

## Záznam a spracovanie zvukového signálu pri vŕtaní hornín

František Krepelka<sup>1</sup>, Milan Labaš<sup>1</sup>, Eudmila Ušalová<sup>1</sup> a Jozef Futó<sup>2</sup>

### Registration and processing of acoustic signal in rock drilling

For the determination of an effective rock disintegration for a given tool and rock type it is needed to define an optimal disintegration regime. Optimisation of the disintegration process by drilling denotes the finding out an appropriate couple of input parameters of disintegration, i.e. the thrust and revolutions for a quasi-equal rock environment. The disintegration process can be optimised to reach the maximum immediate drilling rate, to reach the minimum specific disintegration energy or to reach the maximum ratio of immediate drilling rate and specific disintegration energy. For the determination of the optimal thrust and revolutions it is needed to monitor the disintegration process. Monitoring of the disintegration process in real conditions is complicated by unfavourable factors, such as the presence of water, dust, vibrations etc. Following our present experience in the monitoring of drilling or full-profile driving, we try to replace the monitoring of input values by monitoring of the scanned acoustic signal. This method of monitoring can extend the optimisation of disintegration process in the technical practice. Its advantage consists in the registration of one acoustic signal by an appropriate microphone. Monitoring of acoustic signal is used also in monitoring of metal machining by milling and turning jobs. The research results of scanning of the acoustic signal in machining of metals are encouraging. Acoustic signal can be processed by different statistical parameters. The paper describes some results of monitoring of the acoustic signal in rock disintegration on the drilling stand of the Institute of Geotechnics SAS in Košice. The acoustic signal has been registered and processed in no-load run of electric motor, in no-load run of electric motor with a drilling fluid, and in the Ruskov andesite drilling. Registration and processing of the acoustic signal is solved as a part of the research grant task within the basic research of the rock disintegration by drilling.

**Key words:** monitoring, acoustic signal, rock drilling.

### Úvod

V súčasnosti monitorujeme rozpojovanie hornín vŕtaním na vrtnom stande klasickým spôsobom, t.j. snímaním vstupných a výstupných veličín a snímaním akustického signálu.

Z hľadiska procesu vŕtania sú najdôležitejšími technologickými veličinami:

- prítlak .....	$F$ [N],
- otáčky vŕtania.....	$n$ [ $s^{-1}$ ],
- krútiaci moment.....	$M_k$ [Nm],
- rýchlosť vŕtania.....	$v$ [ $m s^{-1}$ ],
- dĺžka odvrtu .....	$l$ [m],
- špecifická práca rozpojovania .....	$w$ [ $J m^{-3}$ ].

Klasický monitorovací systém, ktorý umožňoval snímať vyššie uvedené veličiny, bol doplnený zariadením pre meranie ďalších veličín parametrov hnacieho agregátu: snímanie prúdu a napätia kotvy, prúdu v budiacom vinutí a celkový elektrický príkon.

Použitím magnetostrikčného snímača polohy sa zvýšila presnosť snímania veličín  $l$  [m],  $v$  [ $m s^{-1}$ ] a  $w$  [ $J m^{-3}$ ]. Meranie rýchlosti vŕtania, resp. dĺžky odvrtu je riešené pomocou magnetostrikčného snímača polohy (dĺžky) BTL2-P/S50 tak, že tento snímač po inicializácii impulzom vracia dva impulzy za sebou, s časovým posuvom medzi nimi, ktorý je úmerný snímanej polohe. Pre zmeranie tohoto časového posuvu je využitý programovateľný obvod PCT 8254 typu INTEL vo funkcii počítadla. Na jeho hradlovací vstup GATE je privedený impulz so šírkou, rovnajúcou sa časovému odstupu, vytvorený klopným obvodom typu D. Počítadlo je napájané vnútornými hodinami 2,6 MHz. Týmto spôsobom bola dosiahnutá presnosť snímania polohy približne  $\pm 0,2$  mm. Šírka impulzu je  $1\mu s$ , úroveň TTL. Rozdiel medzi počítačovým a konečným stavom počítadla je mierou polohy.

Stand je doplnený o možnosť bezkontaktného akustického vyhodnocovania procesu vŕtania. Táto metóda je založená na číslicovom spracovaní signálu z mikrofónu, ktorý sníma hlučnosť z nástroja a na identifikácii stavu procesu vŕtania na základe meraných charakteristík tohto signálu.

