

VIBRAČNÝ SIGNÁL PRI ROZPOJOVANÍ HORNÍN

VIBRATION SIGNAL FOR BREAKING OF ROCKS

Viera Miklúšová¹, František Krepelka², Lucia Ivaničová³, Milan Labaš⁴

Abstrakt

V procese rozpojovania hornín vznikajú vibrácie. Ide o vynútené kmity, ktoré vznikajú v dôsledku pôsobenia vrtacieho nástroja na horninu. Príspevok čerpá z laboratórneho výskumu rozpojovania hornín pri rotačnom vrtaní a prezentuje rozbor sprievodného vibračného signálu v troch na seba kolmých smeroch, pričom jeden smer je smer vrtania. V príspevku sú prezentované priebehy zrýchlenia a dominantnej frekvencie sprievodného vibračného signálu v závislosti od prítlačnej sily na rozpojovací nástroj ako režimového parametra vrtania a tiež od rýchlosti postupu rozpojovacieho nástroja pri vrtaní andezitu 8-kanálikovou diamantovou impregnovanou korunkou s cieľom výberu charakteristiky ako aj výberu sledovaného smeru vibračného signálu na prípadné riadenie rozpojovacieho procesu bez snímania režimových parametrov.

Abstract

Rock cutting process induces formation of vibrations as forced oscillations arising due to action of drilling tool in rock. The paper results from laboratory research of rock cutting process by rotary drilling and delivers an analysis of accompanying vibration signal in three orthogonal directions, one of them represented by drilling direction. The paper presents the behavior of acceleration and dominant frequency of accompanying vibration signal depending on thrust force applied to drilling tool as a regime parameter and on advance rate of drilling tool in andesite cutting by 8-channels diamond-impregnated drilling bit. The main goal is to provide selection of characteristic and direction of vibration signal, which might be then used for control of the drilling process without further need of monitoring the regime parameters.

Kľúčové slová

proces rozpojovania, hornina, vibračný signál

1 Úvod

S prudkým nárastom populácie sveta v ostatnom desaťročí súvisí aj obrovský rozvoj priemyslu a dopravy, čomu odpovedá obrovský nárast dopytu po energii, ktorá je získavaná hlavne zo zemských zdrojov energie - ropy, uhlia a plynu. Ich prístupné zásoby sú však pri dnešnom rýchlom tempe čerpania odhadované len na niekoľko desaťročí. Prebieha hľadanie nových čistých bezpečných

a nevyčerpatelných zdrojov energie, napr. výskum termonukleárnej fúzie. Ale pravdepodobne po zemetrasení v marci 2011 pri japonskom pobreží a následných neblahých udalostiach v atómovej elektrárni Fukušima a desivých dopadoch na ľudí, krajinu a ekonomiku Japonska ale aj sveta dôjde k prehodnoteniu postoja k energii z jadra. Pravdepodobne sa pôjde cestou rozumného využívania toho, čo je k dispozícii, cestou využívania obnoviteľných zdrojov, cestou šetrenia energie.

Pri každej rozsiahlej ľudskej činnosti náročnej na energiu, teda aj pri bežiacей ťažbe úžitkových nerastných surovín aj pri odstraňovaní horniny z podzemných priestorov kvôli výstavbe podzemných diel, to predstavuje cestu racionalizácie a optimalizácie ťažobných procesov, aj samotného rozpojovacieho procesu hornín.

Jednou z najčastejšie používaných technológií pri dobývaní úžitkových nerastov ale i pri výstavbe podzemných diel je rotačné vŕtanie. Pracovníci Oddelenia deštrukčnej a konštrukčnej geotechniky Ústavu geotechniky SAV v Košiciach sa venujú výskumu rozpojovania hornín rotačným vŕtaním už dlhšie obdobie.

Počas rozpojovacieho procesu hornín vznikajú vynútené kmity - vibrácie. Vibrácie vznikajú v dôsledku pôsobenia rozpojovacieho nástroja na horninu. Vibrujú všetky súčasti zúčastnené na rozpojení, teda rozpojovacie zariadenie, rozpojovací nástroj a tiež rozpojovaný materiál, teda hornina. Vznikajúci vibračný signál je odrazom všetkých týchto súčastí, ich stavu a vlastností a tiež režimových parametrov, ako ukázali naše predchádzajúce výsledky, (Miklúšová 2009, Miklúšová a kol. 2009, Miklúšová 2010).

Naším cieľom je využiť vibračný signál na riadenie rozpojovacieho procesu bez potreby snímání režimových parametrov so zameraním na racionalizáciu a optimalizáciu spotreby energie na rozpojení horniny a dosahování čo najvyšších rýchlostí postupu rozpojovacieho nástroja v hornine.

2 Metodika výskumu

Na experimentálny výskum rozpojovacieho procesu hornín v laboratórnych podmienkach pracovisko využíva laboratórny stand. Ten umožňuje rotačné vŕtanie malopriemerovými vŕtacími nástrojmi používanými v geologickej praxi do rôznych hornín. Rotačné vŕtanie prebieha pri konštantných režimoch.

