

Energetický prístup k hodnoteniu rozpojovacieho procesu hornín

Viera Miklúšová¹ a Lucia Ivaničová

Energetic approach to the evaluation of rock disintegration process

Rock disintegration process may be investigated by several methods. Energetic approach represents one of the methods of characterizing the energetic-transformation changes of rock disintegration process, as the rock disintegration occurs after an increase of the inner energy above the binding energy of its components.

The paper review theories of disintegration processes with an energetic approach. Methods of investigation are presented in more details, using a rotary disperser with a calorimeter and an experimental drilling stand, the experimental devices designed and constructed at the Institute of Geotechnics, SAS, providing an imitation of the rotary drilling of rocks. The experimental drilling stand enabled to examine the drilling tools used in industry. The monitoring system installed on the stand scans the regime parameters of the disintegration process. Both the specific disintegration energy and the drilling rate, calculated from the monitored input and output parameters of the process, serve as evaluating variables of the rock disintegration process efficiency.

The main effort in the evaluation of parameters from the rock drilling monitoring is to derive the relations that would provide data necessary for the control of drilling process in a real time.

Key words: cutting process, rock mass, specific disintegration energy, thermal energy, monitoring of drilling

Úvod

Globálne problémy ľudstva sú predmetom intenzívnych výskumov už od 60-tych rokov 20-teho storočia. Problematika globálnych problémov sa v súčasnosti dostáva do popredia čoraz viac. Ide o veľmi aktuálnu tému, pretože spôsob a sila, akým tieto problémy zasahujú a ovplyvňujú život ľudí na Zemi, je čoraz výraznejší.

Ako globálne problémy sú uvádzané:

1. Populačná explózia a preľudnenie Zeme.
2. Hlad a bieda.
3. Prehľbovanie ekonomickej a sociálnej nerovnosti medzi bohatým Severom a chudobným Juhom. Problémy ekonomického, sociálneho a kultúrneho vývoja rozvojových krajín.
4. Ekologické problémy vo svete.
5. Militarizácia svetového hospodárstva a nebezpečenstvo svetovej jadrovej vojny.
6. Surovinové a energetické problémy.
7. Slobodný rozvoj ľudskej osobnosti, dodržiavanie ľudských práv a dôstojná budúcnosť človeka.
8. Civilizačné choroby 20 storočia.
9. Informačná, telekomunikačná a masmediálna závislosť.

V kontexte energetickej politiky je zásadnou otázkou jej budúcnosť – aké budú energetické zdroje, ako zabezpečiť vyváženú bezpečnosť dodávok a environmentálnu udržateľnosť a pod. Rozličné analýzy a prehľady ponúkajú rozdielne scenáre, ktoré sú často až protichodné.

Spomeňme autorov s až skoro katastrofickými scenármi budúcnosti, Thomasa Malthusa a Paula Ehrlicha. Ich bezútešné teórie hovoria o slabnúcich zdrojoch, rastúcom znečistení, hladovaní a utrpení, ak sa nepodarí udržať populačný rast alebo obmedziť spotrebu prírodných zdrojov (Malthus, 1963), (Ehrlich, 1968, 1990). Tiež autor teórie Gaia, britský vedec James Lovelock, v svojej najnovšej knihe Odplata hovorí o apokalypse prerieť planéty (Pravda, 20.9.2006).

Iné sú názory Bjørna Lomborga (Lomborg, 2001) a veľmi optimisticky vyznievajú názory Juliana L. Simona z USA (2006), ktorý dospel k presvedčeniu, že všetky naše prírodné zdroje sú v každom smere neobmedzené, pretože sú produktom nielen samej prírody, ale predovšetkým ľudskej práce, vynaliezavosti a myslenia, (Simon, 2006). Problémom sveta nie je príliš veľa ľudí, ale absencia politickej a ekonomickej neslobody. Väčšia spotreba daná nárastom populácie a rastom príjmov zvyšuje vzácnosť zdrojov a podnecuje zvyšovanie cien. Vyššia cena predstavuje príležitosť, ktorá prinúti vynaliezavých a podnikavých ľudí k hľadaniu nových spôsobov, ako vyriešiť nedostatok. V konečnom dôsledku na tom ľudstvo bude lepšie, ako keby pôvodné problémy s nedostatkom vôbec nenastali. Svoje problémy teda potrebujeme.

¹ Mgr. Viera Miklúšová, PhD., Ing. Lucia Ivaničová, Ústav geotechniky SAV, Watsonova 45, 043 53 Košice, Slovensko, ivanic@saske.sk
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 17. 3. 2008)

A aký je súčasný reálny stav energetickej politiky vyspelého sveta? Prebieha hľadanie nových istých bezpečných a nevyčerpatelných zdrojov energie, napr. výskum termonukleárnej fúzie. Dovtedy je potrebné rozumne využívať to, čo je k dispozícii, napr. aj obnoviteľné zdroje energie.

