

## Akustické aspekty technologického procesu rozpojovania hornín

František Krepelka<sup>1</sup> a Jozef Futó<sup>2</sup>

### *Acoustics aspects of technological process in the rock disintegration*

*The paper describes some results of monitoring and aspects of the acoustic signal in the rock disintegration on the drillig stand of the Institute of Geotechnics, SAS in Košice. The 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:** acoustic signal, dispersion, rock drilling,

### Úvod

V súvislosti s identifikáciou a dynamickým riadením rozpojovania hornín rotačným spôsobom sú informácie získané na základe nepriamych meraní veľmi užitočné a pre určovanie parametrov nevyhnutne potrebné. Jednou z takýchto nepriamych metód je meranie akustických prejavov a vibrácií v rámci technologického procesu pri rotačnom rozpojení.

### Teoretický rozbor akustických prejavov pri rozpojení hornín

Použitie akustických meraní pre vyhodnocovanie technologických procesov vyžaduje aplikáciu empirických prístupov. Jedná sa o stanovenie závislostí medzi vstupnými veličinami, vystupnými veličinami a veličinami akustickej emisie pri rozpojení hornín. Akustické metódy kontroly a riadenia technologických procesov však nie je možné využívať izolovane od už existujúcich spôsobov riadenia procesov rozpojovania hornín.

Akustické vlny, ktoré vznikajú pri procese rozpojovania hornín, sa po prechode rôznym prostredím registrujú mikrofónom, ktorý je umiestnený na zadanom mieste v akustickom priestore. Tento proces je doprevádzaný pohlcovaním zvukovej energie, ktorá závisí na vlastnostiach prostredia, intenzity a umiestnení zdroja. Tieto faktory by sa mali prejavovať v charakteristikách registrovaného signálu. Na zistenie týchto závislostí je potrebné objasniť zákonitosti vzniku zvuku pri rotačnom rozpojení a zistiť tiež dominantný zdroj hodnoty akustickej energie.

Zariadenia, uvádzajúce do pohybu rotačné časti, sú vždy zdrojom hluku. Pri strojoch na rozpojívanie hornín sú to z akustického hľadiska napr. rotujúce časti raziacich strojov, rozpojovacie nástroje rôznych typov, disky, raziace hlavy rôznych typov a pod.

V podmienkach standového výskumu môžeme v zásade pre hluk rozlišovať dva základné stavy:

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

Hluk pri chode naprázdno má tieto zložky:

- hluk pohonného agregátu,
- hluk výplachovej vody, ktorá je nasmerovaná na rotujúci nástroj a následne vznikajúca tlaková pulzácia, ktorá vzniká na povrchu základného telesa rotujúceho nástroja v turbulentnej medznej vrstve, ktorá je počuteľná ako širokopásmový hluk,
- nepravidelné odtrhávajúce vírov na britoch nástroja, ktoré sa označujú ako aeropulzný hluk vírenia,
- periodické premenné sily, ktoré vyvolávajú aeropulzné hluky stláčaním vzduchu.

Hluk pri rotačnom rozpojení sa skladá z týchto zložiek:

- hluk spôsobený horninou, ako hluk generovaný pri vrtaní bezprostredne záberom britu nástroja,
- hluk vyvolaný rotačným rozpojením, pretože pri vrtaní je nástroj aj hornina budená krátkymi impulzmi reznej sily k chveniu; tento hluk sa prejavuje tým silnejšie, čím je hornina náchylnejšia k chveniu, teda na hluk vplýva nielen rozmer horniny, ale aj smer budenia nástroja,

<sup>1</sup> host. doc. Ing., František Krepelka, PhD., Ústav Geotechniky SAV, Watsonova 45, 043 53 Košice, [krepelka@saske.sk](mailto:krepelka@saske.sk)

<sup>2</sup> Ing. Jozef Futó, PhD., KiaRP, F BERG, TU v Košiciach, Boženy Němcovej 3, č. dv. 405 tel.: +421-55-602 5174, [Jozef.Futo@tuke.sk](mailto:Jozef.Futo@tuke.sk)  
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 18. 4. 2007)

