używana jest stal nierdzewna. Jednakże, stosowanie rur z tworzyw sztucznych jest dużo tańsze i prostsze, a także są one odporne na korozję.



Wierch studni
rozprężnej z trzema
otworami dla
szczelności połączeń.

Typowy odwiert
zatłaczający z układem
zaworu bezpieczeństwa.

Fig 3. Przykłady górnych rur odwiertów stosowanych do funkcji podwójnej (po lewej)
i wyłącznie do uzupełniania (po prawej)

W krajach skandynawskich często wykonawca wiercenia stosuje instalacje w odwiercie, w tym system rur, zawory i mierniki. W takich przypadkach wskazane jest, aby mierniki były dostarczane przez wykonawcę odpowiedzialnego za sprzęt kontrolny.

5. Nadbudowy studni (obudowy odwiertów)

Wszystkie odwierty wymagają pewnego rodzaju ochrony przed zmiennymi warunkami pogodowymi, kradzieżą i wandalizmem. Istnieją dwa główne rozwiązania obudów dla takich odwiertów, (1) umieszczone na gruncie i (2) podpowierzchniowe, często nazywane kopanką odwiertu. Przykłady popularnych konstrukcji pokazano na rysunku 4.



Rys 4. Wiertacze są czasami odpowiedzialni za dostarczenie obudowy studni.

Na zdjęciach przedstawiono przykłady obudowy umieszczonej na gruncie i prostej, wkopanej pod powierzchnię.

Dla prawidłowej obudowy odwiertu lub kopanki powinno się zapewnić:

- przestrzeń wystarczającą do wykonania prac konstrukcyjnych i przyszłych prac konserwacyjnych,
- bezpieczne wejście, biorąc pod uwagę zagrożenia zranieniem przez upadek lub poślizgnięcie, i co gorsza, możliwość gromadzenia się trującego gazu.
- osuszone powietrze i wentylację wewnątrz, w celu uniknięcia problemów z korozją sprzętu lub uszkodzenia przez wilgoć lub wodę.
- utrudnione otwieranie dla uniknięcia kradzieży i wandalizmu.

Kryteria te można najłatwiej osiągnąć przy obudowie odwiertu umieszczonej na gruncie. Z różnych powodów nie zawsze jest to możliwe i często głowice odwiertów muszą być umieszczone pod powierzchnią, z ograniczoną przestrzenią pracy i z wysoką wilgotnością, a czasem z obecnością wody. Na rysunku 5 pokazano kilka przykładów rozwiązań z mniej funkcjonalną kopanką podziemną.



Rys. 5. Dwa przykłady obudów odwiertu stojących na gruncie oraz jeden ciasny i mniej funkcjonalny przykład podpowierzchniowy.

Na podstawie wiedzy na temat wymagań i długoterminowych warunków wewnątrz obudowy odwiertu lub kopanki, zdecydowanie najczęściej rekomenduje się stosowanie struktury izolowanej, która stoi na drenowanym gruncie lub płycie betonowej. Obudowa powinna być łatwa do uniesienia lub otwarcia w celu demontażu pompy i wykonania innych prac konserwacyjnych. Powinna być wentylowana i mieć niewielką chłodnicę dla utrzymania niskiej wilgotności wewnątrz. Wentylacja ma również istotne znaczenie dla utrzymania niskiej temperatury latem, gdy promieniowanie słoneczne będzie powodować jej wzrost.

W przypadku, gdy ze względów estetycznych lub przestrzennych wybierze się kopankę, dno i wierzch obudowy muszą być wykonane z materiałów nieprzepuszczalnych dla wody. Należy również zainstalować stałą drabinę oraz oświetlenie i promiennik. Jeśli to możliwe, należy rozważyć montaż wentylacji.

Sekcja D:

