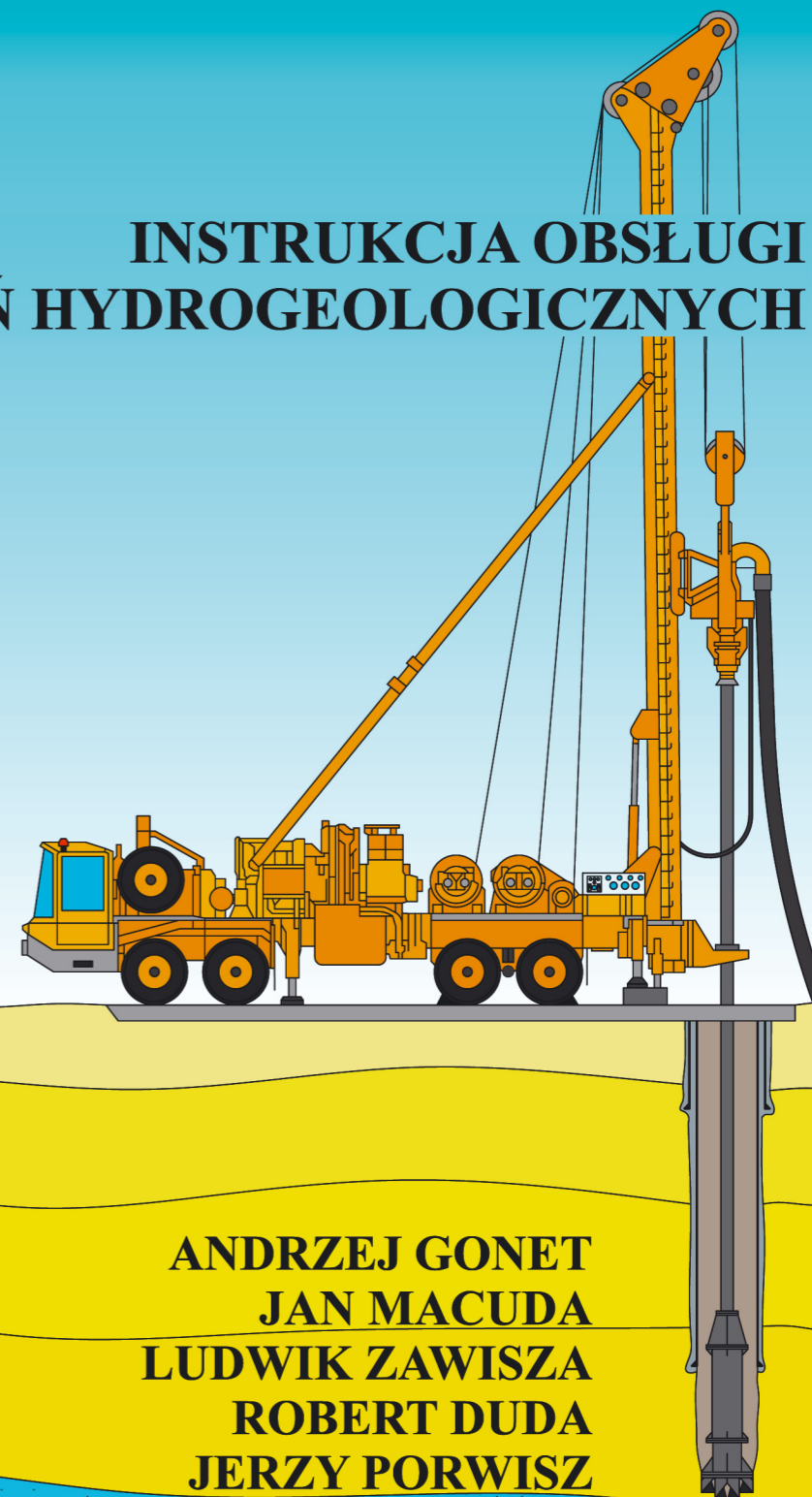


INSTRUKCJA OBSŁUGI WIERCEŃ HYDROGEOLOGICZNYCH

INSTRUKCJA OBSŁUGI WIERCEŃ HYDROGEOLOGICZNYCH



**ANDRZEJ GONET
JAN MACUDA
LUDWIK ZAWISZA
ROBERT DUDA
JERZY PORWISZ**

ISBN 978-83-7464-431-0



WYDAWNICTWA AGH

KRAKÓW 2011



MINISTERSTWO
ŚRODOWISKA



Narodowy Fundusz Ochrony
Środowiska i Gospodarki Wodnej

WYKONANO NA ZAMÓWIENIE MINISTRA ŚRODOWISKA
ZE ŚRODKÓW FINANSOWYCH
WYPŁACONYCH PRZEZ NARODOWY FUNDUSZ
OCHRONY ŚRODOWISKA I GOSPODARKI WODNEJ

INSTRUKCJA OBSŁUGI WIERCEŃ HYDROGEOLOGICZNYCH

**ANDRZEJ GONET
JAN MACUDA
LUDWIK ZAWISZA
ROBERT DUDA
JERZY PORWISZ**



WYDAWNICTWA AGH

KRAKÓW 2011

© Copyright by Ministerstwo Środowiska

Recenzenci: *prof. dr hab. inż. Stanisław Dubiel*
mgr inż. Leszek Wątor

Autorzy:

Andrzej Gonet, prof. dr hab. inż. (AGH Akademia Górniczo-Hutnicza)
Jan Macuda, dr inż. (AGH Akademia Górniczo-Hutnicza)
Ludwik Zawisza, dr hab. inż., prof. nadzw. (AGH Akademia Górniczo-Hutnicza)
Robert Duda, dr inż., upr. V-1421 (AGH Akademia Górniczo-Hutnicza)
Jerzy Porwisz, mgr inż., upr. 40292

Wydawnictwa AGH
ISBN 978-83-7464-431-0

Projekt okładki i strony tytułowej: *Wojciech Teper*

Skład komputerowy: „Andre”, tel. 12 422 83 23

Redakcja Wydawnictw AGH
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
tel. 12 617 32 28, tel./faks 12 636 40 38
e-mail: redakcja@wydawnictwoagh.pl
www.wydawnictwa.agh.edu.pl

Spis treści

1. Wstęp	7
2. Podstawa prawna prowadzenia dozoru i nadzoru hydrogeologicznego	8
3. Postanowienia ogólne dotyczące dozoru i nadzoru hydrogeologicznego	11
4. Obowiązki dozoru i nadzoru hydrogeologicznego podczas wiercenia	12
5. Forma dokumentowania czynności związanych z obsługą wierceń hydrogeologicznych	14
6. Dokumenty hydrogeologiczne sporządzane podczas wiercenia	15
7. Wyznaczanie otworów w terenie	19
8. Kontrola płuczki przy wierceniach obrotowych	20
8.1. Zadania płuczki wiertniczej	20
8.2. Rodzaje płuczek	21
8.3. Wpływ płuczki na przepuszczalność skał w strefie przyotworowej	22
8.4. Kontrola parametrów technologicznych płuczki przy wierceniach otworów metodą obrotową	23
9. Pobieranie próbek skał podczas wiercenia	26
9.1. Sposób pobierania próbek	27
9.2. Opis makroskopowy próbek	27
9.3. Oznaczanie próbek	27
9.4. Przechowywanie próbek na terenie wiertni	28
9.5. Transport próbek	28
9.6. Likwidacja próbek	28

10. Sporządzanie profilu geologiczno-technicznego podczas wiercenia otworu	29
10.1. Badania hydrogeologiczne w czasie wiercenia	29
10.2. Opis profilu geologiczno-technicznego	30
11. Pomiar zwierciadła wody w otworach	31
11.1. Zasady pomiaru zwierciadła wody	31
11.2. Sposób wykonywania pomiarów	31
11.3. Sposób zapisywania pomiarów i odczytów	32
12. Pomiar temperatury wody i powietrza oraz ciśnienia atmosferycznego	33
12.1. Pomiar temperatury wody	33
12.2. Pomiar temperatury powietrza	33
12.3. Pomiar ciśnienia atmosferycznego	34
13. Pomiar głębokości otworu	35
13.1. Pomiar głębokości otworu w czasie wiercenia	35
13.2. Zapis pomiaru głębokości otworu	35
13.3. Obowiązki dozoru hydrogeologicznego	35
13.4. Ustalanie kategorii przewiercanych skał	36
13.5. Zamykanie poziomów wodonośnych	36
13.6. Projektowanie zamykania dopływu wód podziemnych	36
13.7. Metody zamykania dopływu wód podziemnych	42
14. Filtry studzienne	44
14.1. Rodzaje filtrów	44
14.2. Projektowanie filtrów studni wierconych	59
14.2.1. Długość filtra i jego usytuowanie wysokościowe w warstwie wodonośnej	59
14.2.2. Obliczanie średnicy filtra	61
14.2.3. Przepustowość filtra	66
14.2.4. Długość rury podfiltrowej	66
14.2.5. Długość rury nadfiltrowej	67
15. Filtrowanie otworu i zasady doboru obsypki żwirowej	68
15.1. Filtrowanie otworu	68
15.2. Prace przygotowawcze	69
15.3. Zapuszczanie filtra do otworu	70
15.4. Rola obsypki żwirowej	70
15.5. Metody doboru obsypki żwirowych	71
15.6. Wykonywanie obsypki żwirowej	74

16. Próbné pompowanie otworu	79
16.1. Program próbnego pompowania	79
16.2. Sprzęt do próbnego pompowania	79
16.3. Przyrządy do pomiarów zwierciadła wody	80
16.4. Przyrządy do pomiarów wydajności	80
16.5. Przyrządy do pomiarów temperatury wody i powietrza	81
16.6. Prace przygotowawcze	81
16.6.1. Przewidywana wydajność i depresja	82
16.6.2. Dobór pompy i odprowadzenie wody z pompowania	83
16.7. Pompowanie oczyszczające	83
16.8. Pompowanie pomiarowe	84
16.8.1. Organizacja i prowadzenie pomiarów	84
16.8.2. Pomiar wydajności i zwierciadła wody	85
16.8.3. Czas trwania pompowania	86
16.9. Dziennik próbnego pompowania	87
16.10. Ocena sprawności studni	88
17. Pobieranie próbek wody do badań	94
17.1. Zasady pobierania próbek wody	94
17.2. Pobieranie próbek wody do badań fizyczno-chemicznych (analiza standardowa)	95
17.3. Pobieranie próbek wody do badań bakteriologicznych	96
17.4. Pobieranie próbek wody do badań specjalnych	97
18. Szczerpywanie wody w otworze	98
18.1. Wykonywanie szczerpywań wody łyżką wiertniczą	98
18.2. Obliczanie wydajności i współczynnika filtracji	98
18.2.1. Obliczanie wydajności	98
18.2.2. Wyznaczanie parametrów hydrogeologicznych warstw chłonnych metodami polowymi w otworach wiertniczych	99
19. Odkazanie otworów studziennych	103
19.1. Środki odkażające	103
19.2. Sporządzanie stężonego roztworu odkażającego	105
19.3. Sposób przeprowadzania dezynfekcji studni	106
19.4. Warunki bezpieczeństwa	107
20. Likwidacja otworów	108
21. Wykorzystane materiały i literatura	113
22. Spis załączników	118
Zał. 1. Zgłoszenie zamiaru przystąpienia do wykonywania robót geologicznych	118

Zał. 2. Protokół z lokalizacji otworu wiertniczego	119
Zał. 3. Książka wiercenia (dziennik wiertniczy)	120
Zał. 4. Protokół z przeprowadzonego orurowania otworu	122
Zał. 5. Protokół z przeprowadzonego cementowania otworu	124
Zał. 6. Projekt orurowania otworu wiertniczego	126
Zał. 7. Projekt cementowania kolumny rur okładzinowych	128
Zał. 8. Protokół badania skuteczności zamknięcia warstwy wodonośnej	130
Zał. 9. Protokół z odbioru i zabudowy filtra w otworze	132
Zał. 10. Protokół z likwidacji otworu wiertniczego	134
Zał. 11. Zbiorcze zestawienie wyników wiercenia studni (karta otworu wiertniczego)	136
Zał. 12. Dziennik próbnego pompowania	137
Zał. 13. Protokół z pobrania próbek wody do badań fizykochemicznych/ bakteriologicznych/ izotopowych	139

1. Wstęp

Woda jest niezbędna do utrzymania życia na kuli ziemskiej, a systematyczny wzrost jej zużycia zmusza ludzkość do racjonalnego udostępniania, eksploatacji i ochrony zasobów wód podziemnych. Jednym z czynników umożliwiających poprawę obecnego stanu w przedmiotowym zakresie powinna być niniejsza instrukcja, której tworzenie zainicjowało Ministerstwo Środowiska, Departament Geologii i Koncesji Geologicznych, sfinansował Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, a wykonawcami byli pracownicy Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie.

Głównym celem poradnika jest podanie zasad i zaleceń oraz opisanie obowiązujących przepisów dotyczących prowadzenia dozoru i nadzoru hydrogeologicznego w czasie wiercenia otworów hydrogeologicznych.

Instrukcja dotyczy głównie wierceń hydrogeologicznych w celu wykonania ujęć zwykłych wód podziemnych, ale może być wykorzystywana również przy wykonywaniu ujęć solanek, wód leczniczych i termalnych, przy czym w tym wypadku zakres prac badawczych będzie odmienny, dostosowany indywidualnie do ich zakresu zamieszczonego w projekcie prac geologicznych.

Pod pojęciem otwór hydrogeologiczny rozumie się otwór wiertniczy przystosowany do eksploatacji wody podziemnej, obserwacji jej poziomu, pobierania próbek, itp.

Studnia jest to otwór hydrogeologiczny przeznaczony głównie do eksploatacji wody podziemnej.

Piezometr jest to mało lub normalno średnicowy otwór hydrogeologiczny przeznaczony do obserwacji i pobierania prób wody podziemnej.

2. Podstawa prawna prowadzenia dozoru i nadzoru hydrogeologicznego

Zasady wykonywania prac geologicznych reguluje *Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze* (Dz. U. Nr 163, poz. 981). W rozumieniu tej ustawy **pracą geologiczną** jest „projektowanie i wykonywanie badań w celu **poszukiwania i rozpoznawania** złóż kopalin, **wód podziemnych**, określania warunków geologiczno-inżynierskich oraz sporządzania map i dokumentacji geologicznych”. **Robotą geologiczną** jest „wykonywanie w ramach prac geologicznych wszelkich czynności poniżej powierzchni ziemi”. Wiercenia hydrogeologiczne są więc robotami geologicznymi. Przez **poszukiwanie** rozumie się „wykonywanie prac geologicznych w celu odkrycia i wstępnego udokumentowania zasobów złóż kopalin lub **wód podziemnych**”, a **rozpoznawanie** to „wykonywanie prac geologicznych na obszarze wstępnie udokumentowanego złoża kopaliny lub **wód podziemnych**”.

Regulacje szczegółowe dotyczące prac i robót geologicznych zawarte są w następujących rozporządzeniach:

- *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 19 grudnia 2001 r. w sprawie projektów prac geologicznych* (Dz. U. Nr 153, poz. 1777),
- *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 3 października 2005 r. w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinny odpowiadać dokumentacje hydrogeologiczne i geologiczno-inżynierskie* (Dz. U. Nr 201, poz. 1673),
- *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 19 czerwca 2006 r. w sprawie kategorii prac geologicznych, kwalifikacji do wykonywania, dozoru i kierowania tymi pracami oraz sposobu postępowania w sprawach stwierdzania kwalifikacji* (Dz. U. Nr 124, poz. 865),
- *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 19 grudnia 2001 r. w sprawie gromadzenia i udostępniania próbek i dokumentacji geologicznych* (Dz. U. Nr 153, poz. 1780),
- *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 19 grudnia 2001 r. w sprawie sposobu i zakresu wykonywania obowiązku udostępniania i przekazywania informacji oraz próbek organom administracji geologicznej przez wykonawcę prac geologicznych* (Dz. U. Nr 153, poz. 1781),
- *Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 14 czerwca 2002 r. w sprawie planów ruchu zakładów górniczych* (Dz. U. Nr 94, poz. 840 z późn. zm.).

Przy projektowaniu i wykonywaniu robót wiertniczych, oprócz wskazanych ustaw i wynikających z nich aktów wykonawczych, należy uwzględnić również wymogi wynikające z ustaw i rozporządzeń związanych z ochroną środowiska i bezpieczeństwem prowadzenia prac:

- *Ustawa z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym* (Dz. U. Nr 80, poz. 717 z późn. zm.),
- *Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach* (Dz. U. Nr 62, poz. 628 z późn. zm.),
- *Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody* (Dz. U. Nr 92, poz. 880 z późn. zm.),
- *Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w zakładach górniczych wydobywających kopaliny otworami wiertniczymi* (Dz. U. Nr 109, poz. 961 z późn. zm.),
- *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego* (Dz. U. Nr 137, poz. 984),
- *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów* (Dz. U. Nr 112, poz. 1206),
- *Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 30 października 2002 r. w sprawie rodzaju odpadów, które mogą być składowane w sposób nieselektywny* (Dz. U. Nr 191, poz. 1595),
- *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 21 kwietnia 2006 r. w sprawie listy rodzajów odpadów, które posiadacz odpadów może przekazywać osobom fizycznym lub jednostkom organizacyjnym niebędącym przedsiębiorcami, oraz dopuszczalnych metod ich odzysku* (Dz. U. Nr 75, poz. 527),
- *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* (Dz. U. Nr 75, poz. 690 z późn. zm.).

Ze wskazanych aktów prawnych wynika, że prace geologiczne mogą być **wykonywane, dozorowane i kierowane** tylko przez osoby posiadające odpowiednie kwalifikacje ogólne i zawodowe, określone przez ministra właściwego do spraw środowiska w drodze rozporządzenia. Kierowanie, czyli nadzorowanie projektowanych prac geologicznych oraz dozór hydrogeologiczny nad pracami, w ramach których wykonywane są wiercenia hydrogeologiczne, mogą być sprawowane przez osoby posiadające **uprawnienia geologiczne kategorii IV lub V**. Sam dozór hydrogeologiczny nad pracami geologicznymi może być sprawowany przez osoby posiadające tylko uprawnienia geologiczne **kategorii XI**. Natomiast kierowanie w terenie robotami geologicznymi wykonywanymi poza granicami obszaru górniczego, wykonywanymi bez użycia materiałów wybuchowych albo gdy projektowana głębokość wyrobiska (w tym wypadku wiercenia) nie przekracza 100 m może być sprawowane przez osoby posiadające uprawnienia geologiczne **kategorii XII**.

Inny rodzaj nadzoru nad projektowaniem i wykonywaniem prac geologicznych oraz prawidłowością sporządzania dokumentacji geologicznych sprawuje odpowiedni **organ administracji geologicznej**. Z tego względu, po zatwierdzeniu projektu prac geologicznych, wykonawca prac jest zobowiązany do zgłoszenia na piśmie zamiaru przystąpienia do wykonywania robót geologicznych, właściwym ze względu na miejsce wykonywania:

- organowi administracji geologicznej,
- organowi nadzoru górniczego,
- wójtowi gminy, burmistrzowi lub prezydentowi miasta.

W zgłoszeniu (zał. 1) należy określić zamierzony termin rozpoczęcia i zakończenia robót, ich rodzaj, podstawowe dane dotyczące prac geologicznych, a także dane osób sprawujących dozór nad pracami hydrogeologicznymi oraz kierownictwo (nadzór) tych prac. Zgłoszenia dokonuje się najpóźniej na dwa tygodnie przed zamierzonym terminem rozpoczęcia prac.

Dodatkowe wymogi dotyczące wierceń hydrogeologicznych wynikają z:

- *Ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska* (Dz. U. z 2008 r. Nr 25, poz. 150 z późn. zm.),
- *Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2010 r. w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko* (Dz. U. Nr 213, poz. 1397),
- *Ustawy z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko* (Dz. U. Nr 199, poz. 1227 z późn. zm.).

Rozporządzenie RM w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko w § 3, ust 1, pkt 42b precyzuje, że wiercenie hydrogeologiczne wykonywane w celu zaopatrzenia w wodę, z wyłączeniem wykonywania ujęć wód podziemnych o głębokości mniejszej niż 100 m, zalicza się do przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko, dla których sporządzenie raportu o oddziaływaniu na środowisko **może być wymagane**.

Jednak w ustawie o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko, w artykule 96 podano, dla których **postanowień może być wymagane** przeprowadzenie oceny oddziaływania na środowisko stanowiącej część postępowania w sprawie wydania decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach, w tym wymieniono decyzje zatwierdzające projekty prac geologicznych. Wymieniono także koncesje na poszukiwanie lub rozpoznawanie złóż kopalin, w tym wypadku solanek, wód leczniczych lub termalnych oraz koncesje na wydobywanie tych kopalin ze złóż, jako przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko.

W przypadku projektowania wierceń **w celu poszukiwania i rozpoznawania złóż solanek, wód leczniczych lub termalnych oraz wydobywania tych kopalin ze złóż** należy wystąpić do organu właściwego do wydania decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach z zapytaniem, czy przeprowadzenie oceny oddziaływania przedsięwzięcia na środowisko w konkretnym przypadku jest wymagane, czy też nie. Jeżeli tak, to należy opracować raport o oddziaływaniu projektowanego przedsięwzięcia na środowisko.

3. Postanowienia ogólne dotyczące dozoru i nadzoru hydrogeologicznego

Podczas wiercenia hydrogeologicznego **kierowanie robotami** geologicznymi w terenie, czyli samym procesem wiercenia, może sprawować osoba, która uzyskała uprawnienia geologiczne kategorii XII, a wcześniej posiadała:

- dyplom ukończenia studiów wyższych na kierunkach geologia lub górnictwo i geologia i posiada tytuł zawodowy magistra, magistra inżyniera lub inżyniera oraz odbyła co najmniej roczną praktykę zawodową przy kierowaniu w terenie robotami geologicznymi wykonywanymi poza granicami obszaru górniczego, wykonywanymi bez użycia materiałów wybuchowych albo gdy projektowana głębokość wyrobiska nie przekracza 100 m;
- świadectwo dojrzałości oraz tytuł technika geologa lub technika górnika bądź technika wiertnika oraz odbyła co najmniej dwuletnią praktykę zawodową przy kierowaniu w terenie robotami geologicznymi wykonywanymi poza granicami obszaru górniczego, wykonywanymi bez użycia materiałów wybuchowych albo gdy projektowana głębokość wyrobiska nie przekracza 100 m.

Funkcję **dozoru** geologicznego sprawuje w trakcie wiercenia hydrogeologicznego uprawniony hydrogeolog lub geolog. Szczególnie istotny, chociaż prawnie niewymagany, jest udział hydrogeologa, gdyż wynika z celu wiercenia hydrogeologicznego, jakim jest zbadanie terenu, szczególnie pod względem litologicznym i hydrogeologicznym, oraz uzyskanie wyczerpujących informacji o występowaniu wód podziemnych, ich zasobach, jakości, wieku i innych związanych z warunkami hydrogeologicznymi. Niemniej jednak dozór może sprawować osoba, która uzyskała uprawnienia geologiczne kategorii XI, a wcześniej posiadała co najmniej świadectwo dojrzałości oraz tytuł technika geologa lub ukończone studia wyższe obejmujące nauki geologiczne, a w szczególności kierunki budownictwo, geografia, ochrona środowiska, i posiadała tytuł zawodowy magistra, magistra inżyniera lub inżyniera oraz odbyła przynajmniej roczną praktykę zawodową przy wykonywaniu czynności dozoru geologicznego nad pracami geologicznymi, z wyjątkiem badań geofizycznych.

Uprawniony hydrogeolog, który uzyskał uprawnienia geologiczne kategorii IV lub V, może **kierować** całością prac geologicznych, czyli sprawować funkcję **nadzoru** geologicznego. Obsługa hydrogeologiczna wierceń polega na udziale uprawnionego hydrogeologa we wszystkich pracach związanych z projektowaniem, wykonaniem lub likwidacją otworu wiertniczego, a także jego przekazaniem do eksploatacji lub użytkowania.

4. Obowiązki dozoru i nadzoru hydrogeologicznego podczas wiercenia

Hydrogeolog lub geolog sprawujący **dozór** nad wierceniami hydrogeologicznymi:

- czuwa nad prawidłowym wykonaniem projektowanych prac geologicznych, w tym robót wiertniczych zgodnie z zatwierdzonym projektem prac i przestrzeganiem ustalonej techniki wiercenia;
- dozoruje wykonanie badań hydrogeologicznych przewidzianych w projekcie prac;
- informuje na bieżąco sprawującego nadzór kierownika prac geologicznych o postępach prac i uzyskiwanych w efekcie wynikach;
- zgłasza kierownikowi prac potrzebę ewentualnych zmian założeń projektowych prac, w wyniku stwierdzonych rzeczywistych warunków hydrogeologicznych.

W szczególności osoba sprawująca dozór geologiczny nad wierceniami hydrogeologicznymi:

- sporządza na bieżąco profil geologiczny otworu, czyli zbiorcze zestawienie wyników wiercenia;
- dozoruje:
 - pobór próbek gruntów i skał (rdzeni wiertniczych) podczas wiercenia oraz ich odpowiednie zabezpieczanie,
 - przewiercanie warstw wodonośnych,
 - zamykanie poziomów wodonośnych oraz badanie skuteczności ich zamknięcia,
 - cementację lub łożowanie kolumny rur okładzinowych,
 - próbne pompowanie otworu i jego zgodność z projektem lub podaje wytyczne prowadzenia próbnego pompowania w zależności od stwierdzonych warunków hydrogeologicznych;
- przeprowadza kontrolne pomiary w otworze: głębokości otworu, poziomu zwierciadła wody i jej temperatury itp.;
- dokonuje poboru próbek wody do badań laboratoryjnych;
- współpracuje przy badaniach specjalnych wykonywanych w otworze, np. geofizycznych;

- sprawdza zgodność konstrukcji filtra z założeniami projektowymi bądź zaleceniami kierownika prac geologicznych lub zgłasza kierownikowi prac potrzebę ewentualnych zmian sposobu zafiltrowania i zamykania poziomów wodonosnych w dostosowaniu do warunków hydrogeologicznych stwierdzonych podczas wiercenia;
- prowadzi wpisy w książce wiercenia.

Kierownik prac geologicznych sprawujący **nadzór** hydrogeologiczny koryguje zakres projektowanych prac w dostosowaniu do bieżących wyników robót, ale tylko w granicach upoważnienia wynikającego z decyzji organu administracji geologicznej zatwierdzającej projekt. W innym przypadku powstaje konieczność sporządzenia aneksu do projektu prac geologicznych. Po osiągnięciu końcowej głębokości wiercenia kierownik prac geologicznych może skorygować konstrukcję kolumny filtrowej w otworze, w zakresie położenia części roboczej filtra, w nawiązaniu do stwierdzonych warunków hydrogeologicznych i w sposób niewpływający negatywnie na osiągnięcie zamierzonego celu wiercenia.

5. Forma dokumentowania czynności związanych z obsługą wierceń hydrogeologicznych

Wszystkie przeprowadzone podczas prac geologicznych badania i obserwacje należy dokumentować w odpowiedniej formie, w sposób czytelny i rzetelny.

Podstawowymi formami dokumentowania są:

- dzienniki,
- karta wiercenia,
- protokoły,
- notatki służbowe.

Wyniki badań i obserwacji w trakcie wiercenia należy zestawiać w odpowiednich formularzach, których wzory zamieszczono na końcu instrukcji (zał. 1–13).

6. Dokumenty hydrogeologiczne sporządzane podczas wiercenia

Sprawowanie dozoru hydrogeologicznego nad pracami wiertniczymi powinno być odpowiednio dokumentowane. Do podstawowych dokumentów związanych z dozorem nad wierceniami hydrogeologicznymi należą:

- zgłoszenie zamiaru przystąpienia do wykonywania robót geologicznych,
- książka wiercenia otworu – dziennik wiertniczy,
- zbiorcze zestawienie wyników wiercenia studni – karta otworu wiertniczego,
- dziennik próbnego pompowania,
- protokół lokalizacji otworu wiertniczego,
- protokół orurowania otworu i cementowania kolumny rur okładzinowych,
- protokół badania skuteczności zamknięcia warstwy wodonośnej,
- protokół odbioru i zabudowy filtra w otworze,
- protokół pobrania próbek wody do badań,
- protokół likwidacji otworu wiertniczego.

Protokół z lokalizacji otworu wiertniczego (zał. 2) sporządza się na etapie projektowania wiercenia otworu, w trakcie wizji terenowej przed przystąpieniem do opracowania projektu prac geologicznych lub w przypadku zmiany lokalizacji otworu w stosunku do lokalizacji podanej w projekcie prac. Zmiana lokalizacji otworu może odbywać się jedynie w granicach tej samej działki gruntu co lokalizacja pierwotna wskazana w projekcie. W przypadku przeniesienia lokalizacji na inną działkę wymagany jest aneks do projektu prac geologicznych.

Opis lokalizacji otworu na terenie określonego sołectwa następuje przez wskazanie kolejno: nazwy miejscowości oraz wyższych jednostek administracji publicznej (gmina, powiat, województwo). W protokole należy podać podstawowe dane dotyczące własności nieruchomości, na której zlokalizowany będzie otwór, sposób oznaczenia w terenie miejsca wiercenia oraz informacje na temat możliwości dojazdu, stanu prawnego nieruchomości, po których odbywać się będzie przejazd, dostępu do energii elektrycznej, wody itp. Protokół zawiera orientacyjny szkic sytuacyjny lokalizacji projektowanego otworu z domiarem do punktów charakterystycznych. Protokół sporządza się w dwóch egzemplarzach – po jednym dla zleceniodawcy i wykonawcy prac.

Nazwę otworu ustala się w zależności od przeznaczenia otworu. Wyróżnić można zasadniczo dwie grupy otworów hydrogeologicznych, których wykonanie:

- kończy się ustaleniem zasobów eksploatacyjnych ujęcia – otwór studzienny, w tym otwór awaryjny lub otwór zastępczy;
- nie kończy się ustaleniem zasobów eksploatacyjnych – otwór badawczy, w tym otwór rozpoznawczy wykonywany w celu rozpoznania warunków hydrogeologicznych, który po wykonaniu badań podlega likwidacji; otwór badawczy wykonywany w celu rozpoznania warunków hydrogeologicznych i parametrów hydrogeologicznych warstwy wodonośnej, np. otwór badawczy hydrowęzłowy; otwór obserwacyjny (piezometr) wykonywany w celu okresowych obserwacji i pomiarów hydrogeologicznych.

Numer otworu podany w protokole winien być zgodny z numeracją przyjętą w projekcie prac geologicznych. Numeracja nowych otworów przeznaczonych dla tego samego użytkownika powinna stanowić kontynuację dotychczasowej numeracji istniejących już otworów. Numeracja otworu awaryjnego lub zastępczego powinna zawierać numer otworu podstawowego, dla którego otwór awaryjny został wykonany, oraz oznaczenie A – dla awaryjnego i Z – dla zastępczego. W przypadku wykonywania kolejnego otworu awaryjnego lub zastępczego jego nazwa powinna być na przykład następująca: S-5A2, gdzie S-5 oznacza nazwę otworu podstawowego, A oznacza rodzaj otworu (awaryjny), 2 oznacza, że jest to drugi z kolei otwór awaryjny studni S-5.

Książkę wiercenia otworu (dziennik wiertniczy) (zał. 3) prowadzi dozór geologiczny i wypełnia podczas każdorazowej obecności na wiertni. Nazwę i numer otworu podaje się zgodnie z zatwierdzonym projektem prac geologicznych, na podstawie którego wykonywane są prace. W karcie otworu podaje się informacje dotyczące przewiercanego profilu litologicznego, użytych narzędzi wiertniczych, średnicy wiercenia, napotkanych horyzontów wodonośnych, stabilizacji zwierciadła wody oraz wszystkich wykonanych w otworze badań hydrogeologicznych. Po zakończeniu robót geologicznych zbiorcze zestawienie wyników wiercenia przekazywane jest osobie lub firmie wykonującej dokumentację wynikową prac geologicznych.

Protokoły z orurowania otworu (zał. 4) i cementowania kolumny rur okładzinowych (zał. 5) sporządza się w trzech egzemplarzach w obecności dozoru hydrogeologicznego, kierownika wiercenia, wiertacza zmianowego oraz zleceniodawcy. Przy głębokościach zapuszczania kolumn rur okładzinowych przekraczających 100 m zaleca się dodatkowo opracowanie projektów orurowania otworu (zał. 6) i cementowania kolumn rur okładzinowych (zał. 7). W projektach i w protokołach podaje się głębokość otworu i jego średnicę, a także głębokość zapuszczonej i przewidzianej do zapuszczenia kolumny rur okładzinowych, która ma być zabudowana w otworze, wraz ze średnicami rur. Opis cementacji zawiera dane o sposobie cementacji, rodzaju użytego

cementu zgodnie z informacją umieszczoną na opakowaniu, jego ilości, wysokości wykonanego korka oraz stosunku użytej wody do cementu.

Uszczelnienie rur okładzinowych wykonać można albo przez głowicę cementacyjną przymocowaną do wcześniej zacementowanej kolumny rur okładzinowych, albo przez przewód zapuszczony w przestrzeń pierścieniową (ściana otworu – rura okładzinowa; rura okładzinowa – rura okładzinowa) po uprzednim uszczelnieniu dolnej części rur okładzinowych, albo łącząc wymienione wyżej sposoby. Do wtlaczania zaczynu cementowego należy zastosować agregat cementacyjny lub pompę. Przy małych głębokościach i gdy otwór jest suchy, dopuszcza się zalewanie ręczne. Po upływie czasu przewidzianego na związanie zaczynu cementującego komisja ocenia jakość wykonanych prac. W przypadku zaistnienia okoliczności nieprzewidzianych we wzorze protokołu należy je wpisać do rubryki „Uwagi”.

Protokół badania skuteczności zamknięcia warstwy wodonośnej (zał. 8) sporządza się w obecności dozoru hydrogeologicznego, kierownika wiercenia, wiertacza zmianowego oraz zleceniodawcy. Nieobecność zleceniodawcy, mimo zawiadomienia, nie wstrzymuje prowadzenia prac. Protokół zawiera dane o konstrukcji otworu przed orurowaniem, przewierconej warstwie wodonośnej, sposobie wykonania uszczelnienia wokół rur zamykających warstwę wodonośną, rodzaju i ilości zużytego do tego celu materiału, wysokości wykonanego uszczelnienia (korka) oraz wyniki próby szczelności wykonanego zamknięcia warstwy wodonośnej.

Badanie skuteczności wykonanego uszczelnienia polegają na zwierceniu wykonanego korka do stropu utworów nieprzepuszczalnych występujących w profilu litologicznym, szcerpanie zalegającego w otworze płynu, a następnie obserwacji w czasie dopływu płynu do otworu. Na podstawie wyników przeprowadzonego badania komisja stwierdza, czy zamknięcie warstwy wodonośnej jest skuteczne, czy też nie. Protokół sporządza się w trzech egzemplarzach przeznaczonych dla dozoru geologicznego, który przekazuje go osobie dokumentującej prace geologiczne, oraz kierownika wiercenia i zleceniodawcy.

Protokół z odbioru i zabudowy filtra w otworze (zał. 9) sporządza się w obecności komisji składającej się ze zleceniodawcy, dozoru hydrogeologicznego, kierownika wiercenia i wiertacza zmianowego. W protokole należy podać szczegółowe dane dotyczące kolumny filtrowej, jaka została zabudowana w otworze. Dane te obejmują średnicę filtra, długość części nadfiltrowej, długość części czynnej kolumny, czyli filtra, długość części podfiltrowej oraz ewentualnie odcinki części międzyfiltrowej i ich długości. Podać należy informację, czy filtr został wykonany przez wykonawcę prac, czy też jest zakupiony w firmie specjalistycznej jako gotowy produkt.

Informacje o rodzaju filtra należy podać w zależności od konstrukcji części czynnej (szczelinowy, otworowy, szkieletoowo-prętowy, inny) oraz materiału, z jakiego został wykonany (stalowy, ze wzmocnionego PVC, inny). Typ filtra wpisywany jest w przypadku jego zakupu w firmie specjalistycznej – jest to nazwa filtra podana przez producenta, np. filtr typu Johnson, Łódzki itp. Niezbędne jest podanie w protokole

szczególowych danych o konstrukcji części czynnej filtra, tj. rodzaju perforacji, średnicy (szerokości) i rozstawie otworów (szczelin) oraz użytej siatce (średnica oczek) i podkładzie.

W części dotyczącej stanu technicznego otworu określa się jego stan i konstrukcję tuż przed zabudową filtra, podając dane o jego głębokości, średnicy, zabudowanych kolumnach rur okładzinowych, zamkniętych warstwach wodonośnych, występowaniu ujmowanego poziomu wodonośnego itp. Informacje o zabudowie filtra to opis procesu umieszczania filtra w otworze. Poprzez sposób zabudowy rozumie się metodę wpuszczania filtra do otworu (np. z urządzenia wiertniczego czy też ręcznie, przy użyciu trójnogu). Należy również wpisać informację o rurach okładzinowych podciągniętych lub wyciągniętych z otworu podczas zabudowy filtra. Rury okładzinowe to kolumna rur, w których prowadzono wiercenie do końcowej głębokości i która utrzymywała ścianę otworu, chroniąc go przed zasypaniem, a w czasie przewiercenia warstwy wodonośnej zamknęła ją na czas zabudowy filtra.

Protokół sporządza się w trzech egzemplarzach przeznaczonych dla dozoru geologicznego, który przekazuje go osobie dokumentującej prace geologiczne, oraz kierownika wiercenia i zleceniodawcy.

Protokół z likwidacji otworu wiertniczego (zał. 10) sporządza się w trzech egzemplarzach w obecności dozoru hydrogeologicznego, kierownika wiercenia i wiertacza zmianowego. Protokół otrzymuje osoba dokumentująca, kierownik wiercenia oraz zleceniodawca. Dane o otworze dotyczą jego końcowej głębokości oraz konstrukcji – te ostatnie obejmują wyszczególnienie wszystkich średnic otworu oraz rur okładzinowych użytych podczas wiercenia, rodzaju wykonanych uszczelnień (korków) oraz badań wykonanych w otworze, takich jak karotaż, opróbowanie wód podziemnych itp.

Informacje o sposobie likwidacji otworu to określenie metody zatłoczenia do otworu materiału wypełniającego, opis użytego materiału i jego ilości wraz z podaniem, w jakim stosunku wodno-cementowym został zatłoczony zaczyn uszczelniający. Informacje dodatkowe należy wpisać w rubryce „Inne” (np. rodzaj i ilość wykorzystanych dodatków do cementu). Informacje o przebiegu likwidacji otworu to opis działań podjętych w celu usunięcia z niego np. kolumny filtrowej lub osypki żwirowej czy też zaobserwowanych objawach występowania wód lub gazów. W punkcie tym podaje się również informacje na temat pozostawionych w otworze rur okładzinowych, narzędzi wiertniczych, głębokości, na jakiej się znajdują, oraz przyczyn ich pozostawienia. Zlikwidowany otwór należy trwale oznaczyć w terenie, a sposób oznaczenia podać w protokole. W rubryce „Uwagi” należy wpisać przyczynę przeprowadzenia likwidacji otworu.

7. Wyznaczanie otworów w terenie

Oprócz czynników geologicznych i hydrogeologicznych przy wyborze lokalizacji otworu należy uwzględniać wymogi wynikające z konieczności zachowania odpowiednich odległości od istniejących obiektów terenowych:

- odległość studni od granicy działki – co najmniej 5 m, od rowu przydrożnego – co najmniej 7,5 m, od znajdujących się w pobliżu obiektów zanieczyszczających – od 15,0 do 70,0 m, w zależności od rodzaju i groźby zanieczyszczenia (*Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*);
- odległość wieży wiertniczej od dróg i budynków oraz linii energetycznych – co najmniej 1,5 wysokości wieży wiertniczej lub masztu, jednak nie mniej niż 30 m (*Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w zakładach górniczych wydobywających kopaliny otworami wiertniczymi*).

Lokalizacja otworu powinna zapewniać również możliwość zajęcia placu budowy o odpowiedniej powierzchni, w zależności od typu urządzenia wiertniczego, oraz nie kolidować z przebiegiem urządzeń podziemnych, takich jak np. rurociągi, a także sieci infrastruktury podziemnej, takich jak kable, sieci wodociągowe, kanalizacyjne, gazowe itp. Niezbędne jest zapewnienie miejsca na przyszły teren ochrony bezpośredniej ujęcia wody, który mimo braku jednoznacznych unormowań prawnych powinien obejmować powierzchnię gruntu nie mniejszą niż $8 \div 10 \text{ m}^2$.

