

O niektórych czynnikach podnoszenia efektywności pracy wiertnic

prof. zw. dr hab. inż. Artur Bęben
Akademia Górniczo-Hutnicza



Eksploracja maszyny odbywa się na tle określonej infrastruktury, w której kwalifikacje, postawa społeczna i etyczna obsługujących ma istotne znaczenie. Większość prac dotyczących systemów eksploatacji przyjmuje jako cel badanie ich niezawodności, w której nie uwzględnia się tych elementów.

Każdy problem techniczny rozwiązuje się w aspekcie właściwości rynku, którego dynamika wynika między innymi ze zmian rynkowych, technologicznych i społecznych. Przeprowadzając w systemie eksploatacji wiertnic analizy niezawodności rozpatruje się z reguły układy zbiorów elementów w relacji „sprawna – niesprawna”, pomijając bardzo często rolę jednostki ludzkiej, bez której stają się one mało przydatne, bowiem nie rozpatruje się wiertnicy jako maszyny podlegającej uszkodzeniom, naprawie i co ważne – obsłudze. Coraz częściej w systemach eksploatacji wiertnic pomocniczą rolę spełnia komputer, podając operatorowi dodatkowe wyjaśnienia, wspomagając go w wyborze podejmowania decyzji dla prowadzenia racjonalnego procesu wiercenia i podnoszenia ogólnej efektywności pracy maszyny.

W świecie, na drodze dostrzegania rzeczywistych wartości w technice, a nie tylko relacji: „sprawny – niesprawny”, stosowana jest metodyka [3]:

- patrzeć, żeby widzieć,
- widzieć, żeby myśleć,
- myśleć, żeby rozumieć,
- rozumieć, żeby pojmować,

którą w obszarze systemów działaniowych powinniśmy uściślić wg Augusta Comte, wybitnego francuskiego filozofa i socjologa, o:

- wiedzieć, aby przewidzieć,
- przewidzieć, aby działać.

U nas zwykle analizy zatrzymują się na poziomie skutek – przyczyna. Jednak nie można dziś rozwiązywać praktycznych zagadnień technicznych pomijając wpływ postępu nauk w informatyce o zarządzaniu i innych.

Mówiąc o efektywności mamy zazwyczaj na uwadze efektywność ekonomiczną jako *rezultat działalności gospodarczej, określonej przez stosunek uzyskanego efektu do nakładu*. Efektywność w odniesieniu do pracy maszyny wiertniczej to nic innego jak jej *pozytywny wynik, wydajność, skuteczność, sprawność*. Aby jednak uzyskać pozytywny wynik pracy maszyny należy dać obsługującą ją, a więc wiertaczom, pewne kwantum wiedzy odnośnie zakresu stosowności i czynników mających istotny wpływ na bezawaryjną i wydajną pracę.

Efektywność procesu wiercenia oraz jego ilościową i jakościową ocenę określają wskaźniki wiercenia, z których można wymienić: prędkość mechaniczną wiercenia, posuw jednostkowy przypadający na jeden obrót narzędzia i energię właściwą procesu wiercenia oraz wydajność wiercenia w danych warunkach złożowych.

Jednym z podstawowych składników (czynników) decydujących w sposób zasadniczy o efektywności procesu wiercenia otworu strzałowego w danych warunkach złożowych jest uzyskiwana chwilowa mechaniczna prędkość wiercenia zastosowaną metodą, która wyraża przyrost głębokości otworu L w jednostce czasu t i jest określona zależnością [1]

