

## Meranie a hodnotenie vibračných meraní pri vŕtaní hornín

František Krepelka<sup>1</sup>, Rudolf Zahradníček<sup>2</sup>, Zuzana Chlebová<sup>3</sup>, Lucia Ivaničová<sup>1</sup>, Milan Labaš<sup>1</sup>,  
Viera Miklúšová<sup>1</sup> a Eudmila Ušalová<sup>1</sup>

### *Evaluation of Vibration Measurements at Rock Drilling*

The paper presents a method for vibration measurements at rotary drilling of andesite, granite and limestone. The measurements were carried out on the drilling stand using diamond-impregnated bits of 46 mm diameter. The vibration signal was monitored by the Microlog CMVA55 at constant input parameters (constant thrust or constant revolutions). The revolutions were changed from 3,33 s<sup>-1</sup> to 23,33 s<sup>-1</sup> stepwise by 3,33 s<sup>-1</sup>. Similarly, at constant revolutions 16,66 s<sup>-1</sup> the thrust was set to 5500, 7500, 9500 and 11500 N.

The results of vibration signal analysis in the frequency domain are presented further in the paper. The aim of the vibration measurement is to study the mechanism of rock disintegration. The Vibration frequency spectrum contains a significant amplitude, which denotes the frequency of revolutions of the drilling tool. The Frequency spectrum of measurements contains also higher harmonic and subharmonic frequencies. There are significant sidebands in the surround of higher harmonic frequencies. The results show that the vibration measurement may be used for the identification of regime parameters at the rock drilling.

**Key words:** rock disintegration, drilling, vibration signal, vibration spectrum

### Úvod

Štúdium mechanizmu rozpojovania hornín vŕtaním dáva odpoveď na celý rad otázok, ktoré túto technológiu doprevádzajú. Rozpojovanie hornín vŕtaním je prvou operáciou pri dobývaní ťžitkových nerastov a výstavbe podzemných inžinierskych diel. Najdôležitejšou úlohou pri tejto technológii je stanovenie optimálneho prítlaku a otáčok pre danú dvojicu nástroj a hornina. Určenie optimálneho režimu vŕtania zaručuje efektívnu účinnosť využitia mechanickej energie na rozpojovanie a ovplyvňuje ďalšie dôležité ukazovatele vŕtania, ako sú životnosť nástroja, náklady na proces rozpojovania, atď. Z uvedených dôvodov aj v súčasnosti sa študuje mechanické rozpojovanie hornín na výskumných pracoviskách, vývojových pracoviskách výrobcov rozpojovacích nástrojov a zariadení. Mechanizmus rozpojovania hornín vŕtaním sa prevažne študuje analytickými metódami, teóriou podobnosti, experimentálne sa hľadajú závislosti medzi rýchlosťou vŕtania a režimom vŕtania, rýchlosťou vŕtania a pevnosťou hornín, rýchlosťou vŕtania a technologickými vlastnosťami hornín. Pri riešení grantovej úlohy Štúdium mechanizmu rozpojovania hornín mechanickými spôsobmi sme začali skúmať rozpojovanie hornín rotačným vŕtaním pomocou mechanických kmitov a vibrácií. Rozpojovací nástroj pri vŕtaní hornín vybudzuje mechanické kmity a vibrácie, ktoré majú nepriaznivé účinky na obsluhu rozpojovacích zariadení. Okrem týchto nepriaznivých účinkov vibrácie pri vŕtaní hornín sú nositeľmi dôležitých informácií, ktoré študujeme z hľadiska mechanizmu rozpojovania a ktoré sú tiež nositeľmi informácií pre monitorovanie rozpojovacieho procesu.

### Meranie vibrácií pri vŕtaní

Mechanizmus rozpojovania hornín vŕtaním skúmame na vŕtacom stande. V prevažnej miere používame na rozpojovanie diamantové nástroje do priemeru 46 mm. Vŕtací stand pozostáva z oceľovej konštrukcie, hnacieho jednosmerného elektromotora s výkonom 12,5 kW, vreteníka s jadrovkou a vŕtacieho nástroja. Otáčky a prítlak vŕtacieho standu sa dajú plynule regulovať v intervale 0 – 30 s<sup>-1</sup> a 0 – 20 000 N. Mechanické kmity a vibrácie snímame piezoelektrickou sondou. Sonda je mechanicky uchytená na rám vŕtacieho standu. Na registráciu vibrácií sme použili meracie vibračné zariadenie Microlog CMVA 55, ktoré pozostáva z :

- piezoelektrického snímača vibrácií,
- dátového kolektora,
- prenosného modulu,
- počítača s vyhodnocovacím softwermom PRISM4.