Počas vŕtania hornín na stande sú snímání a registrované režimové veličiny rozpojovacieho procesu a to prítlačná sila na nástroj F a otáčky nástroja n , cez ktoré je rozpojovací proces riadený. Od týchto veličín závisí charakter vznikajúceho vibračného signálu v procese rozpojovania.

Vibračný signál na laboratórnom stande je snímání piezoelektrickým snímačom zrýchlenia AC102-1A firmy CTC v rozsahu 0,5-15 000 Hz s rezonančnou frekvenciou snímača 23 000 Hz v troch navzájom kolmých smeroch x , y a z . Smer x je totožný so smerom vŕtania, smer z je na neho kolmý a leží v horizontálnej rovine. Snímače sú mechanicky uchytené na rám vŕtacieho standu. Zaznamenaný vibračný signál zo snímačov je spracovávaný v on-line monitorovacom systéme vibrácií ADASH 3900 II a následne počítačovo vyhodnocovaný v časovej a frekvenčnej oblasti.

Spracovanie vibračného signálu v časovej oblasti udáva zrýchlenie a mechanických kmitov a to vo všetkých troch snímaných smeroch x , y a z . Ako a_x RMS, a_y RMS a a_z RMS sú označené vyhodnotenú efektívne hodnoty zrýchlení z časových výstupov signálu v príslušných smeroch.

Výsledkom spracovania signálu vo frekvenčnej oblasti sú frekvenčné spektrá, z ktorých sa určujú dominantné frekvencie f , pre jednotlivé smery x , y a z označené ako f_x , f_y a f_z . Ako a_x SPEC, a_y SPEC a a_z SPEC sú označené maximálne hodnoty zrýchlení z týchto frekvenčných záznamov a udávajú hodnotu zrýchlenia pri dominantnej frekvencii v príslušnom smere.

Na experimentovanie na laboratórnom stande na účely tohto článku boli použité vzorky andezitu z lokality Ruskov. Ako rozpojovací nástroj bola použitá diamantová impregnovaná 8-kanáliková korunka na jadro priemeru 46mm.

Rotačné vrtanie prebiehalo pri konštantných hodnotách otáčok $n = 1\,000\text{ min}^{-1}$ a pri niekoľkých diskretných hodnotách prílačnej sily F v rozmedzí od 4 000 N do 14 000 N.

3 Experimentálne výsledky a diskusia

Cieľom našej výskumnej úlohy je zapojiť vibračný signál do riadenia rozpojovacieho procesu bez snímania klasických vstupných režimových parametrov, t.j. prílačnej sily F a otáčok n .

Snahou praxe je optimalizovať rozpojovací proces. Niekedy sa vyžaduje čo najvyššia postupová rýchlosť vrtania či razenia, inokedy minimálna spotreba energie či režim šetriaci rozpojovacie indentory, ale aj kombinácia uvedeného. Pristupujú tiež požiadavky na šetrenie životného prostredia a v neposlednom rade aj ochrana zdravia obsluhujúceho personálu.

Naším ďalším cieľom je riadiť rozpojovací proces cez snímaný vibračný signál tak, aby prebiehal čo najefektívnejšie, teda aby sa dosahovali čo najvyššie rýchlosti vrtania pri čo najmenšej energii spotrebovanej na rozpojenie horniny.

Keďže rozpojovací proces a následne aj vibrácie sú závislé od všetkých súčastí vstupujúcich do rozpojovacieho procesu, tiež ich stavu a vlastností, na dosiahnutie cieľa je potrebné najprv poznať jednotlivé závislosti charakteristík vibračného signálu od stavu a vlastností všetkých súčastí rozpojovacieho procesu. Je to veľmi náročná úloha na množstvo experimentov a s tým súvisiace množstvo horninových vzoriek.

Niektoré čiastkové výsledky z nášho doterajšieho výskumu týkajúce sa súvislosti vibračného signálu a režimových parametrov, rozpojovacieho nástroja či horniny už boli publikované, (Miklúšová 2009, Miklúšová et al. 2009, Miklúšová 2010).

Vibračný signál je snímaný a vyhodnocovaný v troch navzájom kolmých smeroch x , y a z , čím sa počet vyhodnotení voči počtu experimentov ešte stonásobuje. Bolo by preto vhodné a žiaduce nájsť jednu takú charakteristiku vibračného signálu ako aj vybrať smer hodnotenia vibračného signálu, v ktorom by táto charakteristika bola snímaná a vyhodnocovaná a bola postačujúca na riadenie rozpojovacieho procesu.