V SR, možno ako odozva na uvedené prognózy, ale hlavne ako súčasť programov EÚ, je tendencia šetriť, šetriť, šetriť! A čo hovorí Julian L. Simon konkrétne o šetrení? Šetriť vtedy, ak je hodnota z ušetrených zdrojov väčšia ako náklady na toto šetrenie. Presvedčenie, že úspory vnútené druhým sú najlacnejším zdrojom energie, nie je len nezmyselné, ale priamo deštruktívne (Simon, 2006).

Niektoré teórie rozpojovacieho procesu s energetickým prístupom

Už za bývalého režimu bol základnou strategickou líniou hospodárskej politiky Československa urýchlený prechod na energeticko-úsporný typ národného hospodárstva. Znamenalo to maximálnu hospodárnosť a racionalizáciu vo všetkých oblastiach získavania, využívania a premeny energie. V podmienkach baníctva táto úloha znamenala minimálne energetické vstupy pri čo najnižších investičných a prevádzkových nákladoch, snaha o nabádanie aj na optimalizáciu baníckych procesov, aj samotného rozpojovacieho procesu hornín.

Na ÚGt SAV, bývalom Baníckom ústave, sa študuje mechanizmus rozpojovacieho procesu hornín už od založenia ústavu. Hľadajú sa zákonitosti funkčných väzieb medzi vstupnými a výstupnými veličinami rozpojovacieho procesu ako kvalitatívny základ pre vysvetlenie zložitých javov, ktoré tento proces predstavuje. Sú to časti mozaiky, ktorej výsledným obrazom by mala byť všeobecná teória vysvetľujúca a popisujúca rozpojovací proces.

Pod pojmom rozpojovanie tuhej látky - horniny sa rozumie proces, pri ktorom pôsobením vonkajších deformačných síl dochádza k jej rozpojeniu, rozrušeniu, rozdrobeniu na viacej častí. Ak k rozpojeniu dochádza pôsobením mechanických síl na horninu, hovoríme o mechanickom spôsobe rozpojovania. Ak pôsobenie mechanických síl je sprostredkované rozpojovacími nástrojmi rotujúcimi okolo svojej osi, hovoríme o mechanickom rotačnom spôsobe rozpojovania.

Z fyzikálneho hľadiska má hornina charakter tuhej látky, v ktorej každá stavebná častica má svoju stálu rovnovážnu polohu s minimom vnútornej potenciálnej energie a s eliminovaním účinkov síl od ostatných častíc. Akonáhle začne pôsobiť nejaká vonkajšia sila, rovnováha sa poruší, poruší sa energia systému a dochádza k vychýleniu častice z jej rovnovážnej polohy, vznikajú rôzne defekty v látke. Pri silách, ktoré spôsobia nárast vnútornej energie nad väzbovú energiu stavebných častíc, dochádza k rozpojeniu látky. Preto jednou z možností hodnotenia rozpojovacieho procesu je energetický prístup, teda charakterizovanie jeho energeticko-transformačných zmien.

Z literatúry sú známe viaceré teórie rozpojovacieho procesu s energetickým prístupom. Vynútila si ich prax. Boli založené na skúmaní štruktúry látky a rozpojovacích mechanizmov.

Najprv to boli teórie vychádzajúce z kontinuálnej stavby tuhej látky. Známe sú Rittingerova teória, objemová teória Kick-Kirpičeva, teória Bondova a Wangova, Rebinderova, Bondova, Charlesova, Svensonova a Murkesova, Epsteinova.

Iné teórie zakomponovali poznatky z mechaniky lomu, vychádzali z diskontinuálnej stavby tuhej látky a brali do úvahy aj dynamiku šírenia trhlín. Tieto vysvetľovali a korigovali odchýlky predchádzajúcich teórií od reálneho procesu. Patria k nim teórie Barenblatta, Irvina a Orovana, Mottu a iné. Ani tieto nedávali realite zodpovedajúce výsledky.

Griffith zavádza pojem kritickej dĺžky trhliny, pri dosiahnutí ktorej nastáva labilný stav a trhlina sa zväčšuje sama využívaním objemovej deformačnej energie z okolia. Aj Griffithova teória mala nedostatky. Poukazovali na nich, robili korekcie a ďalej zapracovávali nové poznatky napr. z teórie dislokácií, štatistickej mechaniky, termodynamiky, chémie ďalší výskumníci, napr. Frenkel, Rebinder, Cottrel, Felbeck, Friedel, Tetelman, Hahn, Gilbert, Reid, Baret, Novožilov, Stroh, Gilman, Smith, Orovan, Eyring.

Súhrne a podrobnejšie sú tieto teórie uvedené v prácach (Sekula, 1979; Miklúšová, 1989).