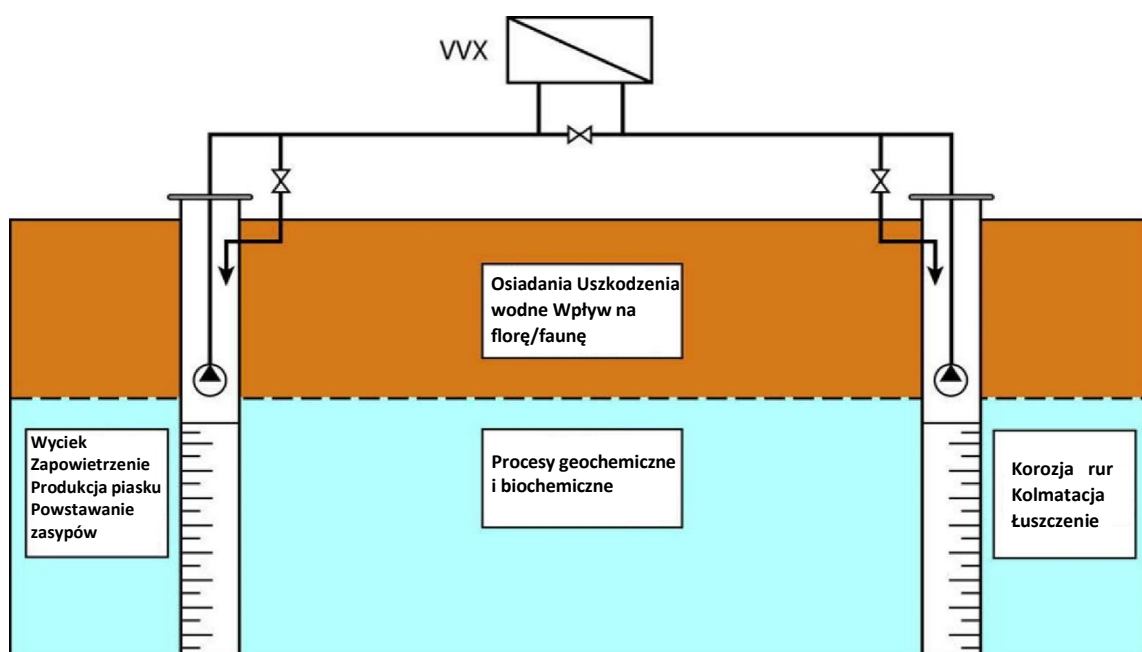
Rozdział 15

Problemy i konserwacja odwiertów

Autor: Olof Andersson

1. Wstęp

Systemy z układem otwartym są ogólnie bardziej wrażliwe na problemy pojawiające się podczas eksploatacji w porównaniu z systemami z układem zamkniętym. Wyzwaniem może być nawet lokalizacja systemu warstwy wodonośnej. Potencjalne zagrożenia przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Potencjalne problemy techniczne i środowiskowe związane z systemami z układem otwartym

Większość problemów w rzeczywistości wynika z: (1) pojawiania się lejów depresji i wznoszenia, (2) jakości projektu studni oraz konstrukcji i (3) charakterystyki chemicznej wód podziemnych.

Awariom lub problemom można zapobiec przez stosowanie ograniczonych prędkości przepływu, wykonanie prawidłowego projektu odwiertu, projektu systemu, który minimalizuje złuszczenie i korozję, oraz oczywiście konserwacji, która pozwala na podjęcie działań na wczesnym etapie. W pewnych niekorzystnych warunkach nie powinno się rozważać budowy systemu z układem otwartym. Wskazany jest wybór systemu z układem zamkniętym.

2. Dlaczego firmy wierzące i instalatorzy powinni interesować się problemami i konserwacją?

Najistotniejsze jest, by wiertacz lub firma wierząca byli świadomi procesów i czynników, które prowadzą do powstawania problemów z odwiertami lub całkowitych awarii. Mając tę wiedzę oraz dzięki uważnemu zaprojektowaniu, konstrukcji i zagospodarowaniu odwiertu, można zminimalizować te potencjalne problemy.

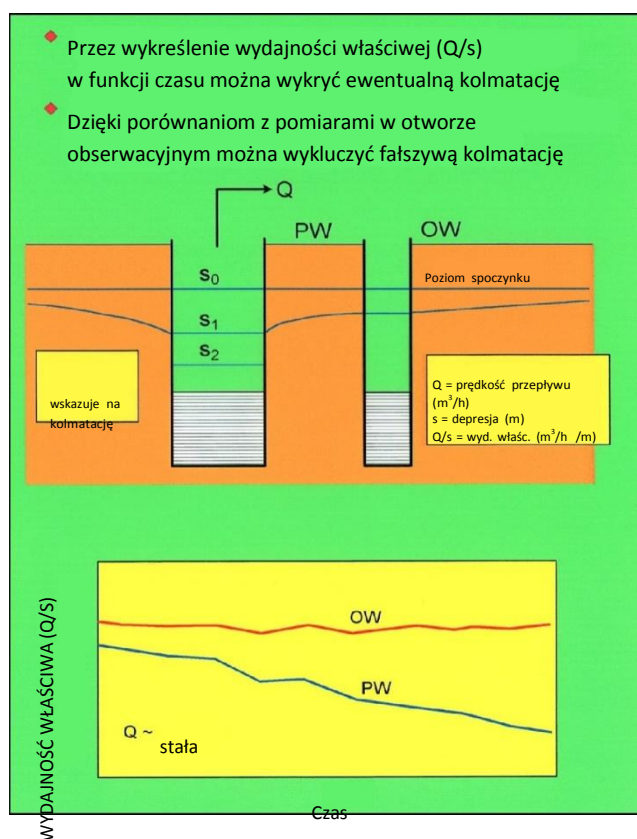
Zrozumienie awarii pomoże również w tworzeniu programów konserwacji, kwestii długości i odpowiedzialności konstruktorów odwiertu.

3. Problemy związane z kolmatacją

3.1. Jak śledzić kolmatację?

Najczęstszym problemem technicznym jest kolmatacja odwiertów. Kolmatacja jest zdefiniowana jako zwiększony opór przepływu dla wody wchodzącej do odwiertu (albo przekierowanej przez odwiert). Proces kolmatacji staje się coraz bardziej widoczny z upływem czasu i niesie za sobą obniżenie wydajności odwiertu.