Nasledujúci rozbor vibračného signálu je zameraný na porovnanie troch charakteristík vibračného signálu v troch snímaných smeroch x , y a z . Ide o zrýchlenia vibračného signálu a_x RMS, a_y RMS a a_z RMS vyhodnotenú z časových záznamov vibračného signálu,

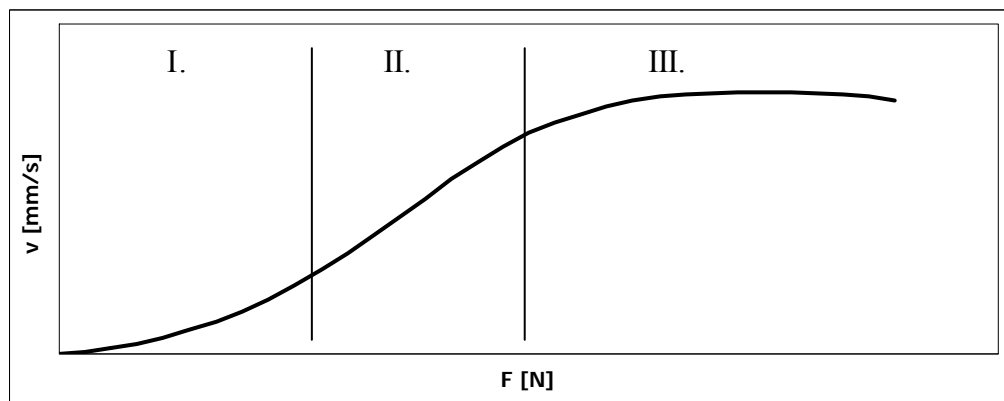
ďalej zrýchlenia a_x SPEC, a_y SPEC a a_z SPEC a dominantné frekvencie f_x , f_y a f_z vyhodnotené z frekvenčných záznamov vibračného signálu.

V rozpojovacom procese horniny v celom rozsahu režimových parametrov prílačnej sily F a otáčok n je možné vydeliť tri oblasti – tri spôsoby rozpojovania:

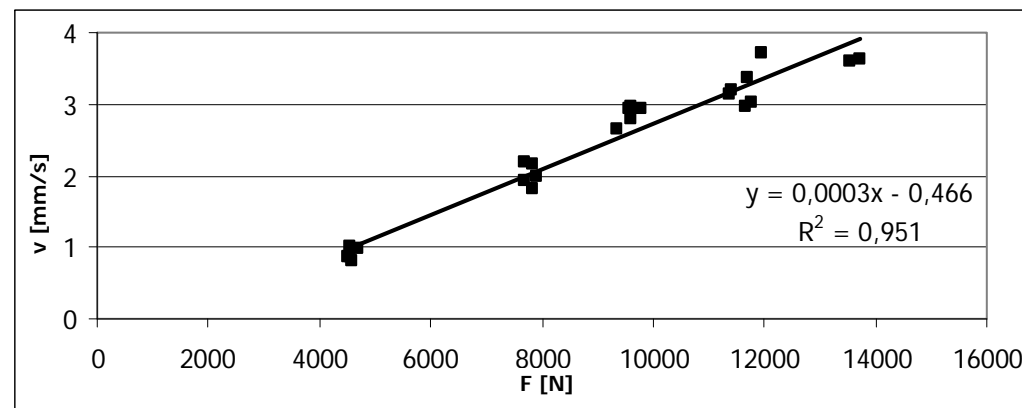
I. - povrchovo oterný spôsob rozpojovania - nízke prílačné sily, nízke otáčky, nízke rýchlosti;

II. - objemový spôsob rozpojovania - rýchlosť narastá úmerne s prílačnou silou;

III. - sekundárne rozpojovanie - aj pri zvyšovaní režimových parametrov zmierňuje sa nárast rýchlosti v dôsledku nedostatočného transportu rozpojeného produktu spod nástroja a dochádza k jeho sekundárnemu rozpojovaniu.



Obr. 1 Schematický obrázok priebehu rýchlosti vrtania v v závislosti od prílačnej sily F