Metodiky skúmania rozpojovacieho procesu hornín na ÚGt SAV

Rotačný dispergátor s kalorimetrom

Novým smerom v opise fyzikálno-chemických procesov a mikroprocesov, ktoré prebiehajú v reálnych materiáloch pri ich rozpojení, bol smer založený na využití termodynamických zákonov o fyzikálnom stave javu v celku. Napriek tomu, že neštuduje detailne štruktúru látky a zložitý charakter rozpojovacích mechanizmov, umožňuje robiť hodnoverné závery.

Termodynamika vychádza z predstavy o sústavách zložených z viacerých podsústav. Skúma zmenu parametrov charakterizujúcich podsústavu pod vplyvom vonkajšieho pôsobenia, ako aj pod vplyvom vzájomného pôsobenia podsústav. Jednou zo základných veličín charakterizujúcich stav sústavy je vnútorná energia.

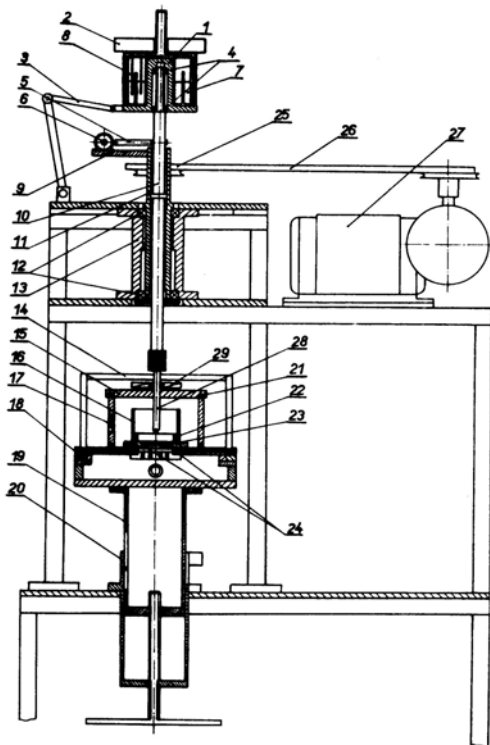
Rozpojovanie horniny je možné považovať za uzavretú sústavu zloženú z troch homogénnych podsústav, podsústavy rozpojovaného materiálu – horniny, podsústavy rozpojovacích elementov a podsústavy okolia. Táto uzavretá sústava má svoju vnútornú energiu U . Po dodaní energie zvonku - vonkajšej energie W , sa vnútorná energia sústavy zmení o ΔU . Pre súčet vnútornej a vonkajšej energie platí veta o zachovaní energie uzavretej sústavy $W + \Delta U = 0$, teda $\Delta U = W$. Vonkajšia energia dodaná do sústavy sa rozdelí do troch uvedených podsústav, spotrebuje sa na samotné rozpojenie horniny W_m , na opotrebovanie rozpojovacích indentorov W_i a časť sa dostane do okolia v podobe viacerých prejavov ako sú teplo Q , zvuk, triboluminiscenčné, mechanochemické a iné efekty. Ak zanedbáme zvuk a ďalšie efekty okrem tepla Q , potom môžeme pre zmenu stavu sústavy písať zjednodušenú rovnicu

$$\Delta U = W = W_m + W_i + Q. \quad (1)$$

Z tejto koncepcie vychádzali riešenia úloh na ÚGt SAV v oddelení rozpojovania hornín v rokoch 1970-1990 pod vedením prof. Ing. Felixa Sekulu, DrSc. Realizovali sa experimentálne kalorimetrické merania na rotačnom dispergátore s kalorimetrom s adiabatickou clonou, obr. 1, (Miklúšová, 1989). Toto zariadenie umožňovalo získať údaje o spotrebovanej energii a uvoľnenom teple v procese rozpojovania.

Táto originálna laboratórna aparatúra skonštruovaná a zostrojená na našom pracovisku umožňovala imitovať proces vŕtania a mletia. Pri vŕtaní bola použitá korunka vyhotovená špeciálne pre vŕtanie v kalorimetri. Bola to diamantová impregnovaná dvojkanáliková jemnozrná korunka s vŕtaním na jadro. Ako experimentálny materiál na vŕtanie bol použitý synteticky vyrobený monokryštál fluoridu lítneho LiF vysokej čistoty a masívny vápenec CaCO_3 bez zjavných trhlín, aby sa mohol vylúčiť vplyv inhomogenít materiálu na rozpojovací proces.

Experimenty boli robené pri rôznych konštantných prítlakoch F a pri rovnakých konštantných otáčkach n . Počas rozpojovacieho procesu vŕtaním boli snímané, zaznamenávané a vyhodnocované vstupné veličiny, prítlak F a krútiaci moment M_k a z výstupných veličín uvoľnené teplo Q . Ďalej boli zaznamenávané otáčky n , čas vŕtania t a boli zisťované úbytok hmotnosti vŕtaného materiálu Δm a hmotnosť korunky pred experimentom a po ňom, tiež povrch rozpojeného produktu ΔS .



