

Jan Ziaja*, Rafał Wiśniowski*, Łukasz Gościński*

DOBÓR NARZĘDZI WIERCĄCYCH STOSOWANYCH W STEROWANYCH PRZEWIERTACH HORYZONTALNYCH W OPARCIU O PROGRAM KOMPUTEROWY „HORIZON”**

1. WSTĘP

Metoda wiercenia poziomego ma swój początek w 1972 r., gdy Martin Cherrington wykonał metodą wiertniczą pierwszy poziomy przewiert pod rzeką Pajero w Kalifornii. Technologię tę zastosowano do wbudowania gazociągu stalowego o średnicy 100 mm i długości 182 m. Była to wówczas jeszcze metoda niesterowalna. Instytuty Electric Power Research Institute i Gas Research Institute udoskonaliły tę technologię wdrażając płuczkę wiertniczą, świdry hydromonitorowe, system kontroli oraz udar w systemach sterowalnych. W latach 70. metoda wiercenia poziomego została uznana w Stanach Zjednoczonych za największe osiągnięcie w dziedzinie techniki instalowania rurociągów w ciągu ostatnich 50 lat.

Na początku lat 80. zainteresowano się tą metodą w Europie, głównie w Niemczech i Holandii. Natomiast pierwszy przewiert sterowany w Polsce wykonano w 1991 r. Było to przejście gazociągiem stalowym pod Wisłą w okolicach Włocławka.

Wykonywanie sterowanych przewiertów horyzontalnych należy już do standardowych technik podziemnego układania sieci rurowych. Nie tylko zwiększa się średnica, ale też i dystans na jakim budowane są instalacje metodą HDD (*Horizontal Directional Drilling*). Oficjalny rekord przekroczył już 2600 m [1], a obecnie prowadzi się prace studialne nad przewiertami 3, 4 razy dłuższymi [2]. Dlatego też wymagania, jakie obecnie stawia się technologii HDD, są bardzo wysokie. Dotyczy to m.in. doboru konstrukcji i technologii wiercenia narzędziami wiercącymi, jakimi są:

- głowice wiercące,
- świdry,
- poszerzacze.

* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

** Praca wykonana w ramach badań statutowych Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH nr 11.11.190.01

2. DOBÓR NARZĘDZI WIERCĄCYCH STOSOWANYCH W TECHNOLOGII HDD

W wielu przypadkach racjonalny dobór narzędzia wierzącego ma decydujący wpływ na wykonanie zadania wiertniczego, jakim jest odwiercenie stabilnego otworu o zaprojektowanej trajektorii jego osi.

Przy typowaniu rodzaju narzędzia wierzącego należy wziąć pod uwagę szereg czynników takich, jak: rodzaj przewiercanych skał, dostępność na rynku, kompatybilność z innymi podzespołami przewodu i urządzenia wiertniczego oraz cena narzędzia. Źle dobrane narzędzie prowadzi zwykle do komplikacji wiertniczych, a nawet do niewykonania podjętych prac [8].

Narzędzia wierzące stosowane przy wykonywaniu sterowanych przewiertów horyzontalnych z uwagi na etapowy charakter tych prac można podzielić na dwie podstawowe grupy:

- 1) narzędzia wierzące stosowane do wierceń pilotowych,
- 2) narzędzia wierzące stosowane przy poszerzaniu otworu.

Z uwagi na odmienny charakter wykonywanych zadań w obu etapach, narzędzia wierzące będą się zasadniczo różnić w swej konstrukcji.

3. NARZĘDZIA WIERCĄCE DO WYKONYWANIA OTWORU PILOTOWEGO

Najprostszym rodzajem narzędzia wierzącego stosowanym w technologii HDD jest płytka przytwierdzana do głowicy wiertniczej. Głowica, w której znajdują się dysze, jest wyprofilowana w taki sposób, by nałożona na nią nakładka posiadała pewien kąt między płaszczyzną poziomą a dolną ścianą płytki. Tak skonstruowane narzędzie daje operatorowi możliwość sterowania trajektorią osi przewiertu. Głowica taka stanowi często obudowę dla różnego typu sond pomiarowych. W tabeli 1 zebrano podstawowe narzędzia wierzące stosowane przy wykonywaniu otworu pilotowego, wybranych producentów z przyporządkowaniem ich do rodzaju przewiercanych skał.