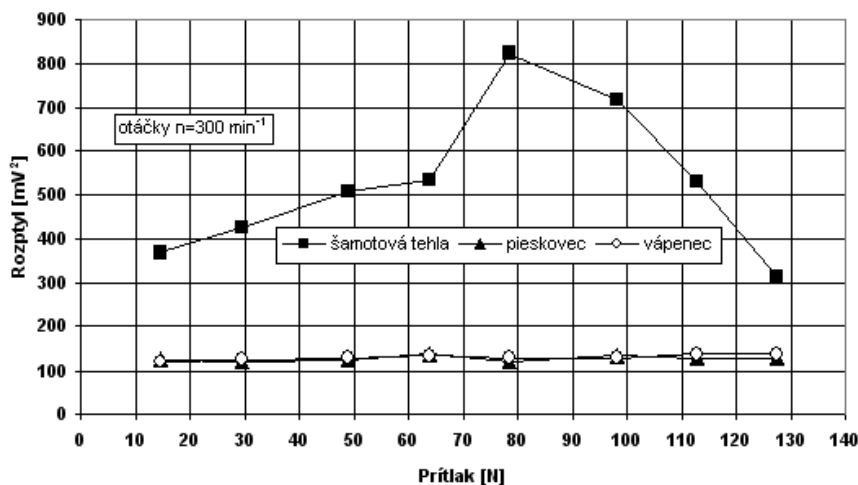
- vplyv otupenia britu na hluk obrábania je rozhodujúci až pri väčšom otupení, keď rastú rezné sily, čo následne silnejšie budí horninu k vibráciám.

Pri analýze hluku je dôležité stanoviť presnú príčinu jeho vzniku, t.j. zdroj aj 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. Pri podobných prácach, (Kumičová, Poppeová, 1994, Teti, Dornfeld, 1989, Neustupa, Létavková, 2005), ktoré sa zaoberali využitím signálu akustickej emisie monitorovanej pri procese odstraňovania kovu rezným nástrojom sa konštatuje, že rezný nástroj generuje vznik elastických vln, čo je spojené s uvoľňovaním vibračnej vlny v mriežke, spôsobenej zmenou vnútornej štruktúry materiálu. Signály akustickej emisie pri rezaní kovu sa klasifikujú do dvoch typov signálov, a to na spojité a impulzový typ akustickej emisie signálu. Spojitá emisia zodpovedá plastickej deformácii materiálu, kým impulzová emisia je pozorovaná najmä počas vzniku a rastu trhlin v materiáli, pri lámaní triesky a jej náradoch, prípadne namotávaní sa triesky na rezný nástroj. V prípade, že v ďalšej úvahe budeme vychádzať z uvedených poznatkov, porovnaním typov kryštalickej mriežky kovov (hlavne ocelí a liatin), ktorá je kubická, resp. plošne centrovaná kubická, priestorovo centrovaná kubická alebo šesťuholníková mriežka (Kello, Tkáč, 1969), kryštalická mriežka rozpojovaných hornín je vo väčšine prípadov jednoklonná, trojklonná, trojuholníková alebo kosoštvorcová. Zároveň porovnaním morfológie vrtnej drte povrchu zrn študovaných hornín na rastrovom elektrónovom mikroskope a ich energetickej náročnosti rozpojovania môžeme konštatovať, že pri rozpojovaní hornín rezaním pôjde v prevažnej miere o akustickú emisiu, ktorú môžeme klasifikovať ako emisiu impulznú. Uvedený predpoklad potvrdzuje aj skutočnosť, že pri dodržaní fyzikálnej korektnosti tzv. energetickej teórie pevnosti je zaručený len vtedy, keď za procesom pružnej deformácie nasleduje plastická deformácia a nie ihneď porušenie. Preto sa v mnohých prácach predpokladá, že pri rozpojovaní existuje štádium plastickej deformácie aspoň na mikroúrovni (Krúpa, Pinka, 1998).

