

**Rafał Wiśniowski\*, Michał Wójcik\*\*, Michał Toczek\*\***

## **NOWE TECHNOLOGIE WIERTNICZE STOSOWANE W WIERCENIACH INŻYNIERYJNYCH\*\*\***

### **1. WSTĘP**

Wzrost zapotrzebowania na wiercenia w trudnych warunkach gruntowo-skalnych stymuluje rozwój nowych technik i technologii wiertniczych. Do najnowszych rozwiązań, stosowanych obecnie na świecie, zaliczyć należy technologie, umożliwiające odwiercenie otworu wiertniczego z równoczesnym jego rurowaniem [2, 3]. Stosuje się je wszędzie tam, gdzie po zakończeniu wiercenia konieczne jest wykorzystanie otworu do:

- zbrojenia kotew, mikropali i pali fundamentowych;
- zapuszczenia filtra lub drenu;
- zapuszczenia czujników pomiarowych różnego typu;
- zapuszczenia ładunków wybuchowych;
- zatłaczania zaczynów i mieszanin iniekcyjnych;
- dalszego wiercenia po przejściu przez skały luźne (orutowanie otworu kolumną wstępną).

Podstawową zaletą wiercenia z równoczesnym rurowaniem jest jednoczesne wykonanie kilku czynności wiertniczych:

- wiercenia otworu,
- poszerzania otworu,
- rurowania otworu.

W rezultacie ogranicza się w ten sposób czas wykonania otworu i ryzyko utraty jego drożności.

---

\* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

\*\* Firma Geod, Urządzenia, Narzędzia, Osprzęt Wiertniczy

\*\*\* Praca zrealizowana w ramach badań statutowych WWNiG AGH

## 2. PODZIAŁ METOD WIERCENIA Z RÓWNOCZESNYM RUROWANIEM OTWORU

W zależności rodzaju przewiercanych skał i przeznaczenia otworu powstało wiele systemów wiercenia z jednoczesnym rurowaniem. Opracowane i stosowane obecnie na świecie technologie wierceń inżynieryjnych z równoczesnym rurowaniem różnią się między sobą:

- sposobem wiercenia,
- rodzajem napędu przenoszonego na narzędzie wierzące i rury okładzinowe,
- typem wykorzystywanych świrdrów ich budową i technologią stosowania,
- przebiegiem osi otworu wiertniczego.

Ze względu na rodzaj zwiercanych gruntów i skał wyróżniamy systemy wiercenia z równoczesnym rurowaniem otworu przeznaczone do gruntów i skał:

- luźnych
- zwięzłych.

Przyjmując jako kryterium sposób wiercenia otworów z równoczesnym ich rurowaniem, wyróżnia się następujące metody wiercenia:

- udarowe (z górnym lub dolnym młotkiem),
- obrotowe (obracany przewód wiertniczy i wciskane rury okładzinowe lub obracane przeciwskrotnie względem siebie rury okładzinowe i przewód wiertniczy)
- udarowo-obrotowe.

Rozważając rodzaj napędu wykorzystywanego do wierceń z równoczesnym rurowaniem, wyróżnić należy wiercenia z:

- górną głowicą obrotową,
- górną głowicą obrotową oraz dolnym młotkiem udarowym,
- wiertarką obrotowo-udarową
- dwoma głowicami obrotowymi,
- głowicą obrotową i wiertarką udarową.

Ze względu na rodzaj narzędzia wierzącego stosowanego do wierceń z równoczesnym rurowaniem wymienić należy technologie wykorzystujące świrdry:

- skrzydłowe,
- gryzowe,
- diamentowe,
- w postaci młotków udarowych.

Analizując budowę i technologię stosowania narzędzi wierzących, wyróżnić należy wiercenia ze świrdrem:

- w postaci stożka traconego,
- wrzutowym,
- ekscentrycznym;
- symetrycznym z rozsuwanymi ostrzami,
- symetrycznym współpracującym z koronką buta rur okładzinowych.

Biorąc pod rozwagę przebieg osi otworu wiertniczego otworu wierconego równoczesnym jego rurowaniem, wyróżnia się otwory:

- pionowe,
- poziome,
- ukośne.

Uwzględniając przedstawione kryteria podziału oraz dokonując analizy stosowanych obecnie na świecie rozwiązań technologicznych, wyróżnić można następujące systemy wiercenia otworu z równoczesnym jego rurowaniem:

- system wiercenia otworu z wykorzystaniem stożka traconego,
- system wiercenia rurami okładzinowymi ze świdrem wrzutowym,
- system wiercenia z dolnym młotkiem i wciskany do otworu rurami okładzinowymi,
- system wiercenia z dolnym młotkiem i wciągany do otworu rurami okładzinowymi,
- system wiercenia obrotowego z równoczesnym obracaniem przewodu wiertniczego i rur okładzinowych.