Lokalizację otworu wytycza się geodezyjnie w terenie zgodnie z zatwierdzonym projektem, na podstawie załączonego szczegółowego planu sytuacyjno-wysokościowego zawierającego informacje na temat uzgodnionej lokalizacji. W przypadku wątpliwości dotyczących podziemnego uzbrojenia terenu należy w miejscu wiercenia wykonać szybk o głębokości $1,5 \div 2,5 \text{ m}$. Dotyczy to szczególnie terenów zakładów przemysłowych, starych dzielnic miast i terenów ze zwartą zabudową. W przypadku braku szczegółowych planów sytuacyjno-wysokościowych należy usytuowanie otworu geodezyjnie domierzyć do stałych punktów orientacyjnych, sporządzając przy tym odpowiedni szkic. W obszarach zabudowanych wytyczanie lokalizacji otworu może być wykonane metodą domiarów do trwałych elementów zagospodarowania, takich jak drogi, budynki itp. Po wybraniu lokalizacji otworu w terenie sporządza się odpowiedni protokół (zał. 2).

8. Kontrola płuczki przy wierceniach obrotowych

8.1. Zadania płuczki wiertniczej

Podstawowe zadania płuczki to oczyszczanie dna otworu ze zwiercin i wynoszenie ich na powierzchnię. Ponadto płuczka spełnia następujące zadania:

- chłodzenie i smarowanie świdra oraz przewodu wiertniczego,
- wspomaganie stabilności ściany otworu,
- utrzymywanie zwiercin w przypadku przerwania obiegu płuczki,
- zmniejszenie ciężaru przewodu wiertniczego i rur okładzinowych,
- ograniczenie korozji przewodu wiertniczego i rur okładzinowych,
- wywieranie przeciwcisnienia na warstwy złożowe,
- zmniejszanie tarcia przewodu o ściany otworu wiertniczego.

W przypadku zastosowania specjalnych zestawów przewodów wiertniczych płuczka może:

- przekazywać moc hydrauliczną na dysze świdra,
- napędzać dolną część przewodu wiertniczego przy zastosowaniu silnika wgłębego,
- dostarczać informacji o przewierconych warstwach, np. przy zastosowaniu systemu MWD lub LWD.

Aby płuczka wiertnicza właściwie spełniała stawiane jej zadania, musi posiadać odpowiednie parametry technologiczne (Stryczek *et al.*, 1999), natomiast dla osiągnięcia korzystnych techniczno-ekonomicznych wskaźników wiercenia otworu niezbędne jest zapewnienie wymaganych hydraulicznych parametrów technologii.

Za najważniejsze parametry płuczki przyjmuje się:

- gęstość lub ciężar właściwy,
- lepkość,
- filtrację,
- wytrzymałość strukturalną,
- zapiaszczenie,
- pH.

Za najistotniejszy hydrauliczny parametr w wierceniach hydrogeologicznych uważa się prędkość przepływu płuczki ze zwiercinami. Zapewnienie efektywnej prędkości przepływu płuczki najłatwiej osiągnąć, stosując odwrotny obieg płuczki w wierceniach

wielkośrednicowych (o średnicy powyżej 0,5 m) i prawy obieg płuczki w wierceniach normalnośrednicowych.

8.2. Rodzaje płuczek

W wiertnictwie są stosowane różnorodne płuczki (Bielewicz, 2009), jednakże w niniejszym poradniku uwzględniono jedynie płuczki najczęściej używane w wiertnictwie hydrogeologicznym.

Na dobór rodzaju płuczki zasadniczy wpływ mają planowane do przewiercenia skały oraz stosowana technika i technologia wiercenia otworu. Ponadto istotne są czynniki ekonomiczne, ciśnienia porowe, szczelinowania i złożowe oraz temperatura.

Najprostszą płuczką jest woda. Dobrze nadaje się do przewiercania warstw ilastych, zwłaszcza znajdujących się na niewielkich głębokościach. Wtedy tworzy się tzw. ilowa płuczka samorodna, która spełnia swe praktyczne zadania i jest tania. W przypadku gdy płuczka wodna nie jest w stanie spełnić ważnych funkcji, wtedy można próbować ją zastąpić płuczką bentonitową.

Dodanie do wody bentonitu powoduje głównie:

- wzrost lepkości płuczki, a tym samym lepsze wynoszenie zwiercin na powierzchnię;
- obniżenie przepuszczalności, zwłaszcza warstw porowatych, oraz ograniczenie przepływu cieczy z otworu do górotworu o niskim ciśnieniu złożowym.

Najczęściej stosuje się płuczkę wiertniczą na bazie wody, w której skład wchodzi woda jako faza ciągła i w której niektóre materiały są w stanie zawieszonym, a inne mogą być w niej rozpuszczone.

Ogólnie wyróżnia się trzy podstawowe fazy płuczki na bazie wody, tj.:

- fazę wodną, którą może stanowić woda słodka, solanka itp.;
- aktywną fazę stałą składającą się z bentonitu i z dodatków chemicznych mających na celu regulację parametrów płuczki;
- obojętną fazę stałą, którą mogą być np. wapienie, dolomity, baryt itp., służące głównie do regulacji ciężaru właściwego płuczki.

Coraz szersze zastosowanie w wiertnictwie znajdują płuczki, do których wprowadza się polimery, ze względu na ich różnorodne działanie. Za najważniejsze ich zalety można uznać duży zakres regulacji filtracji, podniesienie lepkości, poprawę stabilności ściany otworu i selektywną flokulację.

Przy przewiercaniu ilów i łupków łatwo ulegających hydratacji wskazane jest rozważenie zastosowania płuczki z dodatkiem inhibitorów. Powodują one, że płuczka jest odporna na rozdrobnienie i hydratację fazy stałej oraz stabilizuje ścianę otworu.

Znane są następujące sposoby tworzenia płuczek na bazie wody słodkiej z dodatkiem inhibitorów:

- wprowadzenie różnych elektrolitów,
- dodanie polimerów inhibitujących,
- dodanie substancji rozcieńczających.

Płuczki inhibitowane charakteryzują się dużą tolerancją na fazę stałą i odpornością na skażenia.

Przy przewiercaniu skawernowanych, spękanych i o dużej porowatości formacji skalnych mogą występować znaczne ucieczki płuczki, których skutkiem bywa zanik cyrkulacji płuczki. Wówczas jednym ze sposobów poprawy takiego stanu jest zastosowanie płuczki pianowej. Z powodu znacznie niższej gęstości w porównaniu z płuczka na bazie wody wywiera niższe ciśnienie na warstwę chłonną górotworu, co stwarza szansę na wzmocnienie obiegu płuczki w otworze. Jednakże jej zastosowanie wymaga z jednej strony specjalnych środków pianotwórczych, a z drugiej – odczynników do gaszenia piany.

8.3. Wpływ płuczki na przepuszczalność skał w strefie przyotworowej

Podczas wiercenia otworu zazwyczaj ciśnienie hydrostatyczne wywierane przez płuczkę na ścianę otworu jest wyższe, co powoduje, że w zetknięciu ze skałą o odpowiedniej porowatości i przepuszczalności część płuczki stara się przeniknąć do wnętrza przewierczanych skał. Na skutek procesu filtracji cząstki fazy stałej płuczki osadzają się w strefie przyotworowej, zatykając pory i tworząc cienką warstewkę z kapilarnymi kanalikami, przez które nadal może przesączać się filtrat z płuczki. Natomiast cząstki łu, ze względu na swe wymiary, nie mogą przenikać do tych kanalików, osadzając się na ścianie otworu i tworząc tzw. osad filtracyjny. Powstały w ten sposób osad staje się filtrem, przez który przesącza się faza ciekła płuczki do skał porowatych. Ilość odfiltrowanej wody z płuczki zależy między innymi od przepuszczalności tego osadu, filtracji płuczki, różnicy ciśnień i czasu wzajemnego oddziaływania. Jeżeli w płuczce znajdują się cząstki łu bardzo dobrze zdyspergowane, to małe cząstki łu tworzą gęstą warstwę i jej przepuszczalność jest mała. Jeżeli natomiast w płuczce są grubo zdyspergowane cząstki łu, wówczas przepuszczalność takiego osadu jest większa i filtracja fazy ciekłej z płuczki w górotwór też jest większa. Wzrostowi filtracji sprzyja wzrost różnicy ciśnień w otworze i w strefie przyotworowej.

Innym ważnym parametrem analizowanego zjawiska jest grubość osadu filtracyjnego na ścianie otworu. W wyniku użycia słabej jakościowo płuczki ilowej tworzy się osad gruby, który zmniejsza średnicę otworu, co czasami wiąże się z koniecznością jego przerabiania. Osad filtracyjny może sprzyjać osypywaniu się ściany otworu i znacznie pogarsza warunki cementowania kolumn rur okładzinowych, gdyż osłabia połączenie stwardniałego zaczynu cementowego ze skałami górotworu. Ponadto należy stwierdzić, że im grubszy jest osad ilowy na ścianie otworu, tym większe są opory wtlaczania zaczynu cementowego w przestrzeń pierścieniową otworu. Stąd zaleca się płukać otwór przed jego orurowaniem, a na kolumny rur okładzinowych zakładać odpowiednio rozmieszczone skrobaki osadu ilowego.

W ostatnich czasach w celu ograniczenia przenikania fazy ciekłej płuczki w skały górotworu dodaje się do płuczki tzw. blokatory.

Należy podkreślić, że podczas wiercenia otworów hydrogeologicznych z zastosowaniem metody obrotowej płuczka pogarsza właściwości hydrauliczne strefy przyotworowej głównie poprzez jej kolmatację. W celu ograniczenia kolmatacji należy przeprowadzić pompowanie oczyszczające strefę wodonośną.

8.4. Kontrola parametrów technologicznych płuczki przy wierceniu otworów metodą obrotową

Specyfika przewiercanych skał wymaga właściwego doboru rodzaju płuczki, a technologia wiercenia otworu – kontroli i regulowania jej najważniejszych parametrów (Bielewicz, 2010).

Gęstość (g/cm^3) lub **ciężar właściwy** (G/cm^3) są określane wagą płuczki typu Baroid z dokładnością odpowiednio do $0,01 \text{ g/cm}^3$ lub $0,01 \text{ G/cm}^3$.

Waga płuczki składa się z podstawy, na której spoczywa ramię z podziałką, pojemnikiem z pokrywką, poziomica i przeciwwaga.

Przed właściwym pomiarem wagę należy skalibrować zgodnie z następującą procedurą:

1. Zdjąć pokrywkę z pojemnika i napełnić go do pełna czystą wodą, najlepiej destylowaną.
2. Nałożyć pokrywkę na pojemnik i całość wytrzeć do sucha.
3. Położyć ramię na podstawce wagi.
4. Ustawić ciężarek na ramieniu na liczbie $1,00 \text{ g/cm}^3$. Jeśli poziomica wskazuje „0”, to znaczy, że można przystąpić do pomiaru gęstości płuczki. W przeciwnym razie należy wagę wypoziomować za pomocą śruby znajdującej się na końcu ramienia lub poprzez dodanie (lub wyjęcie) kuleczek ołowianych do (z) pojemnika kalibracyjnego.

Pomiar gęstości płuczki należy robić następująco:

1. Zdjąć pokrywkę z pojemnika i napełnić go do pełna płuczka.
2. Nałożyć pokrywkę na pojemnik i sprawdzić, czy część płuczki wypłynęła przez otwór centralny w pokrywie.
3. Zmyć wodą płuczkę z zewnętrznej powierzchni pojemnika lub wytrzeć całą wagę do sucha.
4. Umieścić ramię na podstawie wagi.
5. Przesunąć ciężarek na ramieniu i wypoziomować wagę.
6. Odczytać gęstość płuczki na skali ramienia wagi patrząc na lewą krawędź ciężarka.

Lepkość w warunkach polowych najczęściej jest mierzona lejkiem Marsha. Dokładniejsze informacje o przedmiotowym parametrze można uzyskać, używając lepkościomierzy obrotowych, np. typu Fann.

Lejek Marsha w górnej części ma średnicę 6" (152,4 mm) i długość 12" (304,8 mm). Od spodu zaopatrzony jest w rurkę o długości 2" (50,8 mm) i średnicy 3/16" (4,76 mm). Połowę powierzchni górnego wlotu lejka pokrywa siatka o oczkach 1/16" (1,59 mm).

Przed pomiarem lepkości płuczki lejek należy skalibrować, używając czystej wody o temperaturze 20 ± 2 °C. Prawidłowy czas wypływu 1 dm^3 wody powinien wynosić $27 \pm 0,5$ s.

Metodyka pomiaru jest zgodna z poniższym schematem:

1. Trzymając pionowo lejek Marsha i zatykając jego dolny wylot palcem przez sitko, nalać $1,5 \text{ dm}^3$ płuczki (do wysokości sitka).
2. Zdjąć palec z wylotu lejka i zmierzyć czas wypływu 1 dm^3 płuczki do naczynia miarowego. Zaokrąglony wynik czasu do pełnej sekundy jest miarą tzw. lepkości pozornej (umownej).

Filtracja płuczki jest mierzona za pomocą niskociśnieniowej prasy filtracyjnej zbudowanej z komory na płuczkę, regulatora ciśnienia i manometru zamontowanego na górze zestawu. Komora filtracyjna składa się z rurki umocowanej na dnie komory, służącej do odprowadzania odfiltrowanej wody z płuczki, cylindra o średnicy wewnętrznej $76,2 \pm 1,78$ mm i wysokości $127 \pm 6,35$ mm oraz pokrywy z otworem doprowadzającym sprężone powietrze z butli.

Pomiar filtracji płuczki należy wykonywać, przestrzegając następującej procedury:

1. Na dno komory filtracyjnej nałożyć sitko, krążek papieru filtracyjnego i uszczelkę gumową. Na to włożyć cylinder, łącząc go szczelnie z dnem specjalnym zaciskiem.
2. Napełnić komorę płuczką.
3. Nałożyć pokrywę z uszczelką i całość szczelnie zamknąć.
4. Połączyć otwór pokrywy z butlą ze sprężonym powietrzem, ustalając zawór redukcyjny na ciśnienie $0,7 \pm 0,035$ MPa.
5. Umieścić menzurkę z podziałką pod otworem wypływowym z prasy.
6. Otworzyć zawór wlotowy doprowadzający powietrze pod ciśnieniem do komory i zacząć mierzyć czas. Standardowy pomiar trwa 30 minut (można przeprowadzić go w czasie 7,5 minut – wówczas wynik odczytu objętości wody należy pomnożyć przez 2).
7. Po upływie założonego czasu zamknąć zawór dolotowy (ciśnienie powinno obniżyć się do zera).
8. Odczytać objętość filtratu (w centymetrach sześciennych) w menzurce.
9. Zdemontować prasę i zmierzyć grubość osadu (w milimetrach) na bibułce filtracyjnej.

Wytrzymałość strukturalną płuczki można wyznaczyć za pomocą szirometru lub lepkościomierza obrotowego.

Szirometr składa się z cylindrycznego naczynia wraz z listewką przytwierdzoną do jego dna, posiadającą podziałkę w górnej części, oraz z cylindra aluminiowego o masie 5 g.

Pomiar polega na wlaniu wymieszanej płuczki do czystego i suchego naczynia, do wysokości oznaczonej kreską. Następnie włożony do naczynia z listewką umyty i suchy cylinder aluminiowy opuszcza się, mierząc od tego momentu czas. Po upływie jednej minuty ustala się na podziałce położenie górnej krawędzi opuszczonego cylindra.

Odczytana liczba oznacza wartość początkową wytrzymałości strukturalnej w funtach na 100 stóp kwadratowych. Z powodu zmiany wytrzymałości strukturalnej w czasie wykonuje się dwa pomiary tj.: pierwszy po jednej minucie od momentu opuszczenia cylindra na powierzchnię płuczki, a drugi po upływie 10 minut, pozostawiając płuczkę w tym czasie w spoczynku.

Znaczące zapiaszczenie płuczki jest szkodliwe z wielu względów. Do jego określenia są stosowane odstożniki – menzurki z podziałką umożliwiającą określenie ilości piasku w procentach. Ponadto zestaw pomiarowy wyposażony jest w sitko o średnicy 2 1/2" (200 mesh) i lejek dopasowany do sitka.

Procedura pomiaru jest następująca:

1. Nalać płuczkę do zaznaczonego poziomu w odstożniku.
2. Dopełnić czystą wodą do następnego znaku i wymieszać zawartość, energicznie potrząsając.
3. Wylać zawartość menzurki na sitko oraz napełnić menzurkę wodą, mieszać i ponownie wylewać zawartość na sitko do momentu, aż woda w menzurce będzie czysta.
4. Wyplukać piasek z sitka do menzurki.
5. Po stójce na całkowite osadzenie się piasku w menzurce na skali odczytać procentową zawartość piasku.

Koncentrację jonów wodorowych (pH) można oznaczać metodą kolorymetryczną, używając pasków pomiarowych, lub metodą potencjometryczną przy użyciu elektrody.

Metoda pasków pomiarowych jest często stosowana w warunkach polowych, lecz ze względu na możliwość popełnienia błędów przy bardziej złożonych recepturach płuczki nie powinna być zalecana.

Paski wskaźnikowe mają różne kolory w zależności od wartości pH roztworu, w którym pasek jest zanurzony. Na typowych paskach znajduje się również skala wzorcowa pozwalająca ustalić wartość pH z dokładnością do 0,5 jednostki.

Pomiar polega na:

- włożeniu paska do płuczki i trzymaniu go w niej do czasu ustabilizowania się koloru,
- spłukania paska zdejonizowaną wodą, ale bez jego osuszania,
- porównaniu koloru na pasku ze skalą wzorcową i odczytaniu wartości pH.

W metodzie potencjometrycznej do pomiaru pH używa się pehametru, elektrody, roztworów buforowych i dodatkowego sprzętu, np. termometru, szczoteczki.

Po skalibrowaniu pehametru i pomiarze temperatury należy włożyć elektrodę do płuczki lub filtratu i po ustabilizowaniu wskazań (60÷90 s) odczytać wynik, a elektrodę dokładnie wyczyścić.

9. Pobieranie próbek skał podczas wiercenia

Zagadnienia dotyczące pobierania próbek podczas wiercenia są regulowane przez dwa rozporządzenia Ministra Środowiska, a mianowicie:

- *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 19 grudnia 2001 r. w sprawie gromadzenia i udostępniania próbek i dokumentacji geologicznych* (Dz. U. Nr 153, poz. 1780),
- *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 19 grudnia 2001 r. w sprawie sposobu i zakresu wykonywania obowiązku udostępniania i przekazywania informacji oraz próbek organom administracji geologicznej przez wykonawcę prac geologicznych* (Dz. U. Nr 153, poz. 1781 z późn. zm.).

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 19 grudnia 2001 r. w sprawie gromadzenia i udostępniania próbek i dokumentacji geologicznych (Dz. U. Nr 153, poz. 1780) określa m.in.:

- zasady gromadzenia i udostępniania próbek,
- sposób postępowania z próbkami,
- zakres ochrony próbek geologicznych uzyskanych w wyniku prowadzenia prac geologicznych.

Próbki geologiczne dzieli się na:

- próbki trwałego przechowywania, do których zalicza się:
 - próbki dokumentujące pełne syntetyczne profile geologiczne, zestawione w celu scharakteryzowania danej jednostki geologicznej, regionu kraju lub określonego złoża kopaliny, w szczególności pod względem stratygraficznym, litologicznym, złożowym, facjalnym i tektonicznym;
 - próbki zakwalifikowane do zbiorów naukowych;
- próbki czasowego przechowywania, do których zalicza się w szczególności próbki uzyskane z wierceń kartograficznych oraz przy sporządzeniu dokumentacji geologicznej złoża, dokumentacji geologiczno-inżynierskiej lub dokumentacji hydrogeologicznej.

O zaliczeniu określonej próbki do próbek trwałego przechowywania rozstrzyga właściwy organ odpowiednio w koncesji lub decyzji zatwierdzającej projekt prac geologicznych.

9.1. Sposób pobierania próbek

Podczas wiercenia należy pobierać próbki skał przy każdej zmianie litologicznej, nie rzadziej jednak niż co 2 m postępu wiercenia. Przy przewiercaniu warstwy wodonośnej próbki należy pobierać co 1 m. Pobrane próbki umieszcza się w znormalizowanych skrzynkach wiertniczych, które odpowiednio zabezpieczone na terenie wiertni tworzą magazyn próbek wiertniczych

Ponadto należy pobierać próbki gruntu do badań granulometrycznych z partii warstw wodonośnych różniących się litologicznie (do torebek foliowych lub słoików szklanych).

Zgodnie z *Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 19 grudnia 2001 r. w sprawie gromadzenia i udostępniania próbek i dokumentacji geologicznych* (Dz. U. Nr 153, poz. 1780) próbki geologiczne uzyskane przy prowadzeniu prac dokumentacyjnych w hydrogeologii są próbkami czasowego przechowywania i wykonawca prac geologicznych zobowiązany jest do ich przechowywania w magazynie.

9.2. Opis makroskopowy próbek

Bardzo ważnym elementem prac geologicznych jest prawidłowy opis makroskopowy przewierczanych skał obejmujący ich rodzaj, strukturę, teksturę, barwę, zawartość węgla wapnia i substancji organicznych oraz ustalenie schematu stratygraficznego profilu skał na podstawie (Dąbrowski *et al.*, 2004):

- litostratygrafii,
- skamieniałości przewodnich,
- korelacji z sąsiednimi otworami oraz korelacji na przekrojach geologicznych.

9.3. Oznaczanie próbek

Próbki geologiczne umieszcza się w opakowaniach lub skrzynkach zabezpieczających je przed zanieczyszczeniem i zniszczeniem (*Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 19 grudnia 2001 r. w sprawie gromadzenia i udostępniania próbek i dokumentacji geologicznych* (Dz. U. Nr 153, poz. 1780)).

Na opakowaniach, w których znajdują się próbki, należy czytelnie i w sposób trwały opisać metrykę próbek, podając:

- a) nazwę, symbol, numer otworu oraz miejsce i sposób pobrania;
- b) głębokość pobrania;
- c) kolejny numer;
- d) nazwę wykonawcy opróbowania;
- e) datę pobrania, a w przypadku próbek kopaliny płynnej, gazowej lub wody podziemnej – również godzinę ich pobrania; w przypadku wody podziemnej należy podać temperaturę w otworze i na powierzchni.

Skrzynki z próbkami geologicznymi opisuje się, podając:

- na górnej podłużnej krawędzi dane określone w pkt a) i b),
- na ścianie czołowej dane określone w pkt a)–c),
- na ścianie bocznej dane określone w pkt a), b) i d).

9.4. Przechowywanie próbek na terenie wiertni

Zgodnie z *Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 19 grudnia 2001 r. w sprawie gromadzenia i udostępniania próbek i dokumentacji geologicznych* (Dz. U. Nr 153, poz. 1780) próbki geologiczne uzyskane przy prowadzeniu prac dokumentacyjnych w hydrogeologii są próbkami czasowego przechowywania i wykonawca prac geologicznych zobowiązany jest do ich przechowywania w specjalnych pomieszczeniach zapewniających ochronę przed szkodliwymi wpływami atmosferycznymi, zwanych magazynami próbek.

Magazyn próbek geologicznych trwałego przechowywania prowadzi minister właściwy do spraw środowiska.

Magazyn próbek geologicznych czasowego przechowywania prowadzi wykonawca prac geologicznych. W magazynie próbek prowadzi się:

- księgę ewidencyjną próbek geologicznych, której wzór stanowi załącznik do rozporządzenia;
- księgę rejestracji udostępnianych próbek.

9.5. Transport próbek

Próbki geologiczne w czasie transportu umieszcza się w opakowaniach lub skrzynkach zabezpieczających je przed zniszczeniem i zanieczyszczeniem. Warunki transportu powinny także zapewniać ochronę przed szkodliwymi wpływami atmosferycznymi.

9.6. Likwidacja próbek

Jeżeli przekazane do magazynu próbki geologiczne trwałego przechowywania spowodują utratę przydatności próbek dotychczas przechowywanych w magazynie, minister właściwy do spraw środowiska likwiduje dotychczas przechowywane próbki (*Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 19 grudnia 2001 r. w sprawie gromadzenia i udostępniania próbek i dokumentacji geologicznych* (Dz. U. Nr 153, poz. 1780)).

Likwidacja próbek czasowego przechowywania uzyskanych z wierceń kartograficznych oraz przy sporządzaniu dokumentacji złóż kopalin pospolitych, dokumentacji geologiczno-inżynierskich lub dokumentacji hydrogeologicznych może nastąpić po przyjęciu dokumentacji lub mapy przez właściwy organ administracji geologicznej.

Likwidacja próbek czasowego przechowywania uzyskanych w związku z poszukiwaniem lub rozpoznawaniem złóż kopalin podstawowych może nastąpić po zakończeniu eksploatacji tej części złoża, z której zostały pobrane.

Likwidacji próbek dokonuje prowadzący magazyn próbek, w miejscu ich dotychczasowego przechowywania. Z przeprowadzonej likwidacji próbek sporządza się protokół likwidacji, który zawiera:

- numer ewidencyjny zlikwidowanej próbki oraz dane z jej metryki,
- przyczynę likwidacji próbki.

10. Sporządzanie profilu geologiczno-technicznego podczas wiercenia otworu

10.1. Badania hydrogeologiczne w czasie wiercenia

W czasie wiercenia otworu konieczna jest wnikliwa analiza wszystkich uzyskiwanych danych wiertniczych. Najważniejsze znaczenie ma dokładne i systematyczne notowanie zmieniających się wraz z postępem wiercenia właściwości płuczki, takich jak:

- gęstość właściwa,
- parametry reologiczne,
- temperatura płuczki zatłaczanej i wypływającej z otworu,
- ubytki płuczki bądź przyplwy płynu do otworu.

Na podstawie tych obserwacji wnioskuje się o warunkach hydrogeologicznych panujących w górotworze. Przykładowo, zmiana ciężaru właściwego płuczki świadczyć może o przewiercaniu horyzontu wodonośnego, a zauważone w czasie wiercenia ubytki lub przyrosty objętości płuczki są wskazówką, że przewiercany jest zbiornik o małym bądź znacznym ciśnieniu złożowym.

Służba geologiczna powinna prowadzić na bieżąco opis litologiczny próbek okrukowych i rdzeni oraz wykonywać niezbędne badania laboratoryjne określające fizykochemiczne własności skał.

Podstawowe parametry określane na podstawie prób rdzenia to:

- współczynnik przepuszczalności,
- współczynnik odsączalności,
- współczynnik porowatości efektywnej,
- gęstość właściwa skały.

Pełne wykorzystanie uzyskanych w trakcie wiercenia danych następuje po przeprowadzeniu ich korelacji z wynikami badań geofizycznych. Metody geofizyki otworowej mają duże znaczenie w procesie rozpoznawania zbiorników wód podziemnych oraz w określaniu podstawowych parametrów hydrogeologicznych skał. Na podstawie przeprowadzonych badań geofizycznych typuje się strefy do zafiltrowania, a także prowadzi wstępne obliczenia hydrogeologiczne poprzedzające filtrowanie warstw.

10.2. Opis profilu geologiczno-technicznego

Opis profilu geologiczno-technicznego otworu otworu hydrogeologicznego powinien zawierać następujące elementy:

- informacje o obiekcie, przedsiębiorcy i wykonawcy,
- dane dotyczące profilu geologicznego otworu wraz ze wskazaniem warstw wodonośnych i informacjami o pomierzonych w nich ciśnieniach hydrostatycznych,
- informacje na temat techniki wiercenia oraz rodzaju narzędzi wiertniczych,
- informacje o sposobie zarurowania i zafiltrowania otworu,
- informacje o sposobie zamknięcia poziomów wodonośnych,
- informacje o wykonanych badaniach geologicznych i hydrogeologicznych oraz lokalizacji pobranych prób do badań.

Prace i badania wykonywane podczas prowadzenia prac wiertniczych polegają na (Dąbrowski *et al.*, 2004):

- opisie makroskopowym przewiercanych skał;
- pomiarach zwierciadła wód przewiercanych warstw wodonośnych;
- poborze prób do badań laboratoryjnych:
 - badań granulometrycznych (z piasków i żwirów),
 - badań litologiczno-petrograficznych (frakcja żwirowa i kamienista) i mineralno-petrograficznych (frakcja piaskowa),
 - specjalnych badań uzupełniających:
 - badań geochemicznych,
 - określenia współczynnika filtracji,
 - mikroskopowej analizy szlifów skał zwięzłych,
 - analiz palinologicznych (osady organiczne czwartorzędowe i trzeciorzędowe),
 - paleontologicznego oznaczenia wieku skał.

Zakres tych prac i badań powinien wynikać z projektu prac geologicznych.

11. Pomiar zwierciadła wody w otworach

11.1. Zasady pomiaru zwierciadła wody

Pomiary poziomu zwierciadła wody w otworze w trakcie wiercenia mają na celu uzyskanie danych dotyczących ciśnienia hydrostatycznego panującego w nawierconej warstwie wodonośnej. Wyniki pomiaru zwierciadła wody oraz stwierdzenie, czy woda podziemna występuje w hydrodynamicznych warunkach swobodnych czy też naporowych, są informacją niezbędną do prawidłowego udokumentowania przeprowadzonych prac hydrogeologicznych, a w szczególności – interpretacji wyników próbnego pompowania. Błędne określenie głębokości zalegania nawierconego i ustabilizowanego zwierciadła wody w otworze, a tym samym – charakteru warstwy wodonośnej, może być przyczyną błędnego wyznaczenia parametrów warstwy wodonośnej. Pomiary zwierciadła wody w otworze w późniejszym okresie dostarczają danych na temat wahań zwierciadła wody.

Zasady postępowania przy pomiarze poziomu zwierciadła wody są następujące:

- pomiar wykonuje się na początku i końcu dnia pracy bądź zmiany, w przypadku wiercenia w systemie zmianowym, oraz po nawierceniu każdej warstwy wodonośnej;
- należy używać tylko sprawnego sprzętu zapewniającego prawidłowy pomiar: taśma miernicza nie może być uszkodzona ani zużyta, tj. rozciągnięta i przetarta, ponieważ grozi to nieprawidłowym pomiarem lub utratą przyrządu pomiarowego;
- wiercenie przerywa się na czas wystarczający do ustabilizowania się zwierciadła wody w otworze;
- z uwagi na niemożliwość uzyskania miarodajnych wyników pomiaru nie wykonuje się pomiarów poziomu zwierciadła wody podczas wierceń obrotowych z użyciem płuczki.

11.2. Sposób wykonywania pomiarów

Po nawierceniu warstwy wodonośnej i zawierceniu w niej 1÷2 metrów wiercenie należy przerwać. Po wyciągnięciu przewodu wiertniczego z otworu należy zapuścić do niego przyrząd pomiarowy przymocowany do wyskalowanej taśmy i dokonać na niej

odczytu głębokości nawierconego zwierciadła wody. Następne pomiary wykonywać należy co 5, 10, 15 oraz 30 minut aż do ustabilizowania się zwierciadła wody. Zwierciadło uznaje się za ustabilizowane, gdy trzy kolejne pomiary wykonane w odstępie 30 minut nie różnią się od siebie o więcej niż 0,01 m (1 cm) w przypadku płytko występującego zwierciadła wód podziemnych oraz o 0,1 m, gdy zwierciadło występuje na znacznych głębokościach.

W przypadku wód o ciśnieniu artezyjskim do pomiarów stosować można manometry. W takiej sytuacji otwór należy zagłowiczyć, a na głowicy zamontować manometr. Odczyt manometru po odpowiednim przeliczeniu dostarcza informacji o wysokości stabilizacji poziomu zwierciadła wody ponad powierzchnią terenu.

11.3. Sposób zapisywania pomiarów i odczytów

Pomiar głębokości nawiercenia i ustabilizowania zwierciadła wody w otworze odnotowuje się w dziennym raporcie wiertniczym. Notę tę sporządza wiertacz zmianowy. Podczas kontroli pomiarów zwierciadła wody, wykonywanych przez kierownika prac (nadzór geologiczny) bądź dozór hydrogeologiczny, informację tę odnotowuje się w książce wiercenia (zał. 3) oraz zbiorczym zestawieniu wyników wiercenia, jakim jest profil geologiczno-techniczny (zał. 11) wraz z podaniem daty pomiaru.

12. Pomiar temperatury wody i powietrza oraz ciśnienia atmosferycznego

12.1. Pomiar temperatury wody

Pomiar temperatury wody należy wykonywać niezwłocznie po pobraniu próbki wody bądź bezpośrednio w otworze. Pomiar temperatury wody w otworze może być wykonywany równocześnie z pomiarem głębokości poziomu zwierciadła wody. Obecnie firmy specjalistyczne oferują urządzenia elektroniczne do pomiaru poziomu wody wyposażone w czujniki temperatury.

Pomiar temperatury przeprowadzić można również przy użyciu termometru czerpakowego. W celu wykonania pomiaru termometr zapuszcza się do otworu na wyskalowanym przewodzie aż do całkowitego zanurzenia. Termometr powinien się znajdować 1÷2 m poniżej zwierciadła wody przez co najmniej 10 minut. Następnie należy go ostrożnie wyciągnąć z otworu i w miejscu nienasłonecznionym dokonać bezzwłocznie odczytu temperatury. Pomiar prowadzi się tak długo, aż trzy kolejne odczyty wskażą te same wartości. Pomiar prowadzi się z dokładnością do 0,1 °C oraz uzupełnia się równoczesnym pomiarem temperatury powietrza.

W przypadku głębokich wierceń pomiar temperatury przeprowadzać można za pomocą metod geofizyki otworowej.

W otworach z samowypływem temperaturę mierzy się w strudze wypływającej wody. W innych przypadkach, gdy brak możliwości zapuszczenia termometru do wnętrza otworu, temperaturę mierzy się w strudze pompowanej wody bądź w naczyniu, przez które woda się przelewa.

Podczas wierceń obrotowych z wykorzystaniem płuczki pomiar temperatury jest orientacyjny, gdyż mierzy się temperaturę płuczki wypływającej z otworu.

12.2. Pomiar temperatury powietrza

Pomiar temperatury powietrza wykonuje się równocześnie z pomiarem temperatury wody. Stosuje się termometr umieszczony w miejscu nienasłonecznionym, na wysokości co najmniej 1,5 m nad powierzchnią terenu. Odczyt prowadzi się z dokładnością do 0,1 °C.

12.3. Pomiar ciśnienia atmosferycznego

Do pomiaru ciśnienia atmosferycznego wykorzystuje się standardowy barometr rtęciowym lub barometr aneroid.

Do pomiaru temperatury, poziomu zwierciadła wody i ciśnienia można używać przyrządów elektronicznych.

13. Pomiar głębokości otworu

Przed rozpoczęciem wiercenia należy ustalić poziom odniesienia, czyli tzw. zero głębokości otworu. Od tego punktu prowadzony jest pomiar w czasie trwania wiercenia. Naturalnym punktem odniesienia jest powierzchnia terenu, jednak za zero przyjęć można każdy punkt o stałej i znanej rzędnej względem powierzchni terenu. Pomiar głębokości odnotowuje się w dziennym raporcie wiertniczym.

13.1. Pomiar głębokości otworu w czasie wiercenia

W trakcie trwania robót wiertniczych wykonuje się ciągły pomiar głębokości dna otworu. Przed przystąpieniem do wiercenia na przewodzie wiertniczym lub linii wiertniczej umieszcza się znak o znanej wysokości nad punkt odniesienia. W miarę postępu wiercenia punkt ten przesuwa się, a jego dokładne położenie nad dnem otworu musi być znane wiertaczowi zmianowemu.

13.2. Zapis pomiaru głębokości otworu

Obowiązek prowadzenia na bieżąco pomiaru głębokości otworu spoczywa na wiertaczu zmianowym, który zapisuje pomiary w przygotowanym notatniku. Pomiar głębokości odnotowuje się po każdorazowym dodaniu żerdzi do przewodu wiertniczego bądź przesunięciu znaku na linii wiertniczej. Pod koniec zmiany kierownik wiercenia wpisuje całkowitą głębokość otworu w dziennym raporcie wiertniczym.

13.3. Obowiązki dozoru hydrogeologicznego

Do obowiązków dozoru hydrogeologicznego należy:

- kontrola głębokości otworu podanej w dziennym raporcie wiertniczym,
- kontrola położenia punktu odniesienia (sprawdzenie, czy jego położenie nie uległo zmianie),
- udział w komisyjnym odbiorze końcowej głębokości otworu.

13.4. Ustalanie kategorii przewierczanych skał

Kategorie przewierczanych skał ustala się przez rozpoznanie cech litologicznych i petrograficznych. W przypadku wystąpienia trudności w zaliczeniu skały do odpowiedniej kategorii można do tego celu wykorzystać wyniki pomiaru prędkości wiercenia lub wykonać badania laboratoryjne.

W przypadku prowadzenia prac wiertniczych w wyjątkowo trudnych warunkach geologicznych związanych z wystąpieniem:

- rumoszu, krasu lub skał silnie spękanych,
- dużej zmienności parametrów geomechanicznych skał,
- skał pęczniących i zaciskających otwór,
- otoczków i głązów w utworach piaszczystych i żwirowych

należy wystąpienie ww. zjawisk odnotować w formie uwag do sporządzanego profilu.

13.5. Zamykanie poziomów wodonośnych

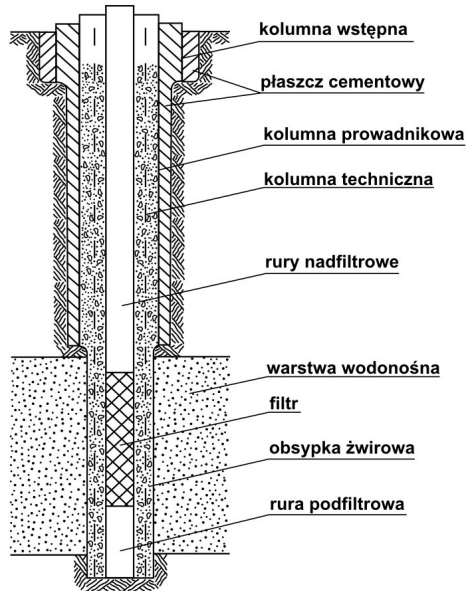
Bardzo istotnym elementem podczas wykonywania otworów hydrogeologicznych jest właściwa izolacja poszczególnych poziomów wodonośnych. Osiąga się to przez cementowanie lub łożowanie wcześniej zapuszczonych kolumn rur okładzinowych do odpowiednich głębokości. Do osiągnięcia powyższego celu niezbędne jest właściwe zaprojektowanie konstrukcji otworu, która powinna uwzględniać rzeczywiste warunki geologiczne i hydrogeologiczne górotworu oraz zakładane parametry eksploatacji wody.

13.6. Projektowanie zamykania dopływu wód podziemnych

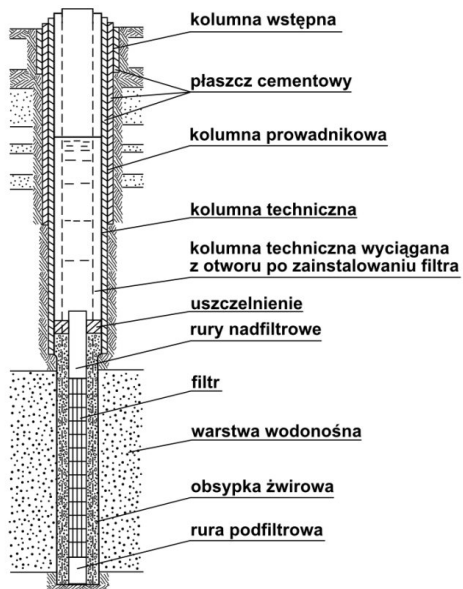
Studnia wiercona powinna mieć taką konstrukcję, aby woda podziemna mogła dopłynąć ze skał wodonośnych do jej wnętrza bez dużych oporów hydraulicznych, powinna też umożliwiać instalację urządzenia pompowego o wymaganych parametrach technicznych.