Obr. 1. Schématický náčrt dispergátora s kalorimetrom.
Fig. 1. Scheme of the disperser with the calorimeter.

Z uvedených veličín bola pre jednotlivé experimenty vypočítaná energia W dodaná na rozpojovanie podľa vzťahu

$$W = 2\pi n M_k t. \quad (2)$$

Pri experimentovaní nebol zistený žiaden hmotnostný úbytok korunky, ani neboli na nej viditeľné žiadne plastické deformácie. Použitá diamantová korunka predstavovala veľmi pevný nástroj voči podstatne menej pevným a málo abrazívnym materiálom. Preto mohol byť prijatý predpoklad, že podiel nevratne akumulovanej energie v rozpojovacích indentoroch korunky bol zanedbateľný. Na základe uvedeného bola energia na opotrebovanie rozpojovacích indentorov W_i zanedbaná, teda $W_i = 0$ a horeuvedená rovnica (1) upravená na tvar

$$W = W_m + Q \quad (3)$$

Časť energie dodanej do sústavy sa premenila na teplo a časť sa spotrebovala na rozpojenie vrátaného materiálu, teda tvorbu nových povrchov ΔS . Využívajúc poznatky z mechaniky lomu možno energiu W_m zapísať ako

$$W_m = \gamma_{ef} \Delta S, \quad (4)$$

kde γ_{ef} - merná efektívna povrchová energia.

Z rovníc (3) a (4) potom vyplynie vzťah pre mernú efektívnu povrchovú energiu γ_{ef} v tvare

$$\gamma_{ef} = (W - Q) / \Delta S, \quad (5)$$

kde $\gamma_{ef} = \gamma + \gamma_{pl}$,

pričom

γ - energia spotrebovaná na tvorbu rozpojeného produktu s jednotkovým povrchom bez plastickej deformácie v objeme produktu, tj. materiálová konštanta,

γ_{pl} - energia spotrebovaná na plastické deformácie produktu s jednotkovým povrchom.

Rovnica (3) popisuje distribúciu energie rozpojovacieho procesu pri zavedení zjednodušenia pri rešpektovaní konkrétnych faktov. Z dodanej energie W sa len časť využije na rozpojenie horniny W_m a zvyšok sa vyžiari vo forme tepla Q . Potom pomer využitej W_m a dodanej energie W predstavuje účinnosť η rozpojovacieho procesu z hľadiska distribúcie energie

$$\eta = W_m / W, \quad (6)$$

kde

$\eta \in \langle 0 - 1 \rangle$.

Úpravou rovnice (3) so zohľadnením známeho objemu rozpojeného materiálu V , pri označení $W/V = w$, $W_m/V = w_m$ a $Q/V = q$ dostaneme vzťah

$$w = w_m + q, \quad (7)$$

kde

w - merná objemová práca rozpojovania,

w_m - merná objemová práca rozpojovania nevratne akumulovaná v hornine,

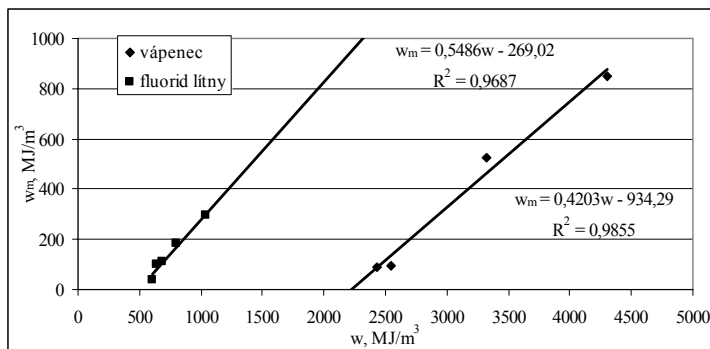
q - merná objemová energia vyžiarená vo forme tepla.

Úpravou získame vzťah

$$w_m = \eta w, \quad (8)$$

ktorý je priamou úmernosťou. Avšak experimentálne výsledky zobrazené na obr. 2 predstavujú lineárnu závislosť neprechádzajúcu počiatkom. Priama úmernosť by platila v prípade, že by sme začali snímať proces od okamihu počiatku rozpojovania horniny. Toto sa pri experimente nedá uskutočniť. V skutočnosti je najprv potrebné do horniny naakumulovať nejakú energiu, aby ju bolo možné rozpojiť.