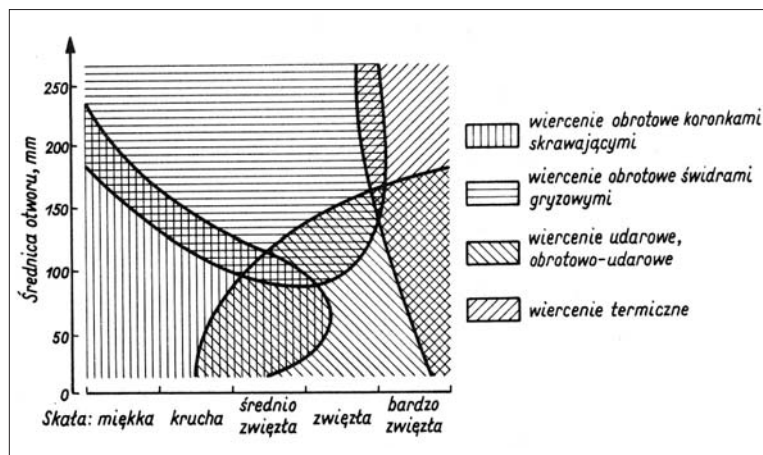
$$v_m = \frac{\Delta L}{\Delta t}, \text{ m/s.} \quad (1)$$

W warunkach przemysłowych dla danej średnicy wierczonego otworu chwilowa mechaniczna prędkość wiercenia zależna jest od wielu czynników tak technicznych jak i geologicznych, między innymi od:

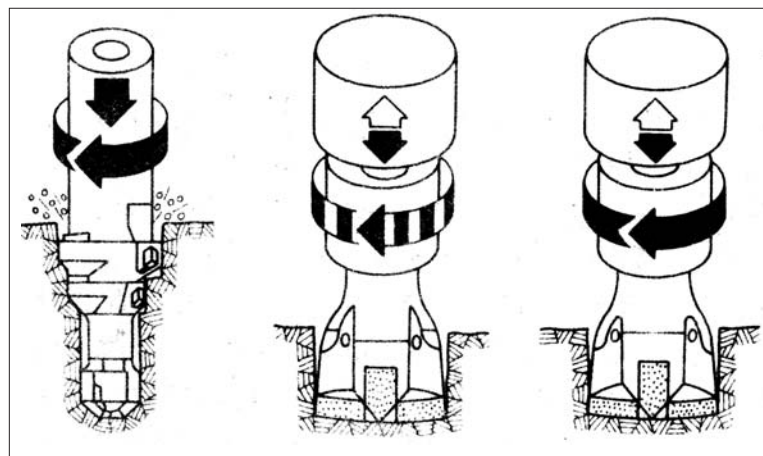
- fizyko mechanicznych właściwości zwiercanej skały i innych,
- zastosowanej metody zwiercania skały o określonej zwięzłości,
- parametrów technicznych wiertnicy oraz technologii wiercenia (liczby obrotów narzędzia wierzącego, osiowej siły docisku narzędzia, jakości i ciśnienia płuczki wiertniczej),
- rodzaju i konstrukcji narzędzia oraz stopnia jego zużycia,
- sposobu oczyszczania dna otworu ze zwiercin.

Wprowadzenie do górnictwa odkrywkowego samojezdnych, wysokowydajnych wiertnic o dużych walorach technicznych, dostosowanych do współczesnych wymogów wiercenia otworów strzałowych w skałach średniej zwięzłości i zwięzłych, stało się załącznikiem prac w poszukiwaniu nowych rozwiązań konstrukcyjnych narzędzi wierzących, poszerzających różnorodność rozwiązań konstrukcyjnych dla właściwszego ich doboru przy wierceniu w skałach o zróżnicowanych właściwościach budowy geologicznej w danej grupie skał.

W zależności od rodzaju energii zastosowanej do niszczenia struktury skały, można wymienić kilka metod wiercenia otworów strzałowych, jak na przykład metodę mechaniczną, termiczną i elektrofizyczną.



Rys. 1. Zakresy wiercenia otworów strzałowych z uwzględnieniem zwięzłości skały i średnicy otworu



Rys. 2. Sposoby wiercenia otworów strzałowych: a) obrótowe ostrzami skrawającymi, b) udarowy, c) obrótowo-udarowy

W metodzie mechanicznej wyróżnia się wiercenie sposobem:

- obrotowym, narzędziami skrawającymi,
- obrotowym, świdrami gryzowymi obtaczanymi po dnie otworu,
- udarowym,
- obrotowo-udarowym.