Tabela 1

Narzędzia wierzące do wykonywania otworu pilotowego – producenci [9, 10, 11, 12, 13]

Producent Rodzaj skały	AT-Boretac	Ditch Witch	Melfred Borzall	Straightline	Vermeer
Piaski	Hardhead Typ I Steuerkönig	Sand Bit Tuff Bit	Gator Chunky ChunkyII	Standard Tuff Bit	Econo Bit Hardface
Iły	Hardhead Typ I Steuerkönig Borepig	Tuff Bit Barracuda Bit Hard Surface Bit	Valu-Blade Chunky Chunky II	Standard Tuff Bit Hard Faced	Mini Econo Bit Standard Hardface

Tabela 1 cd.

Gliny	Hardhead Typ I Hardhead Typ II Steuerkönig Borepig	Tuff Bit Barracuda Bit Durabit	Samurai UltraBit Gator	Tuff Bit Hard Faced	Chevron II Shark VCP TriHawk I VCTT TriHawk III
Żwiry	Hardhead Typ II Borepig Gravelking Igel	Tuff Bit Durabit Steep Taper Bit Grade Bit (Tuff) Grade Bit (Barracuda) Steep Taper Tuff Bit Talon Bit	Grizzly Bear Claw UltraBit Fang	Tuff Bit Hard Faced Carbide Inserts	VCP VCTT TriHawk IV TriHawk V
Wapienie	Gravelking Igel Rockhead Typ I Rockhead Typ II	Steep Taper Bit Rhino Rock Bit Steep Taper Tuff Bit Taper Head Glacier Bit Talon Bit	Grizzly Excalibur Bear Claw	Thrasher Carbide Inserts Stepped Carbide	TriHawk I TriHawk III
Łupki	Igel Rockhead Typ I Rockhead Typ II	Taper Head Glacier Bit Talon Bit Rhino Rock Bit	Excalibur Bog Hog Duro Bore Eagle Claw	–	TriHawk III TriHawk IV
Granity	Rockhead Typ II Rollenmeiße	Taper Head Rhino Rock Bit Tri-Cone Bit TCI	Eagle Claw	–	TriHawk IV Seria RS6 BIT Seria RS8 BIT

Objaśnienie do klasyfikacji skał podanej w tabelach 1 i 2:

- Piaski – piasek, grunty sypkie, piaszczyste i piaszczysto-pylaste, wilgotne i mokre piaski, piaski wdmowe, piaski pylaste, pyły piaszczyste, kurzawki (piaski płynne), inne ośrodki gruntowe, których głównym składnikiem jest piasek.
- Iły – iły, iły piaszczyste, iły gliniaste, iły plastyczne, iły zapiaszczone, muły, kaoliny, inne ośrodki gruntowe o dużej nasiąkliwości.
- Gliny – gliny twarde, spoiste, zagęszczone, iły z domieszką mułu i piasku, pospółki gliniaste, inne ośrodki gruntowe zagęszczone.
- Żwiry – grunty żwirowe, pospółki gliniaste z zawartością żwiru i drobnego rumoszu powyżej 50%, gliny morenowe z zawartością żwiru i otoczków, grunty zamrożone.
- Wapienie – wapienie dolomityczne, piaszczyste, margliste, łupki, piaskowce, piaskowce kwarcytowe, piaskowce ilasto-wapniste, drobnoziarniste, tufy wulkaniczne twarde zwarte, inne skały o wytrzymałości na ściskanie do około 56 MPa.
- Łupki – piaskowce o spoiwie krzemionkowym, łupki krzemionkowe, kwarcytowe, wapienie krystaliczne, wapienie krzemieniste zbite, zlepione skał piroklastycznych, inne skały o wytrzymałości na ściskanie między 56÷110 MPa.
- Granity – granity, bazalty, zlepione skał piroklastycznych o spoiwie krzemionkowym, łupki kwarcytowe, żyły kwarcowe, gnejsy kwarcowe, kwarcyty, rogowce, inne skały o wytrzymałości na ściskanie powyżej 110 MPa.