Monitorovací podsystem je vyvinutý na báze štandardného IBM PC, doplneného o prídavnú vstupno-výstupnú kartu PCL 818L americkej firmy Advantech Co., ktorej úlohou je signály zo senzorov transformovať na číslicovú formu, ďalej spracovateľnú počítačom. Tento spôsob spracovania vyžaduje signál z mikrofónu, ktorý sa vyhodnocuje vo frekvenčnej oblasti, pri zabezpečení vysokej frekvencie vzorkovania, čo je predpokladom pre získanie jednotlivých zložiek jeho frekvenčného spektra. Pre tento účel je na snímanie signálu

<sup>1</sup> Ing. František Krepelka, PhD, Ing. Milan Labaš a Eudmila Ušalová, Ústav Geotechniky SAV, Watsonova 45, Košice, e-mail : krepelka@saske.sk, labas@saske.sk

<sup>2</sup> Ing. Jozef Futó, Katedra informatizácie a riadenia procesov, F BERG Technickej univerzity, ul. Boženy Nemcovej 3, 040 02 Košice (Recenzované, revidovaná verzia dodaná do 10.12.2001)

mikrofónu použitá metóda „direct memory access“ ( DMA ), s využitím špeciálneho integrovaného obvodu Intel DMA 8237 (Leššo, 1997).

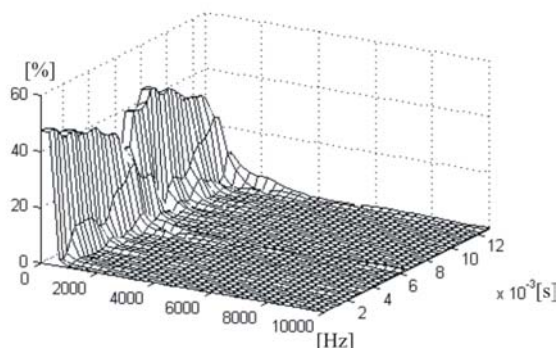
Určenie optimálnych podmienok rozpojovania hornín vrtaním podľa niektorého z kritérií optimalizácie rozpojovacieho procesu je známe (Bejda et al., 1994). Proces vrtania môžeme optimalizovať na dosiahnutie maximálnej okamžitej rýchlosti vrtania, na minimalizáciu špecifickej práce rozpojovania alebo na maximálny podiel okamžitej rýchlosti vrtania a špecifickej práce rozpojovania. Túto veličinu často označujeme  $\varphi$ .

### Postup získavania a vyhodnocovania experimentálnych údajov

Cieľom standových vrtacích prác je získať údaje o tom, ako vplyvajú aplikované zmeny prítlaku a otáčok (nastaviteľné nezávislé premenné) na okamžitú rýchlosť vrtania, prípadne na špecifickú prácu rozpojovania, pre určitú sústavu „hornina – nástroj“ v celom rozsahu, ktorý stand umožňuje.

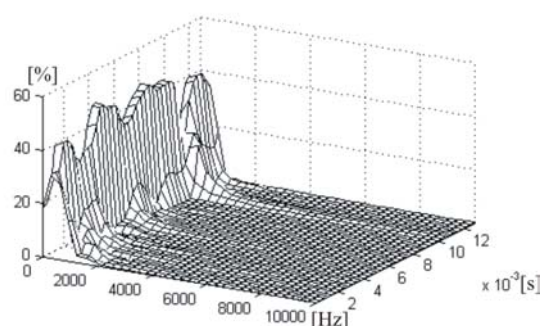
Po nastavení určitej základnej hodnoty otáčok, ktoré musia mať v našom prípade minimálnu hodnotu  $3,33 \text{ s}^{-1}$ , je možné aplikovať rôzne plynulé zmeny prítlaku a otáčok.

Výber charakteru zmien režimov počas vrtania jednej vzorky horniny je riadený tak, aby dovolený podpriestor nastaviteľných nezávisle premenných bol celý „pokrytý“ experimentálnymi bodmi. Tieto získame zo súborov tak, že sa jednotlivé snímané veličiny rozdelia na rovnaké časové intervaly.