Piezoelektrický snímač vibrácií sníma vibrácie pri vŕtaní v smere osi postupu vŕtania. V dátovom kolektore sa zaznamenáva zrýchlenie vibračného signálu a integruje sa na rýchlosť vibračného signálu. Takto zosnímané

<sup>1</sup> Ing. František Krepelka, PhD., Ing. Lucia Ivaničová, Ing. Milan Labaš, Mgr. Viera Miklúšová, PhD., Ing. Eudmila Ušalová, Ústav geotechniky SAV, Watsonova 45, 043 53 Košice

<sup>2</sup> doc. Ing. Rudolf Zahradníček, CSc., Ústav aeronautiky Sj. F., TU Košice, Letná 9, 041 87 Košice

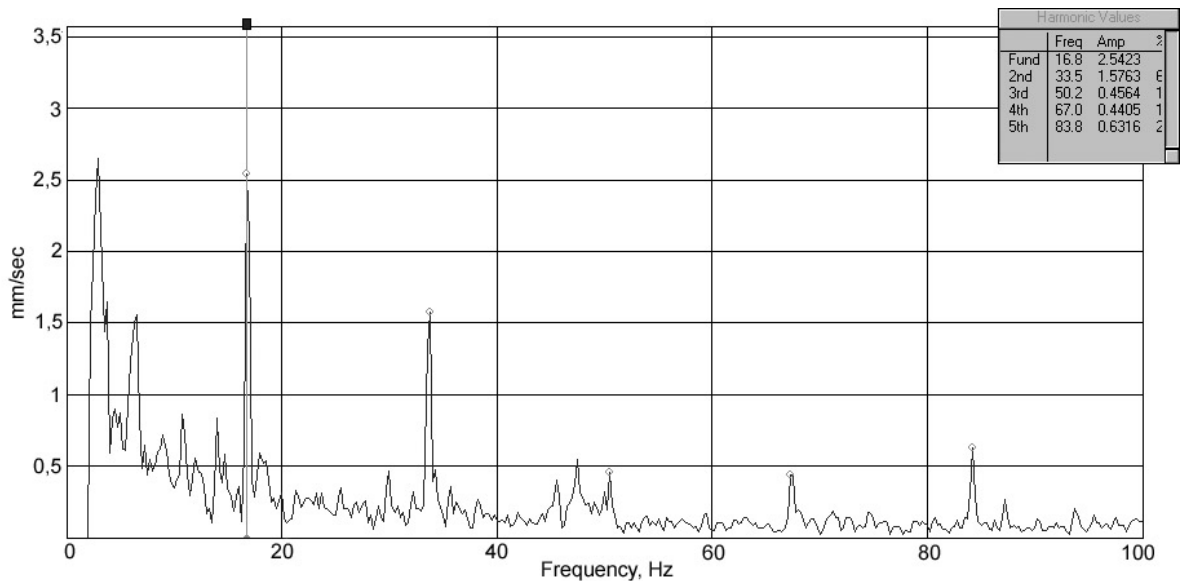
<sup>3</sup> doc. Ing. Zuzana Chlebová, CSc., Katedra aplikovanej mechaniky a mechatroniky Sj. F. TU Košice, Letná 9, 041 87 Košice  
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 29. 11. 2004)

amplitúdy rýchlosti vibrácií v osi vrtania sa zapisujú do pamäti meracieho zariadenia a vyhodnocujú sa vo frekvenčnom spektre mechanického systému vrtacieho standu pri vrtaní.

Vibrácie pri vrtaní sme merali a zaznamenávali pri konštantných vstupných parametroch. Pri konštantnom prítlaku 10 000 N sme postupne menili otáčky v intervale od  $3,33 \text{ s}^{-1}$  až po  $23,33 \text{ s}^{-1}$ , krokom  $3,33 \text{ s}^{-1}$ . Pri konštantných otáčkách  $13,33 \text{ s}^{-1}$  sme postupne menili prítlak na hodnoty 5 500, 7 500, 9 500 a 11 500 N. Pri experimentoch sme používali diamantové impregnované nástroje s priemerom 46 mm so 6 a 8 kanálikmi. Vibračné spektrá sme namerali pri vyššie uvedených parametroch na andezite, žule a vápenci.