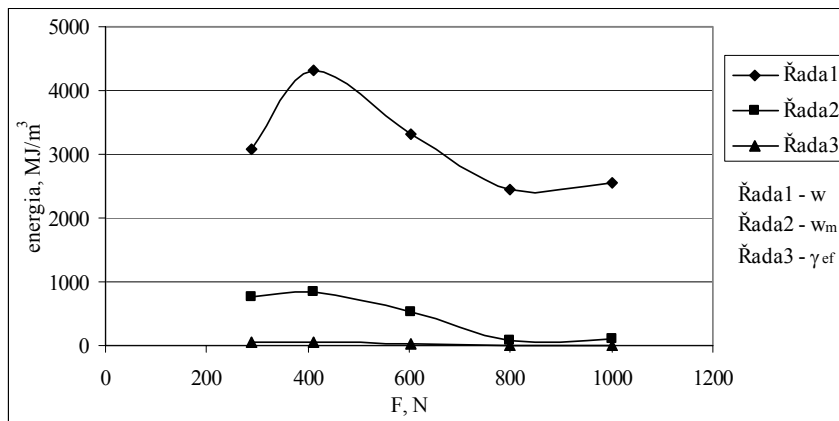
To neuberá na váhe najdôležitejšiemu výsledku kalorimetrických meraní, ktorý predstavuje kvantitatívne zhodnotenie tepla uvoľneného v procese rozpojovania.



Obr. 2. Lineárne závislosti w_m od w pre vápenec a fluorid lítny.

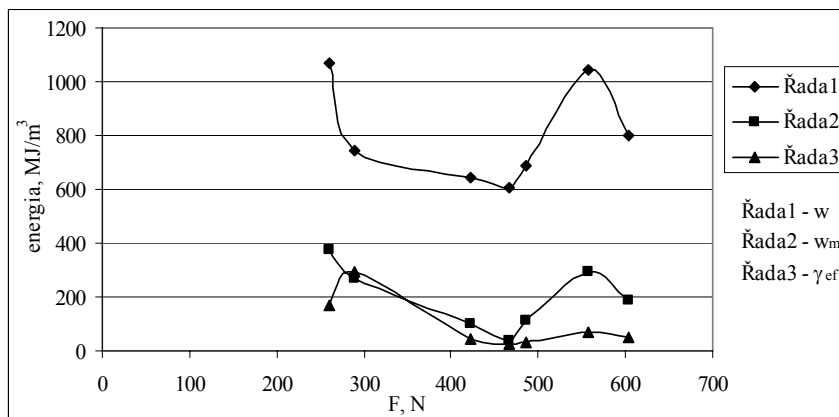
Fig. 2. Linear dependences of w_m on w for lime stone and lithium fluoride.

Niektoré z výsledkov kalorimetrických meraní sú na obrázkoch 3 a 4.



Obr. 3. Namerané hodnoty energií w , w_m a γ_{ef} od prítlaku pre vápenc.

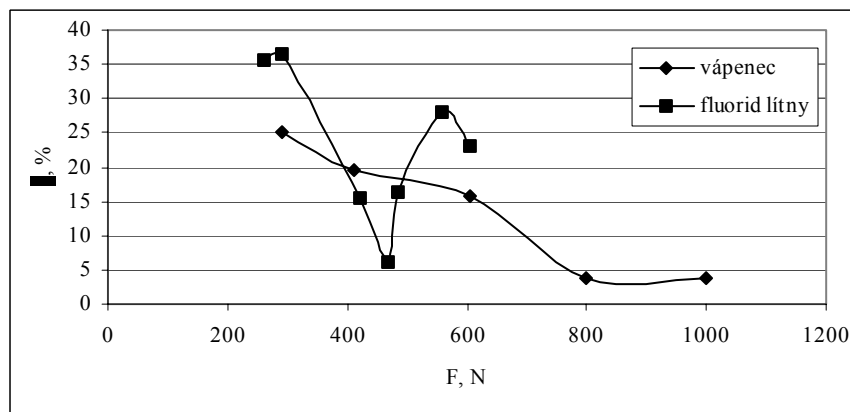
Fig. 3. Dependences of w , w_m and γ_{ef} on the thrust force (limestone).



Obr. 4. Namerané hodnoty energií w , w_m a γ_{ef} od prítlaku pre fluorid lítový.

Fig. 4. Dependences of w , w_m and γ_{ef} on thrust force (lithium fluoride).

Z obrázkov 3 a 4 je vidieť, že sledované veličiny vykazujú v závislosti od prítlaku minimum, a to pri tých istých hodnotách prítlaku.



Obr. 5. Veličina η v závislosti od prítlaku.

Fig. 5. Parameter η depending on the thrust.

K dôležitým výsledkom patrí poznatok, viditeľný aj na obrázku 5, že účinnosť distribúcie energie η nie je konštantnou veličinou, ale mení sa v závislosti od prítlaku, resp. režimu rozpojovacieho procesu pri rotačnom vŕtaní. Jej hodnoty sa pohybujú v rozmedzí od 4 do 37 %.

