

## Monitorovanie vrtného procesu s využitím akustického signálu

František Krepelka<sup>1</sup>, Jozef Futó<sup>2</sup> & Milan Labaš<sup>1</sup>

### Monitoring of drilling process with the application of acoustic signal

Monitoring of rock disintegration process at drilling, scanning of input quantities: thrust  $F$ , revolution  $n$  and the course of some output quantities: the drilling rate  $v$  and the power input  $P$  are needed for the control of this process. We can calculate the specific volume work of rock disintegration  $w$  and  $\varphi$  - quotient of drilling rate  $v$  and the specific volume work of disintegration  $w$  from the presented quantities.

Works on an experimental stand showed that the correlation relationships between the input and output quantities can be found by scanning the accompanying sound of the drilling process.

Research of the rock disintegration with small-diameter diamond drill tools and different rock types is done at the Institute of Geotechnics. The aim of this research is the possibility of monitoring and controlling the rock disintegration process with the application of acoustic signal. The acoustic vibrations accompanying the drilling process are recorded by a microphone placed in a defined position in the acoustic space. The drilling device (drilling stand), the drilling tool and the rock are the source of sound. Two basic sound states exist in the drilling stand research: the noise at no-load running and the noise at the rotary drilling of rock. Suitable quantities for optimizing the rock disintegration process are searched by the study of the acoustic signal. The dominant frequencies that characterize the disintegration process for the given rock and tool are searched by the analysis of the acoustic signal. The analysis of dominant frequencies indicates the possibility of determining an optimal regime for the maximal drilling rate. Extreme of the specific disintegration energy is determined by the dispersion of the dominant frequency.

The scanned acoustic signal is processed by the Fourier transformation. The Fourier transformation facilitates the distribution of the general non-harmonic periodic process into harmonic components. The harmonic components can be used for the characterization of the rock disintegration process. The components of the acoustic signal by the classical monitoring and scanning of the acoustic signal can be found and specified, characterizing satisfactorily the disintegration process. The specification of the new quantities in the dependence on the thrust  $F$  and revolution  $n$ , derived from the acoustic signal by the Fourier transformation (as they enable the control of the rock disintegration process at drilling without the classical monitoring, i.e. without the scanning of thrust  $F$  and revolution  $n$ ) is the aim of the research in the presence.

The samples of andesite, granite, limestone and sandstone were drilled by the impregnated diamond bit with the diameter of 46 mm. The results from the drilling process in the Ruskov andesite by impregnated diamond bit in an interval of the thrust  $F$  from 5 082 to 10 286 N and the revolution from 0 to 17,8 s<sup>-1</sup> on the drilling stand at the Institute of Geotechnics are presented in this paper.

**Key words:** monitoring of drilling process, input and output parameters of drilling, optimizing criteria, acoustic signal, frequency analysis, Fourier transformation.

### Úvod

Riadenie procesu rozpojovania hornín si vyžaduje proces monitorovať, t.j. snímať priebehy vstupných veličín: prítlak  $F$  [N], otáčky  $n$  [s<sup>-1</sup>] a priebehy niektorých výstupných veličín: rýchlosť  $v$  [mm s<sup>-1</sup>] a príkon  $I$  [J s<sup>-1</sup>]. Z týchto veličín vieme vypočítať špecifickú energiu rozpojovania  $w$  a  $\varphi$ , ako podiel rýchlosti a špecifickej energie rozpojovania. Experimentami na skúšobnom stande sa ukázalo, že snímaním zvuku, ktorý proces rozpojovania hornín doprevádza, možno nájsť korelačné vzťahy medzi vstupnými, výstupnými veličinami a veličinami odvodenými z akustického signálu, pre optimalizáciu tohto procesu.

Rozvojom výpočtovej techniky sa črtajú ďalšie možnosti riadenia procesu rozpojovania hornín vrtaním. Jednou z možných ciest ďalšieho výskumu je analýza akustického signálu snímaného z procesu rozpojovania hornín. Snímaný akustický signál je spracovaný Fourierovou transformáciou. Touto transformáciou je možné rozložiť všeobecný neharmonický periodický dej na harmonické zložky. Tieto harmonické zložky sa môžu použiť pre charakterizovanie procesu rozpojovania hornín. Klasickým monitorovaním a snímaním akustického signálu je možné hľadať a spresňovať tie zložky akustického signálu, ktoré tento proces dostatočne charakterizujú. Cieľom výskumu v súčasnosti je nájsť a popísať také nové veličiny v závislosti na prítlaku a otáčkach, odvodené z akustického signálu Fourierovou transformáciou, pomocou ktorých by sme mohli riadiť proces rozpojovania hornín bez klasického monitorovania procesu rozpojovania hornín, t.j. bez snímania prítlaku  $F$  a otáčok  $n$ .