Orurowanie otworów hydrogeologicznych składa się z jednej lub kilku kolumn rur okładzinowych oraz kolumny filtrowej, której część robocza, tj. filtr, umożliwia dopływ wody do jego wnętrza. Liczba kolumn rur okładzinowych uzależniona jest od głębokości otworu, jego przeznaczenia, warunków geologicznych i hydrogeologicznych, metody wiercenia, rodzaju badań w otworze i sposobu eksploatacji wody. W wielu otworach hydrogeologicznych rolę kolumny rur okładzinowych przejmuje wyprowadzona do powierzchni rura nadfiltrowa. W innych stosuje się pojedyncze, podwójne lub teleskopowe orurowanie. Każdy eksploatowany otwór hydrogeologiczny (studnia) powinien mieć obudowę stanowiącą zakończenie jego górnej części. Zabezpiecza ona otwór przed zanieczyszczeniem lub uszkodzeniem oraz umożliwia instalację jego uzbrojenia, tj. zaworów, manometru, wodomierza itp.

Typowe przykłady konstrukcji otworów hydrogeologicznych wierconych metodą udarową do głębokości około 60 m i 100 m przedstawiono na rysunkach 13.1 i 13.2.



Rys. 13.1. Schemat orurowania otworu hydrogeologicznego wierconego metodą udarową do głębokości 60 m

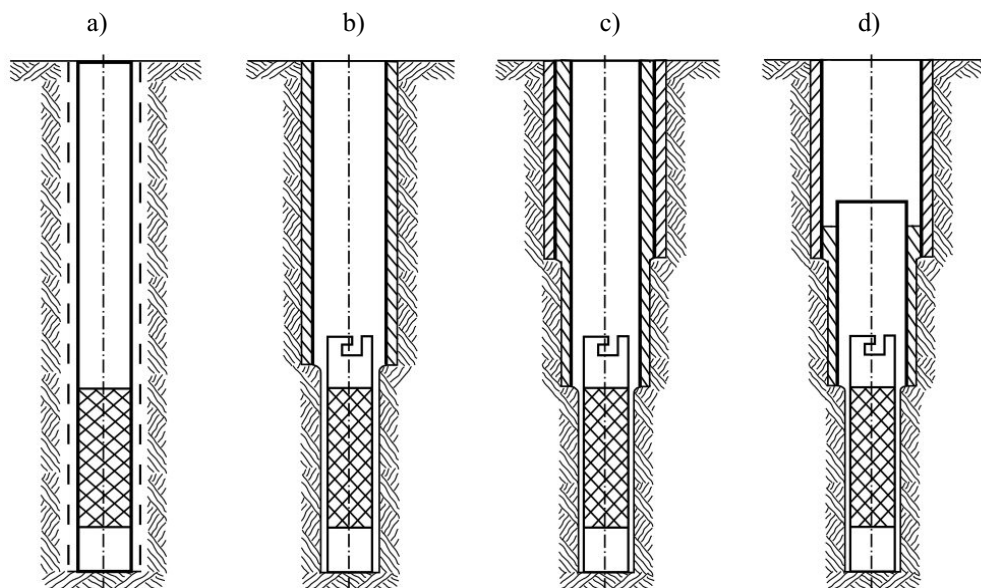


Rys. 13.2. Schemat orurowania otworu hydrogeologicznego wierconego metodą udarową do głębokości 100 m

Przy wierceniu otworów hydrogeologicznych metodą obrotową z płuczką stosowane są najczęściej konstrukcje dwukolumnowe z kolumną wstępną i eksploatacyjną.

Pozostałe kolumny stosowane są rzadko, głównie w przypadkach:

- konieczności izolacji warstw wodonośnych o niekorzystnych parametrach hydrochemicznych,
- ucieczek płuczki wiertniczej,
- komplikacji i awarii wiertniczych związanych z pęcznieniem, obwałami i kawernowaniem ściany otworu,
- udostępniania głęboko zalegających warstw wodonośnych.

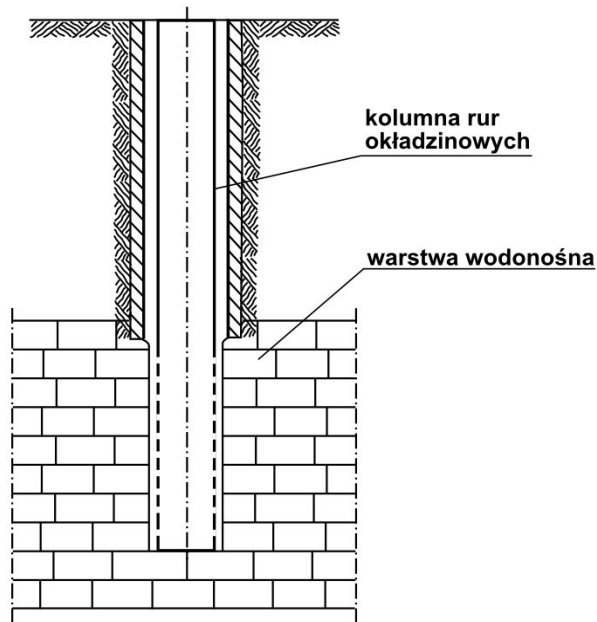


Rys. 13.3. Schematy konstrukcji otworów hydrogeologicznych z filtrem

Najprostsza i najekonomiczniejsza, przy krótkim okresie eksploatacji wody z warstwy wodonośnej zalegającej na niewielkiej głębokości, jest konstrukcja z pojedynczym orurowaniem. Może ona być wykonana w dwóch wariantach. W pierwszym rura nadfiltrowa wyprowadzona jest do powierzchni terenu (rys. 13.3a), a w drugim kolumna rur okładzinowych postawiona jest w stropie warstwy wodonośnej, filtr zainstalowany jest natomiast w udostępnianej warstwie (rys. 13.3b). Przy głębiej występujących poziomach wodonośnych lub w przypadku konieczności odizolowania poziomu wodonośnego o niekorzystnych parametrach hydrochemicznych stosuje się konstrukcję otworu z dodatkową kolumną techniczną, przedstawioną na rysunku 13.3c. Innym typem jest tzw. konstrukcja teleskopowa (rys. 13.3d), która stosowana jest przeważnie

w przypadku wystąpienia komplikacji wiertniczych podczas głębinienia otworu, gdy zachodzi konieczność wprowadzenia dodatkowej kolumny rur. Jej instalacja w otworze powoduje zmniejszenie średnicy, co w wielu przypadkach uniemożliwia zapuszczenie pompy głębinowej o odpowiednich parametrach technicznych. W celu przeciwdziałania takiej sytuacji odkręca się lub wycina część dodatkowej kolumny rur, wykonując w ten sposób konstrukcję teleskopową.

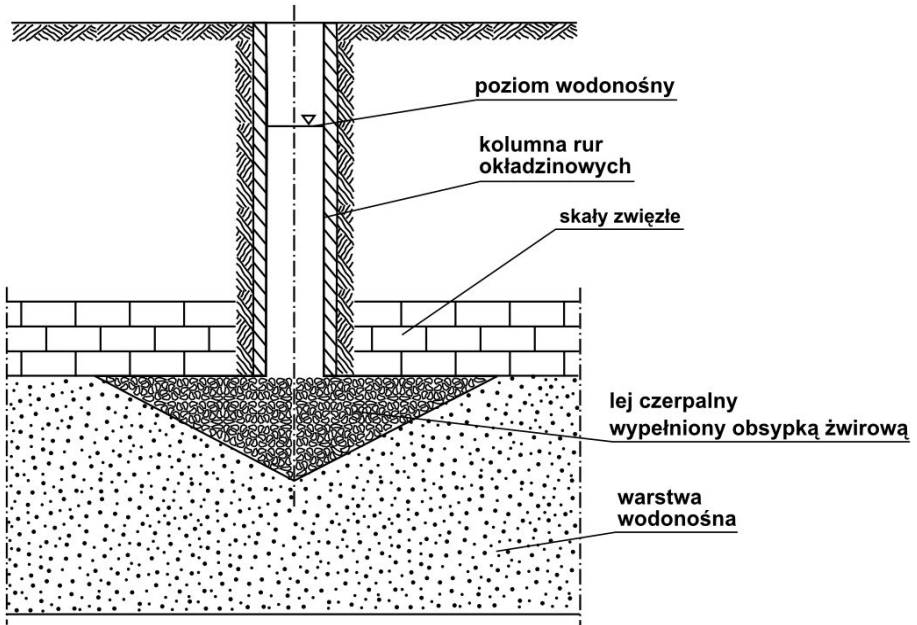
W niektórych warunkach geologicznych wykonuje się studnie bezfiltrowe (Gonet, Macuda, 2004). Mają one dwa warianty konstrukcyjne. Pierwszy stosuje się w przypadku ujmowania warstwy wodonośnej zbudowanej ze skał zwięzłych, zapewniających stabilność ściany otworu i niewymagających jego orurowania (rys. 13.4).



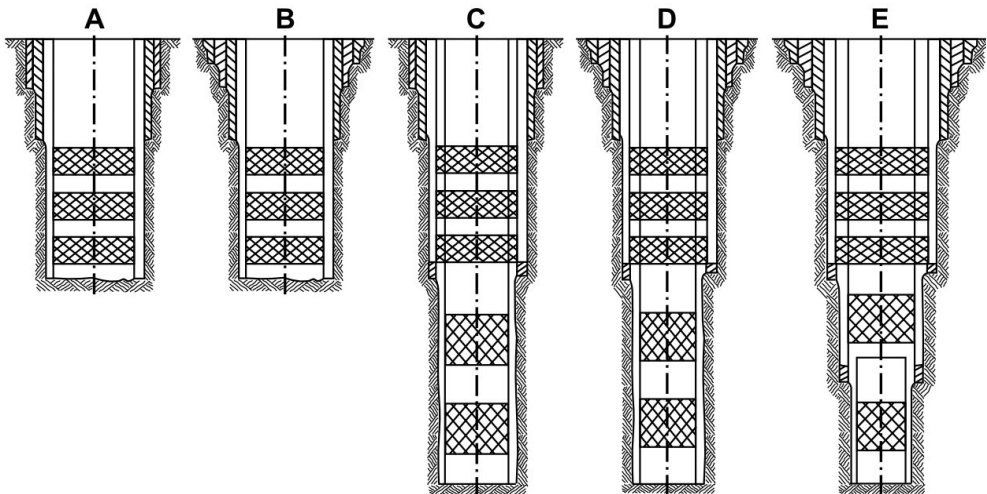
Rys. 13.4. Konstrukcja bezfiltrowa otworu hydrogeologicznego w skałach zwięzłych

Drugi wariant znajduje zastosowanie w przypadku ujmowania wody z warstwy wodonośnej wykształconej w postaci piasków pylastych, w której stropie występują skały zwięzłe pozwalające na wytworzenie leja czerpalnego (rys. 13.5). Do tworzenia leja metodą pompowań lub samowypływu przystępuje się po opuszczeniu do stropu warstwy wodonośnej lub nieco niżej (do ok. 0,4 m) kolumny rur okładzinowych. W większości przypadków lej czerpalny wypełnia się żwirem gruboziarnistym w celu zwiększenia jego stateczności. Ten wariant konstrukcyjny wykonywany jest jednak sporadycznie.

Przy wierceniu wielkośrednicowych otworów hydrogeologicznych metodą obrotową z odwrotnym obiegiem płuczki stosowane są schematy orurowania przedstawione na rysunku 13.6. W tabeli 13.1 przedstawiono natomiast przykładowe warianty ich konstrukcji.



Rys. 13.5. Konstrukcja bezfiltrowa otworu hydrogeologicznego w skałach sypkich



Rys. 13.6. Schematy konstrukcji wielkośrednicowych otworów hydrogeologicznych (Gonet, Macuda, 2004)

Tabela 13.1

Przykładowe konstrukcje wielkośrednicowych otworów (Gonet, Macuda, 2004)

Wariant konstrukcji otworu	Średnica świdra [m]	Średnica zewnętrzna rur okładzinowych i filtrowych [m]	Prześwit [m]
A-I	1,36	1,220	0,14
	1,16	0,913	0,247
	0,86	0,508	0,352
A-II	1,16	1,016	0,144
	0,96	0,812	0,148
	0,76	0,508	0,252
B-I	1,50	1,420	0,080
	1,36	1,220	0,140
	1,16	0,913	0,247
	0,86	0,508	0,352
B-II	1,50	1,220	0,280
	1,16	1,016	0,144
	0,96	0,812	0,148
	0,76	0,508	0,252
C-I	1,50	1,420	0,080
	1,36	1,220	0,140
	1,16	0,711	0,449
	0,67	0,508	0,162
C-II	1,50	1,420	0,080
	1,16	1,016	0,144
	0,96	0,711	0,249
	0,67	0,508	0,162
D-I	1,80	1,620	0,180
	1,50	1,420	0,080
	1,36	1,220	0,140
	1,16	0,711	0,449
	0,67	0,508	0,162
D-II	1,80	1,620	0,180
	1,50	1,420	0,080
	1,16	1,016	0,144
	0,96	0,711	0,249
	0,67	0,508	0,162
E	1,80	1,620	0,180
	1,50	1,420	0,080
	1,36	1,220	0,140
	1,16	0,711	0,449
	0,67	0,508	0,162
	0,47	0,356	0,114

Warianty konstrukcji A-I, A-II oraz B-I i B-II stosuje się w przypadku wiercenia płytkich otworów hydrogeologicznych, do głębokości około 150 m. Konstrukcje wariantów A-I i A-II wykonuje się, gdy przy powierzchni terenu występują skały zwarte umożliwiające odwiercenie otworu świdrem rurowym pod kolumnę wstępną. Warianty B-I i B-II znajdują natomiast zastosowanie w przypadku występowania na niewielkiej głębokości skał luźnych i zawodnionych, przy których przewiercaniu występują znaczne trudności z utrzymaniem stabilnej ściany otworu. W tych warunkach przed rozpoczęciem wiercenia otworu instaluje się kolumnę wstępną metodą wibracyjną do głębokości ok. 6÷10 m. Konstrukcje otworów według wariantów C-I, C-II, D-I, D-II i E stosowane są w przypadku wiercenia otworów do głębokości 400÷600 m. Warianty C-I i C-II stosuje się w sytuacjach, kiedy nie prognozuje się wystąpienia komplikacji wiertniczych. Warianty D-I i D-II realizuje się w podobnych przypadkach jak warianty B-I i B-II. Również w tych przypadkach kolumny wstępne instaluje się metodą wibracyjną. Konstrukcje otworów według wariantu E wykonuje się natomiast, gdy w otworze występują komplikacje wiertnicze, stwarzające trudności w dowierceniu otworu do planowanej głębokości.

Kolumny rur okładzinowych zapuszczone do otworu nie powinny ulec zniszczeniu i dlatego należy je zaprojektować, uwzględniając różnorodne obciążenia działające na nie (Gonet, Macuda, 1995). Konieczne jest sprawdzenie przewodnikowych, technicznych i eksploatacyjnych kolumn rur ze względu na:

- ciśnienia zgniatające,
- siły rozciągające.

W przypadku stosowania powyższych kolumn rur okładzinowych przed ich zapuszczeniem do otworu należy wykonać projekty orurowania (zał. 6), a po ich zapuszczeniu – protokoły z przeprowadzonego orurowania otworu (zał. 4).

13.7. Metody zamykania dopływu wód podziemnych

Istnieją stałe i czasowe metody zamykania dopływu wód podziemnych. Rozwiązanie stałe ma na celu:

- izolację poszczególnych poziomów wodonośnych od siebie;
- izolację złóż, np. soli, ropy naftowej, od warstw wodonośnych;
- ograniczenie osypywania się skał, np. sypania skał do otworu, zlikwidowanie ucieczek płuczki.

Czasowe zamykanie dopływu wód podziemnych najczęściej jest stosowane np. do próbnego pompowania wody lub zlikwidowania ucieczek płuczki.

Stale zamykanie dopływu wód może być realizowane przez cementowanie lub łożenie. Czasowe zamykanie dopływu wód wynikające z komplikacji wiertniczych

w otworze korzystnie jest wykonywać przez łożenie, gdyż ta technologia umożliwia wyciągnięcie danej kolumny rur okładzinowych. Natomiast jeśli próbne pompowanie wymaga czasowego zamknięcia dopływu wód, wówczas wskazane jest użycie pakerów.

Po dowieczeniu otworu do zaplanowanej głębokości, korzystnie – do warstwy nieprzepuszczalnej, i przepłukaniu otworu oraz wyciągnięciu przewodu z otworu można przystąpić do łożenia. Ił przewidziany do zamykania dopływu wód podziemnych powinien być plastyczny, jednolity i dający się łatwo formować. Odpowiednio przygotowane kule z łoża (Wojnar, 1964) należy wrzucić na dno otworu i podczas końcowej fazy zapuszczania kolumny rur okładzinowych znajdujący się w otworze łoża wycisnąć poza rury (Wojnar, 1966). Minimalna wysokość korka łożowego poza rurami powinna wynosić 0,5 m.

Dobór metody cementowania kolumn rur okładzinowych zależy głównie od średnicy otworu i zewnętrznej średnicy kolumny rur okładzinowych. Przy większych przeswitach promieniowych, a tym samym – większych średnicach, zaleca się cementować kolumny rur przez rurki cementacyjne zapuszczone do przestrzeni pierścieniowej, pomiędzy ścianą otworu i kolumną rur. Te rurki powinny być połączone z pierścieniem cementacyjnym, wykonanym z perforowanej rurki umieszczonej na zewnętrznej ścianie buta kolumny rur (Gonet, Macuda, 1995). Zabieg cementowania może być wykonany jako jedno- lub dwustopniowy. W przypadku dwustopniowego zabiegu na zewnątrz kolumny rur należy umieścić dwa pierścienie cementacyjne na ściśle określonych głębokościach. Oba pierścienie cementacyjne trzeba połączyć oddzielnymi rurkami z agregatem cementacyjnym.

Podczas wiercenia normalnośrednicowych otworów hydrogeologicznych metodą obrotową głównym sposobem zamykania dopływu wód podziemnych jest zabieg cementowania. Najczęściej wykonuje się go przez kolumnę rur okładzinowych lub przez przewód wiertniczy. Cementowanie przez kolumnę rur okładzinowych powinno być prowadzone głównie jako jednostopniowe z dwoma klockami (Stryczek *et al.*, 1999). Cementowanie jednostopniowe wykonuje się przez wtłoczenie do kolumny rur okładzinowych dolnego klocka, odpowiedniej ilości zaczynu cementowego, górnego klocka i płuczki przybitki. Efektem tych prac powinno być wytłoczenie z rur zaczynu cementowego w przestrzeń pierścieniową otworu do zaprojektowanej głębokości.

Z formalnego punktu widzenia w przypadku cementowania kolumn rur przewodnikowych, technicznych i eksploatacyjnych wskazane jest opracowanie projektu (zał. 7) i protokołu z przeprowadzonego zabiegu (zał. 5). Ponadto inwestor może wymagać wykonania badania skuteczności zamknięcia poziomu wodonośnego (zał. 8).

14. Filtry studzienne

14.1. Rodzaje filtrów

Filtr jest najważniejszym elementem konstrukcji otworu studziennego. Jego podstawowym zadaniem jest zapewnienie stabilności ściany otworu wiertniczego w warstwie wodonośnej, umożliwienie dopływu dużego strumienia objętości wody do wnętrza studni przy jak najmniejszych oporach hydraulicznych oraz zatrzymanie w porowatej warstwie wodonośnej cząstek gruntu o takich rozmiarach, aby nie dochodziło do sufozji, tj. mechanicznego wypłukiwania ziaren z warstwy wodonośnej i ich transportu do wnętrza studni. Spełnienie tych trzech warunków jest niezbędne do prawidłowego i długotrwałego działania studni.

Ogólnie możemy stwierdzić, że filtr zainstalowany w otworze studziennym powinien spełniać następujące kryteria:

- mieć odpowiednią wytrzymałość mechaniczną w celu zapewnienia stabilności ściany otworu wiertniczego;
- umożliwiać odpiaszczenie strefy przyfiltrowej warstwy wodonośnej, tzn. wypłukanie drobnych frakcji pyłowych i piaszczystych w celu zwiększenia jej przepuszczalności;
- powodować małe straty hydrauliczne przy przepływie wody przez filtr;
- minimalizować zapiaszczenie studni podczas jej eksploatacji;
- utrudniać tworzenie się na nim osadów pochodzenia mechanicznego, chemicznego i biochemicznego;
- być odpornym na korodujące działanie wód agresywnych;
- umożliwiać wykonanie skutecznych zabiegów uaktywniających i renowacyjnych;
- umożliwiać wykonanie rekonstrukcji otworu studziennego;
- umożliwiać instalację urządzenia pompowego o wymaganej charakterystyce technicznej.

Spełnienie wszystkich ww. kryteriów jest bardzo trudne i najczęściej stosuje się rozwiązania kompromisowe.

Duża wydajność studni oraz jej wysoka sprawność hydrauliczna w znacznej mierze zależą od właściwego dobrania typu i konstrukcji filtra do konkretnych warunków

hydrogeologicznych oraz prawidłowego obliczenia wszystkich jego podstawowych wymiarów. Prawidłowy wybór konstrukcji filtra stanowi istotne zagadnienie techniczne, zwłaszcza w przypadku projektowania studni przewidzianej do długotrwałej eksploatacji.

W praktyce przemysłowej stosuje się bardzo wiele różnych rodzajów filtrów studziennych, różniących się konstrukcją oraz zastosowanymi do ich budowy materiałami (Gonet, Macuda, 2004).

Zasadniczo filtry można podzielić na cztery grupy:

- filtry rurowe perforowane, wykonane z rur zaopatrzonych w otwory okrągłe, prostokątne i mostkowe;
- filtry żwirowe, w których szkieletem najczęściej są rury perforowane, a powierzchnia filtrująca wykonana jest z obsypki żwirowej klejonej na powierzchni lub wykonanej w otworze;
- filtry z powierzchnią czynną wykonaną z profilowanego drutu nawojowego;
- filtry siatkowe, wykonane z siatek filtracyjnych o różnej gęstości, owiniętych na perforowanych rurach szkieletowych.

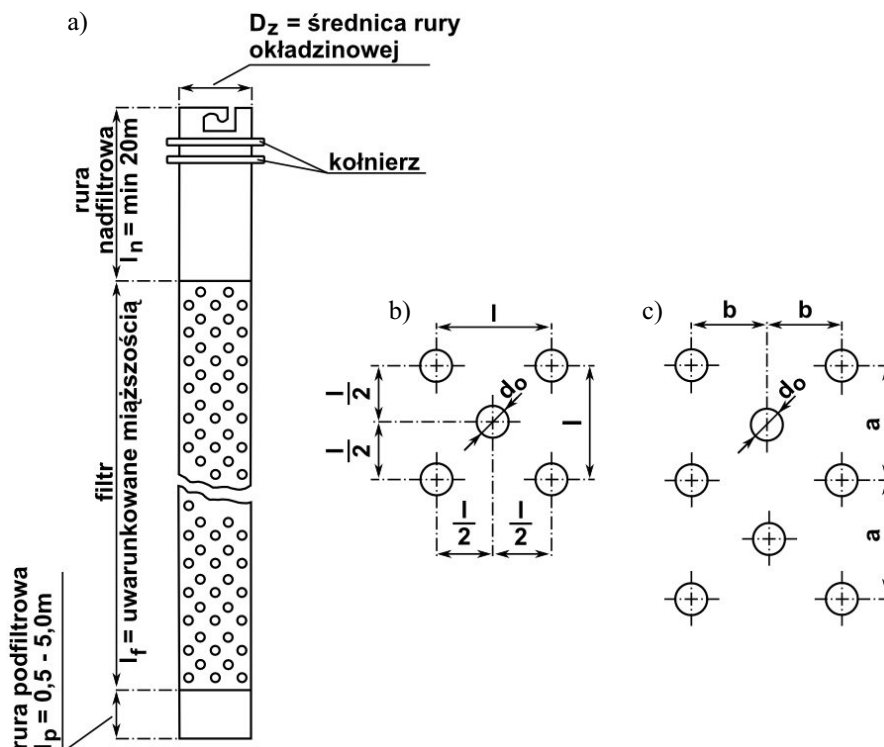
Materiały, z których wykonywane są filtry studzienne, powinny się charakteryzować wysokimi wartościami parametrów mechanicznych oraz odpornością na korozję chemiczną i elektrochemiczną. W praktyce przemysłowej do budowy filtrów najczęściej stosuje się takie materiały, jak: PCV, PCV-U, stal węglowa, stal nierdzewna, fibreglass (Driscoll, 1986; Lehr, 1988).

Filtry rurowe perforowane

Filtry te wykonuje się najczęściej z rur stalowych, PCV (polichloru winylu) lub innych. Instaluje się je zarówno w spękanych skałach zwięzłych, jak i luźnych, zbudowanych ze żwirów oraz grubo- i średnioziarnistych piasków. Ich perforacja każdorazowo musi być dostosowana do uziarnienia warstwy wodonośnej. Powinna ona umożliwiać odpiaszczenie warstwy wodonośnej, a jednocześnie zatrzymywać ziarna o większej średnicy, których wypłukiwanie prowadziłoby do sufozji warstwy wodonośnej (Bieske, 1998). Filtry rurowe perforowane służą również jako szkielet do budowy innych rodzajów filtrów, umożliwiających ujmowanie wody ze skał luźnych o drobniejszym uziarnieniu, np. filtrów siatkowych, żwirowych, wkładkowych itp.

Perforacja tych filtrów może być okrągła lub szczelinowa. Perforację okrągłą wykonuje się przez wiercenie w ścianie rury filtrowej okrągłych otworów, rozmieszczonych najczęściej w szachownicę (rys. 14.1a), o odstępach osiowym wynoszącym $l = (2,3 \div 2,8)d_0$ (d_0 – średnica wierconego otworu, mm). Powierzchnia czynna filtra, tj. łączna powierzchnia wykonanych otworów, nie powinna przekraczać 30% powierzchni całkowitej. W tabeli 14.1 przedstawiono procentową zależność powierzchni czynnej filtra od rozstawu otworów.

Rozstaw między środkami otworów wierconych w płaszczyźnie poziomej (rys. 14.1b) przyjmuje się w granicach $2b = 20\div 40$ mm, a w pionowej $a = 20\div 30$ mm. Podczas wiercenia otworów stosuje się zasadę, aby średnica wierconych otworów była nie większa niż 10% średnicy rury.



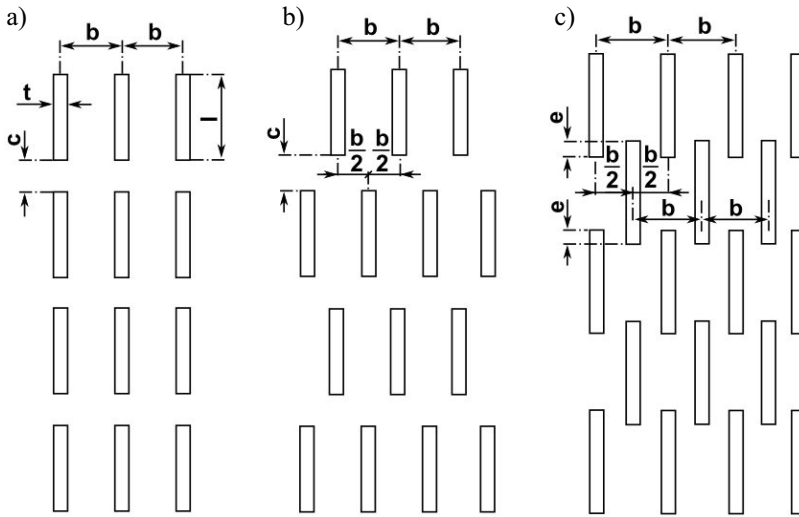
Rys. 14.1. Filtr rurowy z okrągłymi otworami (a): symetryczny rozstaw otworów okrągłych na rurze filtrowej (b); niesymetryczny rozstaw otworów okrągłych na rurze filtrowej (c)

Tabela 14.1

Zależność powierzchni czynnej filtra od rozstawu otworów w filtrze rurowym perforowanym (Gonet, Macuda, 2004)

l/d_o	2,0	2,3	2,5	2,8	3,0
p [%]	39	30	25	20	17,5

Perforację szczelinową przy produkcji filtrów perforowanych wykonuje się zależnie od materiału rur za pomocą tłoczenia, frezowania i cięcia palnikiem. Układ szczelin (rys. 14.2) może być prosty pasowy, pasowy w szachownicę oraz w szachownicę. Od układu szczelin w znacznym stopniu zależy wytrzymałość filtra.



Rys. 14.2. Rozstaw otworów prostokątnych na rurze filtrowej:
a) pasowy prosty; b) pasowy w szachownicę; c) w szachownicę

Układ prosty pasowy i pasowy w szachownicę pozwala na utrzymanie wyższej wytrzymałości filtra przy umiarkowanej powierzchni czynnej. Trzeci rodzaj perforacji pozwala natomiast na osiągnięcie dużej powierzchni czynnej filtra przy znacznie obniżonej jego wytrzymałości. W praktyce przemysłowej stosuje się zasadę, aby powierzchnia czynna nie przekraczała 20%, a długość szczelin równała się 8–10-krotnej ich szerokości. Wymiary szczelin powinny być również każdorazowo zaprojektowane z uwzględnieniem uziarnienia warstwy wodonośnej.

W tabeli 14.2 podano najczęściej stosowane wielkości szczelin w filtrach przeznaczonych do ujmowania wody ze skał luźnych i zwięzłych.

Tabela 14.2

Wielkości szczelin prostokątnych w filtrach stosowanych do ujmowania wody ze skał luźnych i zwięzłych (Gonet, Macuda, 2004)

Warstwa wodonośna	Szerokość [mm]	Długość [mm]
Piaszczysta i żwirowa	2,5÷4,0	20,0÷40,0
Zwięzła	do 10,0	do 100,0

Podczas projektowania filtrów rurowych z perforacją okrągłą lub szczelinową niezwykle istotne jest określenie wielkości otworów wlotowych z uwzględnieniem wykształcenia litologicznego warstwy wodonośnej.

Przy doborze wymiarów otworów wlotowych występują w praktyce dwa przypadki:

- otwory stykają się bezpośrednio z warstwą wodonośną lub obsypką,
- otwory stykają się z warstwą filtrującą klejoną lub nakładaną na szkielet filtra.

W pierwszym przypadku stosowane jest kryterium doboru wymiarów wlotowych wg badań Ticklego i Koberlego (Wieczysty, 1982; Gabryszewski, 1983; Gonet, Macuda, 2004):

$$d_0 = (3,0 \div 4,5)d_{90}, \text{ mm} \quad (14.1)$$

$$t = (2,0 \div 3,0)d_{90}, \text{ mm} \quad (14.2)$$

gdzie:

d_0 – średnica okrągłego otworu wlotowego, mm,

t – szerokość szczeliny, mm,

d_{90} – średnica ziarn warstwy wodonośnej bezpośrednio stykającej się z korpusem filtra odpowiadająca 90% przesiewu masy próbki; w przypadku stosowania obsypki należy przyjąć średnicę ziaren obsypki D_{90} , mm.

Według badań prowadzonych w byłym ZSRR (Wodgeo) można stosować zalecenia zawarte w tabeli 14.3.

Tabela 14.3

Zalecane wymiary otworów wlotowych d_0 lub szerokości szczelin t (Gonet, Macuda, 2004)

Filtry	Współczynnik równomierności uziarnienia	
	$U_d \leq 2$	$U_d \geq 2$
Perforowane		
a) perforacja okrągła		
b) perforacja szczelinowa	$(2,5 \div 3,0)d_{50}$ $(1,25 \div 1,5)d_{50}$	$(3,0 \div 4,0)d_{50}$ $(1,5 \div 2,0)d_{50}$
Prętowe	$1,25d_{50}$	$1,5d_{50}$
Siatkowe	$(1,5 \div 2,0)d_{50}$	$(2,0 \div 2,5)d_{50}$

Praktycznie największa średnica otworów wlotowych może wynosić $d_0 = 25$ mm, a szerokość szczelin do 10 mm. Stosuje się również dodatkowy warunek:

$$d_0 = 0,1D_z, \text{ mm} \quad (14.3)$$

$$t = 0,1D_z, \text{ mm} \quad (14.4)$$

gdzie D_z – zewnętrzna średnica perforowanej rury filtrowej, mm.

W drugim przypadku, kiedy otwory wlotowe nie kontaktują się bezpośrednio z ziarnami skały wodonośnej lub obsypki, średnica otworów lub szerokość szczelin wlotowych w szkielecie filtra nie ma innych ograniczeń poza wytrzymałościowymi i konstrukcyjnymi.

Najczęściej przyjmuje się:

$$d_0 = (10 \div 20), \text{ mm} \quad (14.5)$$

$$t = (3 \div 5), \text{ mm} \quad (14.6)$$

W niektórych przypadkach stosowane są większe wartości. Jednak w celu zapewnienia bezpieczeństwa pracy studni w razie uszkodzenia powierzchni filtrującej niektórzy autorzy proponują projektowanie otworów wlotowych takich jak w przypadku pierwszym. Ogólne zasady doboru wielkości szczelin do filtrów studziennych przedstawiono również w polskiej normie PN-G-02318:1994 *Studnie wiercone – Zasady projektowania, wykonania i odbioru*.

Szerokość szczelin w filtrach studziennych projektowanych do studni z obsypką filtracyjną określa się przy uwzględnieniu granulacji warstwy wodonośnej i granulacji obsypki wg wzoru:

$$t = 0,8D_{\min}, \text{ mm} \quad (14.7)$$

gdzie:

t – szerokość szczelin filtrów szczelinowych lub wymiar oczka siatki filtracyjnej; wysokość mostka odpowiada szerokości szczeliny, mm,

D_{\min} – najmniejszy wymiar ziarn obsypki wybranej frakcji przesiewu, mm.

Szerokość szczelin (t) w filtrach studziennych projektowanych do studni bez obsypki oraz wymiar oczek siatek filtracyjnych określa się również przy uwzględnieniu granulacji warstwy wodonośnej wg wzoru:

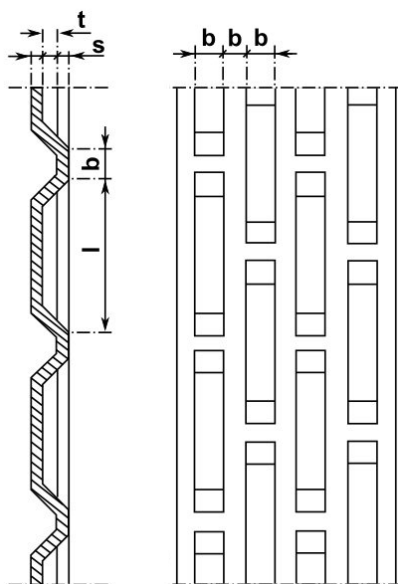
$$\frac{d_{50}}{3} \leq t \leq d_{50} \quad (14.8)$$

gdzie d_{50} – średnica ziarn warstwy wodonośnej odpowiadającej 50% przesiewu, mm.

W przypadku gdy znane są dokładne dane dotyczące warstwy wodonośnej, wielkość szczeliny (t) filtrów szczelinowych dobiera się wg następujących zasad:

- gdy $U_d = \frac{d_{60}}{d_{10}} \geq 6$, to szczelinę (t) należy tak dobrać, aby 60÷70% materiału warstwy wodonośnej nie przedostawało się przez szczeliny filtra lub oczka siatki filtracyjnej;
- gdy $U_d < 6$, to szczelinę (t) należy tak dobrać, aby 50÷60% materiału warstwy wodonośnej nie przedostawało się przez szczeliny filtra lub oczka siatki filtracyjnej,
- gdy woda ma szczególne właściwości korozyjne lub istnieją wątpliwości co do wiarygodności składu granulometrycznego warstwy wodonośnej, szczeliny filtrów powinny zatrzymać o 10% więcej materiału warstwy wodonośnej, niż podano powyżej.

Do filtrów rurowych perforowanych zalicza się również filtry „mostkowe”, tj. ze szczelinami wytłaczanymi w formie mostka (rys. 14.3).



Rys. 14.3. Filtr ze szczelinami wytłaczanymi w formie mostka

Wykonuje się je ze stalowych blach, które są zwijane i spawane wzdłużnie po przednim wytłoczeniu w nich szczelin z odpowiednią wysokością mostka. Po zwinięciu i zespawaniu blachy wykonuje się na końcach rury gwintowe złącze odpowiednio w formie czopa i mufy.

Szczeliny wytłaczane mają wysokość mostka od 0,5 mm do 4 mm, a ich szerokość i długość uzależnione są od grubości ścianki i średnicy filtra. Zaletami filtra „mostkowego” są bardzo dobre własności hydrauliczne oraz odporność na kolmatację mechaniczną i chemiczną.

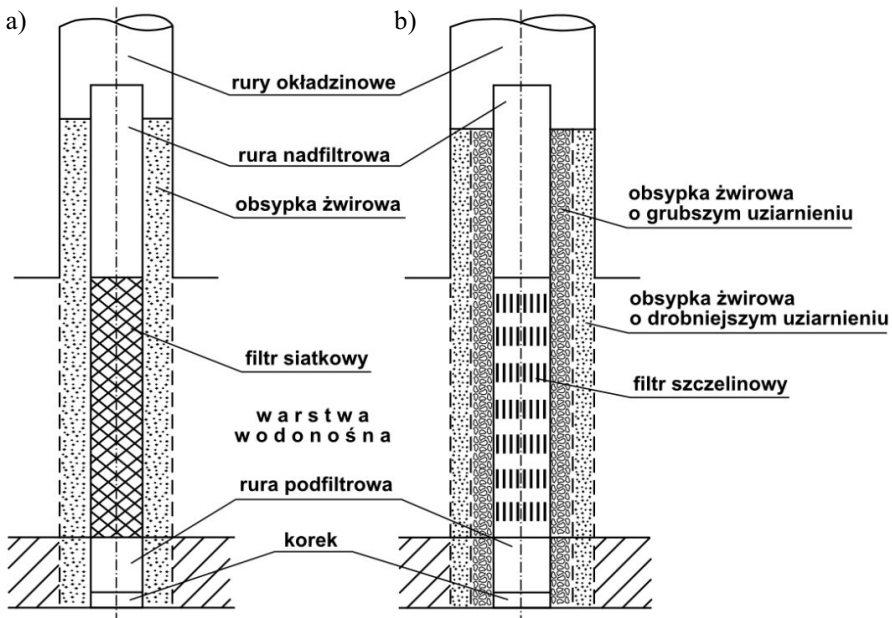
Filtry żwirowe

Filtr żwirowy zbudowany jest z perforowanej rury szkieletowej obsypanej, obłożonej lub przyklejonej jednej lub dwóch warstw obsypki filtracyjnej o granulacji dostosowanej do istniejących warunków hydrogeologicznych. Właściwie dobrana obsypka filtracyjna powinna przepuszczać wodę i drobne frakcje piasku, a zatrzymywać ziarna o większej średnicy i tym samym zabezpieczać warstwę wodonośną przed sufozją. Obsypka powinna być wykonana ze żwirów kwarcowych dobrze oczyszczonych o zawartości kwarcu powyżej 95%. W przypadku stosowania dwóch warstw obsypki warstwa zewnętrzna powinna mieć ziarna mniejsze i dostosowane do uziarnienia warstwy wodonośnej, a warstwa wewnętrzna – do uziarnienia warstwy zewnętrznej.

Filtry żwirowe stosowane są w Polsce z dużym powodzeniem od kilkudziesięciu lat i charakteryzują się wieloma zaletami. Można je stosować do ujmowania wody z warstw drobnoziarnistych, posiadają małe opory hydrauliczne i umożliwiają powstanie w strefie przyfiltrkowej naturalnego filtra. Wpływa to na poprawę warunków filtracji wokół otworu i podnosi sprawność hydrauliczną studni.

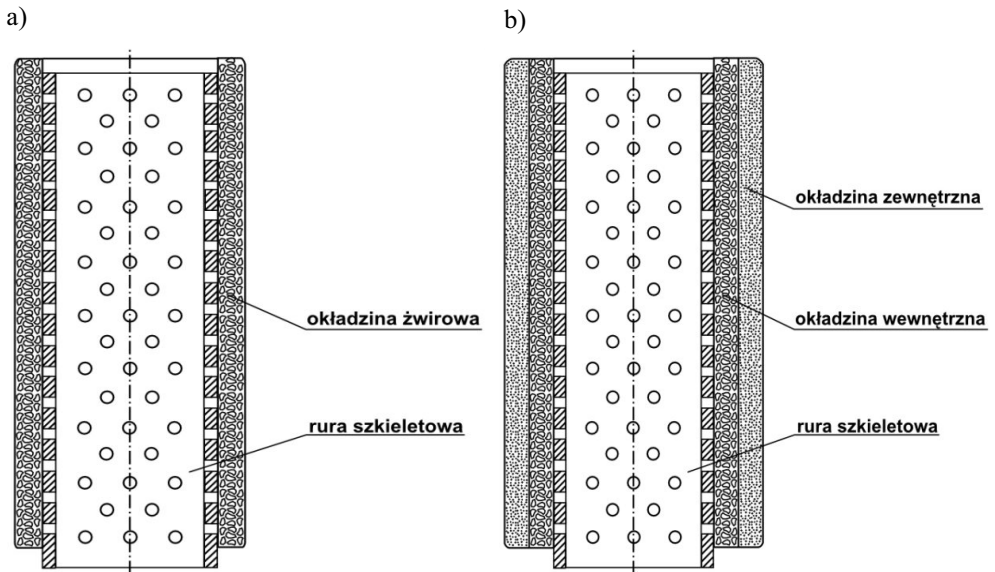
Filtry żwirowe w otworach normalnośrednicowych instaluje się najczęściej do głębokości około 200 m, a w otworach wielkośrednicowych do 500 m.