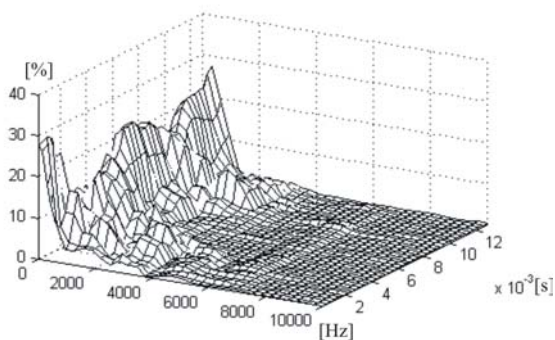
Obr.1. Časový trend frekvenčného spektra elektrického motora pri chode naprázdno.

Fig.1. Time trend of the frequency spectrum of electric motor in the no-load run.



Obr.2. Časový trend frekvenčného spektra pri chode elektrického motora naprázdno s výplachovou vodou.

Fig.2. Time trend of the frequency spectrum of electric motor in the no-load run with a drilling fluid (water)



Obr.3. Časový trend frekvenčného spektra pri vrtaní andezitu Ruskov.

Fig.3. Time trend of the frequency spectrum of the Ruskov andesite drilling.

Pri experimentálnych prácach sa používajú nasledovné zmeny režimov:

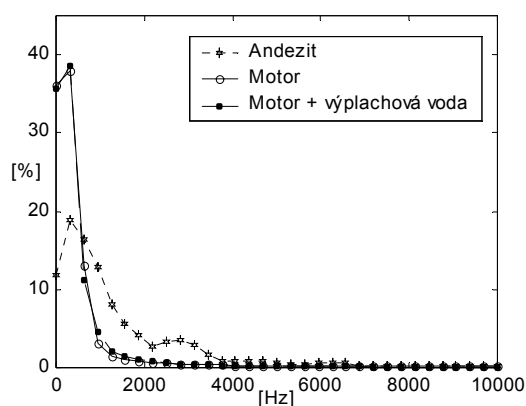
- zvyšovanie prítlaku pri kvázi konštantných otáčkových hladinách,
- zvyšovanie otáčok pri rôznych kvázi konštantných prítlakových hladinách,
- zvyšovanie, resp. znižovanie prítlaku aj otáčok.

Z nameraných hodnôt príkonu a otáčok je možné vypočítať špecifickú prácu rozpojovania a následne určiť pracovnú schopnosť rozpojovacieho nástroja  $\varphi$ . Súčasne s monitorovaním vstupných a výstupných veličín bol snímaný a zaznamenávaný aj akustický tlak (Biering, H., Pedersen, O.Z., 1983), ktorý vzniká počas experimentov pri jednotlivých režimoch rozpojovania. Zaznamenaný zvukový signál pri chode elektrického motora naprázdno pri otáčkach  $13,33 \text{ s}^{-1}$  je zobrazený na obr. č. 1. Na obr. č.2 je zobrazené zvukové spektrum pri chode motora naprázdno s výplachovou vodou pri otáčkach  $13,33 \text{ s}^{-1}$ . Závislosť frekvenčného zvukového spektra pri vrtaní andezitu z lokality Ruskov pri otáčkach  $13,33 \text{ s}^{-1}$  a prítlaku  $5\,250 \text{ N}$  je zobrazený na obr.č.3. Zvukové spektrá znázorňujú percentuálne zastúpenie jednotlivých frekvencií v čase. Pomocou aritmetického priemeru vybraných frekvencií zo zvukového spektra s konštantným počtom hodnôt 40 vzoriek sa skúmalo, či zastúpenie vybraných frekvencií je náhodné alebo kvázi homogénne.

Ukázalo sa, že priemerná percentuálna hodnota frekvencií pri vrtaní andezitu a pri chode motora naprázdno, resp. pri chode motora s výplachom, má približne rovnaké zloženie.