Na wczesnym etapie można łatwo prześledzić i przewyżyć kolmatację monitorując prędkość przepływu i poziom depresji, co pokazano na rysunku 2.



Kolmatacja jest zdefiniowana jako „zwiększony opór wody wchodzącej do odwiertu”, a jej efektem będzie:

- zmniejszona prędkość przepływu z upływem czasu,
- zwiększona depresja w odwiercie pompującym, połączona z długoterminowymi stałymi poziomami w odwiertach obserwacyjnych.

Wykrycie kolmatacji wymaga monitoringu prowadzonego przez długi czas.

Rys. 2. Przez zastosowanie programu monitoringu kolmatacja może być łatwo wykryta na wczesnym etapie.
Na górze po prawej, filtr wlotowy z osadem kolmatycznym na pompie głębinowej, spowodowany wytrąceniem się żelaza

Rysunek 2 ilustruje metodę wykrycia kolmatacji na podstawie danych z odwiertu obserwacyjnego (OW) i porównanie ich z danymi odwiertu produkcyjnego (PW). W przypadku odwiertu produkcyjnego (PW) obserwuje się obniżanie wydajności właściwej, podczas gdy w odwiercie obserwacyjnym (OW) nie zmienia się ona w czasie. Można to wyjaśnić tym, że wzrastający opór utrudnia wejście wody do odwiertu produkcyjnego. Zwiększanie się oporu powoduje obniżenie poziomu depresji wewnątrz odwiertu, podczas gdy zwierciadło wód podziemnych na zewnątrz odwiertu utrzymywane jest na stałym poziomie. Zwiększa się gradient hydrauliczny (siła napędzająca) między odwiertem i warstwą wodonośną. Przy wzroście kolmatacji, wydajność spada.

Czasem spotykana jest tzw. „fałszywa kolmatacja”. Zjawisko to jest objaśnione przez ogólne obniżenie poziomu zwierciadła wód podziemnych lub przez awarię pomp głębinowych, zmniejszającą prędkość przepływu. Dotyczy ono poziomu wody podziemnej zarówno w odwiertach produkcyjnych, jak i obserwacyjnych lub w rurach. W takich przypadkach, nie uznaje się tego za kolmatację.

Kolejna „fałszywa kolmatacja” samego odwiertu zachodzi, gdy następuje wytrącanie się żelaza u wlotu pompy głębinowej, patrz rysunek 2. W takich przypadkach, prędkość przepływu spada, obniża się również depresja, co wynika z faktu, że jedynie pompa ulega kolmatacji.

3.2 Kolmatacja wywołana cząsteczkami

Podczas wiercenia i konstrukcji odwiertu mamy do czynienia z zagrożeniami związanymi z kolmatacją porowatej warstwy wodonośnej. Jak przedstawiono na rysunku 3, drobne cząstki mogą penetrować warstwy przepuszczalne i zmniejszać wydajność produkcji. Bentonit jest znanym tego typu dodatkiem, który kolmatuje w płuczce wiertniczej. Jeśli bentonit jest naruszony i zżelowany w porach, jest on bardzo trudny do wyczyszczenia. Z tego powodu o wiele lepiej jest stosować polimery, które będą ulegać degradacji.



Główne powody kolmatacji cząsteczek

- penetracja porów przez płuczkę, która się nie rozpada,
- migracja drobnych cząstek w kierunku podsypki,
- powstawanie zasypów.



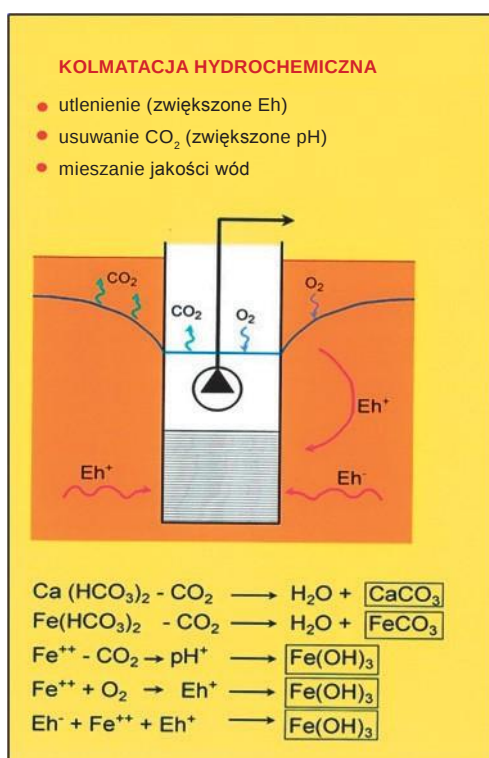
Rys. 3. Główne przyczyny kolmatacji przez drobne lub stałe cząstki.
Na dole po prawej przykład całkowitej kolmatacji filtra odwiertu

Podczas konstrukcji odwiertów z podsypką, decydującym etapem jest umieszczenie podsypki. Procedura ta powinna być wykonana w taki sposób, by żwir nie był wymieszany z piaskiem formacji. Z tego powodu wskazane jest pompowanie żwiru przez rurę pionową.