### **3. SYSTEM WIERCENIA OTWORU Z WYKORZYSTANIEM STOŻKA TRACONEGO**

System wiercenia otworu ze stożkiem traconym jest najprostszą metodą polegającą na wprowadzaniu rur okładzinowych w grunt. W tym celu można zastosować metodę udarową wykorzystującą górny młotek lub metodę obrotową w odmianie wrzecionowej lub stołowej. Narzędziem urabiającym skałę jest element ukształtowany w postaci stożka lub świder krzyżowy. Narzędzie wierzące łączy się rozłącznym połączeniem kształtowym z butem rur okładzinowych. Technologia wiercenia polega na rozpychaniu gruntu na boki wzdłuż wprowadzanej rury okładzinowej. Wykonując otwór wiertniczy w technologii wykorzystującej stożek tracony, można stosować płuczkę wiertniczą. Służy jednak ona wówczas jedynie jako czynnik smarujący, zmniejszający tarcie narzędzia i rur okładzinowych o otaczające grunty. Po uzyskaniu końcowej głębokości wiercenia stożek jest odłączany od rur okładzinowych (odkręcany lub wypychany) i pozostaje na dnie otworu wiertniczego. Rury zaś mogą być wykorzystane jako osłona przed sypkim gruntem dla wprowadzanego i cementowanego w nich zbrojenia. Mogą być również wyciągane z otworu w procesie równoczesnego zatłaczania mieszanin modyfikujących właściwości gruntów

Wiercenie z wykorzystaniem stożka traconego stosuje się do przewiercania piasków, drobnych żwirów i torfów.

### **4. SYSTEM WIERCENIA RURAMI OKŁADZINOWYMI ZE ŚWIDREM WRZUTOWYM**

Stosując system wiercenia rurami okładzinowymi ze świdrem wrzutowym, możliwe jest skuteczne przewiercanie i rurowanie skał luźnych i sypkich, aż do momentu osiągnięcia skał zwiezłych. Rury okładzinowe przekazują zarówno nacisk, jak i moment obrotowy na narzędzie wierzące.

W trakcie prowadzenia prac wiertniczych w tej technologii możliwe jest:

- wiercenie z wykorzystaniem świdrów gryzowych, skrzydłowych lub diamentowych z jednoczesnym rurowaniem w nadkładzie i skałach trudnych do przewiercenia;
- pobieranie prób z nieskonsolidowanych gruntów i rdzeniowanie w połączeniu z rurowaniem otworu;
- wiercenie w strefach ucieczki płuczki;
- posadawianie rur okładzinowych w dnie rzeki lub jeziora, w celu umożliwienia dalszego wiercenia otworu;
- zapuszczanie do otworu filtrów, drenów lub ładunków wybuchowych.

System wiercenia rurami okładzinowymi ze świdrem wrzutowym składa się z następujących elementów:

- rury okładzinowej prowadzącej, wyposażonej w tuleję wykonaną z twardej, chromowanej stali;
- buta rur okładzinowych połączonego od dołu z rurą prowadzącą;
- rur okładzinowych stanowiących osłonę przed niestabilnymi gruntami;
- łącznika ustalającego, zapuszczanego do rur okładzinowych;
- klasycznego chwytaka używanego do rdzeniowania wrzutowego;
- narzędzia wierzącego (gryzowego, skrzydłowego lub diamentowego), wrzucanego do rur okładzinowych i wyciąganego z nich przy pomocy chwytaka i urządzenia wyciągowego.

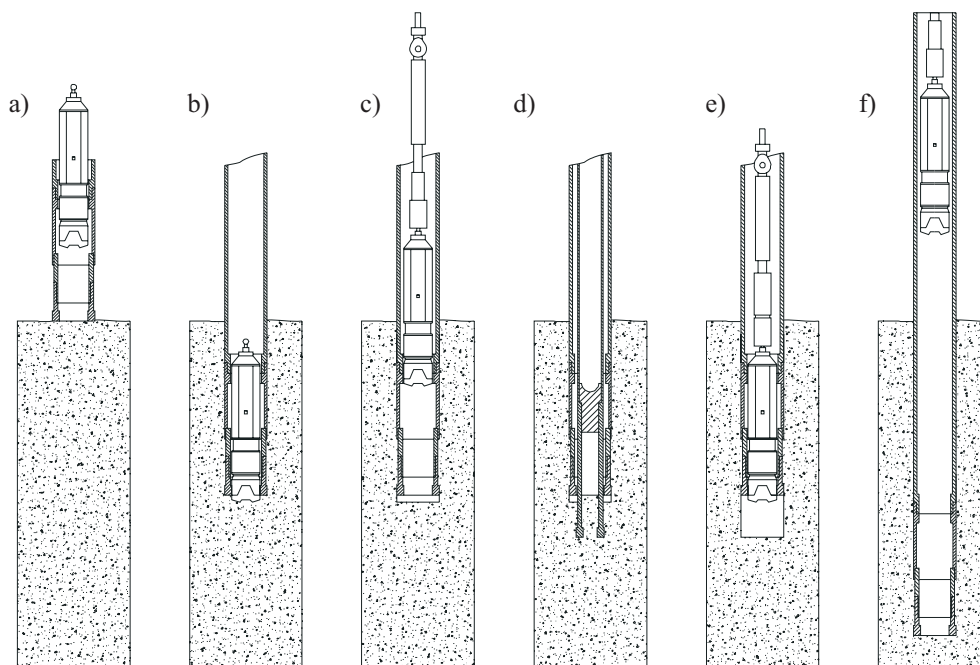
W łączniku ustalającym znajduje się mechanizm zatraskowy współpracujący z tuleją znajdującą się w prowadzącej rurze okładzinowej. Zadaniem tego mechanizmu jest utrzymanie świdra w trakcie wiercenia w stałej pozycji pionowej względem rur okładzinowych oraz przeniesienie momentu obrotowego i nacisku z rur okładzinowych na narzędzie wierzące. Mechanizm zatraskowy składa się z dwóch zatrasków. Pierwszy zatrask umożliwia przeniesienie siły nacisku z rur okładzinowych na narzędzie wierzące oraz służy ustaleniu pozycji świdra w stosunku do buta rur okładzinowych (odległość ta może być regulowana, umożliwiając wysunięcie lub schowanie świdra w rurach). Drugi zatrask pozwala na przeniesienie momentu obrotowego z rur okładzinowych na narzędzie wierzące. Ze względu na duże siły przenoszone przez łącznik jest on wykonany z materiału ulepszanego cieplnie.