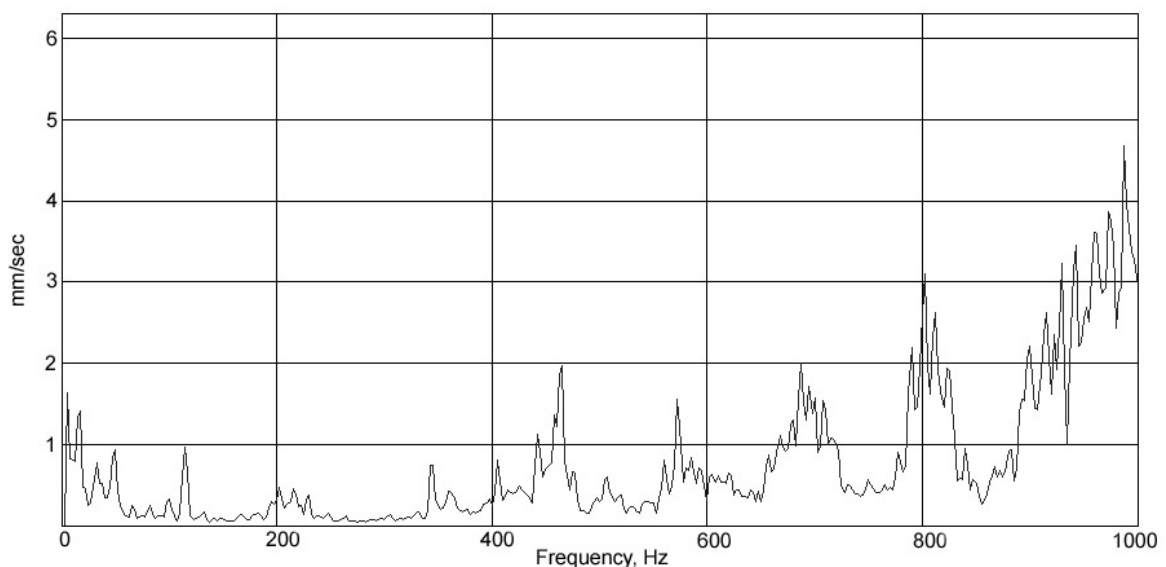
### Hodnotenie experimentov

Vibračný signál meraný počas vrtania v časovej oblasti sa transformuje pomocou rýchlej Fourierovej transformácie na frekvenčné spektrum. Frekvenčné spektrum pri vrtaní sme zaznamenávali v rozsahoch 0 – 100, 0 – 500, 0 – 1000 a 0 – 2000 Hz. Analýzou experimentálnych frekvenčných spektier sme identifikovali otáčkovú frekvenciu hriadeľa vrtacieho nástroja..



Obr. 1. Základná otáčková frekvencia 16,8 Hz a vyššie harmonické frekvencie 33,5 Hz, 50,2 Hz, 67 Hz a 83 Hz pri vrtaní žuly. Režim vrtania: otáčky  $16,8 \text{ s}^{-1}$ , prítlak 5 500 N.

Fig. 1. Basic revolutions frequency 16,8 Hz, higher harmonic frequencies 33,5 Hz, 50,2 Hz, 67 Hz and 83 Hz at granite drilling. Drilling regime: revolutions  $16,8 \text{ s}^{-1}$ , thrust 5500 N..