4. NARZĘDZIA WIERCĄCE STOSOWANE PRZY ROZWIERCANIU OTWORU

Poszerzacze to narzędzia służące do powiększania otworu pilotowego do planowanej średnicy. Dostępnych jest wiele modeli poszerzaczy różniących się sposobem urabiania skały. Głowice poszerzające są produkowane w szerokim zakresie średnic tak, aby była możliwość zainstalowania rur o różnych wielkościach.

Ze względu na sposób urabiania gruntów poszerzacze dzielimy na [5]:

- skrawające,
- rolkowe,
- rozpychające.

Natomiast biorąc pod uwagę kryterium budowy, rozwiertaki dzielimy na poszerzacze [5]:

- stożkowe;
- baryłkowe;
- rolkowe;
- przelotowe;
- miksujące.

W tabeli 2 przedstawiono narzędzia, wybranych producentów, poszerzające otwór po wykonaniu otworu pilotowego

Tabela 2

Narzędzia wiercące – poszerzacze, stosowane przy rozwiercaniu otworu [9, 10, 11–13]

Producent Rodzaj skały	AT-Boretac	Ditch Witch	Melfred Borzall	Straightline	Vermeer
Piaski	Beavertail Flycutter	EX Expander Fluted Cone	Terminator Jr. Terminator Turbo Razorback	Winged Cyclone Radial Flow Compaction	Bar-Cutter Wing-Cutter Helical Helical Plus Super Fluted/Rotary
Iły	Beavertail Mudmixer Flycutter	Beavertail Fluted Cone CT Cutter	Terminator Jr. Terminator Sabertooth Turbo Razorback	Winged Cyclone Radial Flow Compaction	Bar-Cutter Wing-Cutter Helical Helical Plus
Gliny	Beavertail Mudmixer Flycutter Allrounder Typ I	Beavertail CT Cutter ST Saw Tooth	Terminator Jr. Terminator Sabertooth Turbo Razorback	All-Terrain Winged Cyclone Radial Flow Tri-action Compaction	Bar-Cutter Wing-Cutter Wing/Bell Miner Helical Helical Plus Super Fluted/Rotary

Tabela 2 cd.