Na rysunku 1 przedstawiono etapy technologiczne systemu wiercenia rurami okładzinowymi ze świdrem wrzutowym.

Metoda wiercenia rurami okładzinowymi ze świdrem wrzutowym realizowana jest przy zastosowaniu wiertnic wrzecionowych. Jest to metoda wiercenia obrotowego i nie wymaga dodatkowego wyposażenia wiertnicy. W przypadku gdy brak w wyposażeniu wiertnicy wciągarki, należy urządzenie wierzące uzupełnić jedynie o ten podzespół techniczny.

Metoda ta jest prosta w obsłudze i przygotowaniu. Po odwierceniu i postawieniu rur okładzinowych w stabilnych warstwach możliwe jest kontynuowanie procesu wiercenia z wykorzystaniem przewodu wiertniczego.

Metodę wiercenia rurami okładzinowymi ze świdrem wrzutowym stosować należy przy przewiercaniu piasków drobno-, średnio- i gruboziarnistych oraz drobnych żwirów. Metoda staje się mało efektywna w rumoszu skalnym i grubych żwirach z otoczkami.

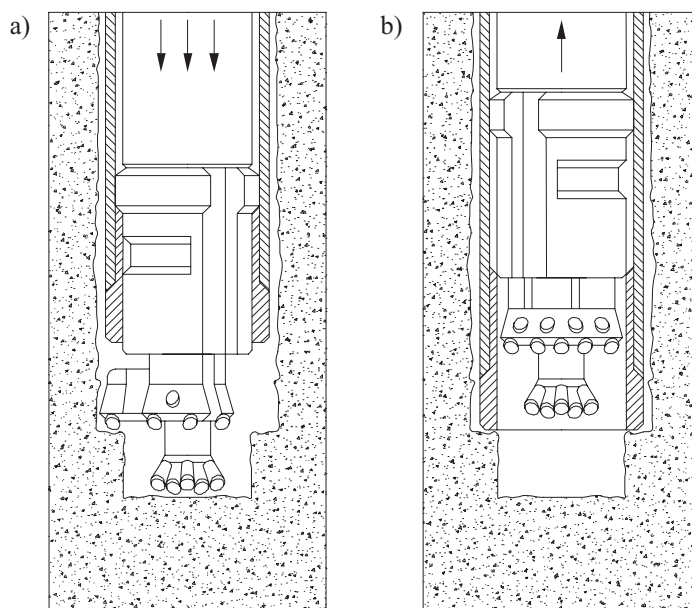


**Rys. 1.** Etapy technologiczne systemu wiercenia świdrem wrzutowym z równoczesnym rurowaniem otworu: a) łącznik ustalający z dokręconym świdrem gryzowym jest opuszczany do wnętrza rur okładzinowych w celu połączenia z rurą prowadzącą; b) wiercenie przez nadkład świdrem wrzutowym z równoczesnym rurowaniem otworu; wiercenie, poszerzanie i rurowanie otworu następuje w jednym cyklu technologicznym; c) zapuszczenie chwytaka wrzutowego do otworu w celu wyciągnięcia łącznika ustalającego wraz ze świdrem; obciążenie sprężyn powoduje chowanie się ramion zatrasku i umożliwia swobodne wyciągnięcie łącznika ustalającego; d) pobór prób lub rdzeniowanie w rurach okładzinowych; e) zapuszczanie łącznika ustalającego w rurach okładzinowych; zatraski są schowane pod działaniem siły ciężkości łącznika; zatrask ustalający pozwala na prawidłowe ustalenie łącznika wraz ze świdrem względem rur okładzinowych; f) wiercenie rurami okładzinowymi wraz z rurą prowadzącą w skałach rodzimych; po wyciągnięciu łącznika ustalającego możliwe jest wiercenie rurami okładzinowymi w celu ich ustabilizowania w skałach rodzimych; możliwe jest również dalsze rdzeniowanie lub wiercenie świdrem