W praktyce przemysłowej stosuje się różne konstrukcje filtrów żwirowych. Mogą być wykonywane wprost w otworze wiertniczym (rys. 14.4) lub na powierzchni w postaci gotowych elementów nasuwanych na rurę szkieletową lub z przyklejaną obsypką (rys. 14.5 i rys. 14.6).



Rys. 14.4. Filtry żwirowe wykonane w otworze: a) z obsypką jednowarstwową; b) z obsypką dwuwarstwową

Przy wykonywaniu filtra żwirowego w otworze należy zwrócić szczególną uwagę zarówno na właściwe przygotowanie materiału filtracyjnego, jak i na sam proces jego sypania do otworu. Powinien to być żwir o odpowiedniej granulacji, czysty i sypany do otworu w sposób ciągły, aby zapobiec jego przesortowaniu w wodzie. Sypanie żwiru powinno się odbywać z wydajnością umożliwiającą utrzymanie w przestrzeni pierścieniowej takiej gęstości mieszaniny (żwiru i wody), która nie spowoduje wzrostu ciśnienia ponad dopuszczalną wartość ciśnienia zgniatającego filtr. Trudności te potęgują się w razie konieczności wykonania obsypki wielowarstwowej.



Rys. 14.5. Filtr żwirowy z okładziną klejną wykonaną na powierzchni:
a) okładzina jednowarstwowa; b) okładzina dwuwarstwowa



Rys. 14.6. Widok filtrów żwirowych z okładziną jednowarstwową o różnej granulacji, nasuwaną na perforowany szkielet

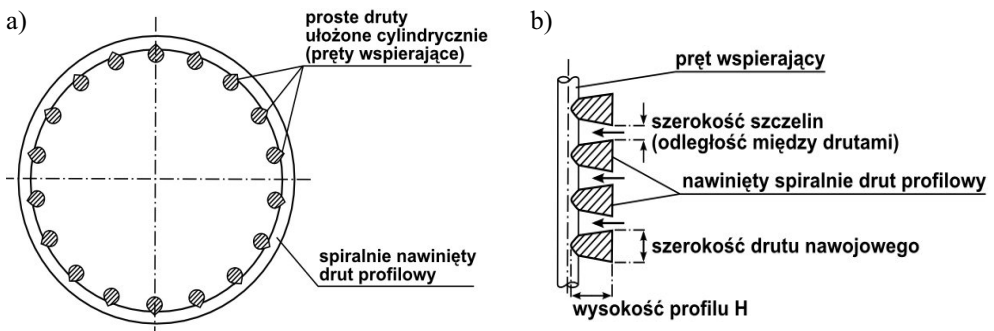
Filtry żwirowe (rys. 14.5 i rys. 14.6) wytwarzane na powierzchni mają długość od jednego do kilku metrów. Składają się z rury szkieletowej wykonanej z różnych materiałów (stal węglowa, stal nierdzewna, PCV, PCV-U, fibreglass, laminat itp.) z perforacją okrągłą, szczelinową, mostkową lub inną, obłożone są jedną lub dwoma warstwami klejonych żywicami granulowanych żwirków.

Gotowe filtry, o odpowiedniej długości i granulacji okładziny żwirowej, instalowane są w otworze wiertniczym i w razie potrzeby dodatkowo obsypane warstwą ob-sypki żwirowej.

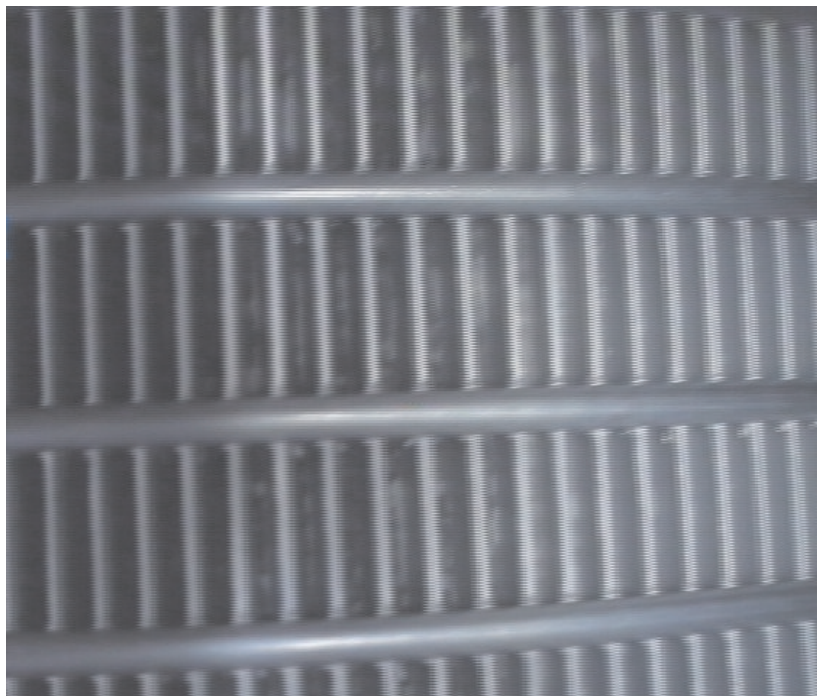
Bardzo ważną zaletą tych filtrów jest dokładne wykonanie ich warstwy filtracyjnej na powierzchni terenu. Wadą jest natomiast zmniejszenie porów warstwy filtracyjnej przez wypełnienie ich w części żywicą użytą do klejenia, utrudnianie tworzenia się naturalnego filtra w strefie przyotworowej oraz zatykanie porów filtra przez przepływające ziarna piasku z warstwy wodonośnej do wnętrza studni (Macuda *et al.*, 2007).

Filtry z powierzchnią czynną wykonaną z profilowanego drutu nawojowego

W wiertnictwie hydrogeologicznym szerokie zastosowanie znalazły opracowane w USA filtry typu Johnson, nazywane potocznie filtrami z drutu nawojowego (Bieske, 1998; Gonet Macuda, 2004; Powers, 2007). W zależności od zastosowania i planowanej głębokości zabudowy filtry te są wykonywane w różnych wersjach. W przypadku wiercenia otworów hydrogeologicznych o niezbyt dużych głębokościach (do ok. 200 m) w otworze zabudowuje się filtry typu Johnson wykonane z cylindrycznie ustawionych podłużnych stalowych prętów, wokół których nawijany jest odpowiednio profilowany drut, spawany punktowo w miejscach ich styku (rys. 14.7 i rys. 14.8) (Bieske, 1998). Metoda maszynowego nawijania profilowanego drutu i spawanie umożliwiają produkcję filtrów o żądanych parametrach geometrycznych (średnica i długość filtra), których wytrzymałość mechaniczna zależy od zastosowanego materiału i przekroju drutu. Dzięki zastosowaniu profilowanego drutu do budowy zewnętrznej powierzchni filtra osiąga się wysoką wytrzymałość na zewnętrzne ciśnienia zgniatające.



Rys. 14.7. Filtr szczelinowy typu Johnson z powierzchnią czynną wykonaną z drutu nawojowego: a) przekrój poprzeczny; b) przekrój pionowy wzdłuż pręta wspierającego (Bieske, 1998)



Rys. 14.8. Widok filtra szczelinowego typu Johnson

Podłużne pręty i spiralnie owinięte wokół nich profilowane druty wykonane są ze stali nierdzewnej o wysokich wartościach parametrów wytrzymałościowych. Szerokość i wysokość zastosowanego drutu nawojowego ma istotny wpływ na wytrzymałość filtra na ciśnienie zgniatające. Siły rozciągające są przyjmowane przez wzdłużnie ułożone pręty wspierające. W tabeli 14.4 przedstawiono wytrzymałość filtrów typu Johnson o różnej średnicy na zewnętrzne ciśnienie zgniatające. W filtrach o różnych średnicach nominalnych mogą być zastosowane nawijane druty o różnych szerokościach i wysokościach ich profili.

W przypadku konieczności zastosowania filtra o dużej średnicy jego wytrzymałość na ciśnienie zgniatające można zwiększyć przez skrócenie długości poszczególnych odcinków filtrów oraz przyspawanie pierścieni o grubości $10 \div 12$ mm, wzmacniających pręty wspierające

Normalna długość filtrów typu Johnson wynosi $5 \div 6$ m, a wersje o podwyższonej wytrzymałości na ciśnienie zgniatające mają długość 2 m. Dzięki zróżnicowanym parametrom wytrzymałościowym filtry te mogą być zabudowywane w odwiertach o głębokości powyżej 300 m i o dużych, przekraczających 0,4 m średnicach. W razie konieczności zabudowy filtra typu Johnson w otworach o głębokości powyżej 1000 m filtr nakładany jest na perforowaną rurę stalową, której parametry wytrzymałościowe decydują o głębokości, na jakiej filtr zostanie zainstalowany.

Tabela 14.4

Wytrzymałość wybranych średnic filtrów typu Johnson na ciśnienie zgniatające (Bieske, 1998)

Średnica nominalna	Średnica zewnętrzna [mm]	Profil	Wytrzymałość na ciśnienie zgniatające [MPa]					
			Szerokość szczeliny <i>t</i> [mm]					
			0,50	0,75	1,00	1,50	2,00	2,50
DN 100	114	250	1,57	1,45	1,35	1,18	1,05	0,94
DN 100	114	300	5,74	5,36	5,03	4,47	4,02	3,66
DN 150	168	250	0,49	0,45	0,42	0,38	0,33	0,29
DN 150	168	300	1,79	1,68	1,57	1,40	1,26	1,14
DN 200	219	300	0,81	0,76	0,71	0,63	0,57	0,52
DN 200	219	350	2,07	1,95	1,84	1,65	1,50	1,38
DN 250	273	300	0,42	0,39	0,37	0,33	0,29	0,27
DN 250	273	350	1,07	1,00	0,95	0,85	0,78	0,71
DN 300	323	325	0,42	0,39	0,37	0,33	0,30	0,27
DN 300	323	400	1,90	1,80	1,71	1,56	1,43	1,32
DN 350	356	350	0,48	0,45	0,43	0,38	0,35	0,32
DN 350	356	400	1,42	1,35	1,28	1,16	1,07	0,98
DN 400	406	350	0,32	0,31	0,29	0,26	0,24	0,22
DN 400	406	400	0,96	0,91	0,86	0,78	0,72	0,66
DN 450	457	375	0,38	0,36	0,34	0,31	0,28	0,26
DN 450	457	450	1,46	1,38	1,32	1,21	1,11	1,03
DN 500	508	400	0,49	0,46	0,44	0,40	0,37	0,34
DN 500	508	450	1,06	1,00	0,96	0,88	0,81	0,75
DN 600	610	450	0,62	0,58	0,55	0,51	0,47	0,43
DN 800	816	450	–	0,24	0,23	0,21	0,20	0,18
DN 950	980	450	–	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10

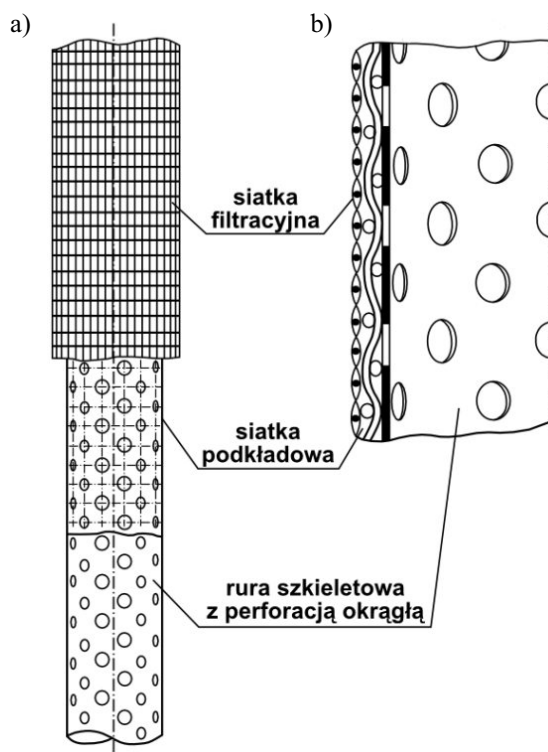
Zaletą filtrów typu Johnson, poza wysoką wytrzymałością mechaniczną i odpornością na korozję, jest możliwość doboru wysokości szczeliny między zwojami profilowanego drutu, co umożliwiła zabudowanie filtra w każdych warunkach hydrogeologicznych, w tym w piaskach o bardzo drobnym uziarnieniu. Kolejną zaletą tego typu filtrów jest rozszerzanie się szczeliny filtracyjnej do wewnątrz, co uniemożliwia ich

kolmatację drobnymi ziarnami piasku przepływającymi wraz z wodą. Ze względu na swoją konstrukcję filtry typu Johnson mają znacznie większą powierzchnię filtracyjną w porównaniu z filtrami szczelinowymi wykonanymi z rur stalowych i PCV oraz filtrów mostkowych (Driscoll, 1986; Roscoe Moss, 1990).

Filtry siatkowe

Filtry siatkowe przez wiele lat były powszechnie stosowane do ujmowania wód podziemnych, głównie ze względu na prostą budowę i niski koszt produkcji. W chwili obecnej coraz częściej zastępowane są przez inne rodzaje filtrów, które charakteryzują się niższymi oporami dla przepływu wody, mniejszą podatnością na korozję i kolmatację, wyższą odpornością na działanie substancji chemicznych stosowanych do renowacji studni oraz dłuższą żywotnością.

Filtry siatkowe (rys. 14.9) stosowane są do ujmowania wód podziemnych z luźnych warstw wodonośnych wykształconych w postaci piasków i żwirów. Są one wykonywane z rury perforowanej, na którą nawinięta jest siatka filtracyjna spełniająca funkcję filtra właściwego. Wymiary otworów siatki filtracyjnej są dostosowywane do uziarnienia warstwy wodonośnej.



Rys. 14.9. Filtr siatkowy: a) widok filtra; b) przekrój podłużny

Rura perforowana spełniająca funkcję szkieletu filtra może być wykonana z każdego materiału odpornego na korozję i o odpowiedniej wytrzymałości mechanicznej. Perforacja może mieć postać otworów okrągłych lub prostokątnych; rura ta decyduje o wytrzymałości mechanicznej filtra (rys. 14.10).



Rys. 14.10. Widok filtrów siatkowych

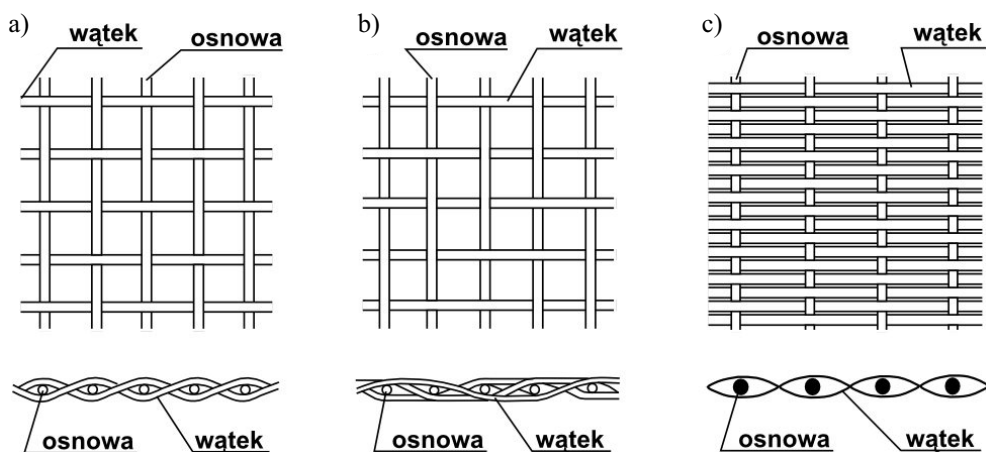
W celu poprawy hydraulicznych parametrów filtra i wykorzystania całej powierzchni siatki filtracyjnej na rurę szkieletową nakłada się podkład wykonany z drutu stalowego, żyłki nylonowej lub siatki podkładowej o dużych oczkach. Odstępy pomiędzy nawijanymi zwojami drutu i żyłki nylonowej powinny być na tyle małe, aby uniemożliwiły wgniecenie siatki do otworów rury szkieletowej pod wpływem nacisku obrytka i skał ze ściany otworu. Również siatka podkładowa powinna się charakteryzować odpowiednią średnicą i rozstawem oczek.

Filtry siatkowe powinny być wykonane z materiałów, które:

- nie powodują tworzenia się ogniw galwanicznych,
- są tanie i łatwo dostępne,
- nie tracą swoich właściwości w ośrodku wód podziemnych,
- cechują się niewielkim oporem hydraulicznym,
- nie sprzyjają wytrącaniu się związków chemicznych, głównie związków żelaza i manganu oraz węglanów.

Siatkę filtracyjną do filtra siatkowego dobiera się przy uwzględnieniu uziarnienia ujmowanej warstwy wodonośnej. Siatki filtracyjne oznacza się numerami, które charakteryzują ich przepustowość. Im większy jest numer siatki, tym mniejsza jej przepustowość.

Rozróżnia się trzy rodzaje siatek: o splocie kwadratowym, rządowym i rysowym (rys. 14.11).



Rys. 14.11. Sploty siatek filtracyjnych: a) splot kwadratowy; b) splot rządkowy; c) splot rysowy

Siatkę o splocie kwadratowym (rys. 14.11a) oznacza się numerem, który określa liczbę drutów przypadających na jeden cal (25,4 mm). Znając numer siatki i grubość drutów, można obliczyć szerokość otworów przelotowych:

$$l = \frac{25,4 - Na}{N}, \text{ mm} \quad (14.9)$$

gdzie:

- l – prześwit oczka (bok) siatki, mm,
- N – numer siatki odpowiadający liczbie drutów na cal,
- a – grubość drutu, mm.

Siatkę o splocie rządowym (rys. 14.11b) oznacza się podobnie jak siatkę o splocie kwadratowym. W tej siatce druty osnowy i wątku krzyżują się w ten sposób, że druty wątku przeplatają się przez dwa lub trzy druty osnowy, a miejsca splecenia każdego z następnymi drutów przesuwają się o jedną lub dwie pary drutów osnowy. Siatki te mają zwykle oczka kwadratowe, ale są bardziej elastyczne niż siatki o splocie kwadratowym. Siatki o oczkach prostokątnych mają różne grubości wątku i osnowy. Oznacza się je numerami ułamkowymi, np. 10/22. Pierwsza cyfra oznacza osnowę, a druga wątek.

Siatka o splocie rypсовym, tzw. krytym (rys. 14.11c), składa się z drutów osnowy o większej grubości oraz drutów wątku nieco cieńszych. Druty wątku są do siebie silnie dociśnięte, w wyniku czego otwory przelotowe są prostokątne i znacznie mniejsze niż w siatkach o splocie kwadratowym oraz rządowym. Wynika więc z tego, że przepustowość siatki rypсовej zależy przy tym samym numerze od grubości drutów osnowy. Numer siatki powinien być dostosowany do uziarnienia warstwy wodonośnej. Zbyt mała przepuszczalność siatek prowadzi do klinowania ich oczek ziarnkami piasku i sprzyja wytrącaniu się z wody związków chemicznych, głównie związków żelaza, oraz powoduje wzrost oporów przepływu. Częstym błędem w praktyce przemysłowej jest stosowanie siatek o oczkach nieprzepuszczających drobnych ziaren mineralnych, które powinny być usunięte ze strefy przyfiltrowej w celu utworzenia naturalnego filtru (Gonet, Macuda, 2004). Umożliwia on zmniejszenie oporów dopływu wody i powoduje wydłużenie czasu eksploatacji studni.

14.2. Projektowanie filtrów studni wierconych

14.2.1. Długość filtra i jego usytuowanie wysokościowe w warstwie wodonośnej

W praktyce przemysłowej stosuje się zasadę doboru jak największej długości filtra, ponieważ ten parametr w istotnym stopniu wpływa na wielkość jego powierzchni czynnej, a tym samym na wydajność studni. Długość filtra dostosowuje się do miąższości warstwy wodonośnej z uwzględnieniem przewidywanej depresji i zeskoku hydraulicznego podczas eksploatacji studni. W przypadku ujmowania warstw niejednorodnych często filtruje się tylko strefy o większej wodoprzepuszczalności. Długość filtra l_f waha się najczęściej od kilku do kilkunastu metrów, ale niekiedy dochodzi do kilkudziesięciu metrów. Do tej długości dobiera się taką zewnętrzną średnicę filtra, aby jego powierzchnia czynna była określona wzorem:

$$F_f = \pi D_z l_f w_f, \text{ m}^2 \quad (14.10)$$

gdzie:

D_z – zewnętrzna średnica filtra, m,

l_f – długość filtra, m,

w_f – współczynnik przepustowości filtra wyrażony ułamkiem dziesiętnym,

i zapewniała nieprzekraczanie dopuszczalnych prędkości filtracji v_{dop} określonej jednym ze stosowanych wzorów empirycznych (14.16)–(14.18).

Zgodnie z normą PN-G-02318:1994 *Studnie wiercone – Zasady projektowania, wykonania i odbioru* filtr o długości l_f powinien gwarantować spełnienie następujących warunków:

- Prędkość dopływu wody do studni przez szczeliny lub otwory filtra (v) w metrach na sekundę powinna wynikać ze wzoru:

$$v = \frac{Q}{\pi D_f l_f w_f} \leq 0,03, \text{ m/s} \quad (14.11)$$

gdzie:

- Q – projektowana wydajność studni, m^3/s ,
- D_f – średnica filtra, m,
- l_f – długość filtra, m,
- w_f – współczynnik przepustowości filtra wyrażony ułamkiem dziesiętnym.

- Prędkość przepływu wody poniżej pompy nie powinna przekraczać:
 - 1 m/s – w studniach o głębokości do 50 m,
 - 2 m/s – w studniach o głębokości powyżej 50 m.
- W przypadku stosowania do eksploatacji wody wirowych pomp głębinowych prędkość wody w przestrzeni pierścieniowej między pompą a rurą nie powinna przekraczać 2 m/s.

W ostatnich latach opublikowano wiele prac (Bieske, 1998; Harter, 2002; Misstear *et al.*, 2006), w których wykazano, że nieuwzględnienie warunków hydraulicznych przy projektowaniu filtrów prowadzi do daleko idących uproszczeń. W przypadku instalowania w otworze krótkiego filtra o dużej średnicy wewnętrznej warunki hydrauliczne, na które składają się ruch wody wewnątrz filtra i przepływ wody przez powierzchnię czynną, nie mają decydującego wpływu na cały przepływ wody. W przypadku projektowania długiego filtra o małej średnicy wewnętrznej nieuwzględnianie warunków hydraulicznych może prowadzić do znacznych błędów. Rozróżnienie średnicy wewnętrznej D_w i zewnętrznej D_z jest konieczne, zwłaszcza w filtrach nowej konstrukcji, np. żwirowych z osypką wykonaną na powierzchni. Filtr żwirowy okładzinowy o wymiarach 140/220 mm może być instalowany w otworze wierconym świdrem o średnicy 0,438 m. Zatem przy wykonaniu jednowarstwowej obsypki o grubości 0,109 m średnica wewnętrzna wynosi $D_w = 0,14$ m, a zewnętrzna $D_z = 0,438$ m.

Długość filtra i jego usytuowanie wysokościowe zależą przede wszystkim od:

- potrzebnej wydajności studni,
- litologicznego wykształcenia warstwy wodonośnej.

W przypadkach, gdy ujmowana jest jednorodna warstwa wodonośna o miąższości powyżej 15 m, długość filtra można dobierać przy uwzględnieniu oporów filtracyjnych występujących w samym filtrze, obsypce i strefie przyfiltrkowej warstwy wodonośnej (Krems, 1961; Mielcarzewicz, 2000).

W warunkach małej miąższości warstwy (< 15 m) długości filtra wstępnie można przyjmować z warunków:

$$l_f = (0,4 \div 0,8)M \quad \text{lub} \quad l_f = (0,4 \div 0,6)N \quad (14.12)$$

gdzie:

M – miąższość warstwy wodonośnej przy napiętym zwierciadle wody, m,

N – miąższość warstwy wodonośnej przy swobodnym zwierciadle wody, m.

W warstwach niejednorodnych lokalizacja filtra powinna obejmować najbardziej przepuszczalne odcinki warstwy wodonośnej. Odcinki bardzo mało przepuszczalne należy zabudować pełnymi rurami okładzinowymi, co znacznie obniża koszt wykonania studni i nie wpływa w istotnym stopniu na obniżenie jej wydajności. W przypadku wiercenia głębokich otworów hydrogeologicznych najczęściej budowa geologiczna determinuje warunki wysokościowego usytuowania filtra.

W praktyce przemysłowej stosowana jest również zasada odsuwania dolnej krawędzi filtra od spągu i górnej krawędzi filtra od stropy ujmowanej warstwy na odległość $0,2 \div 0,5$ m w napiętych horyzontach wodonośnych. Podyktowane to jest trudnościami związanymi z usytuowaniem filtra na dokładnie określonej wysokości w warstwie wodonośnej oraz koniecznością wyeliminowania kolmatacji filtra drobnymi frakcjami, szczególnie z partii stropowej warstwy nieprzepuszczalnej lub spągowej warstwy napinającej. W horyzontach swobodnych powyższa zasada dotyczy spągu warstwy wodonośnej, górna krawędź filtra powinna być natomiast tak usytuowana, aby nie następowało stałe lub okresowe odsłanianie części czynnej filtra (Gabryszewski, 1983).

14.2.2. Obliczanie średnicy filtra

Przy projektowaniu filtra studziennego istotne jest określenie zarówno jego średnicy wewnętrznej, jak i zewnętrznej. Wymiary te projektuje się przy uwzględnieniu:

- planowanej wydajności studni,
- składu granulometrycznego i warunków hydraulicznych warstw wodonośnych,
- wymiarów urządzeń do pompowania wody, jeżeli będą umieszczone w obrębie filtra,
- dopuszczalnej prędkości wlotowej z warstwy wodonośnej do wnętrza filtra,
- prędkości przepływu wody wewnątrz filtra, w przypadku długich filtrów o małych średnicach.

Przyjęta średnica filtra, zwłaszcza zewnętrzna, decyduje o konstrukcji otworu hydrogeologicznego i tym samym ma zasadniczy wpływ na koszty wykonania studni oraz eksploatację wody.

Średnicę wewnętrzną filtra D_w można obliczyć przy wykorzystaniu równania:

$$D_w = \sqrt{\frac{4Q}{\pi u_p}}, \text{ m} \quad (14.13)$$

gdzie:

Q – projektowana wydajność studni, m^3/s ,

u_p – dopuszczalna prędkość przepływu wody wewnątrz filtra, m/s .

W literaturze, zwłaszcza niemieckiej (Krems, 1961; Bieske, 1998), zalecane jest kryterium $u_p \leq 0,5 \text{ m/s}$, przy którego spełnieniu wartość strat hydraulicznych wewnątrz filtra jest niewielka i można ją pominąć. Dopuszczanie większych prędkości u_p powoduje wzrost strat hydraulicznych, ale ich wielkość w każdym przypadku uzależniona jest od konstrukcji filtrów. Jednak w dążeniu do obniżania całkowitych kosztów wykonania studni, a przez to również do zmniejszenia średnic filtrów i ograniczenia kosztów ich produkcji, w literaturze (Macuda *et al.*, 1987; Powers *et al.*, 2007) zaleca się stosowanie prędkości przepływu w przedziale $0,5 \div 1,0 \text{ m/s}$. Stosowanie większych prędkości przepływu wody wewnątrz filtra dopuszcza się tylko w uzasadnionych przypadkach, np. przy eksploatacji studni odwadniających i innych o krótkim okresie pracy.

Zgodnie z normą PN-G-02318:1994 *Studnie wiercone – Zasady projektowania, wykonania i odbioru* średnica wewnętrzna filtra D_w powinna spełniać warunek opisany nierównością:

$$D_w \geq aD_a, \text{ m} \quad (14.14)$$

gdzie:

a – współczynnik, $a = 1,1$ – w studniach o głębokości do 50 m, $a = 1,2$ – w studniach o głębokości powyżej 50 m,

D_a – średnica zewnętrzna agregatu pompowego powiększona o średnicę kabla zasilającego, m.

Średnicę zewnętrzną filtra D_z oblicza się na podstawie wzorów określających dopuszczalną prędkość wlotową wody na granicy filtra i warstwy wodonośnej. Przy zakładanej wydajności studni i ustalonej długości czynnej filtra jego średnicę zewnętrzną oblicza się wzorem:

$$D_z = \frac{Q}{\pi l_f w_f}, \text{ m} \quad (14.15)$$

Za średnicę zewnętrzną filtra uważa się jego zewnętrzną powierzchnię stykającą się bezpośrednio z warstwą wodonośną. Będzie to więc w przypadku filtra:

- rurowego perforowanego – średnica zewnętrzna rury filtrowej;
- siatkowego – średnica zewnętrznej powierzchni siatki filtracyjnej;

- zwirowego – średnica zewnętrznej powierzchni płaszczka obsypki, czyli średnica wierconego otworu;
- specjalnej konstrukcji – średnica zewnętrznych powierzchni elementów z uwzględnieniem poprawek wynikających z kształtu filtra i zmniejszonej powierzchni wejściowej.

Zgodnie z normą PN-G-02318:1994 *Studnie wiercone – Zasady projektowania, wykonania i odbioru* średnica filtra D_z powinna spełniać warunek opisany wzorem (14.11).

Z literatury (Bieske, 1998; Gonet, Macuda, 2004; Misstear *et al.*, 2006) wynika natomiast, że dopuszczalną prędkość wejściową studni:

- z ciągłą eksploatacją można obliczyć wzorem Truelsena:

$$v_{dop} = \frac{\sqrt{k}}{30} = 0,0333 \cdot \sqrt{k}, \text{ m/s} \quad (14.16)$$

- z czasową eksploatacją można obliczyć wzorem Sichardta:

$$v_{dop} = \frac{\sqrt{k}}{15} = 0,0669 \cdot \sqrt{k}, \text{ m/s} \quad (14.17)$$

- z krótkotrwałą eksploatacją można obliczyć wzorem Abramowa:

$$v_{dop} = 0,0333 \cdot \sqrt[3]{k}, \text{ m/s} \quad (14.18)$$

(gdzie k – współczynnik filtracji, m/s).

Przy projektowaniu studni powinien być również spełniony warunek:

$$v = \frac{Q}{\pi D_z l_f w_f} \leq v_{dop}, \text{ m/s} \quad (14.19)$$

Empiryczny wzór Abramowa dotyczy prędkości filtracji niepowodującej sufozji. Wzory Sichardta i Truelsena są również empiryczne i przez wielu autorów uważane są za wzory, z których otrzymuje się zbyt małe dopuszczalne wydajności studni.

Niektórzy autorzy dowodzą, że przy prawidłowo dobranym filtrze do warstwy wodonośnej i po długotrwałym pompowaniu oczyszczającym można eksploatować studnie z dużymi wydajnościami bez obawy przekroczenia prędkości dopuszczalnej. W ostatnich latach obserwuje się tendencję do sprawdzania przyjętej średnicy filtra D_z przy ograniczeniu prędkości filtracji do wartości zapewniającej ochronę przed powstaniem osadów pochodzenia chemicznego i biochemicznego.

Przyjmuje się, że przekroczenie maksymalnej wartości dla ruchu laminarnego sprzyja powstawaniu procesu kolmatacji:

$$v \leq v_{kryt}, \text{ m/s} \quad (14.20)$$

gdzie:

- v – prędkość filtracji w warstwie wodonośnej na granicy z filtrem, a w przypadku filtrów z obsypką prędkość filtracji w obrębie obsypki, m/s,
- v_{kryt} – krytyczna prędkość filtracji, po której przekroczeniu ruch wody zmienia się z laminarnego na turbulentny, m/s.

Prędkość krytyczną v_{kryt} oblicza się wzorem:

$$v_{kryt} = \frac{Re_{kryt} \nu n_p^{\frac{1}{3}}}{d_e}, \text{ m/s} \quad (14.21)$$

gdzie:

- Re_{kryt} – krytyczna wartość liczby Reynoldsa, po której przekroczeniu ruch wody w ośrodku porowatym zmienia się z laminarnego na turbulentny, – , $Re \in (100 \div 200)$,
- ν – kinetyczny współczynnik lepkości wody, m^2/s ,
- n_p – porowatość skał,
- d_e – efektywna średnica ziaren skały jednorodnej, m.

Niektórzy autorzy uważają jednak, że ograniczenie prędkości filtracji do v_{kryt} jest za daleko idące ze względów ekonomicznych, zwłaszcza w warstwach wodonośnych o małej predyspozycji hydrochemicznej do tworzenia osadów kolmatujących filtr. Według tych autorów można przyjmować prędkości filtracji mieszczące się w strefie ruchu przejściowego, aż do $Re \approx 200$. Stosowanie wzoru (14.21) wymaga przyjęcia krytycznej wartości liczby Reynoldsa Re_{kryt} oraz średnicy efektywnej ziarn d_e . Autorzy prac dotyczących tego zagadnienia podają rozbieżne informacje. Wydaje się jednak, że najbardziej miarodajne wartości podano w pracy Ludewiga (Wieczysty, 1982) (tab. 14.5).

Wartość efektywnej średnicy ziaren w skałach porowatych o uziarnieniu niejednorodnym może być określona wzorem:

$$d_e = l d_{10}, \text{ mm} \quad (14.22)$$

gdzie:

- l – empiryczny współczynnik pozwalający na podstawie znajomości współczynnika niejednorodności uziarnienia $U_d = d_{60}/d_{10}$ znaleźć współczynnik c (tab. 14.6),
- d_{10} – średnica ziaren na krzywej przesiewu odpowiadająca 10% masowej zawartości w badanej próbce, mm.

Należy zaznaczyć, że stosowanie wzoru (14.21) wiąże się z daleko posuniętym uproszczeniem z powodu zastąpienia rzeczywistego ośrodka porowatego o dużej niejednorodności ośrodkiem modelowym zbudowanym z ziaren o jednakowej średnicy d_e .

Tabela 14.5

Wartości krytycznej liczby Reynoldsa przy porowatości skał $n_p = 0,4$
wg Ludewiga (Wieczysty, 1982)

Średnica ziaren [mm]	Krytyczna wartość liczby Reynoldsa *
1,0÷1,5	4,0
1,5÷2,0	5,5
2,0÷3,0	6,5
3,0÷5,0	9,0
5,0÷7,0	10,5
7,0÷10,0	18,0
10,0÷15,0	24,0

* Podane w tabeli 14.5 dane odnoszą się do ograniczonego przedziału średnic ziarn oraz do jednej wartości $n_p = 0,4$.

Tabela 14.6

Wartości empirycznego współczynnika l i współczynnika równomierności uziarnienia
(Gonet, Macuda, 2004)

U_d	l	U_d	l
1,0÷1,25	1,1	3,5÷4,0	2,05
1,25÷1,50	1,3	4,0÷5,0	2,15
1,50÷2,0	1,5	5,0÷6,0	2,25
2,0÷2,5	1,7	6,0÷7,0	2,30
2,5÷3,0	1,85	7,0÷10,0	2,35
3,0÷3,5	1,95	> 10,0	2,40

W celu ułatwienia podjęcia decyzji w sprawie dopuszczalnej prędkości filtracji w warstwie wodonośnej na granicy z filtrem należy obliczyć dopuszczalną wydajność eksploatacyjną studni Q_{dope} wzorem:

$$Q_{dope} = 2\pi D_z l_f v_{dop}, \text{ m}^3/\text{s} \quad (14.23)$$

gdzie:

- D_z – zewnętrzna średnica obrysu filtra, w przypadku filtra z obsypką należy przyjąć średnicę wiercenia, m,
- l_f – długość filtra, m,
- v_{dop} – dopuszczalna prędkość przepływu wody na granicy warstwy wodonośnej i filtra, m/s.

14.2.3. Przepustowość filtra

Przepustowość filtra definiowana jest jako wielkość strumienia objętości wody, który może przepłynąć przez filtr przy dopuszczalnej prędkości dopływu w jednostce czasu. Przepustowość filtra na odcinku długości 1 m nazywana jest jednostkową, a na powierzchni 1 m² przepustowością właściwą.

Przepustowość filtra jest bezpośrednio powiązana z jego konstrukcją, a zwłaszcza z powierzchnią czynną filtra, którą charakteryzuje tzw. współczynnik przepustowości filtra w_f . Jest to iloraz powierzchni czynnej filtra do jego powierzchni całkowitej, a wartość współczynnika w_f podawana jest najczęściej liczbowo ($w_f < 1$) lub w procentach ($w_f < 100\%$).

Za idealny filtr należałoby zatem uznać konstrukcję o współczynniku przepustowości zbliżonym do 100%, jednak wykonanie takiej konstrukcji jest niemożliwe.

W studniach ujęciowych, przeznaczonych do długotrwałej eksploatacji, winno się stosować filtry o jak największej przepustowości. Badania różnych konstrukcji filtrów wyciągniętych ze studzien po kilku latach ich eksploatacji wykazują, że proces kolmatacji filtrów o większej przepustowości przebiega wolniej i trwa dłużej, a przeprowadzane zabiegi renowacyjne charakteryzują się większą efektywnością. W związku z tym najlepszymi konstrukcjami filtrów będą te, które odpowiadają warunkom uzyskania największych wydatków eksploatacyjnych studni i bardzo powolnym ich spadkom w czasie (Driscoll, 1986). Tylko w studniach przeznaczonych do krótkotrwałej pracy i udostępniania utworów o niskiej przepuszczalności można instalować filtry charakteryzujące się niewielkimi współczynnikami przepustowości w granicach 10÷15%.

14.2.4. Długość rury podfiltrowej

Rura podfiltrowa stanowi dolną część kolumny filtrowej, poniżej części czynnej filtra i najczęściej wykonywana jest z tego samego materiału co filtr oraz ma tę samą średnicę. Stanowi ona osadnik dla drobnych frakcji mineralnych przedostających się do wnętrza studni z warstwy wodonośnej podczas jej eksploatacji. W wielu przypadkach w rurze podfiltrowej gromadzą się również narzędzia i sprzęt eksploatacyjny, który upadnie do studni podczas prowadzenia prac eksploatacyjnych i remontowych.

Długość rury podfiltrowej dobierana jest z uwzględnieniem przewidywanej intensywności piaszczenia studni oraz długości części czynnej filtra i waha się od kilku do kilkunastu metrów. W przypadku studni o głębokości 50÷100 m długość rury podfiltrowej najczęściej wynosi 3÷5 m, a w przypadku studni głębszych może wynosić nawet do 10 m.

Rura podfiltrowa musi być od spodu zamknięta i wykonuje się to za pomocą przyspawanego lub dokręconego denka.

14.2.5. Długość rury nadfiltrowej

Rura nadfiltrowa, która stanowi górną część kolumny filtrowej, umożliwia instalację filtra w warstwie wodonośnej. W studniach o niewielkiej głębokości jest ona wprowadzona do powierzchni terenu. W studniach głębokich z tzw. filtrem traconym jej długość wynika z konstrukcji studni i waha się najczęściej od kilku do kilkudziesięciu metrów, ale w niektórych przypadkach może wynosić nawet kilkaset metrów. Rura nadfiltrowa może mieć średnicę równą lub większą od średnicy filtra, co umożliwia zapuszczenie pompy głębinowej o korzystniejszych parametrach eksploatacyjnych. Rura nadfiltrowa umożliwia również uszczelnienie przestrzeni pierścieniowej między rurą nadfiltrową a kolumną rur okładzinowych. Uszczelnienie to najczęściej wykonuje się jako pojedyncze lub podwójne z różnych materiałów, takich jak guma, metale korowe, tworzywa sztuczne i inne. W szczególnych przypadkach uszczelnienie rury nadfiltrowej wykonywane jest w postaci różnego rodzaju pakierów o skomplikowanej konstrukcji.