Każda z wymienionych metod lub sposobów wiercenia ma swój zakres stosowania zależny od rodzaju właściwości fizycznych zwiercanych skal oraz kosztów wiercenia.

W metodzie mechanicznej wyróżnia się wiercenie otworów strzałowych sposobem:

- obrotowym, narzędziami skrawającymi,
- udarowym,
- obrotowo-udarowym.

Przebieg procesu wiercenia w danym rodzaju zwiercanej skały uznaje się (przez odpowiednie wskaźniki) za racjonalny wtedy, gdy daną maszyną z zastosowanym narzędziem wierzącym, po zadaniu odpowiednich parametrów technicznych (siła docisku, energia uderzenia i inne oraz ciśnienie i wydatek powietrza sprężonego do usuwania zwiercin) uzyskuje się stosunkowo dużą prędkość wiercenia i małe zużycie narzędzia.

Wiercenie sposobem obrotowym

Zwiercanie skały podczas wiercenia sposobem obrotowym narzędziami skrawającymi następuje pod działaniem obrotu narzędzia, które dociskane jest do skały z określoną siłą osiową (rys. 2 a). Proces ma charakter skrawania, a więc dla odpowiedniej grupy skal, niezależnie od wyposażenia wiertnicy i od tego, czy to wiertnica bardzo stara lub współczesna, dla osiągnięcia odpowiedniej prędkości wiercenia wystarczy, jeśli dla danego rodzaju skały zostanie realizowana odpowiednia siła docisku narzędzia i określona liczba obrotów.

Prędkość mechaniczna wiercenia nie ma wpływu na poszczególne wartości czasu trwania czynności pomocniczych, jednak całkowity czas trwania tych czynności zmienia się w zależności od głębokości wierconego otworu oraz okresu trwałości ostrzy narzędzia wierzącego.

Do obliczenia wydajności wiertnicy można dochodzić różnymi drogami, stosując drobiazgowo analizy komputerowe, bądź też uproszczone procedury obliczeniowe. Dla potrzeb praktyki przemysłowej w zupełności wystarczają metody uproszczone, bowiem rozrzut wyników obliczeń w porównaniu z innymi, bardziej szczegółowymi metodami, mieści się w granicach błędu.

Wydajność maszyny wiertniczej (rys. 1) zależy od wielu czynników, z których do najważniejszych zaliczyć należy: warunki geologiczno-górniczne (rodzaj urabianej skały, wytrzymałość na ściskanie, szczelinowatość, przerosty, kawerny z zaglinieniem itp.), głębokość wierconego otworu, przyjętą technologię i sposób wiercenia, organizację pracy na poziomie roboczym maszyny, a także kwalifikacje wiertacza. Czynniki powyższe stwarzają ogólne warunki pracy wiertnicy, a co za tym idzie wpływają na ogólną wydajność maszyny poprzez uzyskiwaną mechaniczną prędkość wiercenia, czas trwania czynności pomocniczych, liczbę otworów wierconych w serii, przerwy planowane i nieplanowane podczas pracy wiertnicy, czas przejazdu na nowe miejsce pracy, trwałość narzędzia wierzącego i inne.

Wydajność wiertnicy, jako maszyny pracującej w określonym cyklu roboczym, można określić z zależności [2]:

$$W_z = \frac{T_z \cdot \eta}{\frac{1}{v_m} + t_w} \quad \text{m./zm.} \quad (2)$$

gdzie :

T_z – czas trwania zmiany, s,

v_m – średnia mechaniczna prędkość wiercenia dla całego otworu, m/min,

η – współczynnik wykorzystania czasu pracy wiertnicy w ciągu zmiany,

t_w – jednostkowy udział czasu na czynności pomocnicze przypadające na 1 metr otworu, min/m. Będą się tutaj znajdować jednostkowe udziały czasu na przejazd od otworu do otworu i przygotowanie wiertnicy do wiercenia, jednostkowe udziały czasu przypadające na czyszczenie otworu oraz zakładanie i wyjmowanie żerdzi, a także jednostkowe udziały czasu związane z wymianą narzędzia i inne.