## 5. SYSTEMY WIERCENIA Z DOLNYM MŁOTKIEM

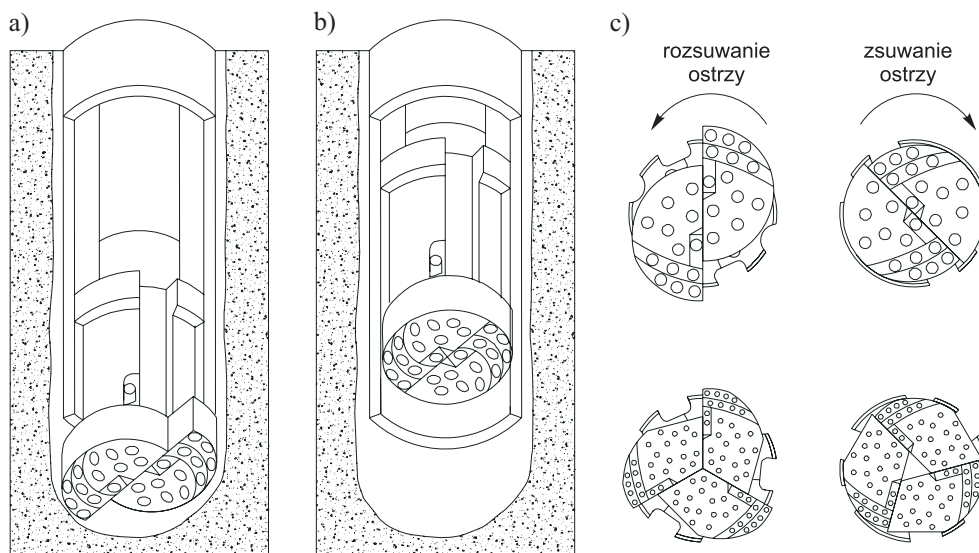
Do najnowszych rozwiązań technologicznych, umożliwiających wiercenie otworów z równoczesnym ich rurowaniem, zaliczyć należy zastosowanie urządzenia udarowego w dolnej części przewodu wiertniczego. Połączenie udarów, generowanych przez dolny młotek, z obrotami przewodu wiertniczego stanowi system udarowo-obrotowy, umożliwiający efektywne wiercenie zarówno w skałach luźnych, jak i zwięzłych. Wykorzystywane obecnie na świecie konstrukcje różnią się budową narzędzi wierzących oraz technologią wprowadzania do otworu rur okładzinowych. W celu zwiercania skał zwięzłych stosowane są świdry ekscentryczne, symetryczne z rozkładanymi ostrzami oraz symetryczne współpracujące z koronką buta rury okładzinowej.

Wiercenie świdrem ekscentrycznym możliwe jest poprzez wprowadzenie go na przewodzie wiertniczym do rur okładzinowych, i zapuszczenie na dno otworu wiertniczego. Wychodząc z dolnej części rur okładzinowych, narzędzie wierzące wprowadzane jest w ruch obrotowy wspomagany udarami młotka, zamontowanego w dolnej części przewodu wiertniczego. W wyniku ruchu mimośrodowego świder ekscentryczny odwierca otwór o średnicy większej niż średnica rur okładzinowych (rys. 2).



**Rys. 2.** Mechanizm wiercenia świdrem ekscentrycznym z równoczesnym rurowaniem otworu; a) ekscentryczny świder zapuszczony na dno otworu wiertniczego, w wyniku ruchu obrotowego wykonuje otwór o średnicy większej od średnicy wewnętrznej rur okładzinowych; b) świder wciągnięty do wnętrza rur

Wiercenie otworów z równoczesnym ich rurowaniem możliwe jest również z wykorzystaniem świdrów symetrycznych z rozsuwalnymi ostrzami. Otwór wykonuje się w wyniku przeprowadzenia następujących operacji technologicznych. W pierwszym etapie wprowadza się na przewodzie wiertniczym do rur okładzinowych świder z suniętymi ostrzami. Proces wprowadzania świdra jest możliwy, gdyż w wyniku zsunęcia ostrzy średnica narzędzia wierzącego jest mniejsza od średnicy wewnętrznej rur okładzinowych. Z dolnej części rur okładzinowych przewód wiertniczy wprowadzany jest w prawoskrętny ruch obrotowy. Ostrza rozsuwając się, powiększają średnicę narzędzia wierzącego, które wspomagane udarami młotka zamontowanego w dolnej części przewodu wiertniczego wykonuje otwór o średnicy większej niż średnica zewnętrzna rur okładzinowych. W przypadku konieczności wymiany narzędzia wierzącego wprowadza się przewód wiertniczy w ruch lewoskrętny, powodujący zsuniecie ostrzy świdra. Zmniejszenie średnicy narzędzia wierzącego umożliwia wciągnięcie go do wnętrza rur okładzinowych (rys. 3).