15. Filtrowanie otworu i zasady doboru obsypki żwirowej

15.1. Filtrowanie otworu

Sposób zafiltrowania otworu zależy od jego przeznaczenia, wykształcenia utworów wodonośnych, charakteru zwierciadła wody, planowanej wydajności studni, typu urządzeń pompowych, jakości ujmowanych wód podziemnych oraz wymagań zamawiającego. Do ujmowania wody z utworów charakteryzujących się wysoką stabilnością ściany otworu z reguły projektuje się studnie bezfiltrowe. W przypadku ujmowania warstw luźnych i małostabilnych instaluje się w otworze odpowiednio zaprojektowaną kolumnę filtrową.

W warstwach wodonośnych o zwierciadle swobodnym długość filtra i głębokość jego posadowienia są ograniczone miąższością warstwy i możliwością do uzyskania wielkością depresji. Zazwyczaj filtruje się warstwę wodonośną o najkorzystniejszym wykształceniu granulometrycznym. Taki sposób filtrowania nie ogranicza dopływu wody do studni tylko w strefie przyfiltrowej. Dopływ następuje z całej miąższości warstwy wodonośnej, również z jej części o drobniejszym wykształceniu granulometrycznym.

Ze względu na ochronę jakości eksploatowanych wód podziemnych należy unikać ujmowania jednym odcinkiem filtra utworów o bardzo zróżnicowanym wykształceniu, np. żwirów i piasków pylastych.

Z uwagi na niekorzystny wpływ środowiska fizyczno-chemicznego wód podziemnych, zwłaszcza o właściwościach agresywnych, powszechnie stosuje się filtry z tworzyw sztucznych i stali nierdzewnej. Filtry wykonane z tworzyw sztucznych mają jednak ograniczone głębokości stosowania ze względu na niewielkie wytrzymałości, zwłaszcza na zgniatanie. Filtry stalowe mogą być instalowane praktycznie na każdej głębokości.

Sposób zafiltrowania otworu przedstawiony jest w projekcie prac geologicznych. W przypadku projektowania studni z kolumną filtrową należy sporządzić szczegółowy projekt zafiltrowania otworu zawierający m.in. przedział głębokości zafiltrowania, średnicę i długość kolumny filtrowej, rodzaj i konstrukcję filtra oraz granulację i grubość obsypki żwirowej (Gonet, Macuda, 2004). Jednak ustalenie ostatecznej głęboko-

ści posadowienia filtra, jego długości i dobru osypki jest uzależnione od rzeczywistego profilu geologicznego i ostateczna decyzja należy do hydrogeologa dozorującego prace wiertnicze.

15.2. Prace przygotowawcze

W celu zapewnienia bezpieczeństwa i prawidłowego przebiegu prac związanych z filtrowaniem otworu, należy odpowiednio wcześniej zgromadzić na wiertni niezbędne materiały i osprzęt. Transport kolumny filtrowej oraz jej rozładunek i magazynowanie na wiertni powinny być prowadzone w taki sposób, aby nie doszło do mechanicznego uszkodzenia któregokolwiek z jej elementów.

Przed zapuszczeniem kolumny filtrowej do otworu (rury podfiltrowe, filtr i rury nadfiltrowe) należy zweryfikować zarówno długość, jak i parametry wytrzymałościowe jej elementów i dokonać wizualnej weryfikacji ich stanu technicznego. Dotyczy to w szczególności filtra studziennego, który nie powinien mieć żadnych uszkodzeń mechanicznych, a jego konstrukcja powinna być zgodna z projektem prac geologicznych.

Aby ułatwić instalację kolumny filtrowej w otworze, poszczególne jej elementy powinny być ułożone zgodnie z kolejnością zapuszczania.

W celu osiowego ułożenia kolumny filtrowej w otworze należy na całej długości wyposażyć ją w prowadniki. W literaturze fachowej (Schafer, 1971; Driscoll, 1986; Mansuy, 1998) zaleca się, w zależności od rodzaju filtra, jego średnicy i długości poszczególnych odcinków, umieszczanie prowadników w odległości od 5 m do 10 m. Osiove zainstalowanie kolumny filtrowej w otworze umożliwi wykonanie obsypki żwirowej o jednakowej grubości, co w istotny sposób wpływa na prawidłową pracę studni.

W przypadku otworów wierconych metodą obrotową z płuczką należy rozważyć możliwość jej wymiany na wodę bezpośrednio przed zapuszczeniem kolumny filtrowej do otworu lub zmniejszenia jej gęstości poprzez wymianę płuczki w otworze. Wymiana płuczki na wodę wpływa na obniżenie stopnia kolmatacji filtra fazą stałą z płuczki i umożliwia skrócenie procesu uaktywniania studni. Zabieg ten jest możliwy tylko w przypadkach, gdy prace wiertnicze prowadzone są w utworach o dużej stabilności ścian otworu.

Obsypka żwirowa dostarczona na wiertnię powinna być wcześniej poddana zabiegom dezynfekującym i zmagazynowana w sposób uniemożliwiający jej kontakt z podłożem. Objętość obsypki i jej uziarnienie powinno być zgodne z zatwierdzonym projektem prac geologicznych.

Przed rozpoczęciem instalacji kolumny filtrowej w otworze należy komisyjnie dokonać odbioru kolumny filtrowej i sprawdzić głębokość wykonanego otworu. W skład komisji powinni wchodzić: przedstawiciel inwestora, geolog nadzorujący prace wiertnicze oraz kierownik otworu. Wyniki komisyjnego odbioru powinny być wpisane do protokołu (zał. 6).

15.3. Zapuszczanie filtra do otworu

W praktyce przemysłowej istnieje wiele różnych metod instalacji filtrów w otworze. Wybór techniki i technologii instalacji filtra zależy od: warunków hydrogeologicznych ujmowanej warstwy wodonośnej, rodzaju filtra, metody wiercenia otworu oraz jego konstrukcji.

Rozpoczęcie zapuszczania kolumny filtrowej do otworu powinno nastąpić po sprawdzeniu głębokości otworu i pozytywnym wyniku jego szablonowania. Prace te powinny być prowadzone przy wykorzystaniu urządzenia wiertniczego o udźwigu przewyższającym masę kolumny filtrowej oraz osprzętu (huczki, kliny, klucze mechaniczne i in.) dostosowanego do rodzaju materiału filtra i rur okładzinowych. Stosowanie specjalistycznego osprzętu do zapuszczania kolumny rur okładzinowych, a zwłaszcza filtra, ogranicza w znacznym stopniu możliwości ich mechanicznego uszkodzenia.

Instalowanie kolumny filtrowej w otworze rozpoczyna się od zapuszczenia rury podfiltrowej, zamkniętej od dołu szczelnym denkiem, a następnie filtra i rur nadfiltrowych.

Kolumna filtrowa, z rurami nadfiltrowymi wyprowadzonymi do powierzchni terenu, zapuszczana jest przy wykorzystaniu ścisków do rur stawianych w płycie montażowej i elewatorów z łącznikiem (huczkiem). Łącznik umożliwia dodawanie kolejnych rur okładzinowych lub odcinków filtra do podtrzymywanej w ściskach i opuszczonej do otworu części kolumny filtrowej.

W przypadku stosowania traconej kolumny filtrowej, jej instalacja w otworze odbywa się najczęściej z wykorzystaniem rur płuczkowych. Kolumna filtrowa podczas zapuszczania do otworu połączona jest z rurami płuczkowymi za pomocą łącznika z lewym gwintem, umożliwiającym ich rozłączenie po zainstalowaniu kolumny filtrowej w otworze. Do połączenia rur płuczkowych z kolumną filtrową stosowane są również łączniki o specjalnej konstrukcji, dostosowanej do rodzaju prac planowanych do wykonania w otworze po zainstalowaniu kolumny filtrowej. Do takich prac należy np. wykonanie obsypki żwirowej wokół filtra w głębokich otworach hydrogeologicznych poprzez rury płuczkowe.

W przypadku zapuszczania do otworu kolumny filtrowej wykonanej z rur PCV lub rur kompozytowych (np. fibreglass) należy zastosować specjalistyczny osprzęt, dostosowany do ich właściwości i parametrów mechanicznych.

15.4. Rola obsypki żwirowej

Obsypka żwirowa stanowi sztucznie wykonaną wkładkę mineralną z piasku i żwiru, pomiędzy filtrem a warstwą wodonośną. Specjalna rola obsypki w budowie studni wynika z jej własności filtracyjnych, które są kilkadziesiąt razy wyższe od warstwy wodonośnej. Spowodowane jest to znacznie większymi średnicami ziaren obsypki w porównaniu do ziarn warstwy wodonośnej.

Podstawowe zadania obsypki żwirowej to (Schafer, 1971; Misstear *et al.*, 2006):

- zmniejszenie prędkości przepływu wody w strefie przyfiltrowej,
- zmniejszenie oporów przepływu wody przez filtr studzienny poprzez umożliwienie wykonania w jego szkielecie otworów lub szczelin o większych rozmiarach,
- zapobieganie piaszczeniu otworu studziennego w wyniku zatrzymywania drobnych cząstek mineralnych dopływających z warstwy wodonośnej,
- utrzymanie stabilności ściany otworu studziennego,
- wydłużenie żywotności eksploatacyjnej studni.

Obsypkę żwirową należy wykonywać z naturalnego, jednorodnego i sortowanego piasku lub żwiru kwarcowego, o ziarnach gładkich i możliwie okrągłych. Ze względów hydraulicznych najkorzystniejsze parametry uzyskują obsypki luźno wprowadzane do przestrzeni pierścieniowej otworu, ponieważ uzyskują porowatości dochodzące do 35%.

W praktyce przemysłowej w zależności od wykształcenia litologicznego warstwy wodonośnej, typu filtra i przeznaczenia otworu studziennego obsypki żwirowe wykonuje się jako jedno- i dwuwarstwowe.

15.5. Metody doboru obsypok żwirowych

Dobór obsypki żwirowej stanowi jeden z najważniejszych etapów projektowania, wykonania i eksploatacji studni. Wielkość uziarnienia żwirków filtracyjnych i liczba warstw obsypki określa się z uwzględnieniem składu granulometrycznego warstwy wodonośnej. W przypadku stosowania obsypki wielowarstwowej szczególną uwagę należy zwracać na dobór obsypki będącej w kontakcie z warstwą wodonośną. Pierwsza (zewnątrzna) warstwa stanowi warstwę filtracyjną, a kolejna stanowi szkielec podtrzymujący. W obsypce od zewnętrznej strony należy używać ziaren mniejszych, a od wewnętrznej ziaren większych.

Warstwa obsypki żwirowej powinna charakteryzować się małymi oporami hydraulicznymi przepływającej wody i uniemożliwiać przenikanie z warstwy wodonośnej do filtra piasku z wyjątkiem jego najdrobniejszych frakcji, które pojawiają się przy natężeniu pompowania nie mniejszym niż 90% wydajności eksploatacyjnej studni. Ilość tego piasku nie powinna prowadzić do szybkiego zniszczenia pompy lub nadmiernego przyrostu osadu w rurze podfiltrowej (Driscoll, 1986; Roscoe Moss, 1990).

Ogólnie można stwierdzić, że właściwy dobór obsypki do uziarnienia warstwy wodonośnej powinien zapewnić stabilną pracę studni, bez piaszczenia i szybkiej kolmatacji filtra.

W literaturze fachowej (Bieske, 1998; Roscoe Moss, 1990; Misstear *et al.*, 2006) znanych jest bardzo wiele metod doboru obsypok żwirowych. Niektórzy autorzy proponują bardzo proste zasady doboru, ale do określonych rodzajów warstw wodonośnych, natomiast inni podają bardziej uniwersalne zasady doboru.

Niżej przedstawiono wybrane metody doboru obsypki filtracyjnych, które mogą być wykorzystane w praktyce przemysłowej.

Na podstawie prac badawczych prowadzonych w byłym Związku Radzieckim, dotyczących doboru obsypki filtrowych, można podać następujące zalecenia (Gonet, Macuda, 2004):

- iloraz przeciętnych średnic ziaren obsypki zewnętrznej i warstwy wodonośnej powinien wynosić:

$$n = \frac{D_{50}}{d_{50}} = 7 \div 15 \quad (15.1)$$

a ilość drobnych cząstek w materiale obsypki (mniejszych niż 0,1 mm) nie powinna przekraczać 5%;

- liczbę warstw obsypki, nie więcej niż dwie, dobiera się wg ilorazu:

$$n = \frac{D''_{50}}{D_{50}} = 5 \quad (15.2)$$

oraz dopuszczalnych wymiarów otworów wlotowych w rurze szkieletowej;

- współczynniki nierównomierności U_d powinny być mniejsze niż 5 lub co najwyżej równe 5:

$$U_d = \frac{d_{60}}{d_{10}} \leq 5 \quad (15.3)$$

- grubość warstwy obsypki powinna wynosić co najmniej 30÷40 mm w filtrach przygotowanych w otworze, przy czym im głębsza studnia, tym grubsza powinna być obsypka.

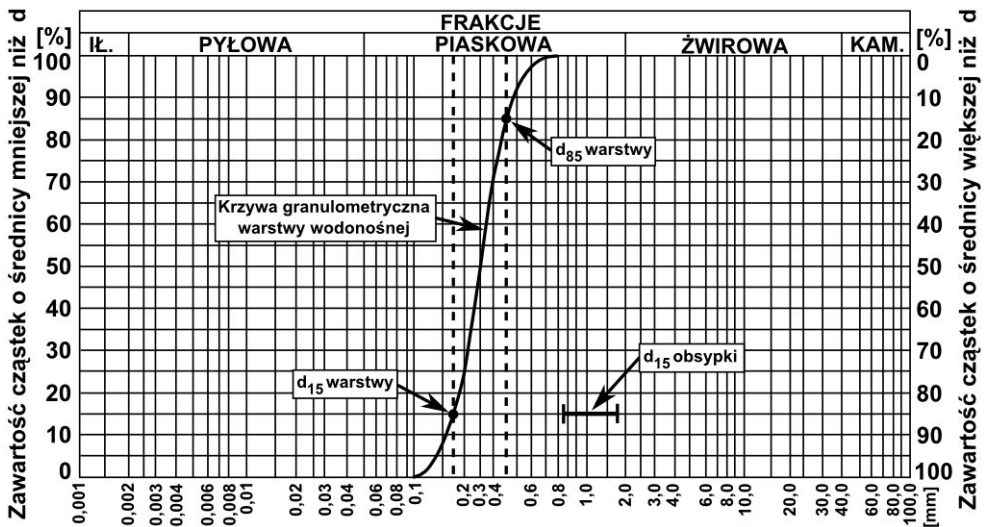
W praktyce przewiduje się grubość obsypki pojedynczej 75 mm, a podwójnej co najmniej 150 mm. W razie stosowania kilku warstw obsypki, obsypka o uziarnieniu drobniejszym nie powinna być cieńsza niż obsypka następna (grubsza). Filtry wykonane na powierzchni można ukształtować bardzo starannie, układając kolejno poszczególne warstwy obsypki, które w tym przypadku mogą być nieco cieńsze, gdyż są równomiernie ułożone wokół rury szkieletowej.

Jedną z bardziej uniwersalnych metod doboru obsypki żwirowej jest metoda opracowana w 1921 roku przez Karla Terzagiego. Autor w tej metodzie za średnicę charakterystyczną warstwy wodonośnej oraz obsypki filtracyjnej przyjął wartość średnicy zastępczej d_{15} (rys. 15.1) oraz założył, że średnica ziarna odpowiadająca 15% najmniejszych ziaren obsypki D_{15} powinna być czterokrotnie większa od średnicy odpowiadającej 15% najmniejszych ziaren warstwy wodonośnej d_{15} . Zrobił również dodat-

kowe założenie, że średnica odpowiadająca 15% najmniejszych ziaren obsypki D_{15} powinna być czterokrotnie mniejsza od średnicy odpowiadającej 85% największych ziaren warstwy wodonośnej d_{85} . Warunki te można opisać nierównością:

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} < 4 < \frac{D_{15}}{d_{15}} \quad (15.4)$$

Spełnienie prawej strony nierówności (15.4) spowoduje, że obsypka będzie posiadała dużo większą przepuszczalność niż warstwa wodonośna. Umożliwia to znaczne zmniejszenie prędkości przepływu wody przez obsypkę filtracyjną, a tym samym ogranicza wypłukiwanie drobnych frakcji z warstwy wodonośnej. Lewa strona nierówności (15.4) ogranicza natomiast zbyt dużą granulację obsypki, co umożliwia swobodny przepływ ziaren warstwy wodonośnej do studni.

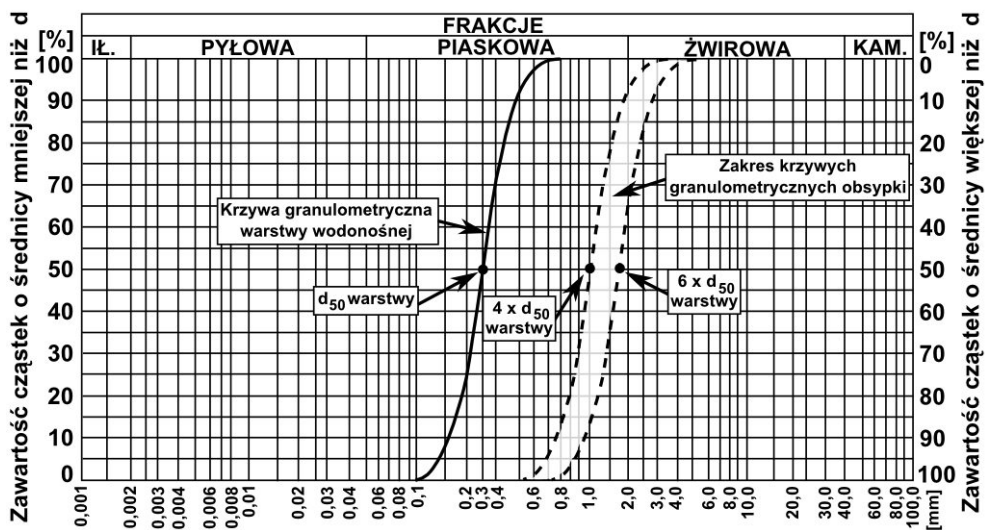


Rys. 15.1. Dobór obsypki wg kryterium Terzagiego (Roscoe Moss, 1990)

Na podstawie późniejszych badań kryterium Terzagiego zostało zmodyfikowane do uproszczonej postaci:

$$4 < \frac{D_{50}}{d_{50}} < 6 \quad (15.5)$$

W przeciwieństwie do kryterium Terzagiego nierówność (15.5) precyzuje jedynie stosunek średnic zastępczych d_{50} warstwy i D_{50} obsypki, bez dokładniejszych zależności pomiędzy krzywą uziarnienia warstwy wodonośnej i krzywą uziarnienia obsypki. Rozwiązaniem tego problemu jest założenie, aby wyżej wymienione krzywe były do siebie równoległe. Przedstawiono to na rysunku 15.2.



Rys. 15.2. Dobór obsypki wg zmodyfikowanego kryterium Terzagiego (Roscoe Moss, 1990)

15.6. Wykonywanie obsypki żwirowej

Prawidłowe wprowadzenie obsypki filtracyjnej w przestrzeń pierścieniową pomiędzy filtr i warstwę wodonośną jest zagadnieniem ważnym i skomplikowanym. Poczynając od prostej czynności technologicznej wykonanej w sposób niewłaściwy prowadzi do obniżenia sprawności hydraulicznej studni, a w niektórych przypadkach nawet do jej zniszczenia. Najistotniejszymi czynnikami związanymi z prawidłowym wykonaniem obsypki są:

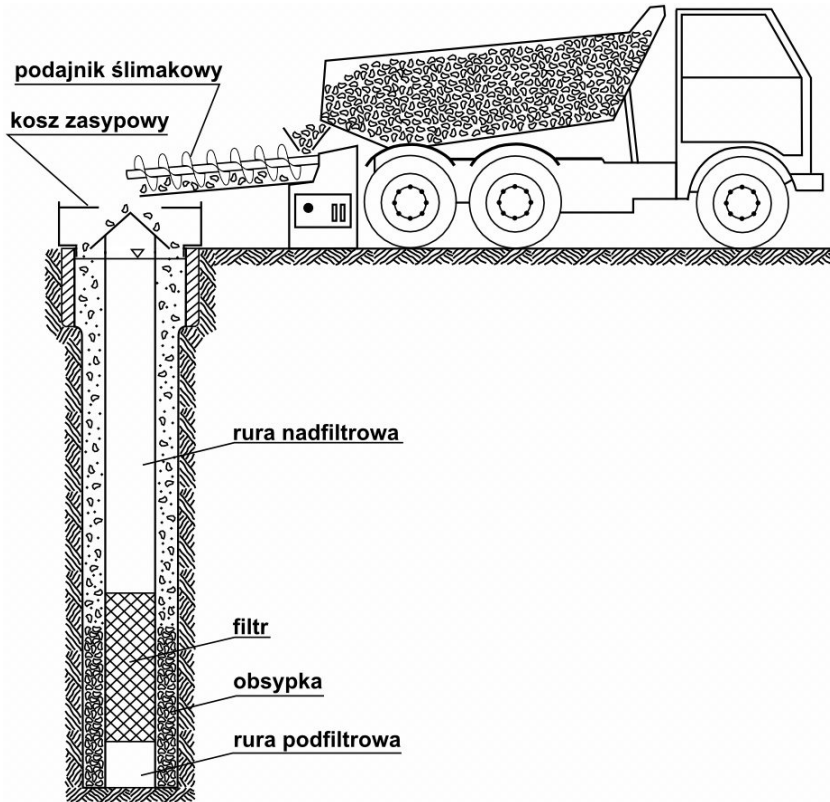
- równomierne ułożenie obsypki filtracyjnej wokół filtra,
- wyeliminowanie lub zmniejszenie segregacji granulometrycznej ziarn obsypki wzdłuż kolumny filtrowej.

Równomierne rozłożenie obsypki filtracyjnej wokół filtra (Chehata, Karlic, 1990; Macuda, 1990; Misstear *et al.*, 2006) wpływa na żywotność studni oraz na intensywność dopływu drobnej frakcji mineralnej z warstwy wodonośnej do wnętrza studni, natomiast zmniejszenie stopnia jej segregacji granulometrycznej wzdłuż filtra zapewnia uzyskanie równomiernych parametrów hydraulicznych.

W płytkich studniach, o głębokości nieprzekraczającej 300 m, obsypka filtracyjna jest wprowadzana bezpośrednio do przestrzeni pierścieniowej z zsypu umieszczonego na powierzchni terenu. Zaletą tego rozwiązania jest to, że opadająca obsypka w wyniku tarcia usuwa ze ściany otworu osady filtracyjne z płuczki.

Wprowadzanie obsypki filtracyjnej do otworu najczęściej wykonuje się bez obiegu wody lub płuczki wiertniczej, jeżeli jej wymiana na wodę nie była wcześniej możliwa.

wa z powodu zagrożenia utraty stabilności ściany otworu. Wprowadzanie obsypki bez obiegu wody odbywa się wyłącznie dzięki sile grawitacji (rys. 15.3).

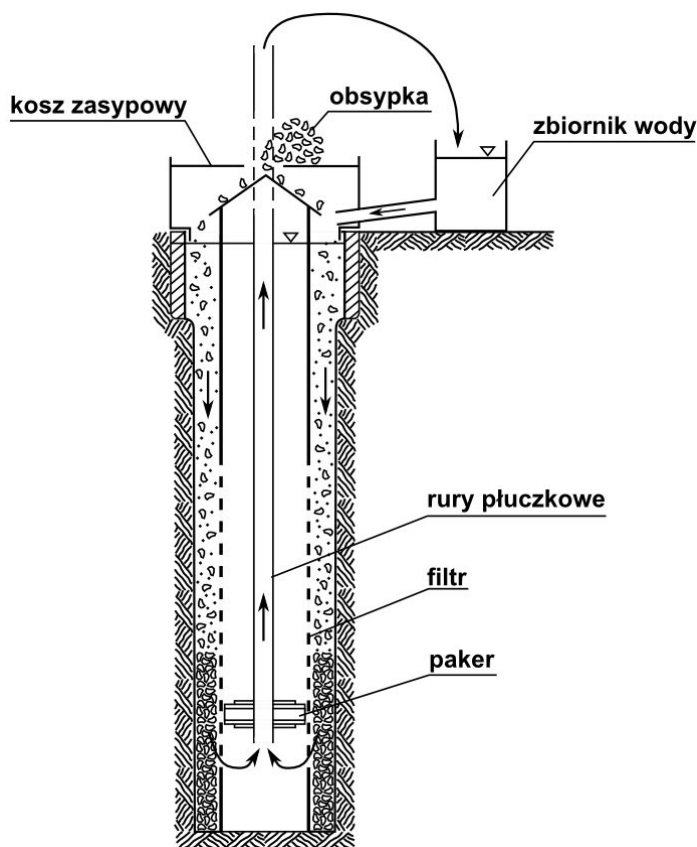


Rys. 15.3. Mechaniczne wprowadzanie obsypki filtracyjnej do otworu bez wymuszonego obiegu płynu

Grawitacyjne wprowadzanie obsypki do otworów bez wymuszonego obiegu wody o głębokości powyżej 200 m powoduje hydrauliczną segregację ziarn o różnej wielkości i jej pionowe rozwarstwienie. Problem ten jest szczególnie istotny przy wprowadzaniu do otworu obsypki porcjami. Materiał różnoziarnisty, podczas swobodnego opadania w wodzie, ulega sortowaniu (grubszy opada szybciej niż drobny), co w praktyce przemysłowej może skutkować długotrwałym piaszczeniem studni przez partie obsypki utworzonej z najgrubszego materiału.

W celu wyeliminowania wyżej opisanych problemów obsypkę filtracyjną można wprowadzać do przestrzeni pierścieniowej metodą hydrauliczną. Zapuszcza się wówczas „paker” na przewodzie wiertniczym (rurach okładzinowych) do wnętrza kolumny filtrowej i umieszcza się go w obrębie filtra lub bezpośrednio nad jego górną krawędzią, a następnie wymusza za pomocą pompy strumieniowej lub podnośnika

powietrznego tzw. odwrotny obieg wody. Do wody wpływającej grawitacyjnie do przestrzeni pierścieniowej wprowadza się obsypkę filtracyjną i transportuje w ten sposób do strefy przyfiltrowej. Taki sposób wprowadzania obsypki do otworu znacznie skraca czas wykonania zabiegu i ogranicza możliwość jej sortowania w przestrzeni pierścieniowej. Uproszczony schemat takiego zabiegu przedstawiono na rysunku 15.4.

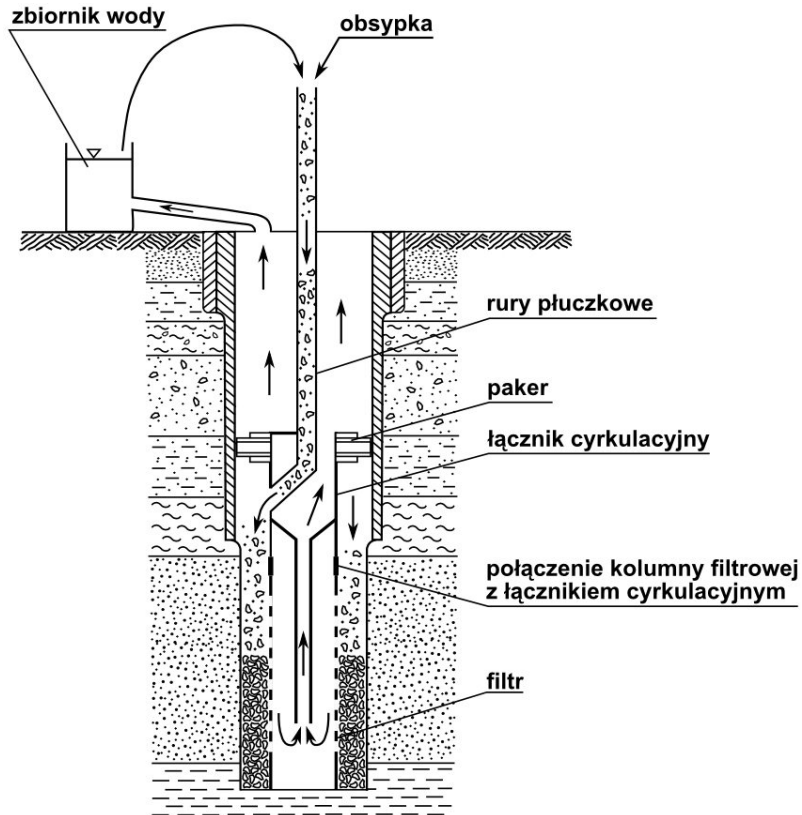


Rys. 15.4. Schemat wprowadzania obsypki żwirowej do otworu metodą hydrauliczną z odwrotnym obiegiem wody wymuszonym pompą ssącą

W przypadku konieczności wprowadzania obsypki filtracyjnej do otworów o głębokości powyżej 300÷400 m w literaturze (Łaciak *et al.*, 1987; Roscoe Moss, 1990) zaleca się jej hydrauliczne wprowadzanie poprzez kolumnę rur zapuszczoną do przestrzeni pierścieniowej, bezpośrednio nad dno otworu. W trakcie trwania zabiegu należy podciągać rury ku powierzchni z prędkością odpowiadającą prędkości podnoszenia się wprowadzonej obsypki.

W bardzo głębokich otworach (powyżej 1500 m) możliwe jest również hydrauliczne wprowadzanie obsypki poprzez łącznik cyrkulacyjny, dokręcony do dolnego

końca kolumny rur płuczkowych. Na czas tłoczenia obsypki filtracyjnej do przestrzeni pierścieniowej w obrębie filtra łącznik cyrkulacyjny jest połączony z traconą kolumną filtrową (rys. 15.5).



Rys. 15.5. Schemat wprowadzania obsypki żwirowej do głębokiego otworu metodą hydrauliczną przez łącznik cyrkulacyjny

Mieszanka obsypki filtracyjnej i wody jest tłoczona poprzez rury płuczkowe do łącznika cyrkulacyjnego, który kieruje strumień mieszanki do przestrzeni pierścieniowej na zewnątrz kolumny filtrowej. Obsypka pozostaje w przestrzeni pierścieniowej, natomiast woda po przejściu przez filtr i łącznik cyrkulacyjny wypływa z przestrzeni pierścieniową pomiędzy kolumną rur okładzinowych i płuczkowych. Po wykonaniu obsypki łącznik przepustowy zostaje odłączony od filtra i wyciągnięty z otworu.

Podczas wykonywania zabiegów żwirowania otworów, zwłaszcza głębokich i o dużych średnicach, w wielu przypadkach dochodzi do zgniecenia filtra. Najczęściej jest to spowodowane wprowadzaniem zbyt dużego strumienia objętości obsypki filtracyjnej do przestrzeni pierścieniowej i znacznym wzrostem gęstości mieszanki wodno-żwirowej, a tym samym wzrostem ciśnienia.

W literaturze (Gonet, Macuda, 2004) podano wzór do obliczenia dopuszczalnego strumienia objętości wprowadzanej obsypki do przestrzeni pierścieniowej, uwzględniający wytrzymałość filtra na zgniatanie:

$$Q_d = \frac{\pi \cdot p_{zg} \cdot \rho_z \cdot v_0 \cdot (D_0^2 - D_z^2)}{4 \cdot \kappa \cdot H_{ot} \cdot g \cdot (\rho_z - \rho_w) \cdot \rho_n}, \text{ m}^3/\text{s} \quad (15.6)$$

gdzie:

- Q_d – strumień objętości wprowadzonej obsypki do przestrzeni pierścieniowej otworu, m^3/s ,
- p_{zg} – ciśnienie zgniatające kolumnę filtrową, MPa,
- ρ_z – gęstość obsypki, kg/m^3 ,
- ρ_n – gęstość nasypowa obsypki, kg/m^3 ,
- ρ_w – gęstość wody, kg/m^3 ,
- κ – współczynnik bezpieczeństwa, $\kappa = 1,1, -$,
- D_0 – średnica otworu, m,
- D_z – zewnętrzna średnica kolumny filtrowej, m,
- H_{ot} – głębokość otworu, m,
- g – przyspieszenie ziemskie, m/s^2 ,
- v_0 – prędkość opadania żwiru, obliczona z zależności (15.7):

$$v_0 = t \cdot \sqrt{d_{ob}}, \text{ m/s} \quad (15.7)$$

gdzie:

- t – współczynnik zależny od średnicy ziaren:
 - dla ziaren o średnicy 0,002÷0,003 m, $t = 3,2$,
 - dla ziaren o średnicy 0,004 m, $t = 3,4$,
 - dla ziaren o średnicy 0,005 m, $t = 3,6$;
- d_{ob} – średnica ziaren obsypki, m.

16. Próbne pompowanie otworu

16.1. Program próbnego pompowania

W celu prawidłowego przeprowadzenia próbnego pompowania należy sporządzić jego program (Dąbrowski, Przybyłek, 2005). Program ten jest zwykle częścią projektu badań hydrogeologicznych i zawiera następujące informacje:

- cel pompowania wraz z podaniem jego zakresu i miejsca badań,
- liczbę otworów pompowanych i obserwacyjnych oraz ich rozmieszczenie,
- spodziewaną wydajność maksymalną oraz depresję,
- orientacyjne określenie czasu pompowania i wzniosu zwierciadła wody po pompowaniu,
- zakres fizykochemicznych badań wody.

Program próbnego pompowania należy uściślić i rozszerzyć już po wykonaniu otworu o następujące dane (Dąbrowski *et al.*, 2004; Dąbrowski, Przybyłek, 2005):

- określenie typu pompy i głębokości jej opuszczenia,
- sposób odprowadzenia wody,
- opis sprzętu przewidzianego do pomiaru wydatku i położenia zwierciadła wody,
- opis rodzaju przyrządów pomiarowych wydajności i depresji,
- częstotliwości pomiarów wydajności i depresji,
- liczba i rodzaj próbek wody, którą należy pobrać do badań,
- określenie dodatkowych pomiarów, np. pomiarów wodowskazowych,
- sposób zestawienia i opracowywania wyników badań.

Wybór miejsca badań zależy od rodzaju badanej jednostki hydrogeologicznej, projektowanego miejsca ujęcia wody, a także stanu zagospodarowania terenu (Dąbrowski, Przybyłek, 2005).

16.2. Sprzęt do próbnego pompowania

Sprzęt do do próbnego pompowania powinien zapewnić ciągłość pompowania oraz możliwość wykonania pomiarów dynamicznego zwierciadła wody. Dobór urządzeń

pompowych dla przeprowadzenia próbnego pompowania w otworze powinien odbywać się po uwzględnieniu podstawowych danych hydrogeologicznych oraz istniejących i dostępnych urządzeń pompowych (zestawionych w aktualnych katalogach).

Sprzęt do próbnego pompowania prowadzonego w otworach hydrogeologicznych obejmuje sprzęt pompowy oraz sprzęt pomiarowy.

Sprzęt pompowy obejmuje pompę wraz z wyciągiem oraz systemem zasilania. Przy doborze pomp dla konkretnych warunków należy kierować się następującymi danymi:

- przewidywana wydajność,
- przewidywana depresja,
- przewidywana głębokość zwierciadła wody,
- wysokość tłoczenia wody,
- średnica otworu,
- głębokość otworu,
- możliwość podłączenia do sieci energetycznej,
- przewidywane piaszczenie otworu w czasie pompowania.

Natomiast w skład sprzętu pomiarowego wchodzi:

- sprzęt do pomiaru wydatku pompowanej wody,
- sprzęt do pomiaru położenia zwierciadła wody w otworze,
- sprzęt do pomiaru ciśnienia,
- sprzęt do pomiaru temperatury wody i powietrza,
- sprzęt do poboru próbek wody,
- dodatkowy sprzęt do badań specjalnych.

16.3. Przyrządy do pomiarów zwierciadła wody

Poziom zwierciadła wody w otworach hydrogeologicznych może być mierzony ręcznie (świstawką hydrogeologiczną), elektronicznie, mechanicznie lub akustycznie. Stosuje się do tego celu przyrządy stosowane powszechnie w badaniach hydrogeologicznych. Zwykle pomiary zwierciadła wody prowadzi się za pomocą automatycznych mierników poziomu cieczy z zapisem ciągłym. Zasadnicze znaczenie dla testu interferencyjnego ma pomiar w otworze obserwacyjnym (otworach obserwacyjnych). Niemniej jednak zaleca się wykonywanie kontrolnych pomiarów także w otworze eksploatacyjnym (lub chłonnym), co umożliwi późniejszą korelację odczytów.

16.4. Przyrządy do pomiarów wydajności

Do pomiaru wydajności otworu zastosowane mogą być przyrządy wgłębne lub powierzchniowe (Kapuściński *et al.*, 1997). Zaletą przepływomierzy wgłębnych jest

rejestracja dopływu do otworu bezpośrednio na jego dnie. Wyniki pomiarów mogą być interpretowane od momentu rozpoczęcia testu, gdyż nie są one obciążone błędem spowodowanym rozprężaniem się wody w otworze.

Alternatywnym rozwiązaniem jest wykorzystanie przepływomierzy powierzchniowych, z użyciem zwężki pomiarowej. Zwykle stosuje się przepływomierze zwężkowe z automatyczną rejestracją graficzną lub elektroniczną. Metoda ta jest dokładna, jednakże jej wadą jest duża wrażliwość na nierównomierną pracę pompy, która może być spowodowana np. zmianami napięcia zasilania, temperatury powietrza, wilgotności czy temperatury wody wypływającej z otworu. Pewną wadą metody jest także brak możliwości bezpośredniego rejestrowania całkowitej ilości wydobytej wody i uśredniania wydajności. Dlatego też do kontroli wydajności powinien być włączony również odpowiedni przepływomierz turbinkowy lub ultrasoniczny (ultradźwiękowy). Dopuszczalnym rozwiązaniem jest także skrzynia przelewowa. Będzie ona przydatna zwłaszcza wtedy, gdy wody są silnie zasolone i mogą wpływać na prawidłowość działania elektronicznych przyrządów pomiarowych.

Zasadą przy kompletowaniu zestawu pomiarowego do rejestracji wydajności otworu opowinno być instalowanie kilku niezależnie działających urządzeń. Zabezpieczamy się w ten sposób na wypadek awarii sprzętu.

16.5. Przyrządy do pomiarów temperatury wody i powietrza

Pomiar temperatury wody w otworze jest zwykle wykonywany równocześnie z pomiarem głębokości poziomu zwierciadła wody. Obecnie firmy specjalistyczne oferują urządzenia elektroniczne do pomiaru poziomu wody wraz z czujnikiem temperatury.

Pomiaru temperatury dokonać można również przy użyciu termometru czerpakowego.

W przypadku głębokich wierceń pomiar temperatury można przeprowadzać za pomocą metod geofizyki otworowej.

Pomiar temperatury powietrza wykonuje się równocześnie z pomiarem temperatury wody. Pomiaru dokonuje się za pomocą specjalnego termometru, umieszczonego w miejscu nienasłonecznionym.

16.6. Prace przygotowawcze

Opis projektowanych prac wiertniczych stanowi zasadniczą część projektu prac geologicznych (Dąbrowski, Przybyłek, 2005). Otwór pompowy jako podstawowy element hydrowęzła należy wykonać tak, aby można było uzyskać maksymalną wydajność. Szczegóły konstrukcyjne otworu hydrogeologicznego powinny być pokazane w projekcie geologiczno-technicznym, stanowiącym odrębnym załącznik graficzny.

16.6.1. Przewidywana wydajność i depresja

Wydajność i depresja są ze sobą związane funkcyjnie. Na ich wielkość oprócz czynników hydrogeologicznych mają wpływ parametry techniczne otworu i pompy (Dąbrowski, Przybyłek, 2005).

Wydajność pompowanego otworu należy ustalać, biorąc pod uwagę:

- Wydajność dopuszczalną:

$$Q_{dop} = 2\pi \cdot r_0 \cdot l \cdot V_{dop}, \text{ m}^3/\text{s} \quad (16.1)$$

gdzie:

r_0 – promień otworu (filtr z obsypką), m,

l – długość filtru, m,

V_{dop} – dopuszczalna prędkość wlotowa wody do otworu, m/s.