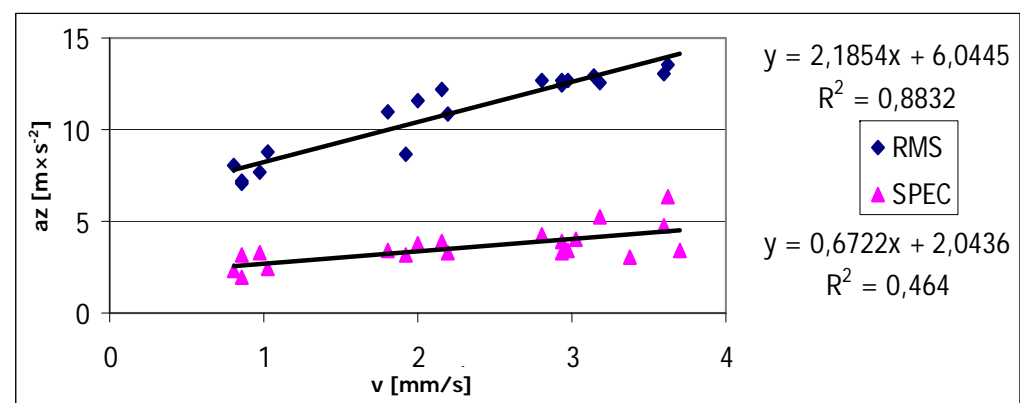
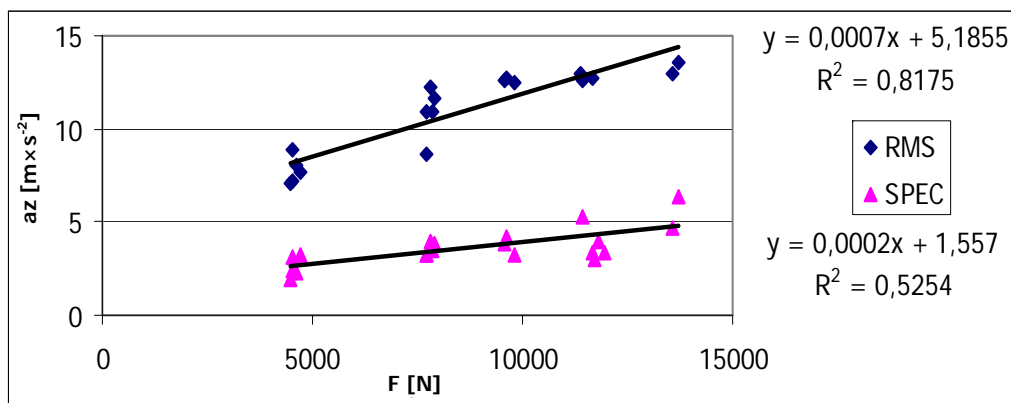
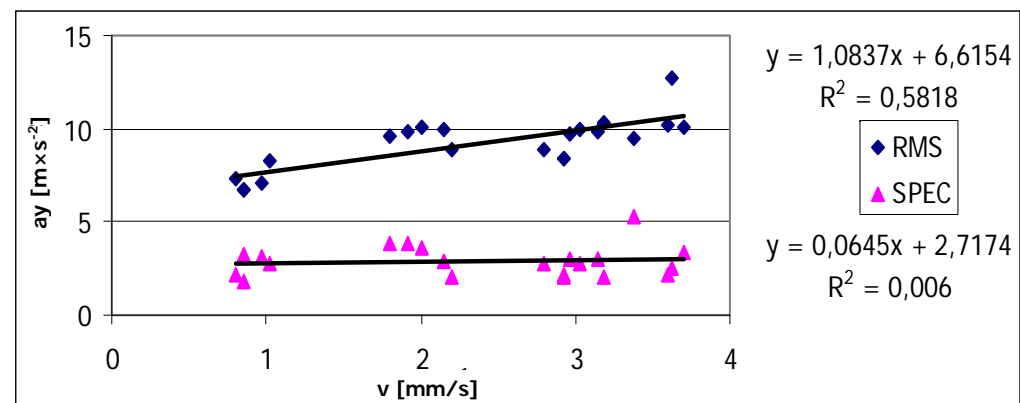