### Vyhodnotenie akustických prejavov v závislosti na hľadaní optima pri rozpojovaní hornín

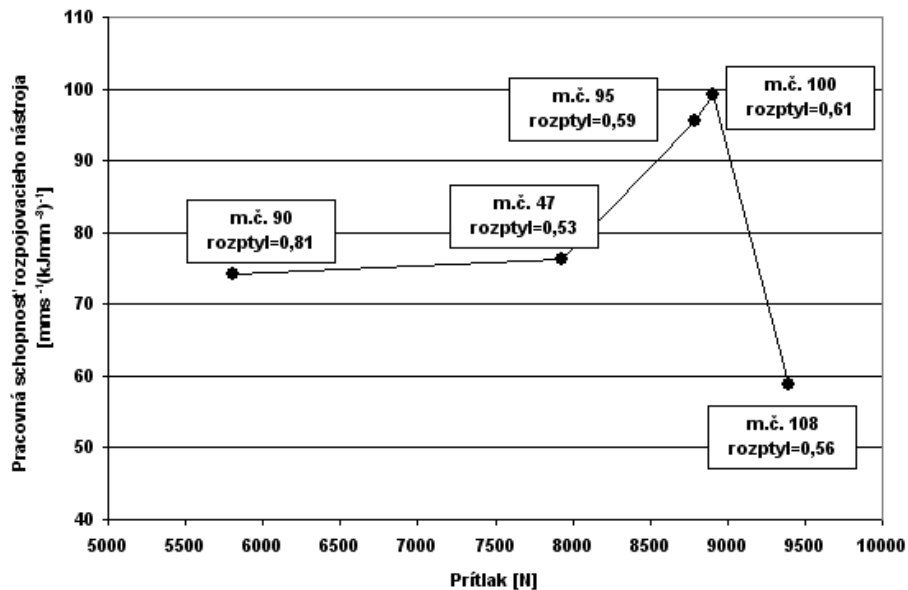
Zdroje akustickej emisie pri rozpojovaní hornín je možné špecifikovať oveľa ťažšie, hlavne s prihliadnutím na homogenitu rozpojovaného materiálu, zložitejšiu kryštalickú stavbu, ako aj meniaci sa mechanizmus rozpojovania hornín pri rôznych režimoch vrtania. Avšak na základe energetickej teórie porušovania a rozpojovania môžeme usúdiť, že v prípade optimálneho rozpojovania hornín sa hlavná časť energie rozpojovania spotrebovala na tvorbu nových povrchov vznikajúcich produktov rozpojenia a teplo, a nie na plastické deformácie, prípadne iné druhy deformácií, čo tiež podporuje predpoklad klasifikovať akustickú emisiu pri rozpojovaní hornín v rozhodujúcej miere ako impulznú. Uvedené predpoklady potvrdzuje aj tá skutočnosť, že pri optimálnom režime rozpojovania rozptyl snímaných dát akustického signálu narastá práve v oblasti optima, obr. 1, obr. 2. a obr. 3.

Už v laboratóriu priameho riadenia pri jednoduchých experimentoch s rotačným rozpojovaním a súčasne snímaným akustickým signálom môžeme sledovať na objekte-šamotová tehla, že mechanické vlastnosti pri vrtaní rozochveli nástroj aj tehlu, kým pieskovec a vápenec pri rovnakom režime neboli dostatočne vybudené, a preto v ich signále nemôžeme sledovať výraznejšie zmeny variability.



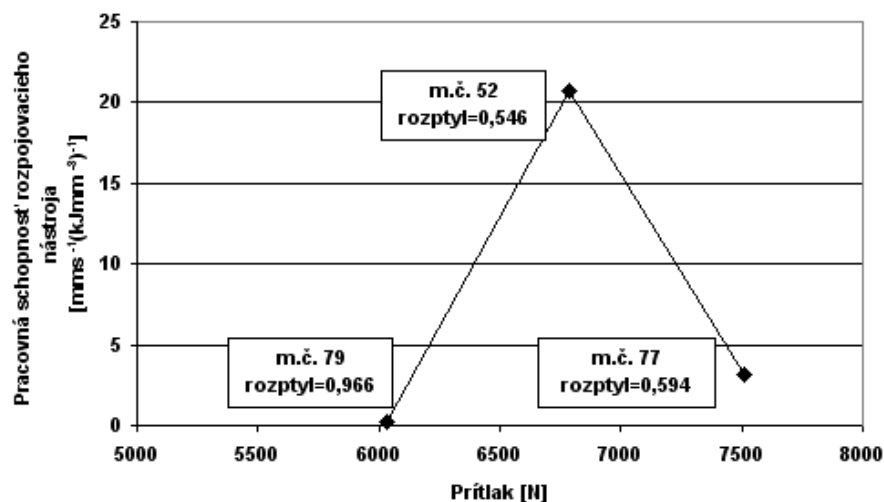
Obr. 1. Porovnanie závislosti rozptylu akustického signálu na prítlaku pri rotačnom vrtaní pre rôzne druhy materiálu pri rôznych režimoch rozpojovania.  
Fig. 1. Comparison of dependences the dispersion of acoustic signal of drilling tool on the thrust at various drilling modes for different materials.