Nawet jeśli odwiert został prawidłowo zaprojektowany i skonstruowany, zawsze istnieje pewne ryzyko stopniowego procesu kolmatacji, spowodowanego migracją drobnoziarnistych cząstek formacji. Typowo, te drobne cząsteczki tworzą zasypy w okolicy odwiertu, co zwiększa opór przepływu. Jednakże, zasypy mogą być rozbijane podczas odwróconego przepływu, a drobne cząstki wypłukane na powierzchnię przez dalsze zagospodarowanie odwiertu. Z tego powodu odwierty, w których występuje prawdopodobieństwo powstawania zasypów, powinny być skonstruowane w ten sposób, by były one łatwe do przepłukania.

3.3. Kolmatacja wywołana hydrochemicznie

W pewnych warunkach w odwiertach może zachodzić kolmatacja przez wytrącone stałe osady chemiczne. Najczęstszymi z nich są żelazo, mangan i związki wapnia. Główne procesy chemiczne, odpowiadające za tego rodzaju kolmatację przedstawiono na rysunku 4.



Główne produkty chemiczne wywołanej kolmatacji:

- wodorotlenek żelaza,
- węglan wapnia,
- syderyt.



Rys. 4. Hydrochemiczne procesy kolmatacji odwiertów. Na dole po prawej, wodorotlenek żelaza na wycofanej pompie

Uogólniając, procesy inicjowane są przez zmiany pH i potencjału red-ox (Eh) wody.

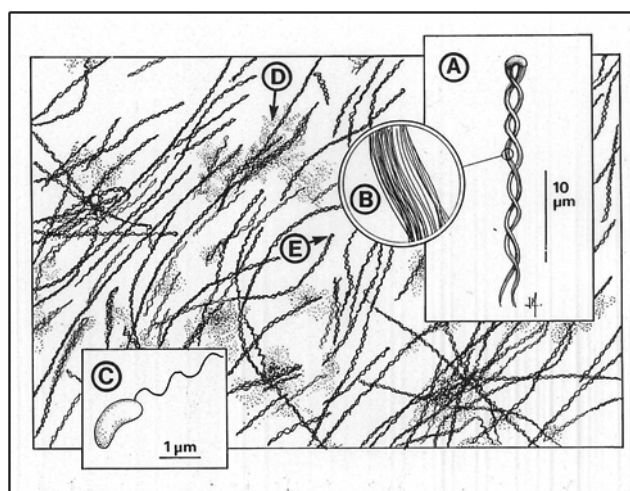
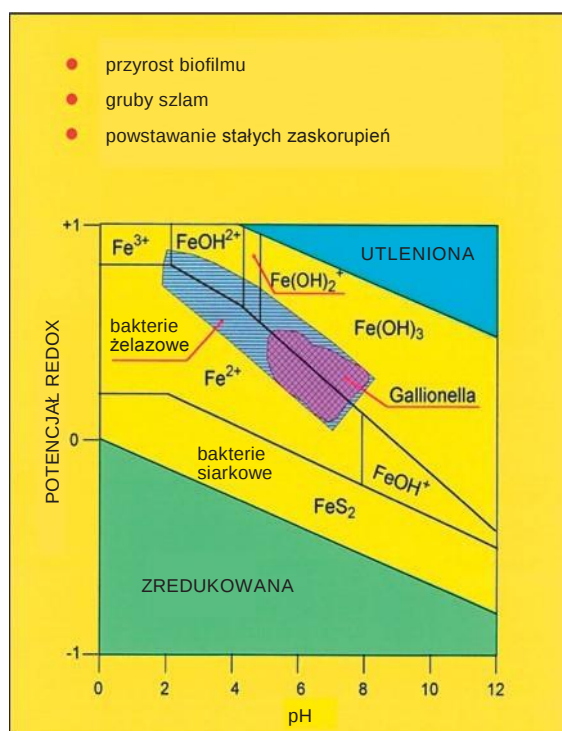
Wytrącanie węglanów, często określane mianem łuszczenia, może zachodzić, gdy jest usuwany dwutlenek węgla z wody. Zachodzi to wtedy, gdy poziom depresji w odwiercie przekracza punkt powstawania pęcherzyków dla CO₂. Z tego powodu powinno się unikać dużych depresji dla typów wody, które są wrażliwe na łuszczenie. Usuwaniu CO₂ będzie często towarzyszyć wytrącanie żelaza, w postaci wodorotlenku żelaza. Podobnie zachodzi jego wytrącanie, gdy woda złożowa o niższym potencjale red-ox znajduje się po jednej stronie odwiertu, a wyższym po drugiej. Dodatkowo proces utleniania żelaza będzie zachodzić, gdy woda o niższym potencjale red-ox wejdzie w kontakt z tlenem.