V procese rozpojovania hornín vrtaním je jedným zo sprievodných prejavov chvenie pružného prostredia - zvuk. Zvuk je možné snímať a zaznamenať ako akustický signál. Akustický signál je možné pomocou Fourierovej transformácie rozložiť na akustické signály rôznej amplitúdy, frekvencie a fázy (Navrátil & Pluhař, 1986). V súčasnosti na Ústave geotechniky SAV prebieha výskum rozpojovania hornín malopriemerovými diamantovými vrtnými nástrojmi v rôznych typoch hornín, s hľadaním možnosti monitorovať a riadiť proces rozpojovania hornín snímaním a spracovaním akustického signálu.

<sup>1</sup>Ing. František Krepelka, PhD. & Ing. Milan Labaš, Ústav Geotechniky SAV, Watsonova 45, 043 53 Košice

<sup>2</sup>Ing. Jozef Futó, Katedra informatizácie a riadenia procesov, F BERG Technickej univerzity, ul.Boženy Nemcovej 3, 040 02 Košice (Recenzované v roku 2000)

Akustické kmity, ktoré vznikajú pri procese rozpojovania hornín sa po prechode prostredím registrujú mikrofónom, ktorý je umiestnený na zadanom mieste v akustickom priestore. Tento proces je doprevádzaný pohlcovaním zvukovej energie, ktorá závisí na vlastnostiach prostredia, sile a umiestnení zdroja. Tieto faktory by sa mali odraziť na charakteristikách registrovaného signálu. K zisteniu týchto závislostí je potrebné objasniť si zákonitosti vzniku zvuku pri rotačnom vŕtaní a zistiť tiež hlavný zdroj celej hodnoty akustickej energie.

Vrtné zariadenie, v našom prípade vrtný skúšobný stand, sú spolu s nástrojom a horninou sú zdrojom zvuku. V podmienkach standového výskumu môžeme v zásade pre hluk rozlišovať dva základné stavy:

- hluk pri chode naprázdno,
- hluk pri rotačnom rozpojovaní hornín.

Hluk pri chode naprázdno má tieto zložky:

- hluk pohonného agregátu,
- hluk výplachovej vody, ktorá je nasmerovaná na rotujúci nástroj a horninu,
- nepravidelné odtrhávajúce vírov na britoch nástroja, ktoré sa označujú ako hluk vírenia,
- periodické premenné sily.

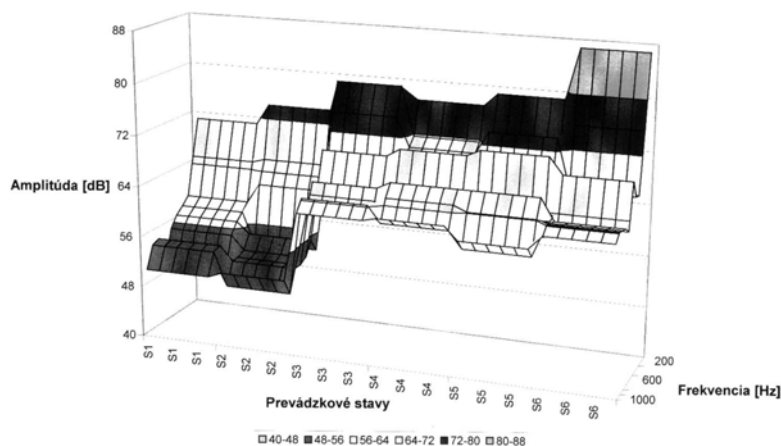
Hluk pri rotačnom rozpojovaní sa skladá z týchto zložiek:

- hluk zo všetkými zložkami chodu naprázdno,
- hluk spôsobený horninou ako hluk generovaný pri vŕtaní bezprostredne záberom britu nástroja,
- hluk vyvolaný rotačným rozpojovaním (Pri vŕtaní je ako nástroj, tak aj hornina budená krátkymi impulzmi reznej sily k chveniu. Tento hluk sa prejavuje tým silnejšie, čím náchylnejšia je hornina k chveniu, t.j. čím je pružnejšia. Na hluk vplývajú teda nielen vlastnosti horniny, ale aj spôsob pôsobenia nástroja.),
- vplyv otupenia britu na hluk obrábania (je rozhodujúci až pri väčšom otupení).