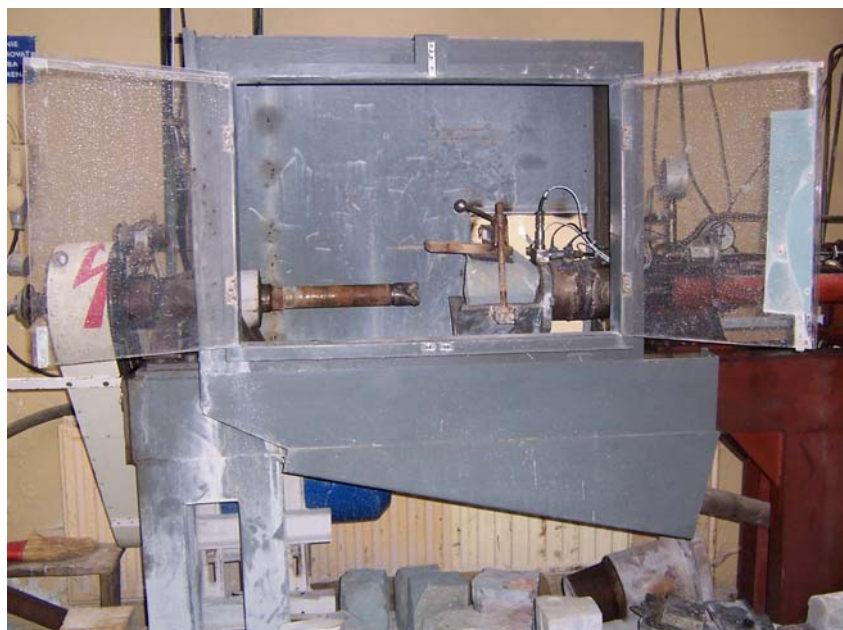
Toto sú základné výsledky vyplývajúce zo spracovania kalorimetrických meraní rozpojovacieho procesu, ktoré poslúžili ako metodické podklady, s ktorými sa ďalej pokračovalo vo výskume.

Experimentálny vrtný stand

Existuje viacero analytických metód posudzovania problému rozpojovania horním od rôznych autorov, ktorí vysvetľujú rozpojovacie mechanizmy tuhých látok na zjednodušenom modeli problému, napr. Šrejner, Golubincev.

Iní využívali na získanie informácií o zákonitostiach rozpojovania hornín vrtacie stroje, ktoré umožňujú imitovať proces vrtania, Dvornikov, Dončenko, Alimov, Frolov, Sekula a kol. (Sekula, 1979).

Na ÚGt SAV bol postavený experimentálny stand usporiadaný na rotačné vrtanie vzoriek hornín s nástrojmi z praxe až do priemeru 75 mm obr. 6.



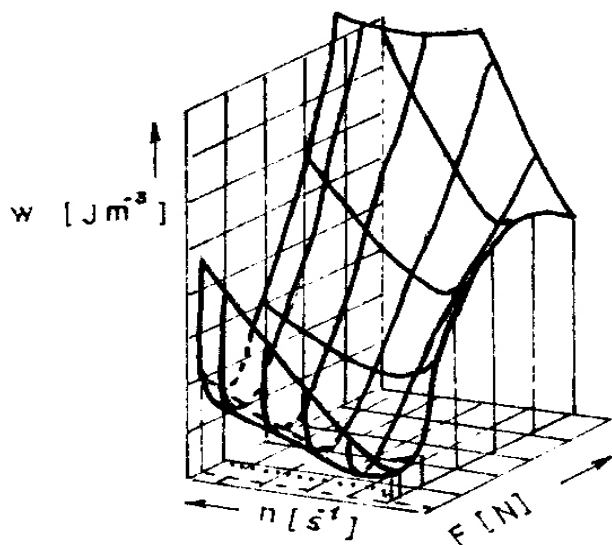
Obr. 6. Experimentálny vrtný stand.
Fig. 6. Experimental drilling stand.

Pri rotačnom vrtaní hornín na stande boli snímané a registrované veličiny rozpojovacieho procesu, a to menovite prítlak na nástroj F , krútiaci moment M_k , otáčky nástroja n a rýchlosť vrtania v . Z týchto nameraných hodnôt a zo známych údajov geometrie nástroja bola určovaná merná objemová práca rozpojovania w . Je to energia spotrebovaná v procese rozpojovania a prepočítaná na jednotku rozpojeného objemu horniny. Dá sa vypočítať podľa vzťahu