Przyjmując, że prędkość wiercenia w założeniu hipotetycznym wynosi $v_m = 1$ m/min, a jednostkowy udział czasu na czynności pomocnicze $t_w = 2$ min., przy współczynniku wykorzystania wiertnicy w czasie zmiany $\eta = 0,8$, to obliczona na podstawie wzoru (2) wydajność wiertnicy wyniesie $W_z = 128$ m/zmianę (tabela 1).

Dokonując zestawienia różnych układów wartości czynników we wzorze (2), przy założeniu czasu trwania zmiany 8 godzin, ułożono do analizy 8 wersji, przyjmując wersję 1 jako wyjściową (tabela 1).

Wersja	v_m [m/min]	t_w [min/m]	η	W_z [m/zm]	Zmienność
1	1	2	0,8	128	1,0
2	2	2	0,8	154	1,2
3	1	1	0,8	192	1,5
4	2	1	0,8	256	2,0
5	1	2	0,4	64	0,5
6	2	2	0,4	76,8	0,6
7	1	1	0,4	96	0,75
8	2	1	0,4	128	1,0

Jak wynika z danych tablicy 1, zwiększenie prędkości wiercenia v_m dwa razy, bądź też dwukrotnie zmniejszenie jednostkowego udziału czasu na czynności pomocnicze t_w , prowadzi do zwiększenia wydajności wiertnicy tylko 1,2 i 1,5 razy (wersja 2 i 3). Równocześnie zwiększenie v_m dwa razy i takie same zmniejszenie t_w zwiększa wydajność wiertnicy dwukrotnie (wersja 4). Zmniejszenie współczynnika wykorzystania czasu pracy wiertnicy w ciągu zmiany η powoduje takie same, a więc dwukrotne (w stosunku do wersji 1) zmniejszenie wydajności wiertnicy (wersja 5).

Dwukrotne zwiększenie prędkości wiercenia v_m i dwukrotne zmniejszenie jednostkowego udziału czasu na czynności pomocnicze t_w , przy równoczesnym obniżeniu współczynnika wykorzystania wiertnicy w czasie zmiany η , nie daje żadnych korzyści w porównaniu z założoną wersją 1.

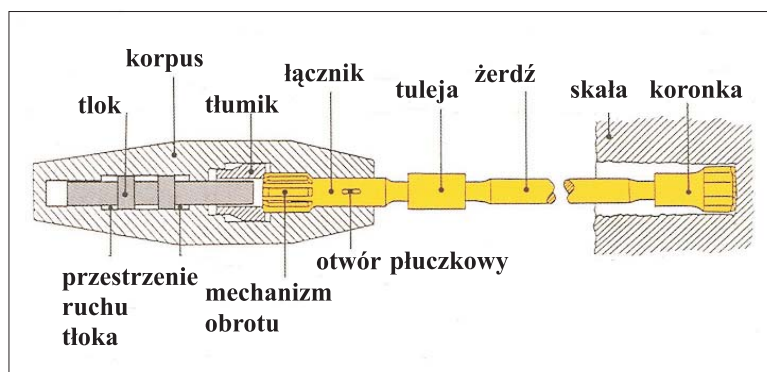
Wiercenie sposobem udarowym

Wiercenie sposobem udarowym charakteryzuje się przekazywaniem energii uderzenia na narzędzie i skalę (działanie

Tab. 1. Zależność wydajności wiertnicy W_z od prędkości wiercenia v_m , czasu t_w i współczynnika η

okresowe) i okresowym obrotem narzędzia (rys. 2 b). Obrót narzędzia o pewien kąt następuje przy powrotnym ruchu tłoka-bijaka, natomiast w chwili uderzenia tłoka w chwyt narzędzia, a więc przy przekazywaniu mu energii kinetycznej, narzędzie się nie obraca.