- Ograniczenia obniżenia zwierciadła wody w pompowanym otworze:
 - w warstwach o swobodnym zwierciadle wody depresja nie powinna przekraczać 0,4 słuza wody (Dąbrowski, Przybyłek, 2005);
 - w warstwach naporowych depresja nie powinna przekraczać 0,5 ciśnienia piezometrycznego (Dąbrowski, Przybyłek, 2005).

Najniższa wydajność próbnego pompowania nie powinna być mniejsza od przewodności badanej warstwy: wydajność maksymalna powinna ją przewyższać co najmniej trzykrotnie w przypadku filtrów otworów (studni) o średnicy do 0,6 m (Przybyłek, 1977). Dobór wydajności i depresji otworu pompowanego powinien również uwzględniać wywołanie takiej depresji w otworach obserwacyjnych, aby przekraczała ona kilka razy wahania naturalne poziomu piezometrycznego. Aby można było jednoznacznie interpretować wyniki opadania zwierciadła wody w otworach obserwacyjnych, wywołane obniżenie nie powinno być mniejsze od 15÷20 cm.

Końcowa możliwa do uzyskania depresja w warstwach swobodnych zależy także od metody interpretacji wyników (Dąbrowski, Przybyłek, 2005). Metoda Theisa i Jacoba wymaga spełnienia warunku $s_{\max} < 0,1H$ lub $s_{\max} < 0,3H$, jeżeli obliczeń dokonuje się na podstawie depresji skorygowanych:

$$s_c = s_m - \frac{(s_m)^2}{2H}, \text{ m} \quad (16.2)$$

gdzie s_m – depresja zmierzona, m.

Szczególną uwagę należy zwracać na dobór wydajności w warstwach o większej miąższości, zasobnych w wodę, oraz w warstwach ograniczonych. Optymalną wielkość wydajności i depresji należy ustalić na podstawie wyników pompowania oczyszczającego (Przybyłek, 2005).

16.6.2. Dobór pompy i odprowadzenie wody z pompowania

Zainstalowana pompa w otworze hydrogeologicznym powinna zapewniać bezawaryjną pracę przez cały okres próbnego pompowania oraz utrzymanie stałej wydajności.

Maksymalna wydajność pompy powinna być około 1,5 raza większa od spodziewanej wydajności pompowania. Przy doborze pompy należy zwrócić uwagę na wielkość jej podnoszenia, co ma znaczny wpływ na uzyskiwanie wydajności (Dąbrowski, Przybyłek, 2005).

Ponadto, w zależności od głębokości i średnicy otworu wiertniczego, należy odpowiednio dobrać średnicę pompy, jej moc oraz zakres ciśnień.

Wypompowywana woda nie powinna się przedostać z powrotem do warstwy wodonośnej. W związku z tym najlepiej jest ją odprowadzić do cieków powierzchniowych lub dużych zbiorników. Wodę można także odprowadzać do rowów melioracyjnych, lecz po sprawdzeniu ich drożności. W przypadku pompowania warstwy wodonośnej o zwierciadle swobodnym i braku izolacji tej warstwy od powierzchni należy odprowadzić wodę na odległość równą podwójnej wielkości przewidywanego zasięgu leja depresyjnego. W rozumieniu *Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełniać przy wprowadzeniu ścieków do wód lub ziemi oraz substancji szkodliwych dla środowiska wodnego* (Dz. U. Nr 137, poz. 984) wody podziemne nie są ściekami. Mogą więc być one odprowadzane do cieków i kanalizacji deszczowej. Na odprowadzanie wód z pompowania do cieków i kanalizacji należy uzyskać zgodę zarządzających urządzeniem lub wodami albo ich użytkowników.

16.7. Pompowanie oczyszczające

Po odwierceni i zafiltrowaniu otworów należy przeprowadzić próbne pompowanie wykonanego otworu rozpoznawczo-eksploatacyjnego w dwóch etapach:

- pompowanie oczyszczające,
- pompowanie pomiarowe.

Eksploatacja oczyszczająca ma na celu oczyszczenie strefy przyodwiertowej z pozostałości płuczki wiertniczej i zawiesiny pylastej, a zatem polepszenie dróg filtracji wody do otworu oraz przygotowanie otworu do testów pomiarowych i eksploatacji (Kapuściński *et al.*, 1997). Pomiarы wykonane w trakcie eksploatacji oczyszczającej pozwalają na wstępne określenie wydajności i ciśnienia eksploatacyjnego, co umożliwia z kolei szczegółowe zaplanowanie testu pomiarowego. W przypadku prowadzenia eksploatacji bez użycia pompy (zbiorniki artezyjskie) wydajność otworu reguluje się przy użyciu systemu ograniczających zwężek regulacyjnych (Kapuściński *et al.*, 1997). W przypadku zbiorników nieartezyjskich stosuje się wgłębne pompy elektryczne albo podnośniki powietrzne.

Eksploatację oczyszczającą należy prowadzić z rosnącymi wydajnościami (kilka stopni dynamicznych), aż do uzyskania około 120% przewidywanej maksymalnej wydajności otworu. Niezbędne są przy tym pulsacyjne zmiany wydajności powodujące gwałtowne udary hydrauliczne ułatwiające wymywanie drobnych cząstek pylastych. Eksploatację na każdym stopniu należy prowadzić do uzyskania klarownej wody bez zawiesiny pyłowej oraz do stabilizacji wybranych wskaźników hydrochemicznych potwierdzonych pomiarami i badaniami prowadzonymi przez laboratorium polowe (Witczak, Adamczyk, 1994). Szczegółowa instrukcja dotycząca metody i sposobu przeprowadzania eksploatacji oczyszczającej i ewentualnych zabiegów stymulujących przyływ powinna być opracowana przez hydrogeologa nadzorującego prace. Orientacyjnie czas trwania eksploatacji oczyszczającej szacować można na kilka do kilkunastu godzin, przy czym, jak już wspomniano, decydujące znaczenie będzie miała możliwość magazynowania lub zrzutu wód.

Przykładowo: zakłada się, że oczyszczanie będzie prowadzone na trzech stopniach wydajności po pięć godzin na każdym stopniu:

$$Q_1 = 80 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 5\text{h} = 400 \text{ m}^3$$

$$Q_2 = 160 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 5\text{h} = 800 \text{ m}^3$$

$$Q_3 = 240 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 5\text{h} = 1200 \text{ m}^3$$

$$\text{Razem} \quad 2400 \text{ m}^3$$

Ilość wypompowanej wody należy szacować na około 2400 m^3 .

Uzyskanie maksymalnie wysokiej wydajności eksploatacyjnej otworu (przy jednocześnie jak najmniejszej depresji) wymaga zastosowania szczególnie ostrych kryteriów sprawnościowych przy odbiorze otworu. Należy podkreślić, że eksploatacja oczyszczająca ma tu bardzo duże znaczenie, porównywalne jedynie z właściwą techniką wiercenia. Ten etap prac decyduje w znacznym stopniu o długoletniej, bezawaryjnej pracy ujęcia.

16.8. Pompowanie pomiarowe

16.8.1. Organizacja i prowadzenie pomiarów

Organizacja prac i badań podczas próbnego pompowania ma wpływ na prawidłowość uzyskanych wyników oraz na jego koszty.

Przed przystąpieniem do próbnego pompowania sporządza się program jego przeprowadzenia, który następnie w toku badań koryguje się w zależności od uzyskiwanych wyników i czynników nieprzewidzianych (Dąbrowski, Przybyłek, 2005).

Ważnym czynnikiem wpływającym na jakość wyników i ich interpretację jest okres wykonywania badań w przypadku poszczególnych rodzajów ujęć. Wszystkie pomiary podczas pompowań należy prowadzić przy stałym nadzorze lub dozorze geolo-

gicznym. Przed rozpoczęciem pompowania pomiarowego trzeba wykonać kilkakrotnie pomiary położenia zwierciadła wody we wszystkich punktach pomiarowych w celu określenia stanu, do którego odnosić się będzie wyniki uzyskane podczas pompowania. Należy także wykonać krótkotrwałą próbę sprawności działania pompy i przyrządów pomiarowych oraz szczelności rurociągu.

16.8.2. Pomiary wydajności i zwierciadła wody

Częstotliwość pomiarów zwierciadła wody w czasie pompowania zależy od rodzaju badanej warstwy wodonośnej, odległości otworów obserwacyjnych, spodziewanej wielkości opadania i podnoszenia się zwierciadła wody w otworach oraz możliwości technicznej pomiarów (Dąbrowski, Przybyłek, 2005). W pierwszym okresie pompowania pomiary są częstsze, a w późniejszym okresie rzadsze, w zależności od szybkości zmian depresji w obrębie strefy wpływu pompowania. Częstość pomiarów zmian położenia zwierciadła wody należy uzależnić od ich wielkości, tak aby błąd pomiarowy nie był większy od $\pm 10\%$. Jeden pomiar gwizdkiem studziennym powinien więc przypadać na zmianę zwierciadła wody o wielkości $3 \div 5$ cm.

Minimalna częstotliwość pomiarów dynamicznego zwierciadła wody w otworze rozpoznawczym (studnia pojedyncza) powinna odpowiadać schematowi (Dąbrowski, Przybyłek, 2005):

Czas od rozpoczęcia pompowania [min]	Częstotliwość pomiarów [min]
do 5 min	0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0
$5 \div 25$ min	6; 8; 10; 15; 20; 25;
> 25 min	30; 35; 40; 45; 50; 60 i dalej co 15 min

Podczas pompowań zespołowych, przy dużej liczbie otworów obserwacyjnych, pomiary w otworach pompowanych na ogół wykonuje się z mniejszą częstotliwością (Dąbrowski, Przybyłek, 2005):

- 1 h – co 15 min,
- od 1 do 3 h – co 30 min,
- od 3 do 24 h – co 1 h,
- od 24 h do końca pompowania według propozycji przedstawionych w tabeli 16.1.

Zmniejszona częstotliwość pomiarów w stosunku do pomiarów w pojedynczym otworze wynika z tego, że najczęściej nie analizuje się wtedy pierwszych odcinków fazy nieustalonej z otworów pompowanych, lecz analizuje się wyniki z otworów obserwacyjnych.

Ciągły pomiar zwierciadła wody w strefie leja depresyjnego pozwala dokładnie śledzić momenty zmian w szybkości opadania spowodowane zmianami wydajności lub warunkami hydrogeologicznymi objawiającymi się często skokowo. Pomiary te prowadzi się za pomocą automatycznych mierników poziomu cieczy z zapisem ciągłym.

Tabela 16.1

Częstotliwość pomiarów wydajności opadania i wzniosu zwierciadła wody w otworze pompowanym i bliskich otworach obserwacyjnych (Dąbrowski, Przybyłek, 2005)

Wydajność		Zwierciadło wody	
czas pomiarów $t = 0$	okres pomiarów –	czas pomiarów $t = 0$	okres pomiarów, pomiar poziomu statycznego
od rozpoczęcia do 15 min	co 5 min	od rozpoczęcia do 15 min	co 1 min
15÷60 min	co 15 min	15÷60 min	co 2 min
1÷3 h	co 30 min	30 min ÷ 2 h	co 5 min
3÷8 h	co 1 h	2÷3 h	co 10 min
–	–	3÷5 h	co 15 min
–	–	5÷8 h	co 30 min
8÷24 h	co 1 h	8÷24 h	co 1 h
1÷3 d	co 2 h	1÷3 d	co 2 h
3÷6 d	co 4 h	3÷6 d	co 4 h
6÷12 d	co 6÷12 h	6÷12 d	co 8÷12 h
12÷30 d	co 12 h	12÷30 d	co 12 h
1÷3 mies.	co 24 h	1÷3 mies.	co 24 h

16.8.3. Czas trwania pompowania

Czas trwania próbnego pompowania ustala się w zależności od (Dąbrowski, Przybyłek, 2005):

- celu pompowania,
- rodzaju badanej struktury wodonośnej, jej granic i zasilania,
- uziarnienia warstwy wodonośnej,
- charakteru zwierciadła wody (swobodne, napięte),
- zakładanej metodyki badań.

Pompowania, których zadaniem jest określenie parametrów filtracyjnych, są zazwyczaj pompowaniami krótszymi od pompowań mających na celu określenie zasilania i granic warstwy wodonośnej. Zdecydowany wpływ na długość trwania pompowania ma ponadto typ warstwy wodonośnej. Aby uzyskać ten sam efekt badań w warstwie swobodnej co w warstwie naporowej, czas pompowania należy dwu-, trzykrotnie wydłużyć (Dąbrowski, Przybyłek, 2005).

Najlepszym sposobem oceny czasu trwania pompowania jest bieżąca analiza wykresów wskaźnikowych (Dąbrowski, Przybyłek, 2005):

$$s = f(\lg t) \text{ przy } Q = \text{const} \quad (16.3)$$

lub

$$\frac{s}{Q} = f(\lg t) \text{ przy } s = \text{const (studnie z samowypływem)} \quad (16.4)$$

Próbne pompowanie można zakończyć po uzyskaniu prostoliniowego odcinka wykresu wskaźnikowego równoległego do osi czasu. Przyjmuje się, że omawiany prostoliniowy odcinek wykresu wskaźnikowego:

$$s = f(\lg t) \text{ lub } \frac{s}{Q} = f(\lg t) \quad (16.5)$$

powinien obejmować okres co najmniej 24 h.

Rodzaj badanej struktury wodonośnej i jej cechy mają zasadniczy wpływ na określenie czasu trwania pompowania, ponieważ prowadzi się je zwykle w celu rozpoznania nie tylko parametrów filtracyjnych, lecz również procesów hydrodynamicznych charakteryzujących daną strukturę.

Według S. Dąbrowskiego i J. Przybyłka (2005), dla typowych struktur wodonośnych występujących na Niziu Polskim do głębokości około 100 m, czas pompowań hydrowęzłowych potrzebnych do rozpoznania parametrów filtracyjnych i granic warstw wodonośnych w celu prognozowania zasobów wód podziemnych ujęć powinien wynosić:

- w warstwach swobodnych (sandry, tarasy wysokie dolin i pradolin) – 120÷600 h,
- w warstwach naporowych (doliny kopalne i utwory fluwioglacjalne) – 90÷360 h.

Reasumując, można stwierdzić, że czas próbnego pompowania powinien ustalać hydrogeolog prowadzący badanie.

16.9. Dziennik próbnego pompowania

W czasie próbnego pompowania zapis wszelkich pomiarów i obserwacji, czasu ich wykonania, danych technicznych i sytuacyjnych prowadzi się w dzienniku próbnego pompowania (Dąbrowski, Przybyłek, 2005). Forma zapisu w dziennikach i ich wzory powinny być ujednolicone. Należy stosować zasadę, że dla każdego otworu pompowanego lub obserwacyjnego prowadzi się odrębny dziennik. Wzory dzienników próbnego pompowania dla otworów pompowanych i obserwacyjnych przedstawiono w załączniku 12. Dzienniki próbnego pompowania powinny być wypełniane na bieżąco i przechowywane w sposób uniemożliwiający ich zniszczenie.

16.10. Ocena sprawności studni

Przy udostępnianiu horyzontów wodonośnych, zwłaszcza metodą obrotową z zastosowaniem płuczki wiertniczej zachodzi zjawisko filtracji płuczki do przewiercanych skał i ich kolmatacji. W wyniku tego procesu następuje obniżenie przepuszczalności skał w strefie przyotworowej i wzrost oporów przepływu wody. Objawia się to najczęściej wystąpieniem mieszanego lub turbulenta charakteru przepływu i wzrostem strat ciśnienia hydrodynamicznego.

Na wielkość procesu kolmatacji skał wodonośnych w najbliższym otoczeniu otworu największy wpływ mają:

- rodzaj przewiercanych skał i ich wykształcenie litologiczne,
- rodzaj płuczki wiertniczej i zawartość w niej fazy stałej,
- wielkość ciśnienia hydrostatycznego słupa płuczki w trakcie wiercenia,
- gwałtowne wzrosty i spadki ciśnienia przy zapuszczaniu i wyciąganiu przewodu wiertniczego,
- czas oddziaływania płuczki na skały w strefie przyotworowej,
- prędkość przepływu płuczki w przestrzeni pierścieniowej.

Wzrost oporów przepływu wody w strefie przyfiltrkowej może być również spowodowany niewłaściwie dobranym filtrem lub osypką filtracyjną oraz zbyt dużymi prędkościami przepływu wody wewnątrz kolumny filtrkowej. Zjawiska te, występujące w obrębie filtra i strefy przyfiltrkowej wpływają na obniżenie sprawności hydraulicznej studni (rys. 16.1). Z analizy literatury (Houben, Treskatis, 2007; Macuda, 1990) wynika, że zjawiskom tym można przeciwdziałać poprzez zastosowanie prawidłowej techniki i technologii do wiercenia otworów hydrogeologicznych oraz wykonanie w studni chemicznych lub mechanicznych zabiegów usprawniania w celu zwiększenia parametru wodoprzepuszczalności w obrębie filtra.

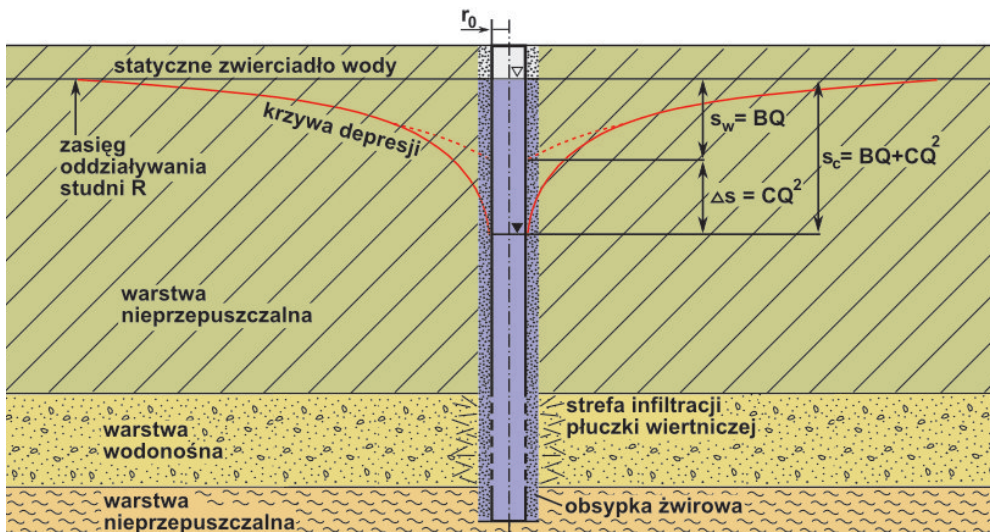
Oporo przepływu wody w trakcie pompowania wywołują depresję, która jest funkcją wydatku pompowania. Całkowita depresja zwierciadła wody w studni (s) jest sumą oporów przepływu laminarnego w warstwie wodonośnej, wywołujących depresję rzeczywistą (s_w) oraz oporów przepływu turbulenta w strefie przyfiltrkowej, filtrze i w samej studni, które powodują depresję dodatkową (Δs), nazywaną często zeskokiem hydraulicznym (Dąbrowski, Przybyłek, 2005) (rys. 16.1).

W celu oceny jakości wykonania studni oraz skuteczności zabiegów służących poprawieniu warunków przepływu wody w strefie przyfiltrkowej Jacob (1947) oraz Hantush (1964) opisał matematycznie składowe całkowitej depresji w studni, pochodzące od oporów przepływu laminarnego w warstwie wodonośnej i oporów przepływu turbulenta w strefie przyfiltrkowej i samej studni wzorem:

$$s = BQ + CQ^2 = s_w + \Delta s \quad (16.6)$$

gdzie:

- s – całkowita depresja w studni przy pompowaniu wody z wydajnością Q , m
- Q – wydajność (wydatek) pompowania studni, m³/h
- B – współczynnik oporów przepływu laminarnego w warstwie wodonośnej, h/m²
- C – współczynnik oporów przepływu turbulentnego wokół studni, w filtrze i w kolumnie filtrowej, h²/m⁵ (współczynnik C nazywany jest współczynnikiem oporu studni),
- BQ – depresja rzeczywista, powstająca w wyniku laminarnego przepływu wody w warstwie wodonośnej,
- CQ^2 – zeskok hydrauliczny.



Rys. 16.1. Schemat dopływu wody do studni wierconej podczas pompowania wraz z rozkładem oporów hydraulicznych (Driscoll, 1986; Dąbrowski, Przybyłek, 2005)

Jacob (1947) w przypadku swojego modelu przyjął założenie, że strefa ruchu turbulentnego tj. odległość od osi studni do punktu, w którym następuje zmiana charakteru przepływu z turbulentnego na laminarny jest stała i niezależna od wydatku pompowania.

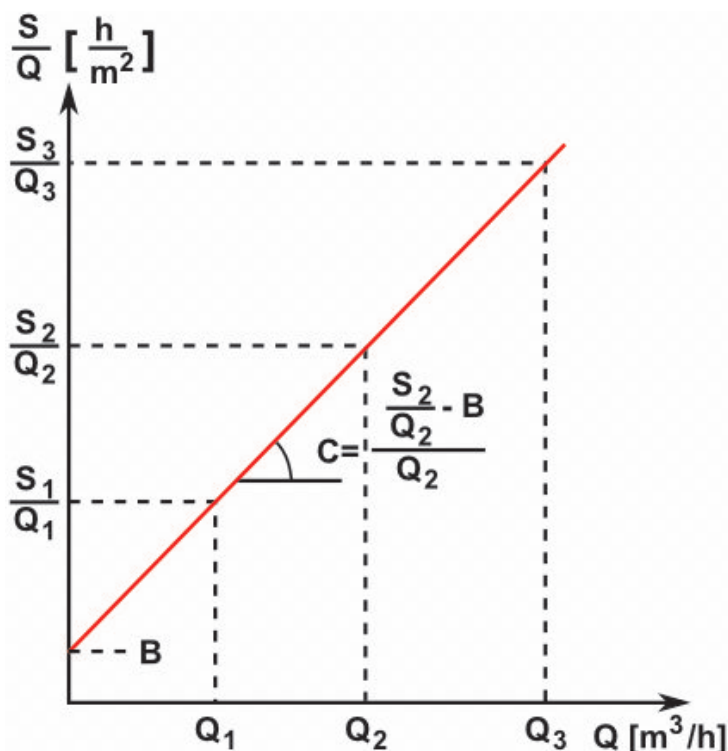
Wprowadzenie tej teorii do praktyki przemysłowej nastąpiło po znacznym jej uproszczeniu przez Bruina i Hudsona (Driscoll, 1986). Zgodnie z tą metodyką wyjściowy wzór Jacoba (16.6) zapisano w postaci:

$$\frac{s}{Q} = B + CQ \quad (16.7)$$

Po przekształceniu wzoru (16.7) otrzymano równanie w postaci:

$$C = \frac{s - BQ}{Q^2} = \frac{\frac{s}{Q} - B}{Q} \quad (16.8)$$

Rozwiązaniem graficznym tego wzoru jest wykres w układzie współrzędnych prostokątnych: depresja jednostkowa s/Q od wydatku Q (rys. 16.2), umożliwiającą wyznaczenie współczynników B i C .



Rys. 16.2. Graficzna metoda oceny sprawności hydraulicznej studni wg procedury Bruina i Hudsona

Dysponując wynikami pompowania wielostopniowego nanosi się na osi rzędnych ww. wykresu wartości s_1/Q_1 , s_2/Q_2 , s_3/Q_3 itd. dla kolejnych stopni pompowania, a na osi odciętych odpowiadające im wartości wydatku studni Q_1 , Q_2 , Q_3 itd. Naniesione punkty powinny wyznaczać linię prostą, a jej przedłużenie do przecięcia się z osią rzędnych wyznacza wartość liczbową współczynnika oporu hydraulicznego warstwy wodonośnej B .

Wartość tangensa kąta nachylenia wyznaczonej prostej określa liczbowo współczynnik oporu hydraulicznego studni C zgodnie z wzorem:

$$C = \frac{\frac{s_2}{Q_2} - B}{Q_2} \quad (16.9)$$

Wartość współczynnika C jest wyznacznikiem wielkości oporów hydraulicznych w strefie przyfiltrowej i w samej studni, zatem można ją uznać za miernik stanu technicznego studni pod względem hydraulicznym. Ocenę stanu technicznego studni dokonuje się przez porównanie wartości współczynnika C wyznaczonego według metodyki Bruina i Hudsona z wartościami kryterialnymi podanymi przez Waltona (1962) (tab. 16.2).

Tabela 16.2

Ocena stanu usprawnienia studni w zależności od współczynnika C (Walton, 1962)

Stan studni	$C \left[\frac{h^2}{m^5} \right]$
Studnia prawidłowo zaprojektowana i wykonana	< 0,00015
Studnia umiarkowanie zanieczyszczona lub zakolmatowana	0,00015 – 0,00030
Studnia z zaawansowanym zanieczyszczeniem lub kolmatacją	0,00030 – 0,0012
Studnia znacząco zanieczyszczona lub zakolmatowana	> 0,0012

Jeżeli dopływ wody do studni nie spełnia kryteriów teorii Jacoba, wtedy należy zastosować teorię Rorabaugha (1953), w której założono, że strefa przepływu turbulentnego ma zmienną wielkość i rozszerza się odśrodkowo ze wzrostem wydatku pompowania studni. Zgodnie z tym schematem depresję w studni można opisać wzorem:

$$s = BQ + C_r Q^n = s_w + \Delta s \quad (16.10)$$

gdzie:

- C_r – współczynnik oporów przepływu turbulentnego wokół studni, w filtrze i w kolumnie filtrowej wg teorii Rorabaugha; h^n/m^{3n-1} ,
- n – wykładnik potęgowy – różny od 2.

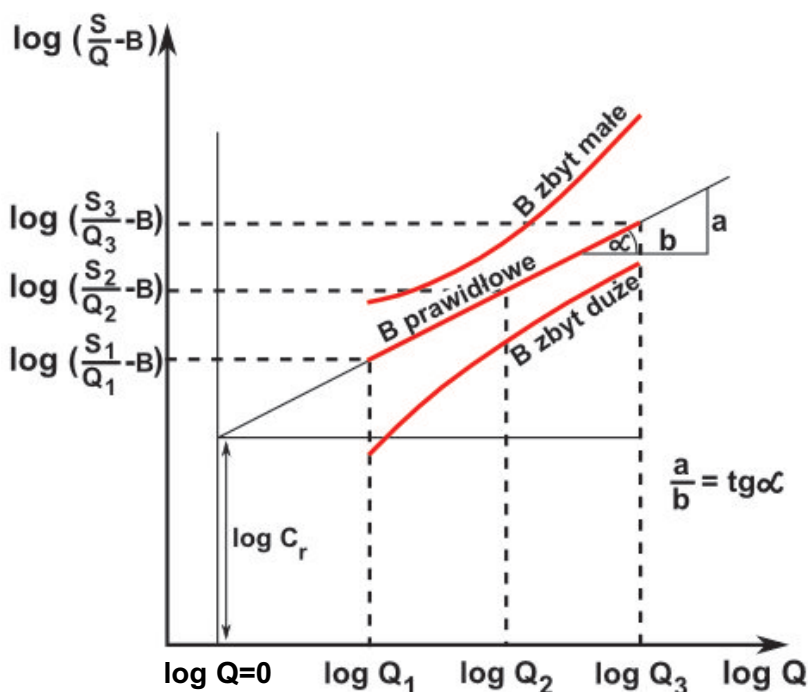
Różnica wykładników we wzorach (16.6) i (16.10) wynika z przyjętych założeń w teoriach Jacoba i Rorabaugha dotyczących stałości granicy przepływu turbulentnego lub jej zmienności w zależności od wydatku pompowania studni.

W przypadku kiedy mamy zmienną granicę przepływu turbulentnego, wykładnik potęgowy przyjmuje wartość $n \neq 2$.

Po przekształceniu równania (16.10) do postaci logarytmicznej:

$$\lg\left(\frac{s}{Q} - B\right) = \lg C_r + (n-1)\lg Q \quad (16.11)$$

można go rozwiązać metodą graficzną poprzez wyznaczenie w układzie współrzędnych logarytmicznych prostoliniowej zależności $(s/Q - B)$ od Q (rys. 16.3) dla wszystkich stopni pompowania.



Rys. 16.3. Graficzna metoda oceny sprawności hydraulicznej studni wg procedury Rorabaugha

Uzyskanie prostoliniowej zależności $(s/Q - B)$ od Q jest warunkiem wyznaczenia pozostałych nieznanymi elementów równania Rorabaugha, tj. współczynnika oporu studni C_r i wykładnika potęgi n .

Zgodnie z tą procedurą, po przyjęciu zakładanej wartości współczynnika B , należy obliczyć wartość parametru $(s/Q - B)$ dla każdego stopnia pompowania i następnie wyznaczyć graficzną zależność tego parametru od wydajności Q . Gdy wartość współczynnika B została przyjęta za małą, wykres będzie wypukły ku dołowi. Zwiększając jego wartość, otrzymamy wykres prostoliniowy, natomiast w przypadku przyjęcia zbyt dużej wartości, wykres będzie wypukły ku górze.

Przy tworzeniu prostoliniowej zależności ($s/Q - B$) od Q należy obliczyć $\lg(s/Q - B)$ i $\lg Q$ lub nanieść te wartości na papier logarytmiczny.

Wartość logarytmu współczynnika oporu C_r odpowiada wartości punktu przecięcia wyznaczonej linii prostej wykresu (lub jej przedłużenia) ze współrzędną $\lg Q = 1$. Wartość tę odczytuje się bezpośrednio ze skali na osi rzędnych, a następnie oblicza się, korzystając z definicji logarytmu.

Wykładnik potęgowy n wyznacza się natomiast metodą trójkąta (bez związku ze skalą logarytmiczną) wg zależności:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{a}{b} \quad (16.12)$$

gdzie $\operatorname{tg}\alpha$ – współczynnik kierunkowy wyznaczonej prostej

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{a}{b} = n - 1 \quad (16.13)$$

$$n = \frac{a}{b} + 1 \quad (16.14)$$

W celu ustalenia klasy studni wg procedury Rorabaugha należy współczynnik C_r przeliczyć na współczynnik C wg zależności:

$$C = \frac{C_r \cdot Q^n}{Q_2} \quad (16.15)$$

Przeliczenie współczynnika C_r jest konieczne, ponieważ Walton określił stan studni na podstawie współczynnika C (Jacoba).

Ocenę parametrów hydraulicznych wykonanej studni możemy również przedstawić za pomocą parametru η oznaczającego sprawność studni. Jest to iloraz oporów przepływu laminarnego w warstwie wodonośnej do całkowitych oporów studni i możemy go opisać wzorem:

$$\eta = \frac{s_w}{s_w + \Delta s} = \frac{BQ}{BQ + CQ^n} \quad (16.16)$$

Za pomocą tego wzoru może również ocenić efektywność wykonanych w studni zabiegów jej usprawniania.

17. Pobieranie próbek wody do badań

17.1. Zasady pobierania próbek wody

Badania jakości wody prowadzi się w celu (Kapuściński *et al.*, 1997):

- charakterystyki hydrochemicznej eksploatowanej wody,
- określenia parametrów jakościowych wody.

W pierwszym przypadku pobór próbek powinien być dokonywany wg normy PN-87/C-04632 *Ogólne zasady pobierania próbek do badań fizycznych, chemicznych i biologicznych* wraz z uzupełniającymi normami w zakresie poboru i przygotowania próbek do oznaczania poszczególnych składników. W czasie eksploatacji próbnej należy pobrać co najmniej trzy próbki wody do badań fizykochemicznych: jedną pod koniec pompowania oczyszczającego, drugą i trzecią na początku i na końcu pompowania pomiarowego. Sposób pobierania, a następnie przechowywania i transportu, powinien zabezpieczać naturalne cechy fizykochemiczne wody. Należy także zwrócić uwagę na konieczność oznaczenia zawartości gazów zwłaszcza CO₂ i H₂S (Kapuściński *et al.*, 1997).

W przypadku drugim sposób poboru i przygotowania prób do badania odbywa się według szczegółowych wytycznych U.S. Geological Survey, jak to zalecają S. Witczak i A. Adamczyk (1994). Metodyka zawiera trójczęściową procedurę opróbowania łącznie z oznaczeniami polowymi:

1. Pobranie wody do laboratoryjnej analizy standardowej oraz do laboratoryjnej analizy specjalnej.
2. Oznaczenia polowe własności i składników ulegających zmianom.
3. Pobieranie próbek gazu bez kontaktu z powietrzem w trakcie określania wykładnika gazowego.

Laboratoryjnie określa się następujące składniki (Kapuściński *et al.*, 1997):

- Składniki główne: wapń (Ca), magnez (Mg), sód (Na), potas (K), chlor (Cl), siarczany (SO₄), wodorowęglany (HCO₃), węglany (CO₃), wodorotlenki (OH).

- Składniki drugorzędne: żelazo (Fe), mangan (Mn), azot amonowy (NH_4), azot azotanowy (NO_3), azotynowy (NO_2), fosforany (PO_4).
- Mikroelementy: jod (J), brom (Br), stront (Sr), cynk (Zn), molibden (Mo), arsen (As) nikiel (Ni), chrom (Cr), ołów (Pb), bor (B), lit (Li), miedź (Cu), selen (Se), glin (Al).
- Inne oznaczenia: krzemionka (SiO_2), agresywność wód na stal i beton.
- Analiza gazów rozpuszczonych w wodzie: siarkowodór (H_2S), tlen (O_2), dwutlenek węgla (CO_2), azot (N_2), hel (He), argon (Ar), metan (CH_4), etan (C_2H_4), propan (C_3H_8), n-butan (C_4H_{10}), i-butan (C_4H_{10}), n-pentan (C_5H_{12}), i-pentan (C_5H_{12}).

W warunkach polowych zaleca się wykonanie następujących oznaczeń: temperatura wody, odczyn pH, potencjał redox (Eh), przewodnictwo elektryczne, zasadowość, kwasowość, barwa, zapach, siarkowodór (H_2S) i dwutlenek węgla (CO_2).

17.2. Pobieranie próbek wody do badań fizyczno-chemicznych (analiza standardowa)

Zalecenia U.S.G.S. nakazują pobór równolegle czterech próbek wody (dwie filtrowane, dwie niefiltrowane). Z pobrania próbek wody do badań należy każdorazowo sporządzić protokół zgodnie z załącznikiem 13.

Próbka nr 1 – filtrowana w warunkach polowych

Próbkę pobiera się i filtruje w warunkach polowych przez filtr membranowy w ilości 1 dm^3 . Filtrację przeprowadza się pod ciśnieniem sprężonego azotu lub powietrza w odpowiednim przyrządzie. Następnie filtrat przelewa się i zamyka w szczelnej polietylenowej butelce. W próbce oznacza się: azot azotanowy (NO_3) i azotynowy (NO_2), bor (B), chlor (Cl), fluor (F), fosfor (P), krzemionkę (SiO_2), lit (Li), selen (Se), siarczany (SO_4), stopień twardości wody. Dopuszcza się przeprowadzenie filtracji w warunkach laboratoryjnych, jeżeli brak jest widocznych zmian np. w postaci osadu w butelce. W takim przypadku zaleca się wykonanie trzech oddzielnych analiz trzech oddzielnych części pobranej próby.

Próbka nr 2 – filtrowana w warunkach polowych i utrwalana przez zakwaszenie

Próbkę pobiera się i filtruje w warunkach polowych przez filtr membranowy w ilości 2 dm^3 . Filtrację przeprowadza się pod ciśnieniem sprężonego azotu lub powietrza w odpowiednim przyrządzie. Następnie filtrat zakwasza się podwójnie destylowanym kwasem azotowym w ilości zapewniającej obniżenie pH do wartości mniejszej niż trzy, co zapobiega powstawaniu osadu i sorpcji na ściankach butelki. Próbkę zamyka się w szczelnej polietylenowej butelce. W próbce oznacza się: arsen (As), bar (Ba),

chrom (Cr), cynk (Zn), glin (Al), kadm (Cd), kobalt (Co), magnez (Mg), mangan (Mn), miedź (Cu), molibden (Mo), nikiel (Ni), ołów (Pb), potas (K), sód (Na), srebro (Ag), stront (Sr), wanad (V), wapń (Ca), żelazo (Fe).

Próbka nr 3 – niefiltrowana

Próbkę pobiera się w ilości 1 dm³. Po poborze próbkę przechowuje się w ciemnym i chłodnym miejscu. Do oznaczeń wykorzystuje się klarowną część próbki. Analizę wykonuje się zaraz po otwarciu próbki w laboratorium i możliwie najszybciej po poborze. W próbce oznacza się: zasadowość, dwutlenek węgla (CO₂), barwę, odczyn pH.

Próbka nr 4 – niefiltrowana

Próbkę pobiera się w ilości 1 dm³. Analizę przeprowadza się możliwie krótko po poborze próbki. Próbkę wytrząsamy bezpośrednio przed analizą. W próbce oznacza się: cyjanki, fosfor, mętność, zawiesiny, azot amonowy (NH₄), azot organiczny (N_{org}), chemiczne zapotrzebowanie tlenu (ChZT).

17.3. Pobieranie próbek wody do badań bakteriologicznych

Pobór próbek wody powinien być przeprowadzony ze szczególną ostrożnością gwarantującą zachowanie jałowości próbki. Punktem poboru może być kurek probierczy zainstalowany na rurociągu odprowadzającym wodę z pompowania bądź bezpośrednio wylot tego rurociągu. W celu wyeliminowania wtórnych zanieczyszczeń, każdorazowo miejsce poboru próbki musi być poddane dezynfekcji. Po przeprowadzeniu odkażania wodę należy pompować przez około 10 minut, po czym można przystąpić do poboru. Z uwagi na szybko zachodzące zmiany w składzie mikrobiologicznym wody, zwłaszcza w okresie letnim z uwagi na wysokie temperatury powietrza, konieczne jest niezwłoczne dostarczenie próbki wody do laboratorium. W przypadku gdy niemożliwe jest niezwłoczne przekazanie próbki do analizy, należy obniżyć jej temperaturę do 1÷10 °C. Próbka nie powinna być jednak dostarczona później niż w ciągu:

- 12 h od chwili poboru – w przypadku wód prawdopodobnie niezanieczyszczonych,
- 6 h od chwili poboru – w przypadku wód prawdopodobnie zanieczyszczonych.

Wytyczne dotyczące projektowania warunków pobierania próbek wody, procedur pobierania próbek do badań mikrobiologicznych oraz dotyczące transportu, postępowania z próbkami i przechowywania pobranych próbek przed rozpoczęciem analizy podają normy: PN-ISO 5667-11:2004 *Jakość wody. Pobieranie próbek. Część 11: Wytyczne dotyczące pobierania próbek wód podziemnych* oraz PN-EN ISO 19458:2007 *Pobieranie próbek do analiz mikrobiologicznych*.

17.4. Pobieranie próbek wody do badań specjalnych

Pobór wody dotyczy następujących składników: azot amonowy i organiczny, siarkowodor (H₂S) i siarczki, tlen rozpuszczony. Pobór próbek wody powinien się odbywać zgodnie z wymaganiami normy PN-87/C-04632 *Ogólne zasady pobierania próbek do badań fizycznych, chemicznych i biologicznych* i innych pokrewnych.

Pobór próbek wody do analiz wykonuje się zasadniczo na powierzchni. W niektórych przypadkach zalecany jest pobór wgłębnny. Pobór wgłębnny należy wykonać gdy (Kapuściński *et al.*, 1997):

- Dopływ do złoża odbywa się z kilku stref złożowych znacznie różniących się składem mineralnym.
- Istnieje duża zawartość gazu w wodzie, który wydziela się z wody na drodze od poziomu produkcyjnego do głowicy i reaguje z rurami okładzinowymi i wydobyczymi, powodując zafałszowanie składu całkowitego.
- Brak jest odpowiedniej instalacji separacyjnej i pomiarowej na powierzchni w celu dokładnego określenia składu fazy ciekłej i gazowej w przypadku współistnienia tych faz na powierzchni.

Pobór próbek metodą wgłębną z dużych głębokości powinien być wykonywany w sposób analogiczny jak pobór próbek ropy naftowej – odpowiednim próbnikiem o pojemności ok. 600 cm³. Próbę taką należy rozdzielić w warunkach laboratoryjnych w separatorze na obie fazy, ustalając ich stosunki fazowe. Odseparowany gaz należy analizować pod względem zawartości dwutlenku węgla, siarkowodoru, azotu i węglowodorów. Z uwagi na małą ilość pobranej próbki wody złożowej należy dokładnie rozważyć kolejność i zakres wykonywanych oznaczeń fazy ciekłej zgodnie z ogólnymi wytycznymi opisanymi w części dotyczącej analizy próbek wody napowierzchniowej (Kapuściński *et al.*, 1997).