**Rys. 3.** Mechanizm wiercenia z równoczesnym rurowaniem otworu wykorzystujący świder symetryczny z rozsuwanymi ostrzami: a) świder symetryczny zapuszczony na dno otworu wiertniczego, w wyniku prawoskrętnego ruchu obrotowego, powodującego rozsuniecie ostrzy, wykonuje otwór o średnicy większej od średnicy zewnętrznej rur okładzinowych; b) lewoskrętny ruch obrotowy narzędzia wierzącego, powoduje złożenie jego ostrzy i umożliwia wciągnięcie świdra do wnętrza rur okładzinowych; c) zasada rozsuwania i zsuwania ostrzy

Istotą aplikacji świdra symetrycznego współdziałającego z koronką buta rur okładzinowych jest współdziałanie następujących elementów konstrukcyjnych:

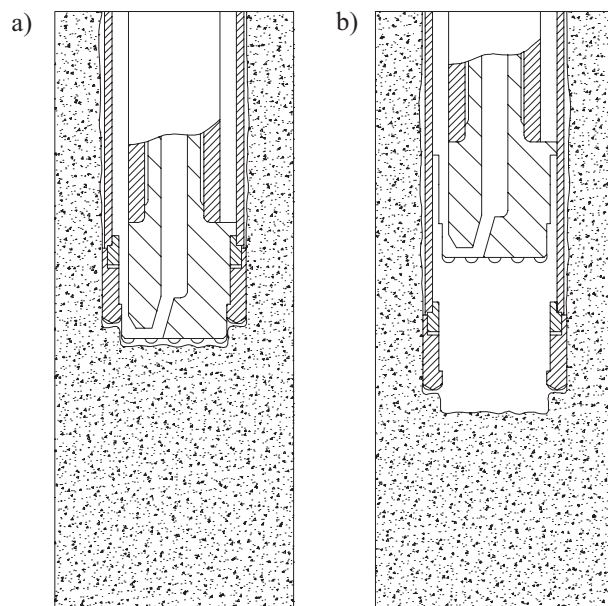
- świdra z wewnętrznymi i zewnętrznymi kanałami płuczkowym, umożliwiającymi wy-noszenie zwiercin;
- młotka udarowego;
- przewodnika rur okładzinowych,
- koronki, w którą uzbrojony jest but rur okładzinowych.

System świder-koronka zaprojektowano do pracy z dolnym młotkiem udarowym, jed-nakże możliwe jest również wiercenie z wykorzystaniem górnego młotka.

Technologia wiercenia z równoczesnym rurowaniem otworu z zastosowaniem świdra i koronki polega na połączeniu ударów, generowanych przez młotek, z obrotami przewodu wiertniczego. Świder osadzony w przewodniku rur okładzinowych i wysunięty nieznacznie poniżej buta zwierca skałę, przenosząc ruch obrotowy i udary na wspomagającą go koronkę i kolumnę rur okładzinowych. W przypadku konieczności wymiany narzędzia wierzącego, świder uwalniany jest z przewodnika rur poprzez wyciągnięcie przewodu wiertniczego. Sto-sując omawiany system, można wykonywać otwory zarówno skał luźnych, jak i zwięzłych (rys. 4).

Systemy wiercenia z dolnym młotkiem, umożliwiające równoczesne rurowanie otworu, można również podzielić na:

- system wiercenia z wciskaniem do otworu rurami okładzinowymi,
- system wiercenia z wciąganiem do otworu rurami okładzinowymi



**Rys. 4.** Mechanizm wiercenia z równoczesnym rurowaniem otworu, wykorzystujący świder symetryczny współpracujący z koronką buta rur okładzinowych: a) świder w procesie wiercenia; b) świder wyciągany z otworu w celu wymiany

W obu tych systemach stosowane mogą być zarówno świdry ekscentryczne, symetryczne z rozsuwanymi ostrzami, jak i symetryczne współpracujące z koronką buta rur okładzinowych. Różnice technologiczne pomiędzy oboma systemami polegają na sposobie przekazywania siły osiowej, umożliwiającej przemieszczanie się rur okładzinowych w odwierconym otworze.