Kolmatacja przez wytrącenie związków żelaza zachodzi zdecydowanie najczęściej. Czasami żelazo jest wymieszane z tlenkami manganu lub występują one samodzielnie, tworząc na filtrze miękką i lepłą czarną warstwę. W wodach, na granicy przesylenia węglanami i z żelazem w roztworze, dochodzi czasem do kolmatacji z wytrąceniem syderytu. Jest to najmniej korzystna forma kolmatacji, gdyż syderyt jest niemal niemożliwy do usunięcia.

Metody zapobiegania kolmatacji hydro-chemicznej obejmują następujące etapy: (1) projektowanie systemu w taki sposób, że wniknięcie powietrza do obiegu wody podziemnej jest niemożliwe, (2) taką lokalizację odwiertów, aby unikać mieszania różnych typów wody oraz (3) pracę odwiertów przy ograniczonym poziomie depresji.

3.4. Kolmatacja wywołana biochemicznie

Mogłoby się wydawać, iż wody podziemne są sterylne i wolne od wszelkich typów bakterii. Wręcz przeciwnie, kropla wody podziemnej zawiera setki tysięcy bakterii różnych gatunków. Bakteria żelazowa, *Gallionella* często powoduje zachodzenie procesu kolmatacji, patrz rysunek 5.



Rys. 5. Diagram stabilności dla żelaza, pokazujący obszar aktywności dla bakterii żelazowych, do których należy *Gallionella*

Jak przedstawiono na diagramie stabilności dla żelaza, bakterie żelazowe są aktywne w środowisku wodnym, w którym ma miejsce utlenianie żelaza do stałych tlenków. Podczas tego procesu, i w pewnych warunkach, tworzony jest gęsty szlam, który spowoduje znaczną i dość szybką kolmatację na powierzchni każdego filtra odwiertu. Obecność bakterii powoduje tworzenie typowych inkrustacji lub biofilmów na powierzchni elementów odwiertu.

Na rysunku 5 pokazano również obszar aktywności bakterii siarkowych. Żyją one w bardziej kwaśnym i zredukowanym środowisku chemicznym. Podczas reakcji z żelazem w roztworze są one zwykle odpowiedzialne za powstawanie cząstek stałych, takich jak pirył (FeS). Wytrącaniu się którego towarzyszy powstawanie miękkiego biofilmu o barwie od jasno- do ciemnoszarej, który z czasem powoduje problemy spowodowane kolmatacją w odwiercie.

4. Zapobieganie kolmatacji i metody naprawcze

4.1. Pomiary prowadzone dla zapobiegania kolmatacji

W celu zapobiegania lub przynajmniej zminimalizowania występowania procesu kolmatacji w odwiertach, rekomenduje się następujące postępowanie:

- odwiert powinien być zaprojektowany na podstawie wyników opróbowania i geo-dokumentacji, uzyskanej dzięki wierceniom próbnym,
- powinna być stosowana taka metoda wiercenia i płukania, która zminimalizuje zaburzenie warstw przepuszczalnych, w których umieszczony jest filtr odwiertu,
- przy wykonaniu odwiertów, filtry i podsypki powinny być umieszczone ostrożnie, a zagospodarowanie powinno trwać, dopóki ponownie przepłukana woda nie będzie idealnie czysta,
- w trybie pracy, należy stosować prawidłowy harmonogram pompowania w celu uniknięcia pracy odwiertów powyżej ich wydajności lub zaprojektowanych prędkości przepływu,
- odwierty powinny być wyposażone w urządzenia, które pozwalają na monitorowanie zachowania odwiertu w czasie, dla wykrycia potencjalnej kolmatacji na wczesnym etapie.

4.2. Metody stymulacji odwiertów

Odwierty mogą stracić swoją oryginalną wydajność najczęściej po wpływie kolmatacji. Istnieją różne metody czyszczenia filtra i naprawy odwiertu. Większość technik daje korzystne wyniki, lecz równie często nie osiąga się znacznej poprawy stanu odwiertu.

Oczyszczanie odwiertu uwzględnia typowo stosowanie związków chemicznych dla roztworzenia zaskorupionych materiałów. Techniki mechaniczne, takie jak szczotki druciane, tłokowanie, strumienie i fale mogą być stosowane pomocniczo przy czyszczeniu chemicznym. Najlepsze wyniki poprawy jakości odwiertów osiąga się zwykle przez stosowanie prawidłowo dobranych kombinacji metod naprawczych.

Strumień wody pod wysokim ciśnieniem może być najskuteczniejszą mechaniczną metodą do pozbycia się bardziej miękkich zaskorupień, biofilmów i szlamu żelazowego. Z automatycznie obracającej się głowicy dyszy wypompowywana jest woda z wysoką prędkością strumienia. Ciśnienie wynosi typowo 1500–2000 psi przy prędkości przepływu 5–10 l/s. Podczas pompowania odwiertu z zastosowaniem strumienia usunięty materiał jest wytłaczany na powierzchnię.