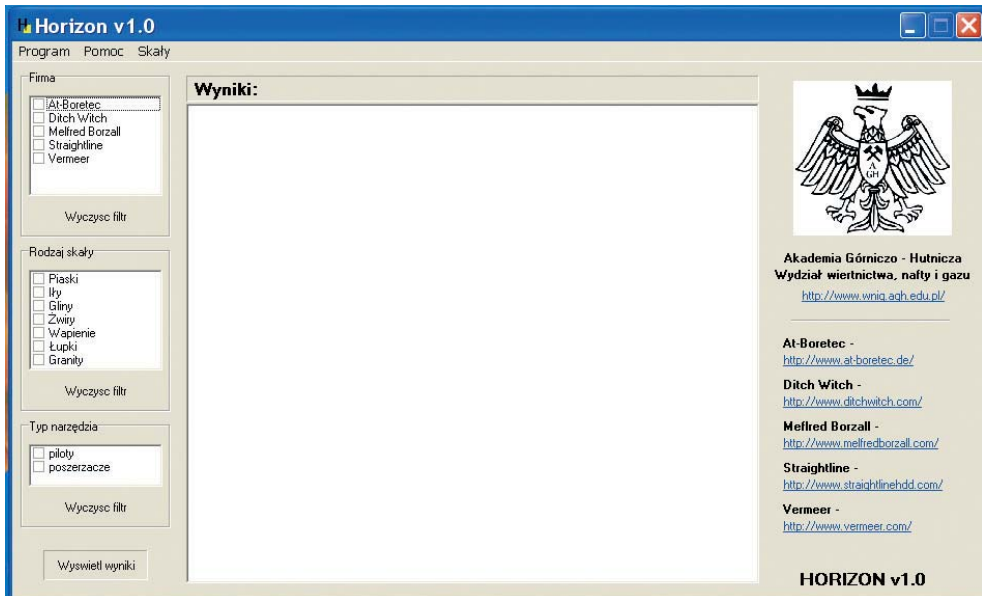
Żwiry	Beavertail Mudmixer Flycutter Allrounder Typ I Allrounder Typ II Kodiak	Beavertail Water Wing HC Hard Con- dition	Terminator Sabertooth Ripper Shredder Crusher's	All-Terrain Winged Radial Flow Tri-action Compaction	Spiral Bell w/ Teeth Fluted/Shark Fluted/Rotary Super Fluted/Rotary Super Fluted/Shark
Wapienie	Allrounder Typ II Kodiak Rockreamer Typ I	Three-Wing Rock Kodiak Cobble HC Hard Condition	Sabertooth Ripper Shredder Turbo Crusher's	All-Terrain Winged Radial Flow Tri-action	Spiral Bell w/ Teeth Super Fluted/Rotary Super Fluted/Shark Hole Opener with Mill Tooth (machined steel)
Łupki	Kodiak Rockreamer Typ I Xtrem- Aufweitkopf	Three-Wing Rock Rockmaster Kodiak Cobble Rhino Rock	Sabertooth Ripper Shredder	Winged Radial Flow	Hole Opener with Mill Tooth Hole Opener with TCI (tungsten car- bide inserts)
Granity	Hole Open- er	Rockmaster with repla- ceable mill tooth or TCI Cutters Rhino Rock	Reamer Hole Opener with replaceable cutter segments	–	Hole Opener with TCI (tungsten car- bide inserts)

Dotychczas nie opracowano kodyfikacji narzędzi wierzących stosowanych w przewiertach horyzontalnych, jak to ma miejsce w przypadku świdrów gryzowych czy diamentowych – kodyfikacja IADC. Stąd też w doborze tych narzędzi można opierać się jedynie na danych producenta oraz własnym doświadczeniu. Dlatego też w pracy autorzy skupili się na opracowaniu wytycznych dla racjonalnego doboru narzędzi wiertniczych dla technologii HDD. Na podstawie analizy danych katalogowych i badań studialnych został opracowany przez autorów program komputerowy o nazwie „HORIZON” wspomagający proces decyzyjny doboru narzędzia wierzącego [3–13].

5. OPIS PROGRAMU „HORIZON”

Jako podsumowanie pracy nad doбором narzędzi wierzących w technologii HDD powstał program „Horizon”. Kataloguje on narzędzia wiertnicze różnych firm i umożliwia ich

przeгляд oraz wstępny dobór w zależności od rodzaju skał do jakich zostały one zaprojektowane. Program ten został napisany w języku Delphi i pracuje w środowisku operacyjnym Windows. Program nie ma wygórowanych wymagań sprzętowych. Uruchamia się na każdym komputerze, na którym może działać Windows XP. Nie wymaga instalacji. Po kliknięciu przycisku OK otwiera się główne okno programu (rys. 1).



Rys. 1. Główne okno dialogowe programu „HORIZON”