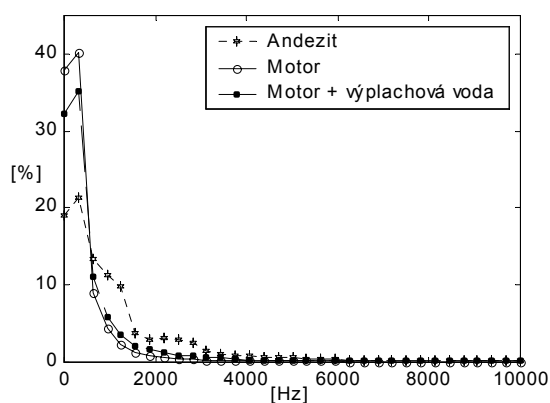
Počet snímaných vzoriek zvukového spektra za jednu sekundu je pri experimentoch 20 000. Zosnímané zvukové signály pri chode motora naprázdno, motora s výplachovou vodou a pri vrtaní andezitu na vybraných

frekvenciách sú vyhodnotené aritmetickým priemerom a zobrazené na obr. č. 4. Na obrázku č. 5 sú vynesene priemerné hodnoty tých istých frekvencií z iného úseku vŕtania andezitu a ciachovanie hluku motora naprázdno a pri chode motora s výplachom. Z obr. č. 4 a 5 vyplýva, že spektrálne priebehy vŕtania andezitu a chodu motora naprázdno sa navzájom líšia ako amplitúdou, tak aj zložením spektra, t.j. zastúpením jednotlivých frekvencií v danom spektre. Zloženie zvukového spektra pri chode motora naprázdno a chode motora s výplachom sú podobné. Tento fakt umožňuje vyhodnocovať a používať akustické spektrum pre posudzovanie procesu rozpojovania hornín vŕtaním pomocou aritmetického priemeru frekvenčného spektra. Z vyhodnotených výsledkov zvukového signálu pomocou aritmetického priemeru je vidieť podstatné rozdiely nameraného akustického tlaku pri chode experimentálneho standu a pri vŕtaní andezitu.



Obr.4. Priemerné hodnoty percentuálneho zastúpenia frekvencií pri chode elektrického motora naprázdno, motora s výplachom a pri vŕtaní prvej vzorky andezitu.

Fig.4. Average values of the percentage rate of the frequencies of electric motor in the no-load run, motor with a drilling fluid and in drilling of the first probe of andesite.



Obr.5. Priemerné hodnoty percentuálneho zastúpenia frekvencií pri chode elektrického motora naprázdno, motora s výplachom a pri vŕtaní druhej vzorky andezitu.

Fig.5. Average values of the percentage rate of the frequencies of electric motor in the no-load run, motor with drilling fluid and in a drilling of the second probe of andesite.

## Záver

S prihliadnutím na fakt, že z nameraného zvukového signálu vieme rozlíšiť proces vŕtania od chodu motora naprázdno, resp. s výplachom, potrebujeme v ďalšom výskume zistiť závislosť zvukového signálu na režime vŕtania, špecifickej práci rozpojovania a pracovnej schopnosti rozpojovania nástroja  $\varphi$ . Pre určenie optimálneho režimu pre danú horninu a nástroj pomocou zvukového signálu je potrebné zistiť frekvenciu vzorkovania zvukového signálu, to znamená, že potrebujeme určiť optimálny náhodný súbor meraných veličín, ktorý charakterizuje tento proces. V danom článku je popísané snímanie zvukového signálu a jedna z možností vyhodnotenia jeho spektra pri vŕtaní hornín. Zvukový signál je možné vyhodnotiť viacerými spôsobmi. Jednou z nich je aj hodnotenie pomocou FT (Fourierovej transformácie).

Príspevok bol spracovaný v rámci riešenia grantovej úlohy 2/7066/20 Štúdium charakteristík sprievodného akustického signálu a geotechnických veličín pri dezintegrácii hornín pre optimalizáciu vrtného procesu.

## Literatúra

- LEŠŠO, I. a kol., 1997: Monitoring system of drilling stand for control. In: *Zborník 9. medzinárodnej banickej konferencie*, Štroffek: Košice, pp. 91-96.
- BEJDA, J., KRÚPA, V., SEKULA, F., 1994: Algorithm of the costs optimization function of drilling and boring in Rockmass. In: *16<sup>th</sup> World Mining Congress*, Sofia, C-26, pp. 214-221.
- BIERING, H., PEDERSEN, O.Z., 1983: System analysis and time delay spectrometry, Technical Review, Brüel & Kjaer, No. 1, pp. 38-40.