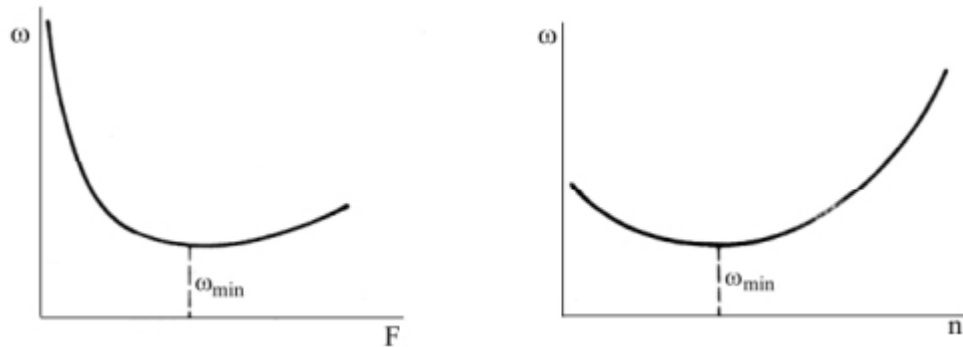
$$w = 2\pi n M_k / S v, \quad (9)$$

kde S je plocha rozpojovaného prierezu vrtu.

Analýza veľkého počtu výsledkov vrtania hornín na stande ukázala, že merná objemová práca rozpojovania vykazuje v závislosti od prítlaku a otáčok minimum w_{min} . Axonometrické zobrazenie tohto priebehu je na obrázku 7. Schématické zobrazenie rezu tohto priebehu pri konštantných otáčkach a pri konštantnom prítlaku je na obrázku 8.



Obr. 7. Axonometrické zobrazenie mernej objemovej práce rozpojovania v závislosti od prítlaku a otáčok.
Fig. 7. Axonometric illustration of the specific disintegration energy depending on the thrust and revolutions.



Obr. 8. Závislosť mernej objemovej práce rozpojovania od prítlaku pri konštantných otáčkach (vľavo), závislosť mernej objemovej práce rozpojovania od otáčok pri konštantnom prítlaku (vpravo).

Fig. 8. Dependence of the specific disintegration energy on the thrust at constant revolutions (left), dependence of the specific disintegration energy on the revolutions t at a constant thrust (right).

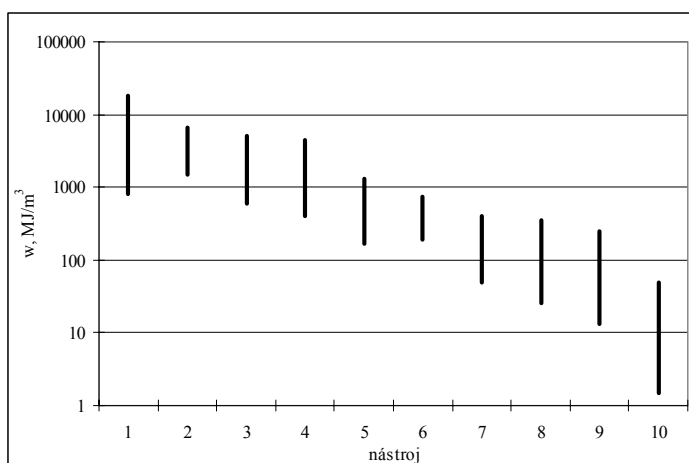
Je zrejme, že ak chceme znížiť energetickú náročnosť rozpojovacieho procesu, je potrebné zvoliť režimové parametre čo najbližšie k parametrom minima mernej objemovej práce rozpojovania w_{min} . Teda merná objemová práca rozpojovania w slúži ako optimalizačný parameter rozpojovacieho procesu.

Merná objemová práca rozpojovania w je odrazom vlastností rozpojovanej horniny a vlastností použitého rozpojovacieho nástroja počas rozpojovacieho procesu.

Boli dosiahnuté niektoré čiastkové výsledky o ich vplyve. Pri rotačnom vŕtaní s impregnovanými nástrojmi existuje lineárna závislosť neprechádzajúca počiatkom medzi minimom mernej objemovej práce rozpojovania w_{min} a redukovanou vŕtáčnou pevnosťou, ako pevnostnou charakteristikou horniny. Opotrebovanie vsadzovaných diamantových korúnok zvyšuje hodnotu minima energie a posúva ho k vyšším prítlakom.

Ďalšie výsledky aj metódy ich interpretácie prispeli k rozvoju teórie o rozpojovacom procese hornín pri rotačnom vŕtaní. Sú publikované v mnohých prácach bývalých aj terajších pracovníkov ÚGt, (Sekula, 1979, Koči, 1974, Bejda, 1978, Krúpa, 1981, Krajecová, 1983, Krepelka, 1986, Miklúšová, 1989, Lazarová, 1994).