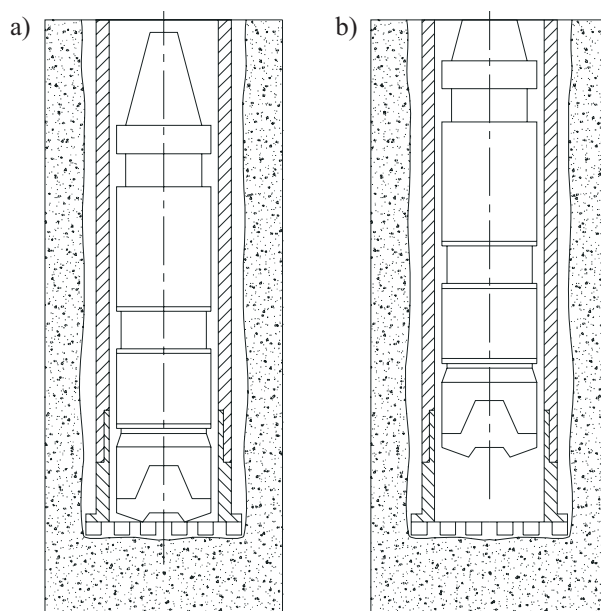
W systemie z wciąganiem rurami okładzinowymi rury wprowadzane są do otworu za pośrednictwem buta rur okładzinowych, połączonego z dolnym młotkiem przy użyciu prowadnika świdra. But rur jest przyspawany do pierwszej rury okładzinowej, a kolejne rury łączone są ze sobą przez skręcanie. W zależności od rodzaju skał stosowane są buty różnej konstrukcji. W wyniku takiej konstrukcji generowany przez młotek udar, umożliwiający zwiercanie skał przenoszony jest również na dolną część rur okładzinowych, powodując wciąganie ich do otworu. System ten przeznaczony do wiercenia w zwietrzałych skałach bardzo twardych, rumoszu skalnym, oraz w skałach typu fliszu karpackiego.

System z wciskaniem rurami okładzinowymi polega na wprowadzeniu do otworu rur okładzinowych w wyniku ich obrotu i siły posuwu, pochodzących z wiertnicy wyposażonej w górną głowicę obrotową. W tym rozwiązaniu technologicznym udar generowany przez dolny młotek nie jest przenoszony na rury okładzinowe. Konstrukcja prowadnika zapewnia znacznie większą powierzchnię pierścieniową pomiędzy rurami, co polepsza skuteczność wynoszenia zwiercin. Duża przestrzeń pierścieniowa, zapewniająca dobre oczyszczenie dna otworu pozwala na wykonywanie otworów z równoczesnym ich orurowaniem w różnicowanych warunkach geologicznych, od ilów przez piaski, torfy, namuły rzeczne, nasypy po żwiru z otoczkami.



## 6. SYSTEM WIERCENIA OBROTOWEGO Z RÓWNOCZESNYM OBRACANIEM PRZEWODU WIERTNICZEGO I RUR OKŁADZINOWYCH

W systemie tym rury okładzinowe są połączone z rurami płuczkowymi za pomocą łącznika i huczka. Rury okładzinowe są zakończone butem zbrojonym węglnikami spiekanymi. Świder przykręcony jest do rur płuczkowych i usytuowany wewnątrz rur okładzinowych (rys. 5). Technologia wiercenia polega na przekazywaniu momentu obrotowego i siły nacisku z przewodu wiertniczego na narzędzie wierzące i kolumnę rur okładzinowych. Proces wiercenia przebiega w wyniku równoczesnego urabiania skały świdrem i butem rur okładzinowych. Jako narzędzia wierzące można stosować świdry skrzydłowe, diamentowe lub gryzowe.



**Rys. 5.** System wiercenia obrotowego z równoczesnym obracaniem przewodu wiertniczego i rur okładzinowych: a) proces wiercenia; b) proces wymiany świda

Jedną z odmian tego systemu jest wiercenie z wykorzystaniem dwóch wiertarek. Wiertarki są wówczas połączone ze sobą siłownikiem hydraulicznym i mają możliwość zmiany wzajemnego położenia przewodu wiertniczego i rur okładzinowych. Takie rozwiązanie konstrukcyjne daje możliwość regulacji wysunięcia świda z rur okładzinowych.

## 7. ANALIZA OBCIĄŻEŃ RUR OKŁADZINOWYCH WYSTĘPUJĄCYCH PODCZAS WIERCENIA Z RÓWNOCZESNYM RUROWANIEM OTWORU

Podczas wiercenia otworów z równoczesnym rurowaniem niezbędne jest określenie minimalnej wartości momentu obrotowego oraz siły nacisku generowanej przez urządzenie

wiertnicze. Wielkości te w zależności od stosowanej metody wiercenia, przekazywane są na przewód wiertniczy z przykręconym do niego narzędziem wierzącym oraz na kolumnę rur okładzinowych. Zasady doboru przewodu wiertniczego oraz mechanicznych parametrów technologii wiercenia różnego typu świdrami przedstawione są w literaturze [1]. W przypadku doboru niezbędnych parametrów technologicznych dla rur okładzinowych, stosowanych w technologii wiercenia z równoczesnym rurowaniem, autorzy referatu proponują następującą metodykę.

W zależności od stosowanej technologii przemieszczania rur okładzinowych w wierconym otworze wyróżnić należy:

- oddziaływanie na rurę okładzinową siłą osiową (wciskanie lub wciąganie rury okładzinowej do otworu wiertniczego);
- oddziaływanie na rurę okładzinową siłą osiową z równoczesnym jej obracaniem.