Do chemicznego roztwarzania zaskorupień wytworzonych w odwiercie często stosuje się kwasy, które mogą rozpuszczać różne osady mineralne. Chociaż kwasy zwykle nie są skuteczne w zabijaniu bakterii, są one ogólnie stosowane do rozpuszczania żelaza i tlenków manganu, wytworzonych przez przyrost bakteriologiczny. Kwas rozpuszcza również łuskę węglanową.

Dla usunięcia bakterii i szlamu żelazowego efektywny jest ciekły podchloryn. Ten silny utleniacz zabija również wszystkie bakterie. Dla osadów kolmatacyjnych z łuską węglanową często stosuje się kwasy siarkowe. W przypadku kolmatacji z powstającymi tlenkami żelaza lub manganu prawidłowym wyborem mogą być kwas solny lub kwas glikolowy. Chemikalia są pompowane do odwiertu i często mieszane przez okres 24–72 godzin przed ich odzyskaniem.

Stosowanie dyspergatorów, często polifosforanów, przynosi czasem sukcesy w podniesieniu wydajności odwiertu mechanicznie blokowanego. Materiały drobnoziarniste są zdyspergowane przez dyspergator i umożliwiają

„lepkim” cząsteczkom na dyspersję i bardziej swobodny ruch w przestrzeni porowej formacji. W ten sposób pory są oczyszczane z drobnych cząstek, które na koniec wypompowuje się z odwiertu.

Wdrożenie procedur naprawczych dla pojedynczego odwiertu powinno zasadniczo obejmować poniższe etapy:

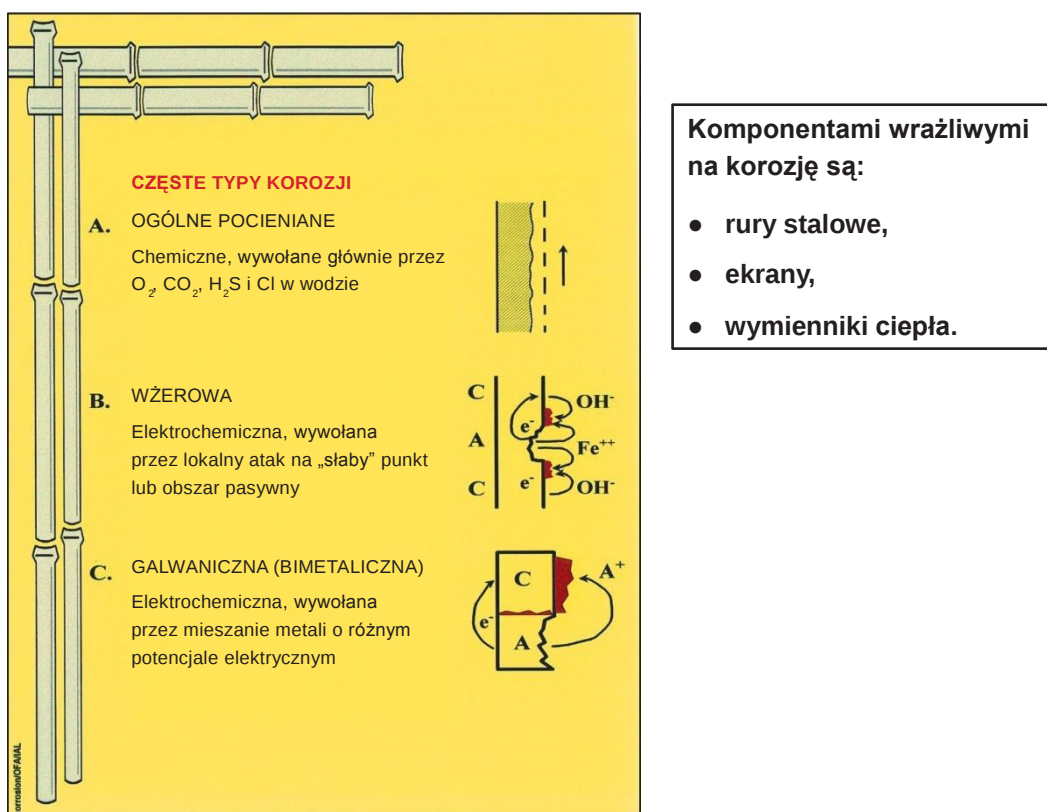
- wykonania mechanicznego czyszczenia filtra odwiertu,
- zastosowania prawidłowej ilości chemikaliów i rodzaju oczyszczania chemicznego,
- zapewnienia wystarczającego czasu na reakcję chemiczną,
- usunięcia zużytych chemikaliów z odwiertu,
- przeprowadzenia próbnego pompowania wydajnościowego.

Wszystkie związki chemiczne stosowane podczas procesu czyszczenia odwiertu muszą być ostrożnie usunięte z odwiertu i prawidłowo zutylizowane. Woda powinna być wypompowywana z odwiertu, dopóki jej jakość nie będzie spełniała wymaganych norm.