Merná objemová práca rozpojovania w závisí aj od rozpojovacej metódy (Miklúšová, 1989). Jednotlivé rozpojovacie technológie vykazujú veľké rozdiely v spotrebe energie na rozpojovanie. Na Ústave geotechniky boli v laboratórnych podmienkach pri vŕtaní na stande odskúšané nástroje rôznych konštrukcií a priemerov, išlo o diamantové korúnky, tvrdokovové korúnky a valivé dláta. Z týchto meraní, ako aj z meraní in situ na komínovacích súpravách či raziacich strojoch bola určovaná merná objemová práca rozpojovania w . Obrázok 9 predstavuje rozsahy nameraných hodnôt w pre jednotlivé druhy nástrojov a rozpojovacích mechanizmov, pričom vŕtanie prebiehalo v rôznorodom horninovom prostredí. Nástroje sú zoradené od 1 k 10 so zväčšujúcim sa priemerom D vŕtaného diela.



Legenda k obrázku:

- 1 - impregnované korúnky so syntetickými diamantami o priemere $D = 0,046$ m
- 2 - impregnované korúnky s prírodnými diamantami, $D = 0,046$ m
- 3 - vsadzované korúnky so syntetickými diamantami, $D = 0,046$ m
- 4 - vsadzované korúnky s prírodnými diamantami, $D = 0,046$ m
- 5 - tvrdokovové korúnky, $D = 0,042 - 0,075$ m
- 6 - valivé dláta skúšané na stande, $D = 0,050 - 0,075$ m
- 7 - komínovacia súprava BESPADRILL, $D = 0,28$ m
- 8 - raziaci stroj RS-24-27 H, $D = 2,7$ m
- 9 - WIRTH TB II 330 H, $D = 3,3$ m
- 10 - DEMAG TVM 55 H, $D = 5,5$ m.

Obr. 9. Rozsahy mernej objemovej práce rozpojovania w pre jednotlivé nástroje a mechanizmy.

Fig. 9. Ranges of the specific disintegration energy w for individual tools and mechanisms.

Z obrázku 9 možno vidieť, že merná objemová práca rozpojovania w so zväčšovaním priemeru nástrojov jednoznačne klesá aj napriek tomu, že ide o rôzne mechanizmy rozpojovania, rôzne nástroje a rôzne druhy hornín.

Záver

Pri spracovávaní a vyhodnocovaní snímaných veličín pri vŕtaní je cieľom odvodiť vzťahy, ktoré by umožnili v reálnom čase v priebehu rozpojovacieho procesu poskytovať údaje pre určenie charakteristík horniny, jej stavu, či určenie stavu opotrebenia nástroja a následne riadiť rozpojovací proces podľa požiadaviek praxe. Len pri poznaní uvedeného je možné ovplyvniť proces s cieľom minimalizácie spotreby energie.

Tento príspevok vznikol v rámci riešenia grantovej úlohy 2/6198/26.

Literatúra - References

- Bejda, J.: Niektoré problémy rozpojovania hornín diamantovými nástrojmi. *Kandidátska dizertačná práca, Banický ústav SAV v Košiciach, 1978.*
- Ehrlich, P. R.: *The Population Bomb. New York, Ballantine, 1968.*
- Ehrlich, P. R., Ehrlich, A. H.: *The Population Explosion. New York, Simon and Schuster, 1990.*
- Koči, M.: Problémy technickej optimalizácie diamantového vŕtania. *Kandidátska dizertačná práca, Banický ústav SAV v Košiciach, 1974.*
- Krajecová, O.: Metódy výberu diamantového nástroja. *Kandidátska dizertačná práca, Banický ústav SAV v Košiciach, 1983.*
- Krepelka, F.: Rozpojovanie hornín pri beztrhavinovom plnoprofilovom mechanickom razení. *Kandidátska dizertačná práca, Banický ústav SAV v Košiciach, 1986.*
- Krúpa, V.: Matematické modelovanie diamantového vŕtania na základe standového výskumu. *Doktorská dizertačná práca, Banický ústav SAV v Košiciach, 1981.*
- Lazarová, E.: Vybrané problémy plnoprofilového razenia. *Kandidátska dizertačná práca, Ústav geotechniky SAV Košice, 1994.*
- Lomborg, B.: Skeptický ekolog. Jaký je skutočný stav sveta? *Cambridge University Press, 2001, 588 s.*
- Malthus, T. R.: *Essay on Population. Londýn, J. Johnson, 1803. Nové vydanie: Principles of Population. 5th ed. Homewood, Ill.: Irvin, 1963.*
- Miklúšová, V.: Energeticko-transformačné aspekty rozpojovacieho procesu hornín pri rotačnom vŕtaní. *Kandidátska dizertačná práca KDP, Banický ústav SAV v Košiciach, 1989.*
- Závislosť od ropy vyrieši v budúcnosti vodík, *Pravda, streda 20.9.2006, Názory, str. 15.*
- Sekula, F.: Teoretické a technologické aspekty rozpojovania hornín. *Doktorská dizertačná práca, Banický ústav SAV v Košiciach, 1979.*
- Simon, J.L.: Největší bohatství. *Brno, CDK, 2006, ISBN 80-7325-082-9, 666 s. z angl. originálu The Ultimate Resource 2.*