Wartość siły wciskającej lub wciągającej  $F_W$ , niezbędnej do przemieszczania kolumny rur okładzinowych w otworze, wyznaczać należy z zależności

$$F_W = F_T - F_G \quad (1)$$

Ciężar rur okładzinowych wyznaczać należy z zależności

$$F_G = \frac{\pi}{4} g L (D_z^2 - D_w^2) \left( 1 - \frac{\rho_{pl}}{\rho_m} \right) \quad (2)$$

Siłę tarcia rur okładzinowych o ścianę otworu należy obliczać z zależności

$$F_T = \sum_{i=1}^N f_i N_i \quad (3)$$

Wartość siły bocznej, pochodzącej od pojedynczej warstwy geotechnicznej, zależy od ciśnienia geostatycznego występującego w danej warstwie, współczynnika Poissona oraz ciśnienia wód złożowych wypełniających tą warstwę

$$N_i = \frac{\mu_i}{1 - \mu_i} g \sum_{k=1}^N \rho_k h_k - \frac{1 - 2\mu_i}{1 - \mu_i} P_{zi} \quad (4)$$

Uwzględniając przedstawione wzory, minimalną wartość osiowej siły (wciągającej lub wciskającej) niezbędnej dla przemieszczania rur okładzinowych w otworze należy obliczyć ze wzoru

$$F_W = \sum_{i=1}^N f_i \left( \frac{\mu_i}{1 - \mu_i} g \sum_{k=1}^N \rho_k h_k - \frac{1 - 2\mu_i}{1 - \mu_i} P_{zi} \right) - \frac{\pi}{4} g L (D_z^2 - D_w^2) \left( 1 - \frac{\rho_{pl}}{\rho_m} \right) \quad (5)$$

Gdy w wyniku obliczeń wartość  $F_W$  będzie mniejsza od zera, oznacza to że rury okładzinowe będą przemieszczać się w otworze samoczynnie na skutek siły grawitacji.

Dobór właściwości fizycznych oraz parametrów geometrycznych rur okładzinowych w przypadku przemieszczania kolumny rur okładzinowych w otworze wiertniczym należy wyznaczać z zależności

$$\frac{4F_W}{\pi(D_z^2 - D_w^2)} < \text{Re}_m \quad (6)$$

Niektóre z opisywanych w artykule technologii wymagają oprócz wywierania siły osiowej równoczesnego obracania kolumny rur okładzinowych. W takim przypadku niezbędne jest wyznaczenie minimalnej wartości momentu obrotowego, przenoszonego z urządzenia wierzącego na rury okładzinowe. Wielkość tę należy obliczać z zależności

$$M = \frac{D_z}{2} F_T \quad (7)$$

Uwzględniając w równaniu (7) zależności (3) oraz (4), uzyskuje się

$$M = \frac{D_z}{2} \sum_{i=1}^N f_i \left( \frac{\mu_i}{1 - \mu_i} g \sum_{k=1}^N \rho_k h_k - \frac{1 - 2\mu_i}{1 - \mu_i} P_{zi} \right) \quad (8)$$

Gdy kolumną rur okładzinowych należy dodatkowo zwiercać pierścień skały, należy do wartości momentu obrotowego, określanego wzorem (8), dodać moment wynikający z mocy potrzebnej na zwiercanie skały.

Moc potrzebna na zwiercanie skały koronką skrawającą stanowiącą dolną część kolumny rur okładzinowych oblicza się z zależności [1]

$$N_z = w_1 F_{KR} R_C \sqrt[4]{z_0 n v_{sr}^3} + w_2 \pi f P D_z n \quad (9)$$

Moment obrotowy niezbędny na obracanie wciskanych do otworu rur okładzinowych oraz potrzebny do zwiercania skały wyznaczać należy z zależności

$$M = \frac{D_z}{2} \sum_{i=1}^N f_i \left( \frac{\mu_i}{1 - \mu_i} g \sum_{k=1}^N \rho_k h_k - \frac{1 - 2\mu_i}{1 - \mu_i} P_{zi} \right) + \frac{1}{8} w_1 (D_z^2 - D_w^2) R_C \sqrt[4]{z_0 n^{-3} v_{sr}^3} + \frac{1}{2} w_2 \pi f P D_z \quad (10)$$

Dobór właściwości fizycznych oraz parametrów geometrycznych rur okładzinowych w przypadku przemieszczania kolumny rur okładzinowych z równoczesnym jej obracaniem i zwiercaniem struktury skały wyznaczać należy, wykorzystując jedną z hipotez wytrzymałościowych.