Analyzovať hluk pri chode naprázdno je ľahšie ako analyzovať hluk vyvolaný pri vŕtaní. Pri analýze hluku je dôležité stanoviť presnú príčinu jeho vzniku, t.j. zdroj a cestu šírenia. Toto rozdelenie je založené na predstave, že priestorové kvantitatívne pochody možno redukovať na základný model, ktorý sa skladá z dvoch vzájomne sa ovplyvňujúcich komponentov, t.j. z hlukového zdroja (emisie) a z prijímača hluku (imisie), ako aj zo vzájomného vzťahu, ktorý vyplýva z prenosu hluku.

### Rozbor a diskusia dosiahnutých výsledkov

Príkladom zosnímaného akustického signálu, spracovaného pomocou trojrozmernej Fourierovej transformácie (Biering, Pedersen, 1983), je obr. 1, na ktorom je zobrazených šesť prevádzkových stavov, v grafe označených S1 – S6.



Obr. 1. Zosnímaný a spracovaný akustický signál pomocou trojrozmernej Fourierovej transformácie.  
Fig. 1. The scanned acoustic signal processed by the three-dimensional Fourier transformation.

Popis prevádzkových stavov:

- S1 - vŕtací stand naprázdno,  $n = 7,82 \text{ s}^{-1}$ ,
- S2 - vŕtací stand naprázdno,  $n = 16,6 \text{ s}^{-1}$ ,
- S3 - vŕtanie andezitu,  $F = 5\,278 \text{ N}$ ,  $n = 8,8 \text{ s}^{-1}$ ,  $\varphi = 0,00033 \text{ mms}^{-1} / \text{Jmm}^{-3}$ ,

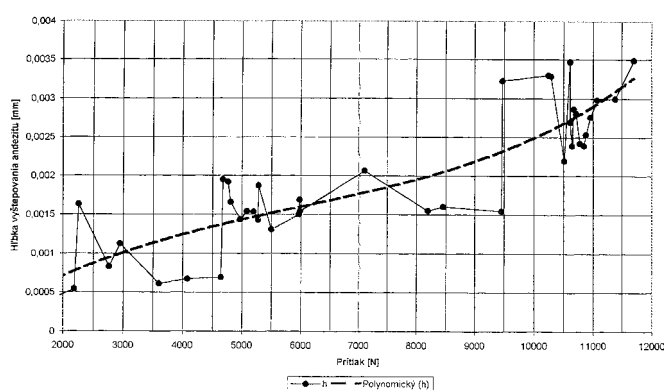
S4 – vrtanie andezitu,  $F = 5\,082\text{ N}$ ,  $n = 17,8\text{ s}^{-1}$ ,  $\varphi = 0,00054\text{ mms}^{-1} / \text{Jmm}^{-3}$ ,  
 S5 – vrtanie andezitu,  $F = 10\,286\text{ N}$ ,  $n = 8,5\text{ s}^{-1}$ ,  $\varphi = 0,00058\text{ mms}^{-1} / \text{Jmm}^{-3}$ ,  
 S6 – vrtanie andezitu,  $F = 9\,459\text{ N}$ ,  $n = 16,5\text{ s}^{-1}$ ,  $\varphi = 0,00027\text{ mms}^{-1} / \text{Jmm}^{-3}$ .

Ako vidíme, dynamická analýza napomáha pri posúdení veľkosti intenzity hluku od jednotlivých konštrukčných prvkov strojného zariadenia s rotačným, resp. posuvným pohybom a vytvára predpoklady spolu s frekvenčnou analýzou na určenie amplitúdy kmitania od jednotlivých zdrojov.

Takto získaný akustický signál je registrovaný spolu so vstupnými a výstupnými veličinami procesu rozpojovania hornín. Na obr.č.1 je zobrazená závislosť amplitúdy a frekvencie akustického signálu z rozpojovacieho procesu andezitu z lokality Ruskov impregnovanou diamantovou korunkou v intervale prítlaču  $5\,082 - 10\,286\text{ N}$  a otáčok  $n = 7,82 - 17,8\text{ s}^{-1}$  na vrtnom stande ÚGt SAV Košice.