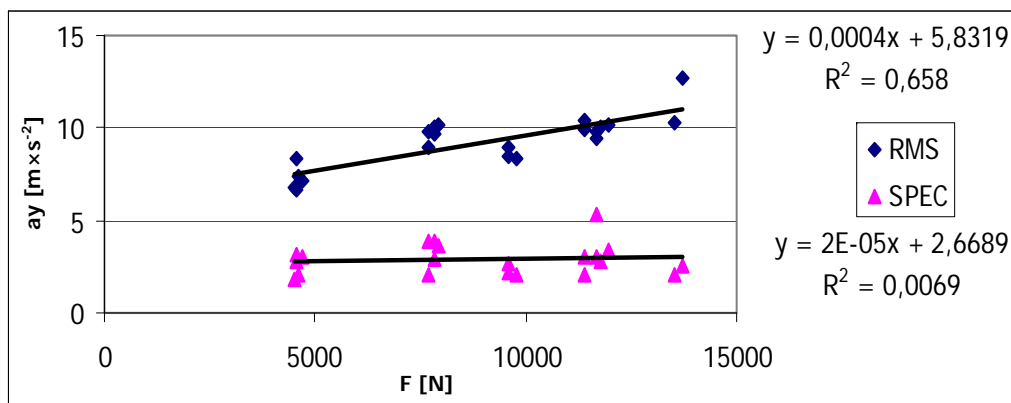
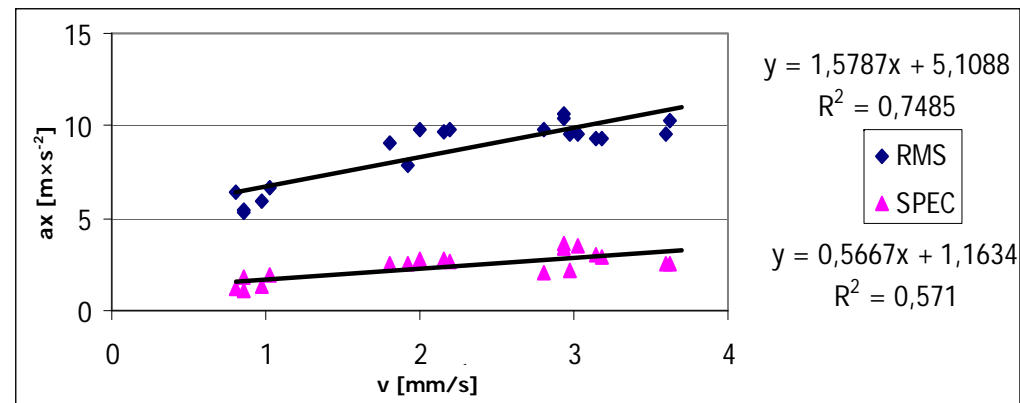
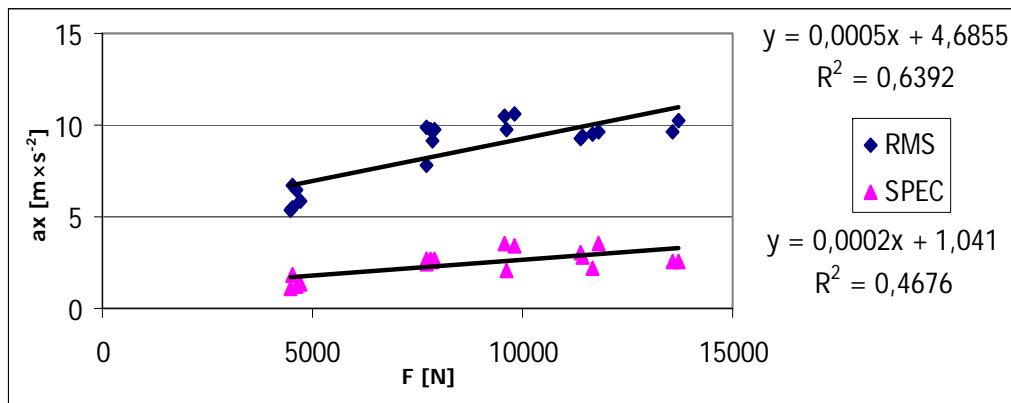