Należy przewidzieć pobór wody próbnikiem ciśnieniowym z wytypowanych wcześniej stref zasilania w odwiercie, po wykonaniu badania przepływomierzem wgłębnym i termometrem – o ile pozwolą na to warunki w odwiercie. Analizę własności fizykochemicznych takiej próby należy rozszerzyć o określenia ciśnienia nasycenia próbki wody, rozpuszczalności gazów w niej zawartych, składu gazu, o pełną analizę wody zmineralizowanej oraz odpowiednie badania izotopowe po separacji obu faz w celu określenia przybliżonego wieku i pochodzenia wody z pobranych prób.

18. Szczerpywanie wody w otworze

18.1. Wykonywanie szczerpywań wody łyżką wiertniczą

Najprostszym sposobem wykonania próbnego pompowania jest szczerpywanie słupa wody łyżką wiertniczą opuszczaną na linie. Na podstawie szczerpywania słupa wody łyżką wiertniczą można ustalić ilość wyeksploatowanej wody w określonym czasie oraz depresję. Można również obliczyć szybkość dopływu wody do studni.

Tego rodzaju pompowanie może być zastosowane w studniach o małych wydajnościach i małych średnicach filtra, w których trudno jest zainstalować pompę oraz przy głęboko występującym statycznym poziomie wody. Czerpanie wody może być ręczne lub mechaniczne. Ten sposób ustalania wydajności studni jest przybliżony z uwagi na brak rytmiczności czerpania wody.

Obliczenie wydatku szczerpywanej wody może być dokonane na podstawie poniższego wzoru:

$$Q = \frac{V \cdot n}{t}, \text{ dm}^3/\text{min} \quad (18.1)$$

gdzie:

- Q – wydajność studni, dm^3/min ,
- V – pojemność łyżki, dm^3 ,
- n – liczba wyciągniętych łyżek,
- t – czas łyżkowania, min.

18.2. Obliczanie wydajności i współczynnika filtracji

18.2.1. Obliczanie wydajności

Obliczenia wydajności ujęć dokonuje się zwykle za pomocą metod analitycznych (metod hydrodynamicznych). Jest to grupa najdokładniejszych i najpewniejszych metod obliczeń wydajności studni i ujęć wód podziemnych.

Metody hydrodynamiczne obejmują:

- obliczenia wydajności według wzorów filtracji ustalonej Dupuita na dopływ wody do pojedynczej studni,

- wzory na wielką studnię w przypadku obliczeń wydajności dla zespołu studni,
- obliczenia według wzorów Theisa i Hantusha w przypadku konieczności prognozowania wydajności w warunkach długotrwałej filtracji nieustalanej.

18.2.2. Wyznaczanie parametrów hydrogeologicznych warstw chłonnych metodami polowymi w otworach wiertniczych

Uwagi ogólne

Oznaczanie parametrów warstwy wodonośnej metodami polowymi możliwe jest w przypadku występowania odpowiedniego wyrobiska odsłaniającego warstwę stanowiącą poziom wodonośny (Rogoż, 2007).

Otwory odwiercone do spągu badanej warstwy wodonośnej i zafiltrowane na całej jej miąższości nazywają się otworami lub studniami zupełnymi albo dogłębnymi. W przypadku dużej miąższości warstwy wodonośnej otwór może nie sięgać do jej spągu. Otwór taki nazywa się wiszącym lub niedogłębnym. Otwory, w których część zafiltrowana nie obejmuje całej przewierconej miąższości warstwy wodonośnej, nazywają się niepełnymi lub niezpełnymi.

W celu określenia wartości parametrów, zwłaszcza współczynnika filtracji, stosuje się najczęściej wymuszoną zmianę naturalnych warunków hydrodynamicznych, mianowicie obniżenie zwierciadła wody w otworze poprzez pompowanie lub szczyptywanie wody albo podniesienie zwierciadła poprzez wlewanie lub właczanie wody do otworu.

Wymuszona zmiana warunków hydrodynamicznych pozwala nie tylko oznaczyć współczynnik filtracji, ale także rozpoznać zasięg poziomy warstwy wodonośnej oraz wielkość i sposób jej zasilania.

Spośród wszystkich metod oznaczania współczynnika filtracji (Rogoż, 2007) za najbardziej wiarygodne i ściśle uważane są próbne pompowania w otworach. Badania te wykonuje się bowiem w naturalnych warunkach ciśnienia, temperatury i mineralizacji wody, w utworach wodonośnych o nienaruszonej strukturze.

Rzadziej stosowane metody oznaczania współczynnika filtracji polegają na zalewaniu otworów wodą, która wskutek wytworzonego nadciśnienia infiltruje do badanej warstwy wodonośnej.

Oznaczanie współczynników filtracji warstwy wodonośnej metodą próbnego pompowania w stanie ustalonym

Interpretacja wyników próbnego pompowania polega na przekształceniu wzorów na dopływ lub depresję w odpowiednich warunkach, tak by współczynnik filtracji k stał się zmienną zależną, a dopływ Q i depresja s , jak również pozostałe parametry – zmiennymi niezależnymi. W przypadku filtracji laminarnej wykorzystuje się przekształcone wzory Dupuita i Thiema, ewentualnie z poprawką Forchheimera. W przypadku filtracji turbulენტnej wykorzystuje się wzory Krasnopolskiego (Pazdro, Kozerski, 1990; Rogoż, 2007).

Oznaczanie współczynników filtracji warstwy wodonośnej metodą próbnego pompowania w stanie nieustalonym

Idea oznaczania parametrów warstwy wodonośnej metodą próbnego pompowania w stanie nieustalonym polega na możliwie dokładnej obserwacji przebiegu obniżania się zwierciadła wody w studni lub w otworze obserwacyjnym w funkcji czasu podczas pompowania wody ze studni ze stałą wydajnością. W tym celu obok otworu badawczego, w którym wykonywane jest próbne pompowanie, powinny być założone jeden lub dwa otwory obserwacyjne. Odległość otworów obserwacyjnych od otworu badawczego zależy od charakteru warstwy wodonośnej (naporowa lub swobodna) oraz od jej wstępnie ocenianej wodoprzewodności, przy czym im większa jest wodoprzewodność warstwy, tym dalej od otworu badawczego umieszcza się otwory obserwacyjne. W przypadku warstwy o zwierciadle napiętym otwory obserwacyjne powinny być umiejscowione w odległości od 80 do 300 m, w przypadku warstwy o zwierciadle swobodnym – w odległości nie mniejszej niż 1,5 jej miąższości, lecz nie dalej niż 100 m (Rogoż, 2007).

Do interpretacji wyników stosuje się wzory omówione szczegółowo m.in. w pracach (Pazdro, Kozerski, 1990; Rogoż, 2007). W zależności od czasu trwania pompowania, argument u funkcji studni przyjmuje większe lub mniejsze wartości. Na ogół rozróżnia się pompowanie krótkotrwałe, gdy $u > 0,01$ oraz pompownie długotrwałe, gdy $u \leq 0,01$. W przypadku krótkotrwałego pompowania do interpretacji wyników musi być stosowany wzór Theisa, natomiast interpretację wyników długotrwałego pompowania można wykonać na podstawie przybliżenia logarytmicznego Jacoba. Równanie Theisa oraz pochodne równania Jacoba, Hantusha i inne mają postać zbyt uwikłaną, by można je było rozwiązywać analitycznie. Dlatego do interpretacji wyników próbnych pompowań w stanie nieustalonym stosuje się różne metody graficzne i numeryczne (Rogoż, 2007).

Metody interpretacji wyników próbnych pompowań w stanie nieustalonym umożliwiają bezpośrednie określenie współczynnika wodoprzewodności T oraz pojemności S . Znając wodoprzewodność T i miąższość m warstwy wodonośnej, można obliczyć jej współczynnik filtracji k .

Oznaczanie współczynników filtracji metodą zalewania otworów wiertniczych

Metoda zalewania otworów wiertniczych polega na ich zalewaniu wodą, która wskutek wytworzonego nadciśnienia infiltruje do badanej warstwy wodonośnej. Wokół zalewanego otworu powstaje stożek nadciśnienia, odpowiadający kształtem odwróconemu lejowi depresji (Rogoż, 2007).

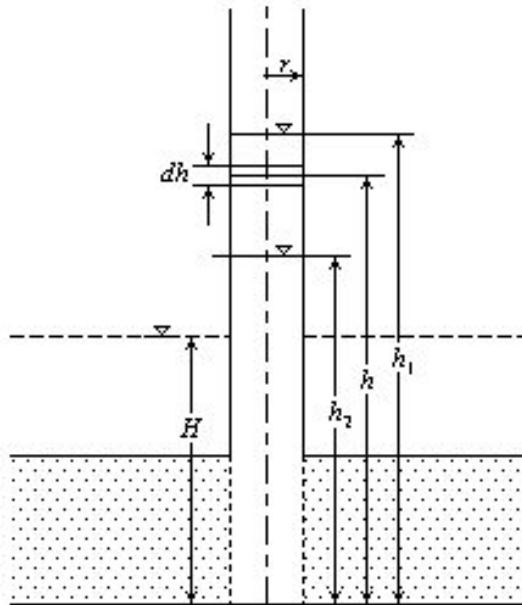
Badanie może być wykonywane przy doprowadzaniu do otworu wody ze stałym wydatkiem Q i pomiarze dynamicznej wysokości słupa wody nad statycznym zwierciadłem wody w warstwie wodonośnej. Interpretację wyniku tego rodzaju badania można przeprowadzać za pomocą tych samych wzorów, które służą do interpretacji wyników próbnych pompowań w analogicznych warunkach. W obliczeniach depresję zastępuje się wysokością nadciśnienia, a promień leja depresji – promieniem stożka nadciśnienia.

Ten rodzaj badania jest trudny do zastosowania w otworach tłocznych umiejscowionych w złożach ropy naftowej i gazu ziemnego, ze względów technicznych (małe średnice końcowe otworów, uniemożliwiający równoczesne prowadzenie zalewania otworu i wykonywanie pomiarów słuza wody).

W głębokich otworach wiertniczych, zafiltrowanych lub bosych na odcinku badanej warstwy wodonośnej, stosowany bywa również inny rodzaj badania, polegający na zalaniu otworu do wierzchu i obserwacji obniżania się zwierciadła wody w otworze w funkcji czasu. Badanie takie również wymaga specyficznego sposobu interpretacji wyników.

Poziom wodonośny o zwierciadle napiętym

Zakłada się, że otwór wiertniczy jest studnią zupełną, to znaczy, że jest bosy, zafiltrowany lub rury okładzinowe są sferforowane na długości odpowiadającej całej miąższości m badanego poziomu wodonośnego. Na rysunku 18.1 przyjęto jako poziom odniesienia H dla wysokości hydraulicznych poziom spągu badanej warstwy wodonośnej, lecz poziom ten może być przyjęty dowolnie. Badanie przeprowadza się w warunkach zmiennego nadciśnienia. Polega ono na zalaniu otworu do wierzchu wodą lub solanką o stężeniu zbliżonym do stężenia soli w wodzie złożowej, a następnie pomiarze czasu t obniżania się zwierciadła cieczy w otworze między dwiema dowolnie przyjętymi głębokościami odpowiadającymi wysokościami hydraulicznym h_1 i h_2 (rys. 18.1). Zgodnie z prawem Darcy'ego, wydatek wchłaniania wody przez warstwę wodonośną będzie malał w miarę zmniejszania się wysokości hydraulicznej cieczy wypełniającej otwór (Rogoż, 2007).



Rys. 18.1. Schemat oznaczeń do interpretacji wyników badania chłonności naporowego poziomu wodonośnego metodą zalewania otworu wiertniczego

Ostatecznie współczynnik filtracji badanej warstwy wodonośnej o zwierciadle napiętym można obliczyć z wzoru (Rogoż, 2007):

$$k = \frac{r^2 \ln(R/r)}{2mt} \ln \left| \frac{h_1 - H}{h_2 - H} \right| \quad (18.2)$$

gdzie:

- k – współczynnik filtracji, m/s,
- m – miąższość warstwy wodonośnej, m,
- h, h_1, h_2 – wysokości hydrauliczne, m,
- H – wysokość statycznego zwierciadła wody nad poziomem odniesienia, m,
- r – promień studni, m,
- R – promień stożka nadciśnienia, m.

Opisana metoda daje wynik przybliżony, gdyż wartość promienia stożka nadciśnienia R podczas badania nie jest znana. Promień ten z pewnością nie jest stały, lecz zmienia się wraz z upływem czasu i spadkiem nadciśnienia, jednakże we wzorze występuje pod logarytmem, dlatego jego przybliżone określenie wprowadza relatywnie mały błąd wyniku. W celu uzyskania przybliżonego wyniku proponuje się wartość wyrażenia $\ln(R/r)$ przyjmować z przedziału $5 \div 8$, co w przybliżeniu odpowiada wartościom promienia nadciśnienia między $150r$, a $3000r$. W przypadku otworów wiertniczych o małych średnicach bardziej prawdopodobna wydaje się wartość logarytmu bliższa górnej granicy przedziału.

Poziom wodonośny o zwierciadle swobodnym

Badanie podobne do wyżej opisanego można wykonywać również w przypadku poziomów wodonośnych o zwierciadle swobodnym. Założenie dotyczące zafiltrowania otworu jest identyczne jak w przypadku poziomym o zwierciadle napiętym, lecz wyrowadzenie wzoru nieco się różni (Rogoż *et al.*, 2008).

Ostatecznie współczynnik filtracji badanej warstwy wodonośnej o zwierciadle swobodnym można obliczyć z wzoru (Rogoż, 2007):

$$k = \frac{r^2 \ln(R/r)}{2Ht} \ln \left| \frac{h_1 h_2 + H(h_1 - h_2 - H)}{h_1 h_2 - H(h_1 - h_2 + H)} \right| \quad (18.3)$$

Objaśnienia jak we wzorze (18.2).

Podobnie, jak w przypadku poziomym wodonośnego o zwierciadle napiętym, opisana metoda daje wynik przybliżony, ze względu na nieznaną wartość promienia stożka nadciśnienia R . W celu uzyskania przybliżonego wyniku proponuje się stosowanie w obliczeniach tych samych zaleceń co w przypadku poziomym wodonośnego o zwierciadle napiętym.

19. Odkazanie otworów studziennych

Wiercenie studni oraz wykonywane w trakcie jej eksploatacji różne zabiegi technologiczne są częstymi przyczynami przedostania się do wód podziemnych bakterii, wirusów, pasożytów oraz wyższych organizmów. Mikroorganizmy te mogą być wprowadzone do otworu razem z przewodem wiertniczym, kolumnami rur okładzinowych i filtrowych, osypką żwirową, urządzeniami do uaktywniania studni i wykonania testów hydrodynamicznych oraz z próbnikami do poboru wody. Zatem wykonana studnia, przed oddaniem jej do eksploatacji, powinna być poddana zabiegom dezynfekcji w celu zniszczenia żywych i przetrwalnikowych organizmów patogennych oraz zapobieżenia ich wtórnemu rozwojowi w samej studni i w strefie przyfiltrkowej.

Dezynfekcję studni wykonuje się również w trakcie jej eksploatacji, każdorazowo po wykonaniu jakichkolwiek prac w jej wnętrzu. Do skażenia wody w studni dochodzi najczęściej przy wymianie instalacji pompowej lub podczas wykonywania pomiarów przy wykorzystaniu różnych urządzeń.

Dezynfekcja wody w studni jest wykonywana metodami chemicznymi i polega na dawkowaniu do niej silnych utleniaczy. Im większy jest potencjał utleniający substancji, tym większa jest jej zdolność do utleniania zanieczyszczeń organicznych w dezynfekowanej wodzie. Skuteczność dezynfekcji zależy zarówno od rodzaju użytego środka, jak i jego dawki oraz czasu kontaktu i odporności mikroorganizmu.

19.1. Środki odkazające

W praktyce przemysłowej do dezynfekcji studni stosowane są głównie środki na bazie związków chloru takie jak podchloryn sodowy i wapniowy, chloramina T, wapno chlorowane oraz dichloroizocyanuran sodu.

Podchloryn sodowy występuje w postaci uwodnionych soli $\text{NaOCl}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ lub $\text{NaOCl}\cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$. Posiada białą barwę i jest związkiem nietrwałym, łatwo rozpuszczającym się w wodzie.

Produkt handlowy występuje w dwóch rodzajach A i B, które różnią się zawartością NaOH . Zawartość chloru aktywnego w gatunkach A i B musi wynosić co najmniej

145 g Cl_2/dm^3 , zaś zawartość NaOH wynosi 20÷30 g/dm³ w rodzaju A i 70÷90 g/dm³ w rodzaju B. Obecność NaOH zwiększa trwałość wodnego roztworu NaOCl.

Do dezynfekcji wody stosuje się rozcieńczone wodne roztwory NaOCl w ilościach odpowiadających średniej dawce chloru 1,5 g Cl_2/m^3 . Woda do przygotowania rozcieńczonych roztworów podchlorynu sodowego musi być miękka, aby uniemożliwić wytrącanie się osadów CaCO_3 i $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (Kowal, Świdowska-Bróz, 1996).

Podchloryn sodowy najefektywniej działa przy pH słabo zasadowym. Podwyższenie pH w stronę wartości bardziej zasadowych zmniejsza jego aktywność wskutek zmniejszania się liczby cząsteczek niezdysonowanych. Powoduje on korozję metali. Bardzo dobrze przenika do biofilmów i efektywnie niszczy zawarte w nich drobnostrój, łatwo penetruje w materiałach organicznych.

Podchloryn wapniowy $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ jest substancją stałą, higroskopijną, koloru białego, o charakterystycznym zapachu chloru. Miarą jego aktywności jest zawartość „chloru aktywnego”. W praktyce przemysłowej do dezynfekcji wody stosuje się roztwory o koncentracji 0,5÷0,8%.

Podchloryn wapniowy nie jest szeroko stosowany w praktyce przemysłowej ponieważ nierozpuszczalne produkty reakcji wapnia mogą prowadzić do kolmatacji filtrów studziennych i w konsekwencji do obniżenia wydajności studni (Howsam *et al.*, 1995).

Chloramina T (wzór sumaryczny $\text{C}_7\text{H}_7\text{ClNNaO}_2\text{S}$ – inny wzór $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{NCl}$) jest organicznym związkiem chemicznym z grupy chloramin, jest to sól sodowa N-monochlorotoluenosulfamidu i w sprzedaży występuje w postaci proszku. Dobrze rozpuszcza się w wodzie, w której hydrolizuje z wytworzeniem podchlorynu o właściwościach dezynfekujących. Chloraminę T do dezynfekcji wody stosuje się w postaci rozpuszczonej o żądanej koncentracji. Najczęściej w praktyce przemysłowej stosuje się roztwory o koncentracji od 0,3% do 1%.

Chloraminy są bardzo stabilne w przechowywaniu, w związku z tym mają długi termin ważności. Są także mało wrażliwe na obecność substancji organicznych, natomiast ich wadą jest powolne działanie.

Wapno chlorowane $(\text{Ca}(\text{ClO})\text{Cl})$ jest mieszaniną podchlorynu i chlorku wapniowego o właściwościach żrąco-trujących. Zawiera 25÷35% aktywnego chloru i jest silnym utleniaczem. Jest związkiem nietrwałym i w powietrzu rozkłada się, wydzielając wolny chlor. Wzrost temperatury oraz światło przyspieszają rozpad wapna chlorowanego na chloran $(\text{Ca}(\text{ClO}_3)_2)$ i chlorek wapniowy (CaCl_2) . Wodny roztwór wapna chlorowanego ma właściwości silnie utleniające oraz trujące. Wodę w studni dezynfekuje się roztworem wapna chlorowanego o koncentracji 0,2÷0,4%.

Dichloroizocyanuran sodu (NaDCC) należy do stosunkowo nowej grupy preparatów. Wykazują one, dzięki bardzo dużej zawartości aktywnego chloru, silne działanie bakteriobójcze oraz działają w bardzo niskich stężeniach. Są stabilne podczas przechowywania i bardzo łatwo przenikają do biofilmu. Występują w postaci tabletek i są przez to łatwe do stosowania i dozowania, a pH ich roztworów wynosi 6.0.

19.2. Sporządzanie stężonego roztworu odkażającego

Chlorowanie wody wymaga wstępnego określenia dawki chloru i jego czasu kontaktu z wodą. Na dobór tych wielkości istotny wpływ ma rodzaj i poziom skażenia bakteriologicznego wody w studni, pH i temperatura wody, ilość zawiesin oraz warunki przeprowadzenia dezynfekcji. Można zatem stwierdzić, że efektywność przeprowadzenia zabiegu jest funkcją wieloparametrową. W związku z tym rodzaj środka dezynfekującego oraz parametry technologiczne zabiegu powinny być określone indywidualnie dla każdej studni przy uwzględnieniu konstrukcji studni, parametrów fizykochemicznych wody oraz wielkości i rodzaju jej skażenia. Spośród tych parametrów znaczny wpływ na skuteczność niszczenia bakterii ma czas działania środka dezynfekującego. Z literatury (Kowal, Świdarska-Bróż, 1996) wynika, że przy zawartości w wodzie chloru powyżej $0,5 \text{ g Cl}_2/\text{m}^3$ po dwóch godzinach kontaktu większość bakterii i wirusów zostaje zniszczona, a bardziej odporne np. wirusy polio po pięciu godzinach kontaktu i dawce $1 \text{ g Cl}_2/\text{m}^3$. W tabeli 19.1 podano wymagane dawki chloru i chloraminy oraz minimalne czasy kontaktu potrzebne do usunięcia z wody wybranych bakterii.

Tabela 19.1

Zestawienie koncentracji chloru i czasów kontaktu niezbędnych do zabicia wybranych bakterii (Kowal, Świdarska-Bróż, 1996)

Bakterie	Postać chloru	Stężenie chloru w wodzie [g Cl ₂ /m ³]	Niezbędny czas kontaktu
<i>Escherichia coli</i>	HOCl	0,05	1 min
	NHCl ₂	1,5	9 min
<i>Bacillus mathanicus</i>	HOCl	25	31,6 h
	NHCl ₂	1000	73,7 h
<i>Salmonella typhi</i>	HOCl	0,06	2 min
	NHCl ₂	0,9	12 min
<i>Shigella dysenteriae</i>	HOCl	0,08	1 min
	NHCl ₂	1,2	9 min

W warunkach przemysłowych, w celu skutecznego przebiegu odkażania studni roztwór stężonego preparatu dezynfekcyjnego powinien być przygotowany bezpośrednio przed wykonaniem zabiegu i wprowadzony do studni na czas 24 godzin. W tabeli 19.2 podano średnie ilości substancji na bazie chloru, potrzebne do przygotowania 1 m^3 roztworu.

W literaturze (Richard, 1987; Ministry of Environment, 1987; Schnieders, 2003) do dezynfekcji studni zaleca się przygotowanie roztworów dających nieco wyższe koncentracje wolnego chloru w wodzie niż wartości podawane w literaturze polskiej. Przy stosowaniu środków na bazie chloru, zawierających w swoim składzie od 65 do 75% czynnego chloru, do przygotowania 1 m^3 roztworu dezynfekującego zaleca się stosować od 380 do 400 g środka dezynfekującego w postaci tabletek.

Tabela 19.2

Zestawienie ilości wybranych substancji, potrzebnych do przygotowania 1 m³ roztworu do dezynfekcji studni

Podchloryn sodowy [g/m ³]	Chloramina T ^{**} [g/m ³]	Wapno chlorowane ^{***} [g/m ³]	Dichloroizocyjanuran sodu ^{****} [g/m ³]
670	400	350	120

Objaśnienia:

* Podchloryn sodowy – 15-procentowy roztwór wodny w ilości 670 g/m³ lub 0,60 dm³/m³,

** Chloramina T o zawartości 25% czynnego chloru,

*** Wapno chlorowane o zawartości 25% czynnego chloru,

**** Dichloroizocyjanuran sodu o zawartości 75% czynnego chloru.

W celu przeprowadzenia skutecznego zabiegu dezynfekcji studni należy przygotować taką ilość roztworu, aby można było nim wypełnić kolumnę filtrową wraz ze strefą przyfiltrową warstwy wodonośnej. Roztwór dezynfekujący należy przygotować w specjalnie do tego celu przygotowanych zbiornikach, odpornych na korozję.

W praktyce przemysłowej do dezynfekcji studni przygotowuje się roztwór do chlorowania w ilości przekraczającej cztero-, pięciokrotnie objętość wody w studni.

Ze względu na dużą toksyczność chloru w stosunku do organizmów żywych przygotowanie stężonego roztworu powinno się odbywać przy zachowaniu szczególnych środków ostrożności, przestrzeganiu zasad BHP i z dala od otworu. Pracownicy muszą nosić odpowiednią odzież ochronną i sprzęt ochronny, chroniący oczy i skórę przed odpryskami i wyciekami.

19.3. Sposób przeprowadzania dezynfekcji studni

Bezpośrednio przed wykonaniem zabiegu dezynfekcji należy oczyścić studnię z osadów mineralnych i biologicznych, które w znacznym stopniu wiążą chlor i tym samym mogą wpłynąć na obniżenie jego koncentracji w wodzie. Można to wykonać poprzez mechaniczne usunięcie osadów z wnętrza kolumny filtrowej za pomocą zestawu składającego się np. z mechanicznej szczotki, wyposażonej w dysze płuczące, a następnie przez krótkotrwałe pompowanie oczyszczające. W celu zwiększenia skuteczności zabiegu do wody wykorzystanej do oczyszczania studni należy wprowadzić środki dyspergujące.

Przed rozpoczęciem zabiegu dezynfekcji studni należy przygotować taką ilość stężonego roztworu wybranej substancji na bazie chloru, aby usunąć mikroorganizmy z samej studni i ze strefy przyfiltrowej. W literaturze (Ministry of Environment, 1987; Schnieders, 2003) zaleca się wprowadzenie do studni stężonego roztworu chloru w ilości odpowiadającej od dwóch do czterech objętości otworu.

Przygotowany roztwór chloru powinien posiadać takie stężenie, aby po zatłoczeniu do studni, osiągnąć jego koncentrację w wodzie w założonej wysokości oraz utrzymywać pH wody na neutralnym poziomie.

Związki na bazie chloru, po zmieszaniu z wodą powodują wzrost pH, co znacznie spowalnia bakteriobójcze działanie chloru i powoduje dodatkowo korozję metali. W celu zwiększenia skuteczności zabiegu dezynfekcji powinny być zatem wprowadzone do przygotowywanego roztworu chloru środki zmniejszające pH wody. Do tego celu może być wykorzystany słaby kwas octowy, najlepiej w roztworze 5-procentowym. Kwas ten należy wprowadzić do zbiornika z wodą przed substancją stosowaną do chlorowania w takiej ilości, aby uzyskać pH o wartości 4,5 (Schnieders, 2003; Morgan, Rogers, 2005).

Roztwór chloru, ze względu na zachowanie bezpieczeństwa załogi należy przygotować w zbiorniku znajdującym się na wolnym powietrzu i bezpośrednio w sąsiedztwie otworu.

Stężony roztwór chloru może być wprowadzony do studni grawitacyjnie, bezpośrednio ze zbiornika, za pomocą gumowego węża lub ciśnieniowo przy wykorzystaniu pompy i rur płuczkowych. Wprowadzanie roztworu chloru powinno się odbywać przy statycznym zwierciadle wody na wysokości filtra.

W celu uzyskania jednakowej koncentracji chloru w całej objętości wody w studni należy wymieszać chlor z wodą za pomocą tłoka przelotowego. W zależności od przyjętej technologii wprowadzania roztworu do studni mieszanie słupa wody może być wykonane przy wykorzystaniu zestawu składającego się z obciążnika i przykręconego tłoka, zapuszczonego do studni na linie lub też za pomocą tłoka przykręconego do rur płuczkowych.

Roztwór chloru powinien pozostać w studni przez co najmniej 24 godziny, a następnie powinien być usunięty za pomocą zestawu do pompowania oczyszczającego. Pompowanie oczyszczające należy prowadzić do momentu zaniku zapachu chloru w wodzie, a efektywność wykonanych prac należy sprawdzić przez wykonanie analizy bakteriologicznej wody. W przypadku przekroczenia dopuszczalnej normy należy zabieg dezynfekcji studni powtórzyć.

W celu uzyskania zakładanych efektów prac należy również zdezynfekować przygotowanym roztworem chloru wewnętrzną ściankę rur nadfiltrowych oraz pompy głębinowej i kolumny rur eksploatacyjnych.

19.4. Warunki bezpieczeństwa

Substancje na bazie chloru, stosowane do dezynfekcji studni, są środkami niebezpiecznymi dla zdrowia ludzkiego. Ich transport do miejsca przeznaczenia oraz ich magazynowanie powinno być zgodne z aktualnie obowiązującymi w tym zakresie przepisami.

Osoby przygotowujące stężone roztwory substancji na bazie chloru oraz przeprowadzające zabiegi dezynfekcji studni powinny posiadać aktualne szkolenia BHP w zakresie składowania i wykorzystania tych substancji oraz powinny być wyposażone w kompletne ubrania kwasoodporne, cellonowe osłony twarzy oraz fartuchu i buty kwasoodporne. Powinny również posiadać maski przeciwgazowe z pochłaniaczem par i gazów kwaśnych lub wielogazowym.

Sporządzenie roztworu dezynfekującego powinno być przeprowadzone w miejscu przewiewnym, a jego wprowadzanie do studni powinno odbywać się od strony zewnętrznej.

20. Likwidacja otworów

Likwidacja otworu to sposób izolacji poziomów wodonośnych, uniemożliwiający przedostawanie się płynów na powierzchnię oraz migrację płynów pomiędzy poziomami. Wokół otworu wyznacza się strefę ochronną i ustala sposób oznakowania wylotu.

Celem likwidacji otworu jest wyeliminowanie niekorzystnego wpływu wyrobiska górniczego na otaczające go środowisko.

W związku z tym technologie związane z likwidacją otworu powinny umożliwiać szczelne izolowanie uprzednio przewierconych horyzontów wodonośnych.

Przed podjęciem decyzji o likwidacji należy rozważyć możliwość wyciągnięcia kolumny filtrowej lub niektórych rur okładzinowych z otworu. Szczególnie wskazane jest usunięcie z otworu kolumny filtrowej i obsypki żwirowej, jeśli w nim występują. Do dalszego projektowania wskazane jest wzięcie pod uwagę rzeczywistego profilu geologiczno-złożowego, konstrukcji otworu i jego stanu technicznego.

Po przeprowadzeniu analizy konstrukcji otworu hydrogeologicznego zaleca się wykonać szczelną izolację zaczynem cementowym lub iłem w każdej warstwie wodonośnej i bezpośrednim ich otoczeniu oraz przy wylocie otworu na powierzchnię terenu.

Warstwy wodonośne udostępnione filtrem lub bezfiltrowo zaleca się odizolować, wykonując cementację ciśnieniową na chłonność górotworu. Jeśli to jest możliwe, to długość zakładki poniżej spągu warstwy wodonośnej powinna wynosić od 5 do 15 m, a długość górnej zakładki powyżej stropu tej warstwy ma wynosić od 5 do 15 m (rys. 20.1).

Przestrzeń pomiędzy korkami cementowymi można wypełnić płuczką wiertniczą.

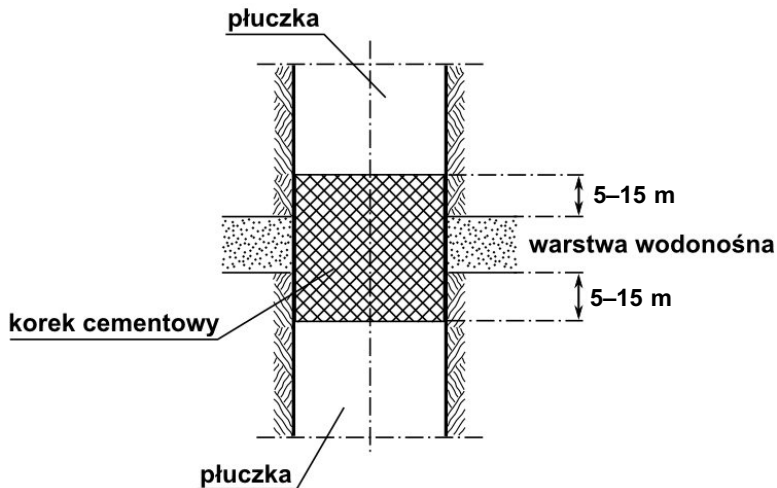
Gdy górny korek cementowy znajduje się w pobliżu zalegającej warstwy wodonośnej, wówczas należy przedłużyć go tak, aby zakładka poniżej spągu warstwy wodonośnej miała od 5 do 15 m (rys. 20.2).

Sposób zabezpieczenia wylotu otworu należy wybierać indywidualnie w zależności od stanu technicznego i istniejących w danym terenie uwarunkowań. Może on być zrealizowany bez oznakowania i z oznakowaniem w terenie.

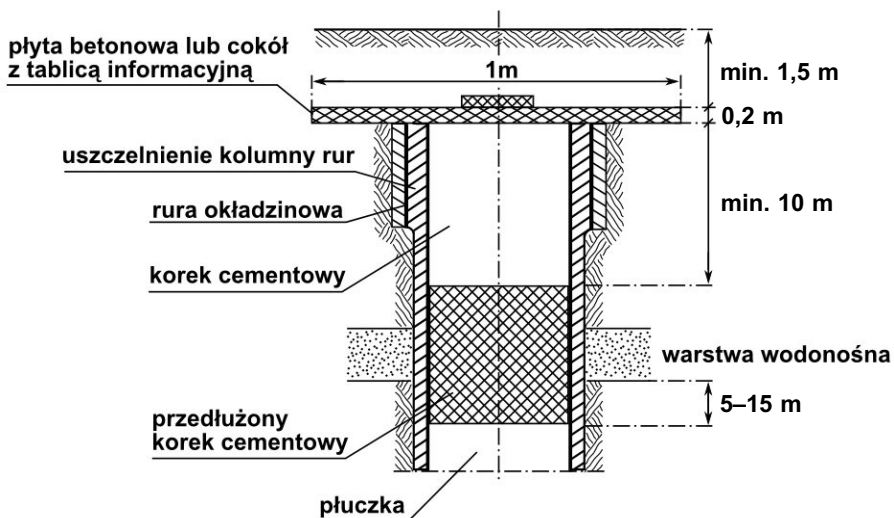
W przypadku przyjęcia, że otwór nie będzie oznakowany na powierzchni terenu, należy:

- zdemontować wyposażenie powierzchniowe;
- wyciąć więźby rurowe z istniejącymi kolumnami rur okładzinowych na głębokości nie mniejsze niż 1,7 m od poziomu terenu; obcięte powierzchnie rur powinny być równe i gładkie oraz zabezpieczone przed korozją;

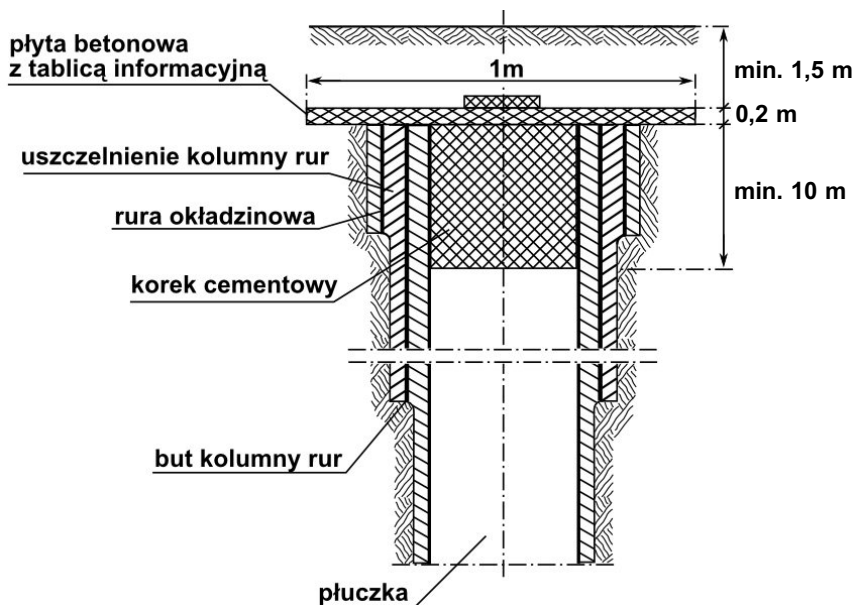
- zabezpieczyć przełoty rur zespawanymi metalowymi pokrywami;
- wykonać płytę betonową o wymiarach $0,6 \times 0,6 \times 0,2$ m z trwałym oznaczeniem nazwy i numeru otworu (rys. 20.3); powyższe wymiary są odpowiednie w przypadku średnicy rur okładzinowych nieprzekraczającej 0,4 m; w przeciwnym razie należy powiększyć wymiary płyty betonowej tak, aby jej długość przekraczała początkową średnicę otworu i z każdej z czterech stron sięgała po 0,1 m poza obrys zewnętrznej kolumny rur okładzinowych.



Rys. 20.1. Schemat odizolowania korkiem cementowym warstwy wodonośnej



Rys. 20.2. Schemat likwidacji otworu w rejonie warstwy wodonośnej i wylotu otworu



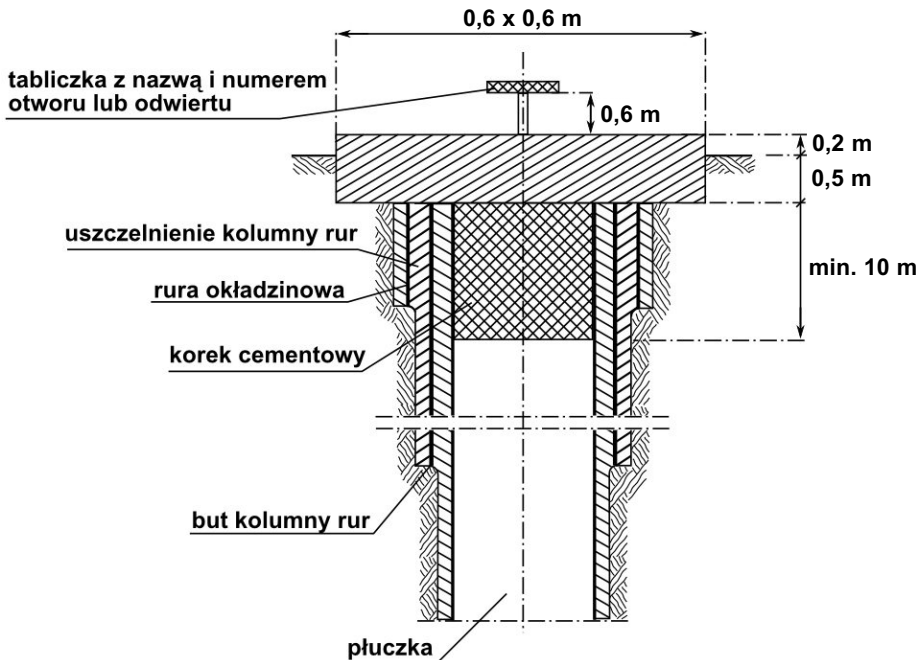
Rys. 20.3. Schemat zabezpieczenia wylotu otworu niewymagającego oznakowania na powierzchni terenu (średnica otworu do 0,4 m)

W przypadku przyjęcia, że otwór będzie trwale oznakowany na powierzchni terenu, należy wybrać jeden z poniższych sposobów:

- Do wylotu rur okładzinowych przyspawać lub przykręcić przeciwkryzę z rurą 2" wypełnioną zaczynem cementowym, o takiej długości, aby wystawała 0,6 m ponad poziom terenu. Rura powinna być zakończona tabliczką z blachy o wymiarze 180×250 mm, na której w sposób trwały ma być napisana nazwa i numer otworu. Całość trzeba oczyścić z rdzy i pomalować farbą koloru żółtego.
- Wykonać cokół betonowy (rys. 20.4) o wymiarach $0,6 \times 0,6 \times 0,5$ m (w tym 0,2 m powyżej powierzchni terenu) z wbetonowaną rurą 2" o długości 0,6 m zakończoną tabliczką z blachy o wymiarze 180×250 mm, na której w sposób trwały ma być napisana nazwa i numer otworu. Całość trzeba oczyścić z rdzy i pomalować farbą koloru żółtego. Powyższe wymiary są odpowiednie dla największej średnicy rur okładzinowych nieprzekraczającej 0,4 m. W przeciwnym razie należy powiększyć wymiary płyty betonowej tak, aby jej długość przekraczała początkową średnicę otworu i z każdej z czterech stron sięgała po 0,1 m poza obrys zewnętrznej kolumny rur okładzinowych.