Z celého rozsahu amplitúd a frekvencií boli Fourierovou transformáciou vyseparované tie amplitúdy, ktoré korelujú so vstupnými veličinami, t.j. prítlačom a otáčkami, pre určenie optimálneho režimu rozpojovacieho procesu, v našom prípade je to maximalizácia veličiny  $\varphi$ .

V tomto diapazóne vstupných veličín bola zaznamenaná aj okamžitá rýchlosť vrtania. Na obr. č. 2 je znázornená hĺbka vniku rozpojovacieho nástroja pri otáčkach  $7,82 - 18,8\text{ s}^{-1}$  v závislosti od prítlaču do tej istej horniny. Z uvedeného grafu je možné určiť hĺbku vyštepovania andezitu pri prevádzkových stavoch.



Obr.2. Závislosť hĺbky vyštepovania andezitu Ruskov od prítlaču  $F$ .

Fig.2. The depth of disintegration in dependence on the thrust  $F$  in the Ruskov andesite.

V akustickom signále, tak ako je reprezentovaný na obr.1, hľadáme vhodné akustické veličiny, pomocou ktorých by sa proces rozpojovania hornín mohol optimalizovať. V snímanom akustickom signále je možné nájsť dominantné frekvencie, ktoré proces rozpojovania hornín pre danú horninu a daný nástroj charakterizujú. Dominantné frekvencie umožňujú určiť optimálny režim pre maximalizáciu okamžitej rýchlosti vrtania.

Extremalizáciu špecifickej energie rozpojovania je možné určiť rozptylom dominantnej frekvencie. Tento spôsob určovania optimálnych vstupných veličín si vyžaduje ďalší výskum v tejto oblasti na ďalších typoch hornín a rozpojovacích nástrojov.

Zvýšenie účinnosti procesu rozpojovania hornín rotačným vrtaním je možné využitím výpočtovej techniky, ako zásadného prostriedku automatizácie pre zlepšenie technicko - ekonomických parametrov vrtania. Základný problém je v získavaní informácií o procesoch, ktoré prebiehajú pri rozpojení hornín. Jednou z ciest je meranie nepriamych parametrov, ktoré charakterizujú vo väčšej alebo menšej miere prebiehajúci technologický proces. V súvislosti s dynamickým riadením procesu rozpojovania hornín vrtaním sú informácie získané na základe nepriamych parametrov nevyhnutne potrebné. Jednou z takýchto nepriamych metód je meranie akustických prejavov a vibrácií v rámci technologického procesu pri rotačnom vrtaní.

Použitie akustických meraní pre vyhodnocovanie procesu rozpojovania hornín si vyžaduje aplikáciu empirických prístupov. Jedná sa o stanovenie závislostí medzi veličinami tohto procesu s rozšírením o akustické metódy. Akustické metódy kontroly a riadenia technologických procesov však nie je možné brať izolovane od už existujúcich spôsobov riadenia procesov rozpojovania hornín.

Klasický spôsob monitorovania vrtného procesu spočíva v zistení závislostí výstupných veličín procesu rozpojovania hornín vrtaním od vstupných veličín. Podľa optimalizačného kritéria maximálnej rýchlosti vrtania, minima špecifickej energie rozpojovania alebo maximalizáciou podielu rýchlosti vrtania a špecifickej energie rozpojovania možno riadiť proces rozpojovania tak, aby sme dosiahli jednu z možností optimalizácie (Sekula et al., 1983). Prakticky to znamená, doviest' proces rozpojovania do stavu takej kombinácie vstupných veličín prítlaču  $F$  a otáčok  $n$ , pri ktorej okamžitá rýchlosť vrtania je maximálna podľa optimalizačného kritéria maximálnej rýchlosti vrtania alebo je minimálna podľa optimalizačného kritéria minima špecifickej energie. Podobne je to aj v prípade podielu okamžitej rýchlosti vrtania a špecifickej energie rozpojovania pre rozpojovanú horninu a používaný vrtný nástroj. Na ÚGt SAV Košice táto optimalizácia prešla svojím vývojom od ručného nastavovania požadovaných vstupných veličín až po elektronicky riadené nastavovanie týchto veličín počítačom.

Experimenty sa robili na vrtnom stande malopriemerového vrtania hornín vybaveného klasickým monitorovacím systémom bez spätného riadenia. Tento monitorovací systém je rozšírený o snímanie akustického signálu (Leššo, 1994). Akustický signál sa zaznamenáva mikrofónom. Takto zosnímaný signál sa v zosilňovači