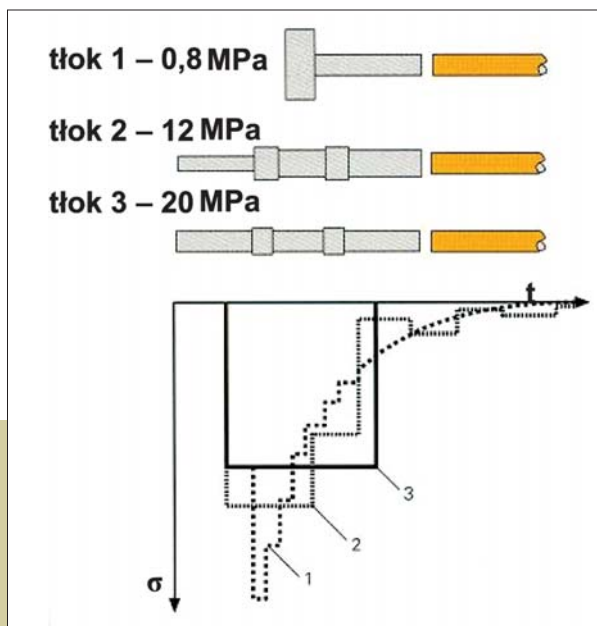
Podstawowym źródłem energii jest pneumatyczna lub hydrauliczna wiertarka udarowa, będąca silnikiem o dużej mocy, zamieniającym energię ciśnienia medium na wymaganą sposobem wiercenia postać energii, w dalszej kolejności odbieraną i transmitowaną przez przewód wiertniczy z koronką do skały. Istota pracy mechanizmu udarowego wiertarki sprowadza się do okresowego wytwarzania i transmisji wzdłuż żerdzi podłużnych i skrętnych fal naprężeń.



Rys. 3. Poglądowy schemat transmisji postaci energii uderzenia tłoka do koronki i skały

W latach pięćdziesiątych XX wieku dominowały udarowe napędy pneumatyczne, głównie znane jako wiertarki udarowe, które wykorzystywane były później do wyposażenia wiertnic, zmieniając często sposób pracy na obrotowo-udarowy.

Generowanie przez tłok do żerdzi fali uderzeniowej (naprężeniowej) i formy jej impulsu zależy od kształtu i masy tłoka (rys. 4).



Rys. 4. Poziom naprężeń generowanych do żerdzi zróżnicowanymi tłokami o tym samym ciężarze

Jak widać z rys. 4 najkorzystniejszą falą naprężeń do żerdzi wytwarza tłok o tej samej średnicy co żerdź wiertnicza, a więc tłok wiertarki hydraulicznej. Tłoki wiertarek pneumatycznych mają bardzo zróżnicowany kształt ze względu na małe ciśnienie zasilania, maksymalnie do 2,4 MPa w porównaniu do tłoków

wiertarek hydraulicznych pracujących przy ciśnieniu nawet 23 MPa (fot. 1) [1].

Biorąc do rozważań pneumatyczny tłokowy silnik udarowy stawiamy sobie pytanie: jakie czynniki decydują o dalszym rozwoju i doskonaleniu konstrukcji w celu zwiększenia efektywności wiercenia.



Fot. 1. Kształty tłoków: a) wiertarki pneumatycznej, b) wiertarki hydraulicznej

Mając na uwadze prędkość wiercenia v_m sposobem udarowym można ją określić z zależności

$$v_m = K \cdot p^{3/2} \cdot F^{3/2} \left(\frac{s}{G} \right)^{1/2}, \quad (3)$$

gdzie:

K – stała przeliczeniowa,

p – średnie ciśnienie powietrza sprężonego działającego na tłok wiertarki,

F – powierzchnia tłoka,

s – skok tłoka,

G – ciężar tłoka.