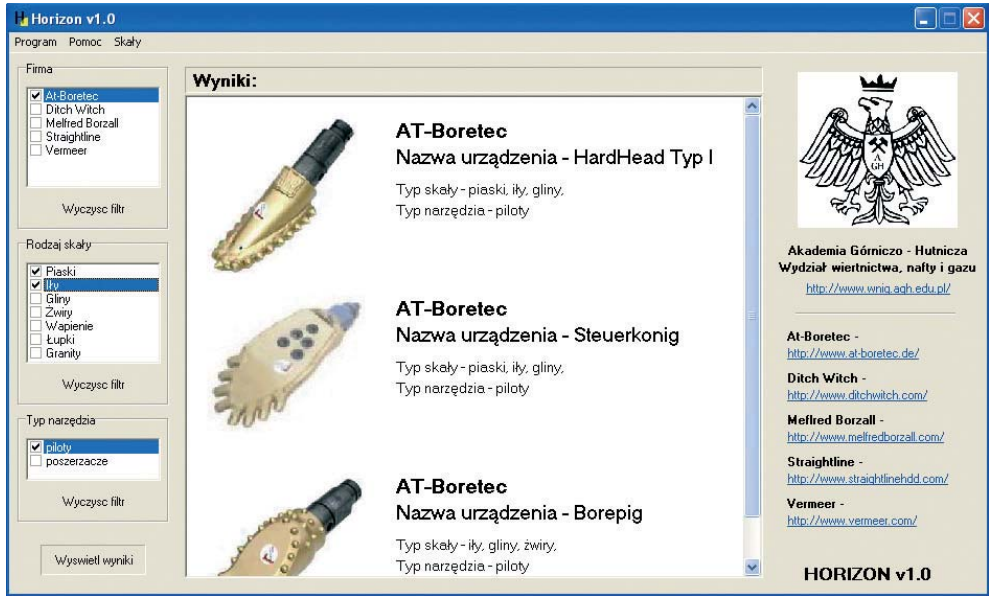
Poruszamy się po nim przy pomocy menu lub panelu filtrów znajdującego się po lewej stronie głównego okna. Reguły filtrów można łączyć.

Możemy wybrać następujące opcje:

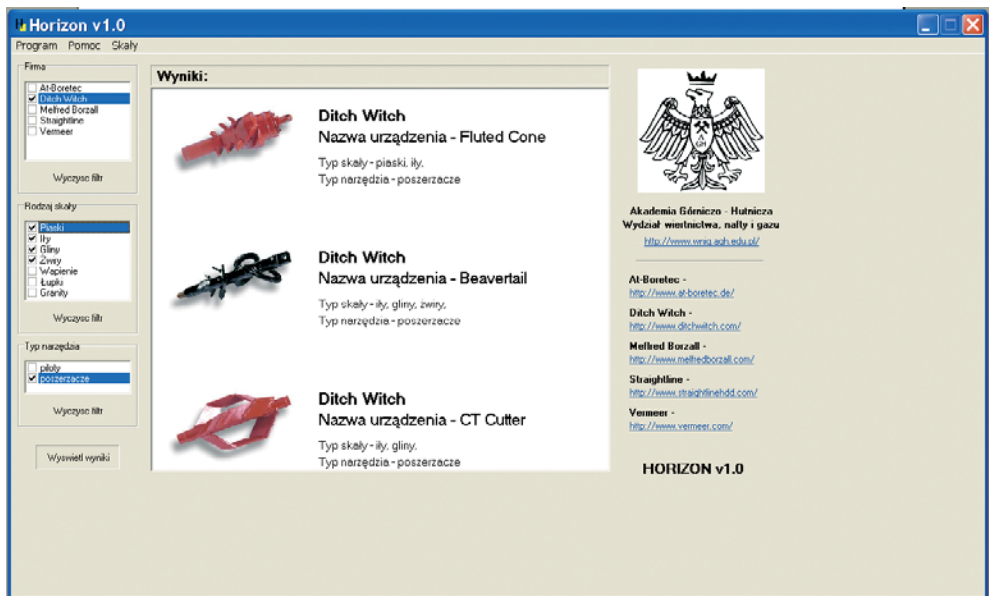
- Firma – wyświetla zestawienie narzędzi według producenta;
- Rodzaj skały – wyświetla zestawienie narzędzi według rodzaju skały, do której jest przeznaczony;
- Typ narzędzia – wyświetla narzędzia do wiercenia pilotowego lub poszerzania otworów;
- Pomoc – wyświetla podstawową pomoc do programu;
- Skały – wyświetla podstawowy przyjęty przez autorów opis skał, do których przeznaczony są prezentowane narzędzia.