5. Problemy związane z korozją

5.1. Typy korozji

W porównaniu z kolmatacją, korozja jest mniejszym problemem dla odwiertów i systemu z układem otwartym. Mimo to, w niekorzystnych warunkach, podczas projektowania należy uwzględnić potencjalną korozję. Typy korozji, które mogą występować oraz elementy, które mogą korodować przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Koncepcja sezonowego magazynowania naturalnego ciepła i zimna pod ziemią

Jest tylko kwestią czasu, kiedy w systemie będzie dochodziło do pocieniania elementów metalowych. W przypadku metali szlachetnych, takich jak tytan, który jest niekiedy stosowany w wymiennikach ciepła, bardzo długi czas upłynie zanim nastąpi przeżarcie korozją. Stal nierdzewna zastosowana w wymiennikach ciepła jest również wysoce odporna na pocienianie spowodowane korozją. Jest ona natomiast wrażliwa na korozję wżerową, zwłaszcza, jeśli w systemie stosuje się solankę.

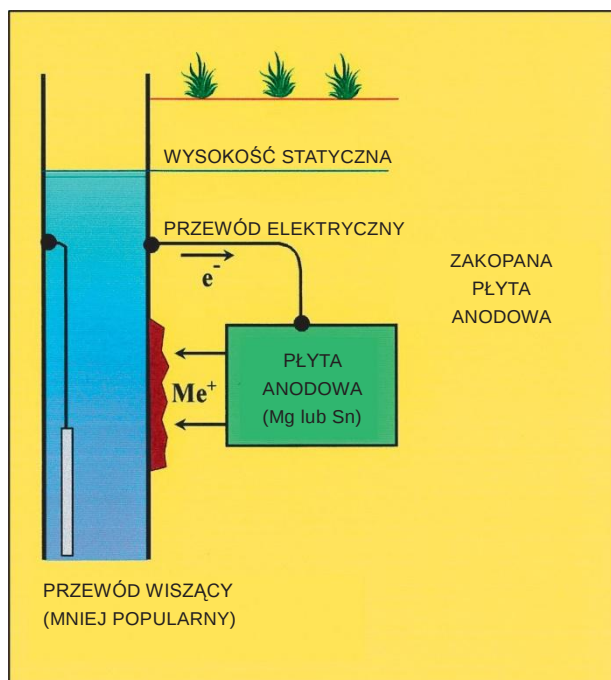
Filtry, które są wykonane ze stali nierdzewnej, mają długą żywotność i nie są bardzo wrażliwe na ogólne pocienianie lub korozję wżerową. W przypadku korozji bimetalicznej może sporadycznie do niej dochodzić zwłaszcza w tych obszarach, w których filtr styka się z rurami okładzinowymi lub znajduje się w ich pobliżu.

Najbardziej wrażliwym elementem są stalowe rury okładzinowe, które są wykonane ze stali niestopowej i mają gwintowane lub spawane złącza. Złącza te są najbardziej wrażliwymi elementami, które często ulegają korozji wżerowej.

Czynnikami, które zwiększają potencjał korozji w wodzie, są głównie: niskie pH, wysokie zawartości soli, i rozpuszczone gazy, tj. tlen i kwas siarkawy. Potencjał korozji będzie również zwiększać się przy turbulentnym przepływie i w wodach stojących.

5.2. Zapobieganie korozji

Aby zminimalizować problemy związane z korozją, rozwiązaniem jest wybór jak najbardziej szlachetnego materiału, jaki jest dostępny technicznie i ekonomicznie oraz unikanie mieszania materiałów o różnych potencjałach elektrochemicznych, patrz rysunek 7.



Problemy wywołane korozją mogą być ograniczone przez:

- stosowanie materiału odpornego na korozję, tj. tworzywa sztuczne i/lub bardziej szlachetne metale/stopy,
- unikanie mieszania materiałów o różnym potencjale elektrochemicznym,
- stosowanie ochrony katodowej dla odwiertów z orurowaniem ze stali węglowej.

Rys. 7. Metoda pomiarowa dla ochrony przed korozją elementów systemu odwiertów z układem otwartym

Inne metody ochrony polegają na stosowaniu powlekanej kolumny oraz rur. Są to pokrycia wykonane w postaci cienkiej warstwy z tworzywa sztucznego lub epoksydowej wewnątrz rur metalowych. Warstwy te są jednak wrażliwe na uszkodzenia mechaniczne i źle dopasowują się za pomocą gwintów (lub spawania). Uszkodzenia, jeśli się pojawiają, będą prowadzić do powstania korozji wżerowej. Tym samym nie zaleca się stosowania powlekanych osłon, szczególnie dla elementów odwiertu, które mogą być łatwo uszkodzone podczas konstrukcji.