Obr. 2 Závislosť rýchlosti vrtania v od prílačnej sily F

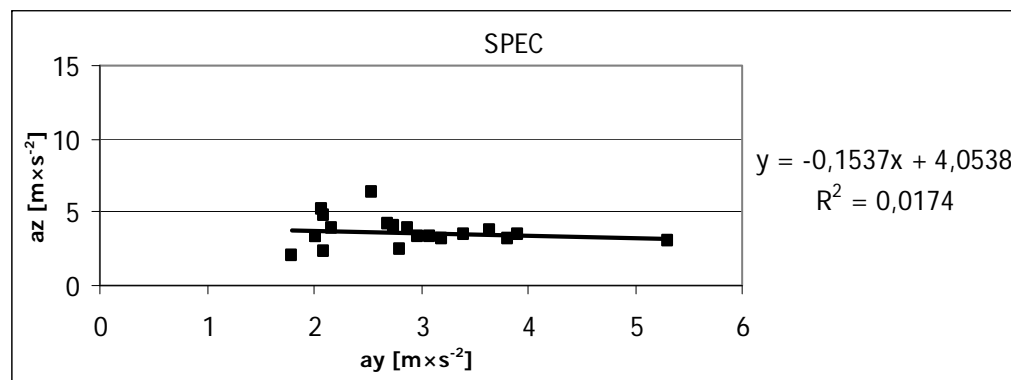
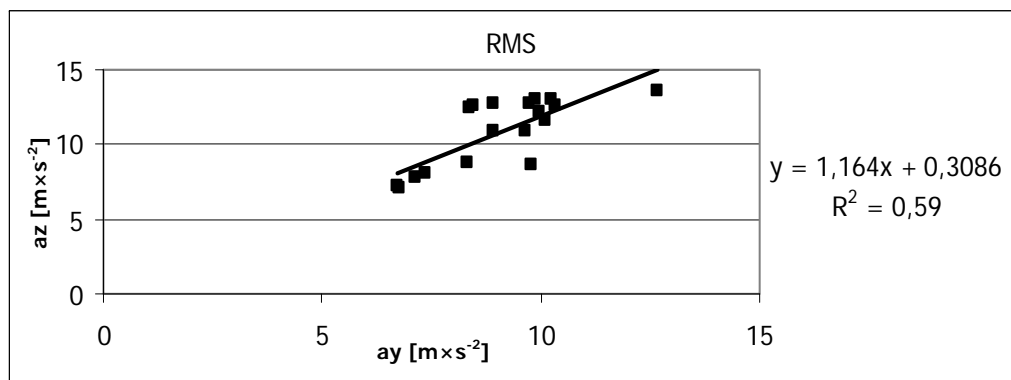
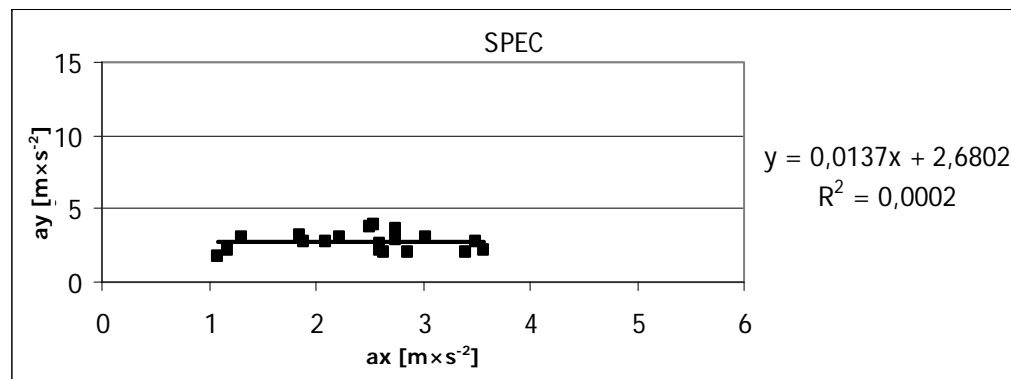
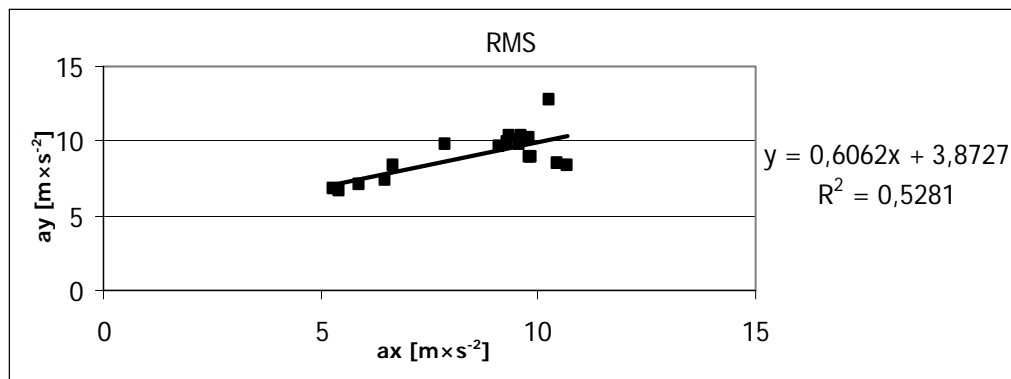
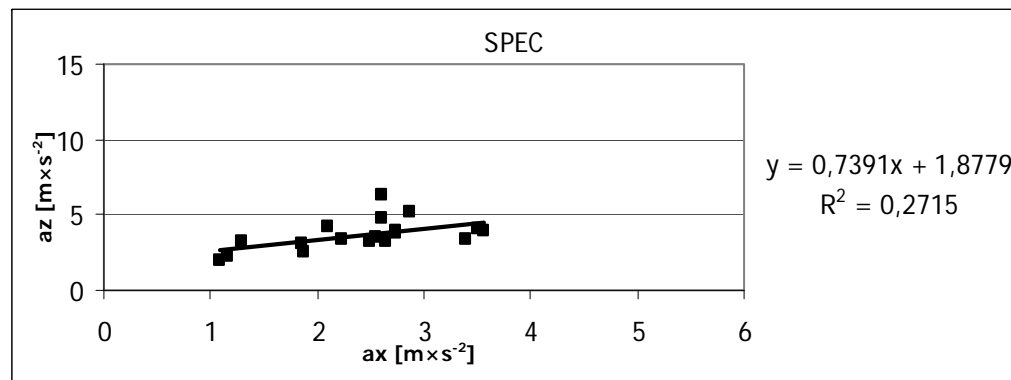
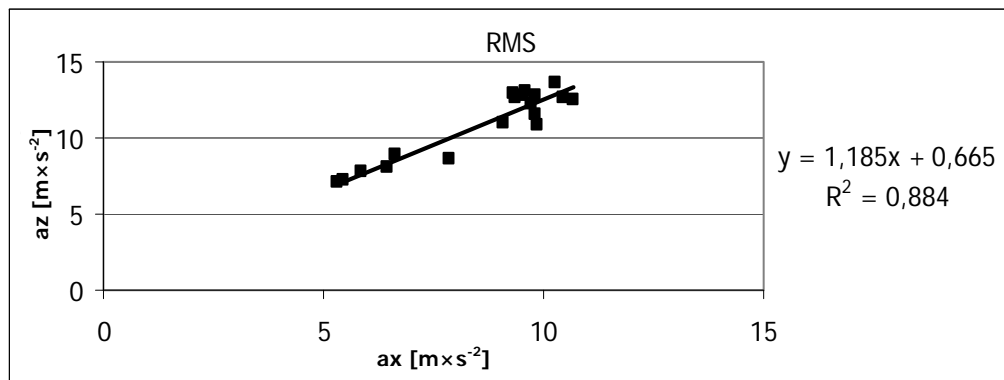
Tieto tri oblasti sú vyznačené v schematickom obrázku 1 na priebehu rýchlosti vrtania v v závislosti od prílačnej sily F . Obrázok 2 prezentuje experimentálne hodnoty závislosti rýchlosti vrtania v od prílačnej sily F pre andezit pri rotačnom vrtaní s 8-kanálikovou diamantovou impregnovanou korunkou.