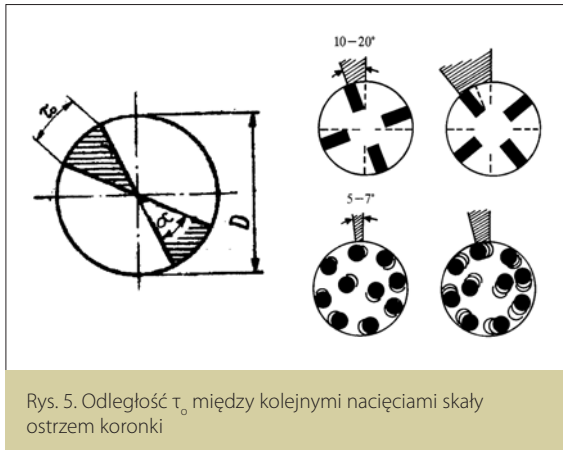
Z zależności (3) wynika, że na prędkość wiercenia wiertarkami udarowymi (a obecnie i obrotowo-udarowymi) wpływają zasadniczo cztery parametry, z których dwa: wartość ciśnienia sprężonego powietrza i powierzchnia tłoka, mają najistotniejsze znaczenie. Zwiększanie jednak średnic tłoków udarowych wiertarek pneumatycznych wpływa na zwiększenie zapotrzebowania na sprężone powietrze. Dąży się przy tym do zwiększania ciśnienia sprężonego powietrza do 2,4 MPa. Udarowy napęd pneumatyczny stosowany jest nadal powszechnie, ale przy wierceniu sposobem obrotowo-udarowym, w którym obroty narzędzia realizowane są w sposób ciągły, a nie przerywany.

Wiercenie sposobem obrotowo-udarowym

Należy wyraźnie podkreślić, że z punktu widzenia praktyki wiertniczej podstawowymi wskaźnikami, które decydują o skuteczności danego sposobu wiercenia, są: wydajność wiercenia i koszt wiercenia.

Uzyskanie obrotowo-udarowego działania ostrza narzędzia na skałę możliwe jest przez rozdzielenie mechanizmu wywołującego obrót narzędzia od mechanizmu uderzenia (uderzenia). Mechanizm obrotu przekazuje na żerdź obroty w sposób ciągły. Liczbę obrotów można regulować w procesie wiercenia.

Zastosowanie niezależnego silnika obrotu pozwala na racjonalny dobór parametrów pracy wiertnicy w danych warunkach złożowych, a więc właściwego doboru liczby obrotów do liczby uderzeń mechanizmu udarowego. Uzyskuje się przez to odpowiedni kąt obrotu ostrza po każdym uderzeniu. W literaturze o tej problematyce spotyka się zalecenia praktyczne odnośnie doboru odległości τ_o między poszczególnymi uderzeniami narzędzia na dno otworu (rys. 5), mierzonej na obwodzie zewnętrznej koronki lub na obwodzie otworu.



Rys. 5. Odległość τ_o między kolejnymi nacięciami skały ostrzem koronki

W zależności od rodzaju skały można przyjąć:

- skały bardzo twarde, $\tau_o = 2-3$ mm,
- skały twarde, $\tau_o = 3-6$ mm,
- słabe piaskowce, $\tau_o = 6-9$ mm.

Długość łuku τ_o mierzoną na obwodzie koronki można obliczyć z zależności:

$$\tau_o = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{z}, \text{ mm}, \quad (4)$$

lub

$$\tau_o = \frac{\alpha}{180} \cdot \pi \cdot \frac{D}{2}, \text{ mm}, \quad (5)$$