Na obr. 2 môžeme sledovať rovnaký priebeh závislosti pracovnej schopnosti rozpojovacieho nástroja (na stande) pri rozpojovaní andezitu v celom technologickom rozsahu prítlaku skúšobného standu. Pri porovnaní klasickej metódy vychádzajúcej z energetického vyhodnenia a vyhodnotenia rozptylu akustického signálu v závislosti pracovnej schopnosti rozpojovacieho nástroja na prítlaku vidíme že v oblasti blízkej optimu, v rozmedzí od 8000 do 9000 N sa obe metodiky zhodujú. Rozdiel vzniká na začiatku a na konci sledovaného pásma. V oblasti nízkeho prítlaku je možné rozdiel vysvetliť tým, že nástroj je od horniny odrážaný na väčšiu vzdialenosť. Rotujúci nástroj tak dopadá na horninu z väčšej vzdialenosti a má príklepovú zložku výrazne vyššiu ako pri väčšom prítlaku. V oblasti vyššieho prítlaku je rozdiel zdôvodniteľný rozdielnym princípom vyhodnocovania, t. j. v prvom prípade sa jedná o podiel dvoch meraných „okamžitých hodnôt“ (rýchlosti vrtania a mernej objemovej práce), ktoré sú však v porovnaní s časovým úsekom použitým na vyhodnotenie rozptylu akustického signálu oveľa dlhšie, takže v úzkom pásme hraničných prítlakov môže dochádzať k protichodným výsledkom.



Obr. 2. Závislosť rozptylu akustického signálu pri rozpojovaní andezitu pri rôznych režimoch rozpojovania.  
Fig. 2. Dependence of the dispersion drilling tool on the thrust at various drilling modes of andesite.

Na obr. 3. môžeme sledovať priebeh závislosti pracovnej schopnosti rozpojovacieho nástroja (na stande) pri rozpojovaní žuly v rozsahu 6000 až 7500 N, teda vo veľmi úzkom rozsahu prítlaku na skúšobnom stande.



Obr. 3. Závislosť rozptylu signálu zvuku pri rozpojovaní žuly na prítlaku pri rôznych režimoch rozpojovania.  
Fig. 3. Dependence of the dispersion drilling tool on the thrust at various drilling modes of granite.

Pri porovnaní klasickej metódy a vyhodnotenia rozptylu akustického signálu v závislosti pracovnej schopnosti rozpojovacieho nástroja na prítlaku, vidíme, že namerané hodnoty sa rozchádzajú v celom sledovanom rozsahu. Uvedenú skutočnosť môžeme vysvetliť v oblasti nízkych aj vyšších prítlakov rovnakým spôsobom ako pri rozpojovaní andezitu, avšak s tým rozdielom, že andezit je z hľadiska homogenity horniny a smeru vrtania jednotlivých skúšobných vzoriek rovnorodejší ako žula, ktorá je už z hľadiska morfológického oveľa zložitejšia ako andezit. Tým aj jednotlivé merania sú zaťažené väčšou chybou pri obidvoch spôsoboch hľadania optima a protichodné výsledky môžu byť zapríčinené spôsobom získavania dát a ich následným vyhodnotením.

### Záver

Na základe uvedeného vyplýva, že je potrebné nájsť taký časový interval, ktorý by bol vhodný pre porovnanie oboch spôsobov vyhodnocovania. Pri súčasných experimentálnych možnostiach standu to znamená, vykonať viac meraní v celom rozsahu prítlakov, pričom časový interval  $\Delta t$  pre výpočet mernej objemovej práce rozpojovania, okamžitej rýchlosti a následne pracovnej schopnosti rozpojovacieho nástroja by nemal byť menší ako časový ekvivalent dvoch otáčok v príslušnom režime, t. j.  $\Delta t = 0,08-0,25s$ . Pre určenie rozptylu akustického signálu by táto hodnota časového intervalu znamenala pre výpočet použitie 1600 až 5000 vzoriek pri frekvencii vzorkovania 20 000 Hz.

### Pod'akovanie:

*Príspevok bol spracovaný v rámci riešenia projektu VEGA č. 2/6198/26.*

### Literatúra - References

- Kello, V., Tkáč, A.: Fyzikálna chémia, *ALFA, Bratislava, 1969.*
- Krúpa, V., Pinka, J.: Rozpojovanie hornín, *Štroffek, Košice, 1997.*
- Kumičová, D., Poppeová, V.: Možnosti využitia akustickej emisie na monitorovanie rezného procesu, Zborník referátov, z II. akustického seminára Hluk a vibrácie v praxi, Slovenská akustická spoločnosť SAV, Kočovce, 1994, s. 98-101.
- Neustupa, Z., Létavková, D.: Using of the Acoustic Signals for Control Process, *Proceedings of 2nd International Workshop on Earth Science and Technology, Fukuoka, Kyushu University. 2005, p. 232-239, ISBN 4-9902356-6-5.*
- Teti, R., Dornfeld, D.: Modeling and Experimental Analysis of Acoustic Emisison from Metal Cutting, *Journal of Engineering for Industry, vol. 111/1989.*