Závislosť v v obrázku 2 má lineárny priebeh, rýchlosť vrtania v narastá úmerne s prílačnou silou F . To ukazuje, že pri experimentálnych hodnotách režimových parametrov na rozpojovacom stande v laboratóriu sa pohybujeme len v oblasti II. z obrázku 1, teda ide o objemové rozpojovanie horniny. Znamená to tiež, že použitý vodný výplach pri vrtaní dostatočne odstraňuje horninovú drť spod nástroja a nedochádza k sekundárnemu rozpojovaniu drte.

V tomto príspevku sme sa rozhodli zobrať do vyhodnocovania vibračný signál v súvislosti s režimovým parametrom a síce prílačnou silou F a rýchlosťou vrtania v , keďže rýchlosť vrtania v je jednou z možných optimalizačných veličín rozpojovacieho procesu. Nasledujúce obrázky prezentujú priebehy vybraných charakteristík vibračného signálu v závislosti od prílačnej sily F a od rýchlosti vrtania v .



Obr.3 Závislosti zrýchlení a RMS a SPEC od prílačnej sily F a od rýchlosti vrtania v pre jednotlivé merané smery

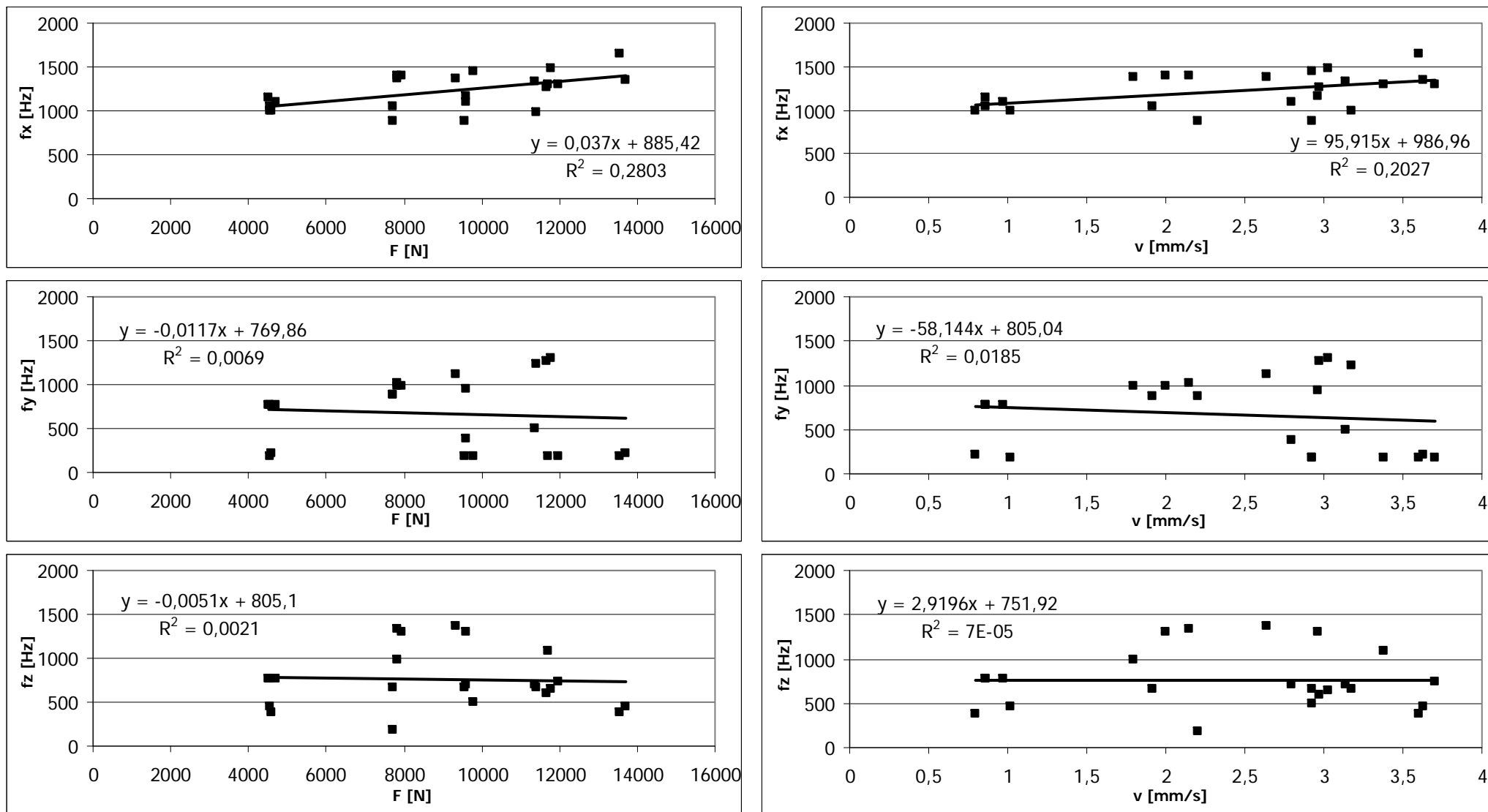


Obr. 4 Vzájomné závislosti zrýchlení a RMS; dial zrýchlení a SPEC vibračného signálu v jednotlivých smeroch

Priebehy zrýchlení RMS aj SPEC v obrázku 3 majú rastúci charakter v závislosti od prítlačnej sily F aj od rýchlosti vrtania v . Ale ich korelácie vykazujú rôznu intenzitu, čo poukazuje na rozdielnu vhodnosť a spoľahlivosť jednotlivých charakteristík ako

aj vyhodnocovaných smerov pre výber na riadenie rozpojovacieho procesu.