Obsługa programu jest bardzo przejrzysta i nie powinna sprawić użytkownikowi żadnych trudności. Dodatkową zaletą programu jest możliwość automatycznego przeniesienia się za pomocą linków na strony internetowe głównych producentów narzędzi wierzących w celu aktualizacji dostępnej oferty.

Na rysunkach poniżej przedstawiono przykładowy wynik doboru narzędzi wierzących pilotowych (rys. 2) i poszerzaczy (rys. 3) uzyskany dzięki programowi „HORIZON”.



Rys. 2. Narzędzia pilotowe dobrane przy użyciu programu „HORIZON”



Rys. 3. Narzędzia poszerzające dobrane za pomocą programu „HORIZON”

6. WNIOSKI

- 1) Technologie bezwykopowe są jednym z najprężniej rozwijających się obszarów wiedzy inżynierskiej z zakresu inżynierii środowiska oraz górnictwa i geologii.
- 2) Dobór optymalnej techniki wykonywania przewiertu powinien być zdeterminowany warunkami geologicznymi oraz możliwościami sprzętowymi wykonawcy.
- 3) Bardzo istotnym zagadnieniem jest dobór odpowiedniego narzędzia wierzącego do rodzaju przewiercanych skał.
- 4) Źle dobrane narzędzie wierzące prowadzi zwykle do poważnych komplikacji wiertniczych a w niektórych przypadkach do niewykonania powierzonych prac, co w konsekwencji może być nawet przyczyną utraty płynności finansowej przez firmę wskutek unieważnienia kontraktu.
- 5) Wybór narzędzia pilotowego oraz typów narzędzi poszerzających i typoszeregu kolejnych poszerzeń należy każdorazowo projektować indywidualnie z uwzględnieniem racjonalnego wykorzystania sprzętu wiertniczego, tj. wiertnicy, żerdzi oraz pomp płuczkowych.
- 6) Opracowany program komputerowy „HORIZON” może być bardzo pomocny przy wstępnym doborze narzędzi wierzących stosowanych w technologii HDD.

LITERATURA

- [1] Elhen K.D., Kögler R., Kruse G., Sjut V.: *Nowy rekord świata – 26262 m, wiercenie i instalacja rurociągu pod rzeką Łabą w Niemczech*. Inżynieria Bezwykopowa, styczeń – marzec 2006
- [2] Lucas A., Lonergan S., Macdonald D.: *Przewiert przyszłości?! Praktyczne możliwości wykonania bardzo długich instalacji HDD pod terenami niebezpiecznymi – 5 km, 10 km?* Inżynieria Bezwykopowa, lipiec – wrzesień 2005
- [3] Wiśniowski R.: *Dobór typów świrdrów gryzowych do rodzaju przewiercanych skał, cz. I*. Kwartalnik NTTB, 2, 1999
- [4] Wiśniowski R.: *Dobór typów świrdrów gryzowych do rodzaju przewiercanych skał, cz. II*. Kwartalnik NTTB, 3, 1999
- [5] Ziaja J., Wiśniowski R.: *Przegląd narzędzi wierzących stosowanych do wykonywania horyzontalnych przewiertów sterowanych (HDD)*. Rocznik AGH Wiertnictwo Nafta Gaz, 22/1, 2005
- [6] Ziaja J., Wiśniowski R.: *Technologie wykonywania horyzontalnych przewiertów sterowanych*. Rocznik AGH Wiertnictwo Nafta Gaz, 21/1, 2004
- [7] Ziaja J.: *Wybrane zagadnienia mechaniki zwiercania skał*. Nowoczesne Techniki i Technologie Bezwykopowe, 1, 1999
- [8] Ziaja J.: *Awarie i komplikacje wiertnicze występujące przy horyzontalnych przewiertach sterowanych HDD*. Kwartalnik NTTB, 2–3, 2001
- [9] <http://www.at-borettec.de>
- [10] <http://www.ditchwitch.com>
- [11] <http://www.vermeer.com>
- [12] <http://www.melfredborzall.com>
- [13] <http://www.straightlinehdd.com>