Wartość naprężeń zastępczych dla naprężeń ściskających i skręcających kolumnę rur okładzinowych proponuje się wyznaczać, przyjmując hipotezę największej energii odkształcenia postaciowego

$$\sigma_{zr}^2 = \frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 + 6(\tau_{1,2}^2 + \tau_{2,3}^2 + \tau_{3,1}^2)] \quad (11)$$

Rozważając jednoosiowy stan naprężeń kolumny rur okładzinowych, uzyskuje się

$$\sigma_{zr} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad (12)$$

Przyjmując, że wartość naprężeń zastępczych musi być mniejsza od granicy plastyczności materiału rur okładzinowych oraz uwzględniając zależności:

$$\sigma = \frac{4F_W}{\pi(D_z^2 - D_w^2)} \quad (13)$$

$$\tau = \frac{16MD_z}{\pi(D_z^4 - D_w^4)} \quad (14)$$

uzyskuje się warunek pozwalający na dobór właściwości fizycznych oraz parametrów geometrycznych rur okładzinowych w przypadku przemieszczania kolumny rur okładzinowych z równoczesnym jej obracaniem i zwiercaniem struktury skały

$$\sqrt{\left(\frac{4F_W}{\pi(D_z^2 - D_w^2)}\right)^2 + 3\left(\frac{16MD_z}{\pi(D_z^4 - D_w^4)}\right)^2} < Re_m \quad (15)$$

## 8. PODSUMOWANIE

Obecnie na świecie obserwuje się rozwój nowych technik i technologii wiertniczych, umożliwiających odwiercenie otworu wiertniczego z równoczesnych jego rurowaniem.

Do najnowszych rozwiązań konstrukcyjnych w tym zakresie zaliczyć należy systemy wiercenia:

- z wykorzystaniem stożka traconego,
- ze świdrem wrzutowym,
- z dolnym młotkiem,
- z równoczesnym obracaniem przewodu wiertniczego i rur okładzinowych.

Prawidłowy dobór kolumny rur okładzinowych zależy od stosowanej technologii wykonywania otworu oraz występujących warunków geologicznych. W celu przeprowadzenia niezbędnych obliczeń wytrzymałościowych kolumny rur okładzinowych należy stosować wzory przedstawione w artykule.

## SPIS OZNACZEŃ

- $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  – naprężenia osiowe [ $\text{N/m}^2$ ]  
 $\tau_{1,2}, \tau_{2,3}, \tau_{3,1}$  – naprężenia styczne [ $\text{N/m}^2$ ]  
 $\mu_i$  – wartość współczynnika Poissona  $i$ -tej warstwy geotechnicznej [–]  
 $\rho_m$  – gęstość materiału, z którego wykonana jest kolumna rur okładzinowych [ $\text{kg/m}^3$ ]  
 $\rho_{pl}$  – gęstość płuczki wiertniczej [ $\text{kg/m}^3$ ]  
 $\sigma_{zr}$  – naprężenie zastępcze (zredukowane) [ $\text{N/m}^2$ ]  
 $D_w$  – średnica zewnętrzna kolumny rur okładzinowych [m]  
 $D_z$  – średnica zewnętrzna kolumny rur okładzinowych [m]  
 $f$  – współczynnik tarcia koronki skrawającej o skałę [–]  
 $F_G$  – ciężar rur okładzinowych [N]  
 $f_i$  – wartość współczynnika tarcia pomiędzy  $i$ -tą warstwą geotechniczną a kolumną rur okładzinowych [–]  
 $F_{KR}$  – pole powierzchni koronki skrawającej [ $\text{m}^2$ ]  
 $F_T$  – siła tarcia rur okładzinowych o ścianę otworu wiertniczego [N]  
 $F_W$  – siła wciskająca lub wciągająca rurę okładzinową [N]  
 $g$  – przyspieszenie ziemskie [ $\text{m/s}^2$ ]  
 $h_k$  – miąższość  $k$ -tej warstwy geotechnicznej [m]  
 $L$  – długość kolumny rur okładzinowych [m]  
 $M$  – moment skręcający [Nm]  
 $N$  – liczba przewiercanych warstw geotechnicznych [–]  
 $n$  – prędkość obrotowa stołu wiertniczego [obr./s]  
 $N_i$  – wartość siły bocznej działającej na kolumnę rur okładzinowych, pochodzącą od  $i$ -tej warstwy geotechnicznej [N]  
 $N_z$  – moc potrzebna na zwiercanie skały kolumną rur okładzinowych uzbrojoną w koronkę skrawającą [W]  
 $P$  – nacisk na świder [N]  
 $P_{zi}$  – ciśnienie złożowe płynów wypełniających  $i$ -tą warstwą geotechniczną [Pa]  
 $R_c$  – wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie skały [ $\text{N/m}^2$ ]  
 $Re_m$  – granica plastyczności materiału z którego wykonana jest kolumna rur okładzinowych [Pa]  
 $v_{sr}$  – średnia prędkość wiercenia kolumną rur wyposażoną w koronkę skrawającą [m/s]  
 $w_1$  – współczynnik nierównomierności pracy koronki skrawającej [–]  
 $w_2$  – współczynnik uwzględniający tarcie boczne koronki skrawającej [–]  
 $z_0$  – liczba ostrzy w koronce skrawającej [–]

## LITERATURA

- [1] Gonet A., Stryczek S., Rzychniak M.: *Projektowanie otworów wiertniczych*. Kraków, Wydawnictwa AGH 1996
- [2] Materiały firmowe firmy Boart-Longyer. 2004
- [3] Materiały firmowe firmy DATC Group. Paris, 2003