Zo vzájomných závislostí zložiek zrýchlení a RMS v jednotlivých smeroch v obrázku 4 je vidieť, že najtesnejšiu koreláciu vykazujú zložky v smere vrtania ax a v horizontálnej rovine az. V prípade zrýchlení a SPEC vykazujú koreláciu len zložky ax a az. O korelácii závislostí ďalších zložiek zrýchlení a SPEC sa nedá hovoriť, čo ukazujú nedostatočné hodnoty koeficienta korelácie pri 95% spoľahlivosti korelácie.



Obr. 5 Závislosti dominantných frekvencií vibračného signálu f_x , f_y a f_z od prílačnej sily F a rýchlosti vrtania v

Pri priebehoch v obrázku 5 je ťažké hovoriť o nejakom trende, zvlášť priebehy v smeroch y a z vyzerajú chaoticky. Len závislosti charakteristík v smere vrtania vykazujú koreláciu, ale intenzita korelácie pri 95% spoľahlivosti je len na úrovni kritických hodnôt korelácie.

4 Záver

Cieľom príspevku bolo vytypovať charakteristiku vibračného signálu vhodnú ako náhradu režimových parametrov na ovplyvňovanie rozpojovacieho procesu hornín. Boli posudzované tri charakteristiky vibračného signálu a to zrýchlenia vibračného signálu ax RMS, ay RMS a az RMS, ďalej zrýchlenia ax SPEC, ay SPEC a az SPEC a dominantné frekvencie fx, fy a fz.

Na základe prezentovaných korelácií závislostí charakteristík od prílačnej sily F a rýchlosti vrtania v ako aj na základe našich doterajších poznatkov ako vhodné charakteristiky vibračného signálu by sme vybrali zrýchlenia RMS a SPEC v smere vrtania a v smere horizontálnom kolmo na smer vrtania, teda ax RMS a az RMS a ax SPEC a az SPEC. Čo sa týka dominantných frekvencií len frekvencie v smere vrtania fx vykazujú dostatočnú intenzitu korelácie závislostí od prílačnej sily F a rýchlosti vrtania v, ale koeficienty korelácie nadobúdajú len kritické hodnoty. Charakteristiky v smere y najmenej reagujú na zmeny prílačnej sily F a rýchlosti vrtania v a nie sú vhodné na ovplyvňovanie rozpojovacieho procesu. Je to pravdepodobne dané tým, že experimentálny stand je upevnený k podlahe a zároveň je rozpojovací nástroj obmedzený voči vertikálnym kmitom vymedzovacími drážkami na úchytnom valci rozpojovacieho nástroja.

Obdobné závery je potrebné získať aj pre iné horniny a iné rozpojovacie nástroje, prípadne zohľadniť aj iné vplyvy na vibračný signál pri opakovaných experimentoch a pri rozšírení hraníc vstupných režimových parametrov.

Tento príspevok vznikol v rámci riešenia grantových úloh VEGA 2/0086/09 a 2/0142/11.

Literatúra

MIKLÚŠOVÁ, V. Vibračný signál ako odozva horninového prostredia pri vrtaní. In *Sborník príspevků z 37. konference se zahraniční účastí „Zakládání staveb Brno 2009“*, 2009, s. 19 – 22.

MIKLÚŠOVÁ, V., IVANIČOVÁ, L. Effect of disintegration regime change on vibration signal in rock drilling process. *Transaction of the Universities of Košice*, 3/2009, p. 99 – 102.

MIKLÚŠOVÁ, V. Influence of disintegration tool on vibration signal in rock disintegration process. In *Proceedings 11th international conference “Underground construction Prague 2010 - Transport and city tunnels”*, p. 643 – 646.

Autori

¹ Mgr. Viera Miklúšová, PhD., Ústav geotechniky SAV, Watsonova 45, 043 53 Košice, Slovak Republic, e-mail: miklusv@saske.sk

² Ing. František Krepelka, PhD., Ústav geotechniky SAV, Watsonova 45, 043 53 Košice, Slovak Republic, e-mail: krepelka@saske.sk

³ Ing. Lucia Ivaničová, PhD., Ústav geotechniky SAV, Watsonova 45, 043 53 Košice, Slovak Republic, e-mail: ivanic@saske.sk

⁴ Milan Labaš, PhD., Ústav geotechniky SAV, Watsonova 45, 043 53 Košice, Slovak Republic, e-mail: labas@saske.sk