gdzie: D – średnica koronki, mm,

n – prędkość obrotowa żerdzi wiertniczej, obr/min,

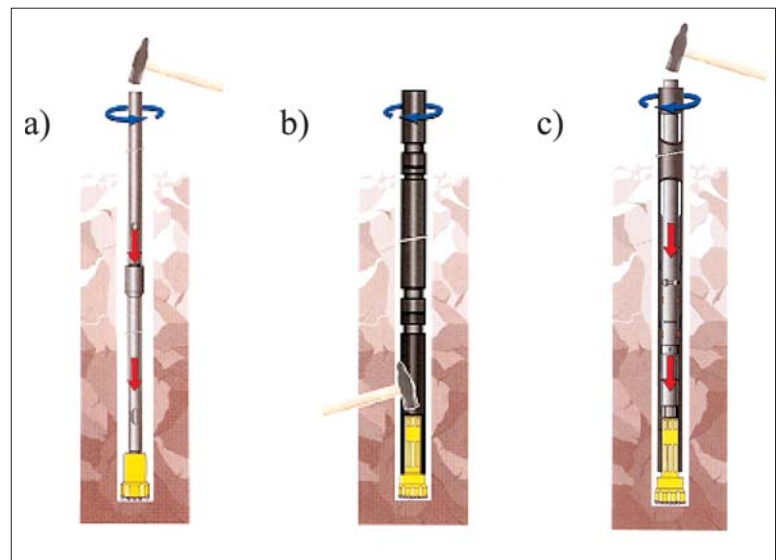
α – kąt obrotu narzędzia po każdym uderzeniu $[\circ]$,

z – liczba uderzeń pochodzących od mechanizmu udarowego 1/min.

Liczbę uderzeń przypadających na jeden obrót narzędzia wiertącego oblicza się z zależności

$$z_0 = \frac{z}{n} \text{ uderzeń / obrót} \quad (6)$$

Wiertnice wierzące sposobem obrotowo-udarowym otwory strzałowe w kopaniach odkrywkowych mogą być wyposażone w umieszczony wspólnie na prowadnicy niezależny mechanizm (wiertarka) obrotowy S_o i udarowy S_u lub umieszczony oddzielnie mechanizm obrotowy S_o na prowadnicy i udarowy S_u na końcu żerdzi w otworze (patrz: Surowce i Maszyny Budowlane, nr. 4, 2009).



Rys. 6. Sposoby przekazywania energii uderzenia i obrotów na koronkę

Na rysunku 6 pokazano sposoby przekazywania energii uderzenia i obrotów na żerdź i koronkę przy wierceniu sposobem obrotowo-udarowym [4]. Rys. 6 a przedstawia układ wspólnego mechanizmu obrotu i uderu z wiertarką udarową na prowadnicy (TOPHAMMER) i przekazywaniem energii uderzenia bezpośrednio na obracaną żerdź wiertniczą. Znacząco liczą się w tym układzie straty energii powodowane połączeniami żerdzi, co ma istotny wpływ na wartość energii dostarczanej na koronkę w zależności od głębokości wierzonego otworu. Na rys. 6 b widać układ oddzielnego mechanizmu uderu i obrotu z napędem udarowym (pneumatycznym) bezpośrednio połączonym z koronką wiertniczą (DHD – Down The Hole Drills). System wiercenia DHD jest szeroko stosowany w kopalniach odkrywkowych surowców skalnych.

Reklama

INSTYTUT MECHANIZACJI BUDOWNICTWA I GÓRNICTWA SKALNEGO

Ośrodek Szkolenia Operatorów Maszyn

www.osom.pl

Szkolimy operatorów maszyn budowlanych i drogowych we wszystkich specjalnościach i klasach uprawnień.

upusty dla firm

ISO 9001:2000

02-673 Warszawa, ul. Racjonalizacji 6/8

tel./fax (022) 843 89 72, tel. (022) 843 68 16

e-mail: osrodek.szkozenia@imbigs.org.pl



Fot. 2. Praca wiertnicy ROC F9CR w kopalni Nordkalk – Miedzianka S.A.