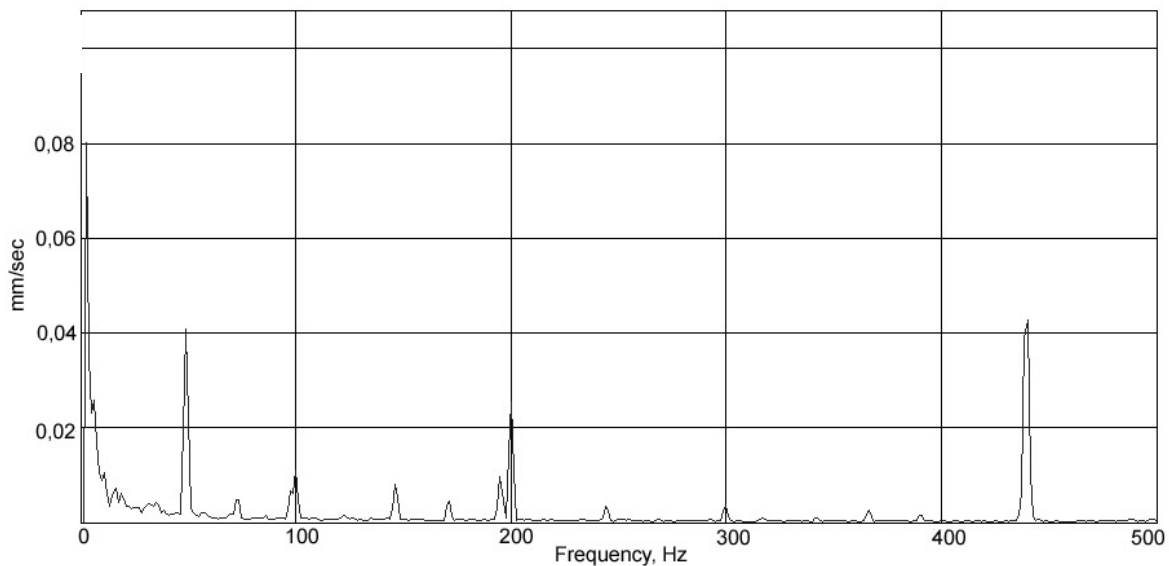


Obr. 2. Postranné frekvenčné pásma pri vyšších harmonických frekvenciách. Režim vrtania : otáčky  $16,6 \text{ s}^{-1}$ , prítlak 7 500 N. Fig. 2. Sidebands at higher harmonic frequencies. Drilling regime: revolutions  $16,6 \text{ s}^{-1}$ , thrust 7 500 N.

Na otáčkovej frekvencii rozpojovacieho nástroja je výrazná amplitúda. Vo vibračných spektrách je možné ďalej identifikovať prvú, druhú a ďalšie vyššie otáčkové harmonické a subharmonické frekvencie, vid'. obr. 1. Analýzou frekvenčných spektier pri konštantných otáčkach s rastúcim prítlakom je možné pozorovať klesajúce hodnoty amplitúdy všetkých frekvencií

Pri vyšších harmonických frekvenciách je možné pozorovať pravé a ľavé postranné pásmo frekvencií s menšími amplitúdami v porovnaní s amplitúdou prislúchajúcej harmonickej frekvencie, vid'. obr. 2. V ďalšom štúdiu frekvenčného spektra je potrebné interpretovať spomínané postranné frekvenčné pásma a vysvetliť, čo ich generuje v rozpojovacom procese.

Amplitúdy frekvenčného spektra výplachového čerpadla s elektromotorom a zubového čerpadla s elektromotorom sú o tri rady menšie v porovnaní s amplitúdami frekvenčného spektra rozpojovacieho nástroja, vid'. obr. 3. Z tejto skutočnosti vyplýva, že uvedené zariadenia minimálne ovplyvňujú frekvenčné spektrum pri vŕtaní.



Obr. 3. Veľkosť amplitúd vo vibračnom frekvenčnom spektre výplachového čerpadla s elektromotorom.  
Fig. 3. Amplitudes in frequency spectra of vibrations of flush pump and electromotor

### Záver

V ďalšom štúdiu budeme vyhodnocovať vibračný signál v časovej aj frekvenčnej oblasti. Hodnotenie vibračného signálu v časovej oblasti umožní zistiť číselné charakteristiky síl pri rozpojovacom procese. Analýza rýchlosti vibrácií umožní vyčíslieť prenos kinetickej energie z nástroja na horninu a hodnotenie zrýchlení umožní posúdiť zotrvačné účinky vŕtacieho zariadenia. Pomocou Fourierovej transformácie môžeme transformovať vibračný záznam z časového priebehu do frekvenčnej oblasti. Jednotlivé frekvenčné zložky sú nositeľmi informácií procesu rozpojovania hornín o zmenách parametrov tohto procesu. Vibračné spektrá rozpojovacieho procesu možno tiež využiť na monitorovanie a identifikáciu.

Predkladaný príspevok je výsledkom spolupráce Ústavu geotechniky SAV Košice, Vojenskej leteckej akadémie GMRŠ Košice a Katedry aplikovanej mechaniky a mechatroniky SF TU Košice.

*Tento príspevok vznikol v rámci riešenia grantovej úlohy VEGA 3210.*

### Literatúra - References

FABRY, Š. 2002. Využitelnosť jednotlivých domén pozorovania vibračného signálu pre analýzu technického stavu stroja. In: Zborník príspevkov 5. medzinárodnej konferencie – Nové trendy v rozvoji letectva, Vojenská letecká akadémia GMRŠ Košice, 2002, s. 29 – 36.