Likwidację otworu przeprowadza się za pomocą iltu lub zaczynów uszczelniających (Stryczek, Gonet, 2001), których skład chemiczny oraz ich parametry technologiczne każdorazowo winny być dobierane w zależności od istniejących warunków:

- geologicznych i hydrogeologicznych,
- technicznych otworu.



Rys. 20.4. Schemat trwałego oznakowania w terenie miejsca zlikwidowanego otworu (średnica otworu do 0,4 m)

Właściwości fizykochemiczne skał górotworu znajdujących się w bezpośrednim otoczeniu wykonywanego wyrobiska górniczego, którym jest otwór wiertniczy, mają istotny wpływ na procesy wiązania i twardnienia stosowanych mieszanin i zaczynów uszczelniających (Stryczek *et al.*, 1999).

Zaczyny uszczelniające stosowane do likwidacji otworu powinny spełniać następujące kryteria:

- powinny pod względem fizykochemicznym być zgodne z otoczeniem otworu,
- parametry mechaniczne stwardniałych zaczynów powinny być takie same lub porównywalne z właściwościami naturalnego górotworu.

Zalecenia dotyczące zaczynów uszczelniających są następujące:

- Korki cementowe powinny być wykonywane przez wtłoczenie zaczynu do strefy uszczelnianej przez przewód wiertniczy.
- Szczelność korka można sprawdzić, przeprowadzając próbę hydrostatyczną.
- Zaleca się przeprowadzać próbę szczelności korka cementowego przez 30 minut.
- Za szczelny uznaje się korek cementowy, jeżeli podczas próby szczelności ciśnienie nie obniżyło się więcej niż o 5%.
- Sprawdzenie położenia stopu korka należy wykonać przez zapuszczenie zestawu przewodu do jego stopu i obciążenie korka ciężarem 5 kN po okresie wynikającym z czasu wiązania zaczynu uszczelniającego.

- Zaczyny cementowe stosowane do wykonania korków likwidacyjnych powinny być sporządzone i badane zgodnie z procedurami obowiązującymi w przypadku zaczynów stosowanych do uszczelniania kolumn rur okładzinowych.

Przykładową recepturę zaczynu uszczelniającego do likwidacji otworu podano poniżej:

cement portlandzki CEM I-32,5 R	– 100%
woda	– 50%
współczynnik wodno-cementowy	– 0,5
gęstość zaczynu	– 1835 kg/m ³

W celu regulacji czasu wiązania można dodać na przykład 2% węgla sodu. Z każdej likwidacji otworu należy sporządzić protokół zgodnie z załącznikiem 10. Ponadto należy wykonać geodezyjną inwentaryzację otworu w celu zgłoszenia jej do właściwego ośrodka dokumentacji geodezyjnej i kartograficznej oraz właściwych organów samorządu terytorialnego. Wokół zlikwidowanego otworu można wyznaczyć strefę ochronną.

21. Wykorzystane materiały i literatura

- Bear J., Zaslavsky D., Irmay S., 1968: *Physical principles of water percolation and seepage*. UNESCO.
- Bielewicz D., 2009: *Płyny wiertnicze*. Wydawnictwa AGH, Kraków.
- Bieske E., Rubbert W., Treskatis C., 1998: *Bohrbrunnen*. R. Oldenbourg Verlag, München, Wien.
- Bixley P.F., 1988: *Downhole measurements in geochemical wells*. E. Okandan (ed.), Geothermal Reservoir Engineering.
- Borecki M., Chudek M., 1972: *Mechanika górotworu*. Wydawnictwo Śląsk, Katowice.
- Bradley H.B. (Ed.), 1987: *Petroleum Engineering Handbook*. SPE Richardson, Tx.
- Castany G., 1972: *Poszukiwanie i eksploatacja wód podziemnych*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Chehata M., Karlic S., 1990: *Techniques de Forage, Fascile 1, Forages en Mines*. Tunis, Centre National Pedagogique.
- Chilinger G.V., Mazzullo S.J., Rieke H.H., 1992: *Carbonate reservoir characterization: a geologic-engineering analysis*. part I, Elsevier.
- Darcy H., 1856: *Les fontaines publiques des la ville de Dyon*. V. Dalmont, Paris.
- Dąbrowski S., Górski J., Kapuściński J., Przybyłek J., Szczepański A., 2004: *Metodyka określania zasobów eksploatacyjnych ujęć zwykłych wód podziemnych. Poradnik metodyczny*. Wydawnictwo Medyczne Borgis, Warszawa.
- Dąbrowski S., Przybyłek J., 1980: *Metodyka próbnych pompowań w dokumentowaniu zasobów wód podziemnych*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Dąbrowski S., Przybyłek J., 2005: *Metodyka próbnych pompowań w dokumentowaniu zasobów wód podziemnych. Poradnik metodyczny*. Edica S.A., Warszawa.
- Dominico P.A., Schwartz F.W., 1990: *Physical and Chemical Hydrogeology*. John Wiley & Sons.
- Dowgiałło J. et al. (red.), 2002: *Słownik hydrogeologiczny*. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Driscoll F.G., 1986: *Groundwater and Wells*. Johnson Division St. Paul MN.
- Dupuit J., 1863: *Etudes theoriques et pratiques sur le mouvement des eaux dans les canaux decouverts et a travers les terrains permeables*. Dunod, Paris.

- Earlougher Jr. R.C., 1977: *Advances in Well Test Analysis*. Monograph Series, Vol. 5, SPE, Dallas.
- Economides M.J., Nolte K.G., 1987: *Reservoir Stimulation*. Schlumberger Edu. Services.
- Gabryszewski T., 1983: *Wodociągi*. Wydawnictwo Arkady, Warszawa.
- Gądek W. et al., 1996: *Katalog sond stosowanych w geofizyce wiertniczej w Zakładzie Geofizyka Kraków*.
- Goliński I.A., Troskoleński A.T., 1972: *Strumienice*. WNT, Warszawa.
- Gonet A., Macuda J., 1995: *Wiertnictwo hydrogeologiczne*. UWND AGH, Kraków.
- Gonet A., Macuda J., 2004: *Wiertnictwo hydrogeologiczne*. UWND AGH, Kraków.
- Górecki W. (red.), 1990: *Atlas wód geotermalnych Niżu Polskiego*. Kraków.
- Hantush M.S., 1964: *Hydraulics of Wells. Advances in Hydrosience*. Vol. 1, Academic Press, New York.
- Harlan R.L., Kolm K.E., Gutenberg E.D., 1989: *Water Well Design and Construction*. Elsevier.
- Harter T., 2002: *Water Well Design and Construction*. University of California.
- Houben G., Treskatis C., 2007: *Water Well Rehab & Reconstruct*. McGraw Hill.
- Instrukcja obsługi wierceń hydrogeologicznych*. 1970: Zjednoczenie Przedsiębiorstw Hydrogeologicznych, Warszawa.
- Ives K., Coad A., 1987: *Selecting Filter Media. Developing World Water*. Grosvenor Press International, Hong Kong.
- Jacob C.E., 1947: *Drawdown test to determine effective radius of artesian well*. Transactions, ASCE, Vol. 112.
- Kapuściński J., Nagy S., Długosz P., Biernat H., Bentkowski A., Zawisza L., Macuda J., Bujakowska K., 1997: *Zasady i metodyka dokumentowania zasobów wód termalnych i energii geotermalnej oraz sposoby odprowadzania wód zużytych. Poradnik metodyczny*. Wydawnictwo Medyczne Borgis, Warszawa.
- Kleczkowski A.S. (red.), 1984: *Ochrona wód podziemnych*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Kowal A.L., Świdarska-Bróz M., 1996: *Oczyszczanie wody*. WNT, Warszawa–Wrocław.
- Kozerski B., 1996: *Determination of the Specific Yield in Waterbearing Rocks on the Basis of their Granulation*. Bull. Acad. Pol. Sc. Ser. Sc geol. geogr, Vol. 14.
- Krems G., 1961: *Die Westberliner Wassergewinnung – Fragen der Brunnenalterung und -regenerierung*. Hamburg.
- Lehr J.S., Hurlburt B.G., Voytek J., 1998: *Design and construction of water wells*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Łaciak S., Gonet A., Macuda J., 1987: *Some Problems of Making Dehydration Wells in the Brown Coal Mine Belchatów*. Troisième Séminaire International Miner., Gafsa, Tunisie, Decembre.
- Ministry of Environment, 1987: *Water Wells & Ground Water Supplies in Ontario*. Ministry of Environment, Toronto.

- Macioszczyk A., 1987: *Hydrogeochemia*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Macioszczyk T., 1973: *Zmienność parametrów nieliniowej filtracji wód podziemnych*. Biuletyn Geologiczny, t. 15, Warszawa.
- Macioszczyk T., 1983: *Dynamika wód podziemnych – metody obliczeń*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Macuda J., Gasiński J., Lesiecki J., 2007: *Wykorzystanie rur z żywic poliestrowych w konstrukcjach studni odwadniających BOT KWB Bełchatów S.A.* Wiertnictwo Nafta Gaz, t. 24, z. 1.
- Macuda J., Gonet A. et al., 1987: *Opracowanie technologii wykonywania odwodnieniowych studni wielkośrednicowych dla KWB Bełchatów w aspekcie występowania komplikacji i awarii wiertniczych na odkrywcę Szczerców*. Zespół Rzeczoznawców SITPNiG, Kraków (praca niepublikowana).
- Macuda J., 1990: *Wpływ wybranych czynników techniczno-technologicznych na wskaźniki wiercenia otworów odwadniających na złożu Szczerców*. AGH, Kraków (praca doktorska).
- Mansuy N., 1998: *Water Well Rehabilitation*. Levis Publishers Boca Raton, London–New York–Washington D.C.
- Materiały katalogowe firmy Johnson Screens, Weatherford Company.*
- Mielcarzewicz E.W., 2000: *Obliczanie systemów zaopatrzenia w wodę*. Arkady, Warszawa.
- Misstear B., Banks D., Clark L., 2006: *Water Wells & Boreholes*. John Wiley and Sons Ltd, Chichester.
- Moffat B., 1989: *Efficient Water Wells, Developing World Water*. Grosvenor Press International, Hong Kong.
- Morgan G.P., Rogers D., 2005: *Shock Chlorination for Private Water Systems*. Kansas State University, USA.
- Obwieszczenie Marszałka RP z dnia 1 lutego 2007 roku – Ustawa o odpadach (Dz. U. Nr 39, poz. 251).*
- Paczyński B., Macioszczyk T., Kazimierski B., Mitrega J., 1996: *Ustalanie dyspozycyjnych zasobów wód podziemnych. Poradnik metodyczny*. Warszawa.
- Pazdro Z., Kozerski B., 1990: *Hydrogeologia ogólna*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- PN-G-02318:1994: *Studnie wiercone. Zasady projektowania, wykonania i odbioru*.
- Powers J.P., Corwin A.B., Schmall P.C., Kaeck W.E., 2007: *Construction dewatering and groundwater control: new methods and applications*. 3rd Ed. John Wiley & Sons Inc., Hoboken NJ.
- Ramey H.J., Jr., 1992: *Advances in Practical Well Test Analysis*. JPT, June 1992.
- Richard Y., 1987: *Disinfection in the Treatment of Drinking Water*. Grosvenor Press International, Hong Kong.
- Rogoż M., 2007: *Dynamika wód podziemnych*. Główny Instytut Górnictwa, Katowice.
- Roscoe Moss, 1990: *Handbook of Ground Water Development*. Wydawnictwo John Wiley & Sons, New York.

- Rorabaugh M.I., 1953: *Graphical and theoretical analysis of step-drawdown test of artesian wells*. Transactions, ASCE, Vol. 79.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu i specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w zakładach górniczych wydobywających kopaliny otworami wiertniczymi (Dz. U. Nr 109, poz. 961 z późn. zm.).
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 14 stycznia 2002 r. w sprawie określenia przeciętnych norm zużycia wody (Dz. U. Nr 8, poz. 70).
- Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (Dz. U. Nr 129, poz. 844).
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 3 października 2005 r. w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinny odpowiadać dokumentacje hydrogeologiczne i geologiczno-inżynierskie (Dz. U. Nr 201, poz. 1673).
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 19 grudnia 2001 r. w sprawie gromadzenia i udostępniania próbek i dokumentacji geologicznych (Dz. U. Nr 153, poz. 1780).
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 19 grudnia 2001 r. w sprawie projektów prac geologicznych (Dz. U. Nr 153, poz. 1777).
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 19 grudnia 2001 r. w sprawie sposobu i zakresu wykonywania obowiązku udostępniania i przekazywania informacji oraz próbek organom administracji geologicznej przez wykonawcę prac geologicznych (Dz. U. Nr 153, poz. 1781 z późn. zm.).
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie wymagań dotyczących jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. Nr 203, poz. 1718).
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 5 sierpnia 2004 r. w sprawie kategorii prac geologicznych, kwalifikacji do wykonywania, dozoru i kierowania tymi pracami oraz sposobu postępowania w sprawie stwierdzania kwalifikacji (Dz. U. Nr 180, poz. 1868).
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzeniu ścieków do wód lub ziemi oraz substancji szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz. U. Nr 137, poz. 984).
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. Nr 61, poz. 417).
- Schafer D.C., 1971: *Standard nomenclature needed for gravel pack*. Johnson Drillers Journal, Jan/Feb.
- Schnieders J.H., 2003: *Chemical Cleaning Disinfection & Decontamination of Water Wells*. Johnson Screens, St. Paul, MN.
- Serra O., 1984: *Fundamentals of Well-Log Interpretation*. 1. The Acquisition of Logging Data. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.
- Stryczek S., Gonet A., Rzychniak M., 1999: *Technologia płuczek wiertniczych i zaczynów uszczelniających*. UWND AGH, Kraków.

- Stryczek S., Gonet A., 2001: *Wymagania odnośnie zaczynów uszczelniających stosowanych w technologiach wiertniczych*. Materiały Sympozjum Naukowo-Technicznego „Cementy w budownictwie, robotach wiertniczych i inżynierskich oraz hydrotechnice”. Piła, 23 maja 2001.
- Theis C.V., 1935: *The Relationship Between the Lowering of Piezometric Surface and Rate and Duration of Discharge of Well Using Groundwater Storage*. Transactions of American Geophysical Union, 16th Annual Meeting.
- Thomas R.L., Crowe C.W., 1978: *Matrix Treatment Employs Now Acid System for Stimulation and Control of Fines Migration in Sandstones Formation*. SPE 7666.
- Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. – Prawo wodne (Dz. U. Nr 115, poz. 1229 – tekst jednolity Dz. U. z 2005 r. Nr 239, poz. 2019 z późn. zm.).
- Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. – Prawo ochrony środowiska (Dz. U. z 2008 r. Nr 25, poz. 150 z późn. zm.).
- Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. – Prawo geologiczne i górnicze (Dz. U. Nr 163, poz. 968).
- Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane (Dz. U. z 2006 r. Nr 156, poz. 1118 z późn. zm.).
- Ustawa z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (Dz. U. Nr 80, poz. 717 z późn. zm.).
- Ustawa z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko (Dz. U. Nr 199, poz. 1277 z późn. zm.).
- Walton W.C., 1962: *Selected analytical methods for well and aquifer elevation*. Illinois State Water Survey, Bull., 49, 81.
- Wieczysty A., 1982: *Hydrogeologia inżynierska*. PWN, Warszawa.
- Wilk Z., 1969: *Eksploracja złóż płynnych surowców mineralnych*. Wydawnictwo Śląsk, 1969.
- Witczak S.A., Adamczyk A., 1994: *Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczenia*. Cz. I, PIOŚ, Warszawa.
- Wojnar K., 1964: *Wiertnictwo okrętne i udarowe*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Wojnar K., 1966: *Wiertnictwo obrotowe i małośrednicowe*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Zawisza L., 1989: *Nowa metodyka ilościowej oceny właściwości zbiornikowych skał dla określania warunków regionalnych i fazowych przepływów płynów złożowych*. Archives of Mining Sciences Polish Academy of Sciences, vol. 34, issue 4.
- Zawisza L., 1993: *Uproszczona metoda oceny absolutnej przepuszczalności warstw porowatych*. Archives of Mining Sciences Polish Academy of Sciences, vol. 38, issue 4.

22. Spis załączników

Załącznik 1. Zgłoszenie zamiaru przystąpienia do wykonywania robót geologicznych

....., dnia

*Adres organu administracji geologicznej**

*Adres organu nadzoru górniczego**

*Adres wójta, burmistrza lub prezydenta miasta**

ZGŁOSZENIE ZAMIARU PRZYSTĄPIENIA DO WYKONYWANIA ROBÓT GEOLOGICZNYCH

Zgodnie z art. 35 ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. – Prawo geologiczne i górnicze (Dz. U. z 2005 r. Nr. 228 poz. 1947, z późn. zmianami)

.....

(wykonawca prac geologicznych)

zgłasza zamiar przystąpienia do wykonywania **robót geologicznych** w związku z realizacją: „Projektu prac geologicznych”
zatwierdzonego decyzją/na podstawie koncesji

.....

(nr decyzji/koncesji, przez kogo wydana, data wydania)

Termin rozpoczęciai zakończenia robót

Podstawowe dane dotyczące prac geologicznych:

.....

.....

Osoba kierująca pracami geologicznymi:

(imię, nazwisko, nr upr. geol.)

Czynności dozoru geologicznego pełnić będzie:

(imię, nazwisko, nr upr. geol.)

* właściwego ze względu na miejsce wykonywania robót

(wykonawca prac geologicznych)

Załącznik 2. Protokół z lokalizacji otworu wiertniczego

....., dnia

PROTOKÓŁ Z LOKALIZACJI OTWORU WIERTNICZEGO

Temat

Nazwa i nr otworu

Miejscowość.....Gmina.....

Powiat.....Województwo

Zamawiający

Wykonawca

W dniu przy udziale przedstawicieli Zamawiającego oraz Wykonawcy wyznaczono w terenie punkt wiercenia otworu hydrogeologicznego oraz uzgodniono dojazd na teren wiertni. Szczegółową lokalizację otworu przedstawiono na poniższym szkicu sytuacyjnym.



Ustalono co następuje:

Otwór zlokalizowano na działce nrstanowiącej własność /użytkownik/

Miejsce wiercenia oznaczono palikiem z numerem otworu /inne oznaczenie/

Dojazd na teren wiertni odbywać się będzie bezkolizyjnie drogą /nr, rodzaj, właściciel/

Inne: /ustalenia dotyczące dostępu do energii elektrycznej, wody itp., sposobu rozliczenia za zużyte media i ewentualne szkody, dodatkowe dane dotyczące dojazdu na teren

Zamawiający	Wykonawca
1.	1.
2.	2.

Załącznik 3. Książka wiercenia (dziennik wiertniczy)

.....
.....

Wykonawca robót geologicznych

KSIĄŻKA WIERCENIA (dziennik wiertniczy)

Nazwa i nr otworu

Miejscowość

Gmina

Powiat

Województwo

Temat

Zamawiający

Liczba stron książki.....

Data	Imię i nazwisko funkcja kontrolującego	Stan robót	Polecenia Podpis

Zał. 4. Protokół z przeprowadzonego orurowania otworu

....., dnia

PROTOKÓŁ

Z PRZEPROWADZONEGO ORUROWANIA OTWORU

Nazwa i nr otworu

Miejscowość

Gmina

Powiat

Województwo

Zleceniodawca

Wykonawca

Głębokość zapuszczonej kolumny rur \varnothing " ; mm

w interwale od głębokości m do głębokości m

Orurowanie rozpoczęto dnia r. o godz. ,

ukończono dnia r. o godz.

1. Do otworu zapuszczono następujące rury \varnothing " ; mm.

Lp.	Typ połączeń gwint.	Materiał	Grubość ścianki [mm]	Średnica wewn. rur [mm]	Długość rur [m]	Głębokość		Masa 1mb. rur w pow. [kg/m]	Ciężar odcinka w pow. [kN]
						od [m]	do [m]		
RAZEM									

2. Pierwszych sztuk rur zostało zabezpieczonych przed rozkręceniem w sposób

3. Rury skręcono na smarze

4. Uzbrojenie kolumny rur"

- a) but rur typ w głębokości m
- b) zawór zwrotny typ w głębokości m
- c) pierścień oporowy typ w głębokości m
- d) centralizatory sprężynowe typ: –szt.
rozmieszczenie
- e) skrobak typ....., liczba sztuk, rozmieszczenie

5. Rury były kontrolowane szablonem: \emptyset , mm.

6. Objawy w czasie zapuszczania rur:

.....
.....
.....

7. Płukanie otworu po zapuszczeniu w głębokości: m, min.

z wydatkiem m^3/s , przy ciśnieniu MPa

8. Właściwości płuczki: rodzaj, gęstość g/cm^3 , lepkość s^{-1} .

pH, filtracja $cm^3/30\ min$

9. Uwagi:

.....
.....
.....

KOMISJA

PODPISY

1.
Kierownik wiercenia

.....

2.
Dozór geologiczny

.....

3.
Wiertacz zmianowy

.....

4.
Przedstawiciel zlecniodawcy

.....

Załącznik 5. Protokół z przeprowadzonego cementowania otworu

.....dnia

PROTOKÓŁ

Z PRZEPROWADZONEGO CEMENTOWANIA OTWORU

Nazwa i nr otworu

Miejscowość..... Gmina

Powiat Województwo

Zleceniodawca

Wykonawca

Głębokość zapuszczonej kolumny rur m ϕ "mm

i zacementowanej od głębokościm do głębokości m

1. Uzbrojenie kolumny rur

- but do rur typ w głębokości m,
- zawór zwrotny typ w głębokości m,
- pierścień oporowy typw głębokości m,
- centralizatory sprężynowe typ, liczba szt.,
rozmessezone,
- skrobaki typ, liczba szt.,
rozmessezone,
-
-

2. Płukanie otworu po zapuszczeniu rur w głębokości m, min z wydatkiem m³/s, przy ciśnieniu MPa

3. Właściwości płuczki: rodzaj, gęstośćg/cm³, lepkośćs⁻¹ pH, filtracja cm³/30 min

4. Ciecz zarobowa – objętośćm³, gęstośćg/cm³, • dodane odczynniki

5. Wykonano próbę szczelności rurociągów tłoczących przy ciśnieniuMPa

6. Zatłoczono bufor o objętościm³, gęstościg/cm³,
• zużyte materiały
7. Zatłoczono zaczyn cementowy:
objętość V₁m³, gęstośćg/cm³
• zużyte materiały:
8. Czas zatłaczania od godz. do godz.
9. Zatłoczono przybitkę: rodzaj, ilość m³, czas tłoczenia min
10. Ciśnienie: – początkowe MPa, – końcowe MPa
11. Uwagi o wytlaczaniu przybitki:
12. Zaczyn cementowy: czysty, zmieszany, wyszedł do wierzchu tak, nie
w ilościm³.
13. Zarządzono przestój na wiązanie zaczynu cementowego godzin
14. Uwagi:

KOMISJA

PODPISY

- | | |
|---|-------|
| 1.
<i>Kierownik wiercenia</i> | |
| 2.
<i>Dozór geologiczny</i> | |
| 3.
<i>Wiertacz zmianowy</i> | |
| 4.
<i>Przedstawiciel zlecniodawcy</i> | |

Załącznik 6. Projekt orurowania otworu wiertniczego

....., dnia

PROJEKT ORUROWANIA OTWORU

Nazwa i nr otworu.....
 Miejscowość Gmina
 Powiat Województwo.....
 Zleceniodawca
 Wykonawca

1. DANE OTWORU:

Kolumny rur ϕ ”,mm
 od głębokości..... m do głębokości..... m
 Urządzenie wiertnicze typ o udźwigukN
 Głębokość zapuszczenia poprzedniej kolumny rurm,
 średnica”, mm
 Średnica wewnętrzna poprzedniej kolumny rurmm
 Głębokość otworu m o średnicymm
 Średnia średnica otworu mm wg kawernomierza
 Rodzaj płuczki gęstośćg/cm³
 Dodatkowe uwagi

2. PROJEKT RUROWANIA: Zestawienie kolumny rur

Kolejność zapuszczenia	Producent	Materiał	Typ połączenia	Grubość ścianki rur mm	Długość sekcji m	Od głębokości m	Do głębokości m	Masa 1 mb rury kg/m	Ciężar sekcji rur w pow. kN
1									
2									
3									
Razem									

Sposób zabezpieczenia dolnego odcinka rur.....
 Rodzaj smaru użytego do skręcania rur.....
 Współczynniki bezpieczeństwa:
 n (na ciśnienie zgniatające) k (na rozluźnienie połączenia gwintowego)

3. UZBROJENIE KOLUMNY RUR:

Lp.	Nazwa uzbrojenia	Typ	W głębokości [m]
1	but do rur		
2	zawór zwrotny		
3	pierścień oporowy		
4	centralizatory		

Rury zapuszczać z prędkościąm/s

W czasie zapuszczania rury dopełniać co

W czasie zapuszczania przepłukać otwór przez rury w głębokości m

Dotłoczyć do przestrzeni poza rurowej m³

Dodatkowe uwagi

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Za orurowanie otworu odpowiada

Projekt opracował

Projekt zatwierdził

.....

.....

Załącznik 7. Projekt cementowania kolumny rur okładzinowych

....., dnia

PROJEKT CEMENTOWANIA KOLUMNY RUR OKŁADZINOWYCH

Nazwa i nr otworu.....
Miejscowość Gmina
Powiat Województwo.....
Zleceniodawca
Wykonawca

1. DANE OTWORU:

Kolumny rur ϕ ", mm
od głębokościm do głębokościm
Głębokość zapuszczenia poprzedniej kolumny rurm
średnica "mm
Średnica wewnętrzna poprzedniej kolumny rur mm
Głębokość otworum o średnicy mm
Średnia średnica otworumm wg kawernomierza
Założony współczynnik na rozwały%
Rodzaj płuczki, gęstośćg/cm³
Gradient ciśnienia szczelinowaniaMPa/m
Dodatkowe uwagi

2. PROJEKT CEMENTOWANIA:

Metoda cementowania

Wysokość korka cementowego w rurachm

Ciecz buforowa

objętośćm³, gęstośćg/cm³

Ciecz zarobowa objętośćm³

dodane odczynniki..... kg, stężenie %
..... kg, stężenie %
..... kg, stężenie %
..... kg, stężenie %

Przygotowanie suchej mieszanki cementowej:

a) Cement (rodzaj) ilość kg
 dodatki ilość kg

Przygotowanie zaczynu cementowego:

a) gęstośćg/cm³, w/c, należy zużyć t/m³ mieszankiV_cm³
c).....

Zaczyn cementowy ujednorodnić w sposób

Wyniki obliczeń:

Objętość przestrzeni poza rurami w otworze	V_1	m ³	
Objętość przestrzeni poza rurami w poprzed. kol. rur	V_2		
Objętość korka cementowego	V_3		
Całkowita objętość cementowania	V_{zc}		
Objętość przybitki w rurach	V_{ps}		
Całkowita objętość przybitki x współczynnik ściśliwości	V_{pp}		
Objętość cieczy buforowej	V_b		
Objętość cieczy zarobowej	V_{wc}		
Obliczony czas wtlaczania zaczynu cementowego	t_{zc}	min	
Obliczony czas wtlaczania przybitki	t_{pp}		
Założona rezerwa czasu	t_r		
Całkowity czas cementowania	t_c		
Ciśnienie hydrostatyczne przy końcu cementowania	P_{rc}	MPa	
Opory przepływu przy końcu cementowania	P_h		
Łączne końcowe ciśnienie cementowania	P_{max}		
Minimalny gradient ciśnienia szczelinowania	G_{szcz}	MPa/m	
Maksymalny gradient cementowania = $P_{rc} + P_h$			
Różnica minimalny G_{szcz}, – maksymalny G_{cem}			

Wtlaczyć bufor (ciecz przemylająca) w ilości m³

Wtlaczyć zaczyn cementowy:m³, z wydajnościąm³/min

Wtlaczyć przybitkęm³

Dotłoczyć do przestrzeni pozarurowejm³

Projekt opracował

Projekt zatwierdził

.....

.....

Załącznik 8. Protokół badania skuteczności zamknięcia warstwy wodonośnej

....., dnia

PROTOKÓŁ

BADANIA SKUTECZNOŚCI ZAMKNIĘCIA WARSTWY WODONOŚNEJ

Nazwa i nr otworu.....
Miejscowość Gmina
Powiat Województwo.....
Zleceniodawca
Wykonawca

I. Dane o otworze

1. Głębokość otworu przed zapuszczeniem rurm średnica otworumm
2. Ostatnia kolumna rur \varnothing mm postawiona na głębokościm ppt
3. Warstwa wodonośna nawiercona na głębokości m ppt
4. Spąg warstwy wodonośnej przewiercono na głębokości m ppt

II. Dane o zabiegu postawienia rur w korku

1. Iłowym

- 1.1. Rodzaj użytego ładu
- 1.2. Ilość użytego ładu
- 1.3. Wysokość ubitego korka łowego m
od głębokościm ppt do głębokościm ppt
- 1.4. Przebieg stawiania rur w korku łowym (*dokąd rury zeszły pod własnym ciężarem, czy wciskano rury i w jaki sposób*)

2. Cementowym

- 2.1. Rodzaj użytego cementu
 - 2.2. Ilość użytego cementu
 - 2.3. Wysokość korka cementowego w rurachm
od głębokościm ppt do głębokościm ppt
 - 2.4. Współczynnik wodno-cementowy
3. Rury postawiono na głębokościm ppt

III. Próba skuteczności zamknięcia warstwy wodonośnej

1. Postój po postawieniu rur w korkugodz.
2. Zwiercono korek pod rurami do głębokościm świdremo średnicymm
3. Płyn w otworze ściągnięto do głębokości m ppt
4. Po czasiegodz płyn w otworze podniósł się do głębokościm ppt tj. o

IV. Orzeczenie komisji

.....
.....
.....
.....

KOMISJA

PODPISY

- | | |
|--|-------|
| 1.
<i>Kierownik wiercenia</i> | |
| 2.
<i>Dozór geologiczny</i> | |
| 3.
<i>Wiertacz zmianowy</i> | |
| 4.
<i>Przedstawiciel zleceniodawcy</i> | |

Załącznik 9. Protokół z odbioru i zabudowy filtra w otworze

.....dnia

PROTOKÓŁ Z ODBIORU I ZABUDOWY FILTRA W OTWORZE

Nazwa i nr otworu.....

Miejscowość..... Gmina

Powiat Województwo

Zleceniodawca

Wykonawca robót

Wykonawca filtra

I. Stan techniczny filtra:

1. Rodzaj filtraTyp

Schemat	Kolumna filtrowa		Rodzaj	Głębokość, m		Długość, m	Średnica, mm	
				od	do		wewn.	zewn.
	a)	Rura podfiltrowa						
	b)	Filtr (I odcinek)						
	c)	Rura międzyfiltrowa						
	d)	Filtr (II odcinek)						
	e)	Rura międzyfiltrowa						
	f)	Filtr (III odcinek)						
	g)	Rura międzyfiltrowa						
	h)	Filtr (IV odcinek)						
	i)	Rura nadfiltrowa						

2. Denko wymiarmm

3. Zamek i jego rodzaj

4. Perforacja filtra: a) \varnothing otworówmm; b) rozstaw otworówmm

5. Siatki nr (I odc.) (II odc.)

(III odc.) (IV odc.)

6. Podkład pod siatkę (*opis i rodzaj*)

7. Pręty

8. Inne

9. Prowadniki do rur

II. Decyzja i uwagi komisji

.....
.....

III. Stan techniczny otworu (wypełnić po odbiorze filtra)

1. Głębokość otworum; ostatnia kolumna rur \varnothing mm; głębokośćm
2. Zarurowanie otworu (konstrukcja otworu):

Lit.	Średnica rury, mm	Głębokość, m	Lit.	Średnica rury, mm	Głębokość, m
a)			d)		
b)			e)		
c)			f)		

3. Warstwa wodonośna przewiercona na głębokości odm dom
4. Zwierciadło wody nawiercone na głębokościm, ustabilizowane na głębokościm
5. Poniżej warstwy wodonośnej przewierconom, opis skał.....
.....
6. Uwagi o stanie otworu przed opuszczeniem filtra (*zasyp, oczyszczenie, sporządzenie poduszki żwirowej, zaczynu cementowego itp. pod dno filtra, inne*).....
.....
.....

IV. Zabudowa filtra

1. Sposób zabudowy
2. Głębokość posadowienia (dna) filtram
3. Rury \varnothing mm podciągnięto do głębokościm
4. Wykonano obsypkę (*rodzaj, średnica ziarna itp.*)
.....
.....
5. Uwagi

.....
Kierownik wiercenia

.....
Dozór geologiczny

.....
Wiertacz zmianowy

.....
Przedstawiciel zlecniodawcy

Załącznik 10. Protokół z likwidacji otworu wiertniczego

.....dnia

PROTOKÓŁ Z LIKWIDACJI OTWORU WIERTNICZEGO

Nazwa i nr otworu

Miejscowość..... Gmina

Powiat Województwo

Zleceniodawca

Wykonawca

Decyzja zatwierdzająca projekt prac geologicznych

Likwidację rozpoczęto dnia, zakończono dnia

I. DANE O OTWORZE

Końcowa głębokość otworum

Konstrukcja otworu przed rozpoczęciem likwidacji (*wg projektu*)

Średnica otworu na głębokości			Orurowanie			Sposób uszczelnienia (cementowanie, iłowanie)
Ø mm	od m	do m	Ø mm	typ rur	głębokość m	

Przeprowadzone badania w otworze (*hydrogeologiczne, geofizyczne, inne*)

.....
.....

II. DANE O SPOSOBIE LIKWIDACJI OTWORU

Likwidacja przeprowadzona przez: iłowanie / cementacja / inne

Sposób likwidacji: ręczne / pompa płuczkowa / agregat cementacyjny / inne

Wiertnica (*typ*)

Ilość użytego iłu / cementu w stosunku wodnym

Opis użytego iłu / cementu (*gatunek*)

Inne

.....

III. DANE Z PRZEBIEGU LIKWIDACJI OTWORU

Przerobiono otwór przed likwidacją (podać narzędzie i średnicę)

na odcinku: odm dom

Liczba likwidowanych odcinków

długość odcinków: odm dom sposób likwidacji

.....

odm dom sposób likwidacji

.....

Przebieg likwidacji (*wyciągnięcie filtra, oczyszczenie otworu*)

.....
.....

Opis obserwowanych objawów występowania wód i gazów w trakcie likwidacji

.....
.....

Rury okładzinowe pozostawione w otworze (*Ø rur mm, głębokość na jakiej pozostały, liczba rur i ogólna długość*)

.....
.....

Sprzęt wiertniczy pozostawiony w otworze (*części sprzętu, ich długość, Ø mm, z jakich powodów i na jakiej głębokości sprzęt wiertniczy pozostał, inne*)

.....
.....

Sposób trwałego oznaczenia w terenie zlikwidowanego otworu

.....
.....

Uwagi (*np. uzasadnienie konieczności likwidacji*)

.....
.....

KOMISJA

PODPISY

.....
Kierownik wiercenia

.....

.....
Dozór geologiczny

.....

.....
Wiertacz zmianowy

.....

Zał. 11. Zbiorcze zestawienie wyników wiercenia studni (karta otworu wiertniczego)

ZBIORCZE ZESTAWIENIE WYNIKÓW WIERCENIA STUDI (KARTA OTWORU WOERTNICZEGO)

Lokalizacja otworu - szkic orientacyjny w skali 1 :	Wykonawca (pieczęć)	Miejscowość Gmina Powiat Województwo Inwestor bezpośredni (użytkownik) ujęcia	dozór geologiczny																		
Współrzędne x = y = Rzędna wysokości: m nad poziomem morza		Czas trwania robót wiertniczych od do		System i sposób wiercenia: Sposób pobierania próbek skal: Miejsce przechowywania próbek skal:		Wyniki badań i obliczeń hydrogeologicznych dla warstwy wodonośnej ujętej według niżej przedstawionego szkicu konstrukcyjnego:		Inne badania hydrogeologiczne i specjalne, rodzaj badania i wyniki, np. najbardziej charakterystyczne wskaźniki fizyko-chemiczne i bakteriologiczne wody, (pH, twardość, zawartość Fe, Mn i składników, których ilość przekracza wielkość dopuszczalną dla wody do picia, miano CoII), próbnę pompowania i badania wody z nie ujętych poziomów wodonośnych, inne badania np. mikropaleontologia, karotaż, itp.		Uwagi (np. krótkie uzasadnienie pominięcia warstwy wodonośnej, itp.)											
Stratygrafia		Stosowane narzędzia wiertnicze (rodzaj i średnica)		Przebieg robót wiertniczych (zachowanie się ścian otworu podczas wiercenia, krzywienie otworu, zastosowane zabiegi specjalne, sposób likwidacji otworu, itp.)		Inne badania hydrogeologiczne i specjalne, rodzaj badania i wyniki, np. najbardziej charakterystyczne wskaźniki fizyko-chemiczne i bakteriologiczne wody, (pH, twardość, zawartość Fe, Mn i składników, których ilość przekracza wielkość dopuszczalną dla wody do picia, miano CoII), próbnę pompowania i badania wody z nie ujętych poziomów wodonośnych, inne badania np. mikropaleontologia, karotaż, itp.		Uwagi (np. krótkie uzasadnienie pominięcia warstwy wodonośnej, itp.)		Przy Q eksploatacyjnym ujęcia: s = m R = m											
1	Skala 1 :	2	Schemat zanurzenia i zafiltrowania, sposób zamknięcia wód (rysunek konstrukcyjny)	3	Poziomy wód podziemnych - w metrach poniżej terenu: ▲ ustablizowany Δ nawiercony	4	Profil litologiczny (graficzny)	5	Głębokość - w metrach poniżej terenu	6	Opis litologiczny warstwy, typ facyjny, itp.	7	Stratygrafia	8	Stosowane narzędzia wiertnicze (rodzaj i średnica)	9	Przebieg robót wiertniczych (zachowanie się ścian otworu podczas wiercenia, krzywienie otworu, zastosowane zabiegi specjalne, sposób likwidacji otworu, itp.)	10	Inne badania hydrogeologiczne i specjalne, rodzaj badania i wyniki, np. najbardziej charakterystyczne wskaźniki fizyko-chemiczne i bakteriologiczne wody, (pH, twardość, zawartość Fe, Mn i składników, których ilość przekracza wielkość dopuszczalną dla wody do picia, miano CoII), próbnę pompowania i badania wody z nie ujętych poziomów wodonośnych, inne badania np. mikropaleontologia, karotaż, itp.	11	Uwagi (np. krótkie uzasadnienie pominięcia warstwy wodonośnej, itp.)

Załącznik 12. Dziennik próbnego pompowania

DZIENNIK PRÓBNEGO POMPOWANIA

Nr otworu pompowanego Lokalizacja																
Wykonawca prac																
Rzędna terenu m npm Rzędna kryży [m npm] Rodzaj pompowania																
Charakterystyka pompy																
Rodzaj przyrządu pomiaru wydajności																
Data rozpoczęcia obserwacji data zakończenia obserwacji																
Dozór geologiczny Kierownik prac geologicznych																
Lp.	Data	Godzina	Czas od rozpoczęcia pompowania, h	Głębokość do zwierciadła wody od pow. terenu, m	Depresja, m	Wydajność, Q	Temperatura		Klarowność wody	Głębokość do zwierciadła wody w otworach obserwacyjnych, m ppt					Uwagi	
							wody	powietrza		nr otworu	nr otworu	nr otworu	nr otworu	nr otworu		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

**Załącznik 13. Protokół z pobrania próbek wody
do badań fizykochemicznych/ bakteriologicznych/
izotopowych**

.....dnia

**PROTOKÓŁ
POBRANIA PRÓBEK WODY DO BADAŃ
FIZYKOCHEMICZNYCH / BAKTERIOLOGICZNYCH / IZOTOPOWYCH***

Nazwa i nr otworu.....

Miejscowość..... Gmina

Powiat Województwo

Nr próbkiKod próbki

Data poboru godzina

Próbkę pobrał

Uwagi

.....

.....

Próbkę przekazano do laboratorium (*nazwa, adres*)

.....

.....

Data przekazania godzina

Uwagi

.....

.....

PRZEKAZUJĄCY

ODBIERAJĄCY

.....

.....

(*wykonawca prac geologicznych*)

(*przedstawiciel laboratorium*)

* - niepotrzebne skreślić