Firma Atlas Copco od szeregu lat wprowadza do swoich wiertnic, a między innymi do ROC F9CR, wiertarkę z układem wiercącym sposobem obrotowo-udarowym, polegającym na niezależnym od siebie przekazywaniu obrotów i uderzeń na koronkę w układzie TOPHAMMER, w tak zwanym systemie COPROD, rys. 6 c. System COPROD polega na tym, że zewnętrzna rura przewodu wiertniczego przenosi obroty na koronkę, a przez wewnętrzną żerdź połączoną tylko stykowo, mechanizm udarowy (wiertarka hydrauliczna) przekazuje energię uderzenia. Taki system ma powodować mniejsze straty przy przekazywaniu energii uderzenia, podnosząc w ten sposób efektywność pracy wiertnicy. Jest to oryginalny, nowy sposób wiercenia i wymaga dalszych szerszych analiz, fot. 2.

Mówiąc o pracy wiertnic należy podkreślić, że proces wiercenia otworu strzałowego składa się z dwóch podstawowych czynności: zwiercania skały na dnie wykonywanego otworu i usuwania zwiercin z dna otworu.

Omawiając proces wykonywania otworu nie wolno pomijać problemu racjonalnego usuwania zwiercin, który ma istotny wpływ na prędkość wiercenia oraz na zużycie samych narzędzi. Nieracjonalne, a więc mało efektywne usuwanie grubych (racjonalnie energetycznie) zwiercin, może być przyczyną niewynoszenia ich z otworu, opadania na jego dno i powtórnego miażdżenia z nadmiernym zużyciem energii.

Ilość powietrza sprężonego do intensywnego wynoszenia skalnych cząstek zwiercin z dna otworu wyznacza się w zależności od wielkości cząstek zwiercin, które należy usunąć ze strefy urabiania, a więc odprowadzenia ich z dna otworu i wyniesienia na powierzchnię. Zagadnienie „transportowania” zwiercin z dna otworu jest procesem złożonym ze względu na bardzo zróżnicowane przekroje przepływu sprężonego

powietrza, począwszy od otworów przedmuchowych w samym narzędziu wiercącym poprzez zmiany przekrojów poprzecznych korpusu narzędzia, żerdzi wiertniczej i innych. Tak więc bardzo ważnym czynnikiem w procesie wiercenia otworów staje się zabudowanie w wiertnicy wydajnych sprężarek.

Zapamiętaj

Omawiając niektóre czynniki podnoszenia efektywności pracy wiertnic należy podkreślić, że dla warunków rzeczywistych zwiększanie wydajności wiertnic w danych warunkach złożowych można osiągnąć głównie przez skracanie czasu t_w i zwiększanie współczynnika wykorzystania wiertnicy w czasie zmiany η , a nie przez „forsowanie” zwiększania prędkości wiercenia v_m , której i tak w zadanych warunkach złożowych nie można lub nie da się dowolnie zwiększać. Wartość mechanicznej prędkości wiercenia zmienia się w szerokich granicach wraz ze wzrostem wskaźników właściwości fizyko mechanicznych złoża i zmniejsza wraz z głębokością wierzonego otworu. Należy przeto preferować wiertnice wyposażone w wydajne zespoły wierzące z efektywnymi zespołami do usuwania produktów wiercenia, zaopatrzone w urządzenia do mechanizacji czynności pomocniczych procesu wiercenia, eliminujące uciążliwe prace ręczne, stwarzając tym samym komfortowe warunki pracy dla obsługującego wiertnicę. Omawiając czynniki mające wpływ na pracę wiertnic należy podkreślić rolę „czynnika ludzkiego”, a więc kojarzenia człowieka z jego wytworem – maszyną.

Literatura

1. Bęben A.: *Technika wiertnicza w odkrywkowym górnictwie skalnym*. Śląskie, Wydawnictwo Techniczne, Katowice, 1992.
2. Bęben A.: *Analiza czynników wpływających na wydajność wiertnic stosowanych w górnictwie odkrywkowym skalnym*. Górnictwo Odkrywkowe, XXXVIII, nr 2, 1996.
3. Oziński St.: *Efektywność eksploatacji maszyn*. Podstawy techniczno-ekonomiczne. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom, 1999.
4. Surface Drilling in Quarry and Construction. Atlas Copco, third edition 2006.