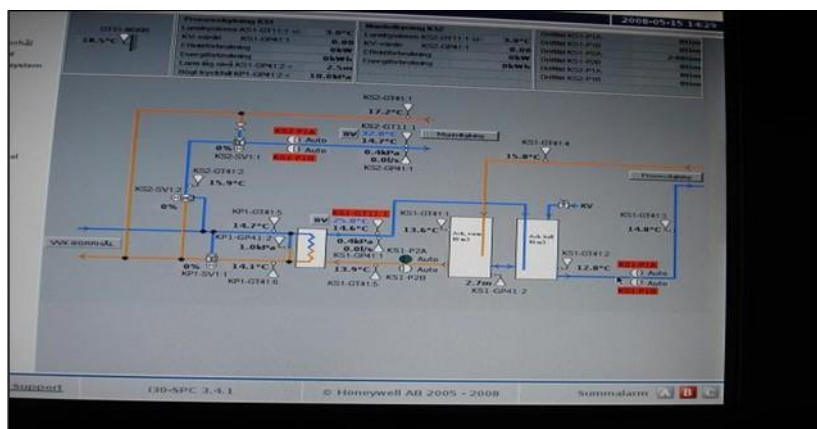
6. Problemy związane z konserwacją

Należy systematycznie kontrolować, monitorować i poddawać wizualnej inspekcji systemy z układem otwartym w celu prześledzenia problemów operacyjnych na wczesnym etapie, zgodnie z zasadą – im wcześniej tym lepiej. Kontrola powinna składać się z inspekcji wizualnych, monitoringu parametrów operacyjnych i analizy wód podziemnych.

Na rysunku 8 przedstawiono prosty sposób sprawdzenia funkcji odwiertów, polegający na monitorowaniu parametrów, które pokazują zachowanie odwiertów. Podczas inspekcji należy manualnie wykonywać, z odstępami czasowymi, pomiary depresji, prędkości przepływu i ciśnienia zatłaczania. Nowoczesne, skomputeryzowane systemy kontroli i monitoringu znacznie ułatwiają prowadzenie kontroli.

Dla prawidłowej kontroli należy:

- stosować system monitoringu do rejestrowania właściwego poziomu depresji i ciśnienia zatłaczania (Q/s i Q/p) dla sprawdzenia stanu odwiertów,
- rejestrować spadek temperatury i ciśnienia ponad wymiennikami ciepła, połączonymi z obiegiem wody podziemnej,
- w systemach z odwróconym przepływem, zawsze ponownie przepłukiwać odwierty stosowane do zatłaczania przed zmianą kierunku przepływu,
- przez oględziny, dokonywane co jakiś czas, sprawdzać obecność wycieków, uszkodzeń wywołanych korozją i status mierników monitorujących,
- pobierać próbki wody do analiz chemicznych, bakteriologicznych i fizycznych, w celu wykrywania czynników powodujących problemy operacyjne lub środowiskowe.



Rys. 8. Tablica z programem konserwacji obejmującym inspekcję, wykreślanie danych oraz inne pomiary

Podczas inspekcji wizualnych, które są częścią programu konserwacji, należy skupić się na regularnych oględzinach obudów odwiertu lub kopanek w celu: (1) wykrycia obecności wycieków, (2) sprawdzenia funkcjonalności i statusu urządzeń monitorujących i kontrolnych, (3) wykrycia potencjalnych problemów związanych z korozją sprzętu i (4) sprawdzenia wewnętrznego stanu obudów odwiertu lub kopanek. Ten typ inspekcji należy wykonywać regularnie, mniej więcej raz na kwartał.

Istnieją często nowoczesne, komputerowe systemy kontrolne ułatwiające monitorowanie wszelkich nietypowych zachowań w systemie. Systemy te umożliwiają zapisywanie i wykreślanie zmian parametrów operacyjnych (prędkości przepływu, ciśnienia i temperatury), co jest bardzo pomocne dla śledzenia potencjalnych problemów z odwiertem.

Ponieważ najważniejsza jest jakość wody, nie tylko w przypadku potencjalnej kolmatacji, należy z dużą regularnością pobierać próbki wody do analiz chemicznych, bakteriologicznych i fizycznych. W programie konserwacji należy zaznaczyć, by tego rodzaju analizy wykonywać przynajmniej raz w roku.

Dodatkowe informacje

Howsam, P. (Edit.) 1990. *Water Wells. Monitoring, Maintenance, Rehabilitation*. E.& F.N. Spon, Londyn 1990

Andersson. O. 1991. *Scaling and corrosion – Environmental and chemical aspects of energy storage in aquifers*. IEA, ECES, Annex VI. Swedish Council for Building Research, Document D12:1992.

Smith, S.A. 1995. *Monitoring and remediation of wells*. CRC Press, 1995

Fletcher G. Driscoll, 2008. *Groundwater and wells*. Wydanie trzecie, Johnson Screens Ltd, St Paul Minnesota.

PARTNERZY

European Organizations:



European Federation of Geologists



European Geothermal Energy Council

Research Centers:



Arsenal Research

Austria



BRGM

France

Private Sector:

GT Skills

Ireland



Geoexchange Society

Romania

Universities:



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

Universidad Politécnica de
Valencia

Spain



University of Lund

Sweden



University of Newcastle

UK

