

Energetické aspekty opotrebovania rozpojovacích nástrojov

Vít'azoslav Krúpa a Edita Lazarová¹

Energetic aspects of boring tools wear

In the process of rock desintegration a boring tool is subjected to the wear. From a viewpoint of the bit wear, changes on the contact of operating tool with rock at its one-shot and rerun load or overload by external forces are technically significant. Their change results in the degradation of bit working properties and the output of desintegration also decreases. In the major part of cases, together with the bit wear, the contact area of a tool with a rock massifs enhanced and this fact causes an increase of fines (dust) creation during the desintegration. The wear is always connected with a friction, forces action, deformation, damage, and the increased mechanical work consumption. As to energetic aspects of bit wear, the wear was observed as a function of bore length and in the most of cases as a dependence of the operating time. A linear dependence between the wear intensity (bit wear per unit of bore length) and the specific energy of desintegration (energy consumed per volume unit of desintegrated rock) was experimentally verified. Thus, the changes of bit wear can be implicitly observed by monitoring the specific energy. At the same time, the specific energy is a function of input parameters of the desintegration process and in the field of applicable external forces it shows an extreme (minimum). Therefore, the specific energy is useful for the extreme optimisation of the rock desintegration process from the viewpoint of the bit wear. It was mathematically proven that the tool output at the desintegration exponentially decreases with the amount of work consumed in the rock desintegration. The derivation of this knowledge comes out from the Krendelew equation.

Key words: boring tools wear, specific energy of desintegration.

Úvod

V procese rozpojovania hornín dochádza k opotrebovaniu rozpojovacieho nástroja. Rozpojenie horniny je žiaducim efektom, na druhej strane však opotrebovanie nástroja chápeme ako negatívny jav, ktorý sa snažíme v praxi potlačiť na najnižšiu možnú mieru. Opotrebovanie je definované ako nežiaduca zmena povrchu alebo rozmerov tuhých telies, spôsobená buď vzájomným pôsobením funkčných povrchov, alebo funkčného povrchu a média, ktoré opotrebovanie vyvoláva. Prejavuje sa odstraňovaním alebo premiestňovaním častíc hmoty z funkčného povrchu mechanickými účinkami, prípadne je sprevádzané inými vplyvmi, ako napr. chemickými, elektrickými, následkom čoho sa zhoršuje kvalita pracovných povrchov, čím sa znižuje ich funkčná spôsobilosť a životnosť. Opotrebovanie dvoch tuhých telies je vždy spojené s trením a chápe sa ako dôsledok trecieho namáhania v povrchových oblastiach.

Technicky významné sú z hľadiska opotrebovania zmeny, ku ktorým dochádza na funkčnom povrchu pri jeho jednorázovom alebo opakovanom zaťažení alebo preťažení vonkajšími silami. Pritom prichádza zvyčajne k mikroplastickej alebo makroplastickej deformácii, k spevnieniu povrchu pri vzniku vnútorných pnutí, resp. u niektorých typov materiálov aj k štruktúrnym zmenám. Pri zaťažovaní materiálu ľubovoľného telesa, sa všetky pružnostné úlohy riešia pri splnení dvoch podmienok, aby silové faktory (vonkajšie zaťažujúce sily a zložky tenzora napätí odvodené z vnútorných síl) spĺňali podmienku rovnováhy vo vnútri a tiež na povrchu telesa, a súčasne aby deformačné faktory (zložky tenzora deformácie) spĺňali podmienku kompatibility.

Vzájomná súhra síl a deformácií, pri ktorej musia byť splnené obidve podmienky, je zahrnutá do veličiny, ktorá závisí ako na silových, tak aj na deformačných faktoroch. Touto veličinou je mechanická práca.

Pri rozpojovaní hornín mechanickými spôsobmi je mechanická práca prenášaná na rozpojovanú horninu pôsobením povrchových síl, ktoré vznikajú pri kontakte telies.

Energetické podmienky deformácie a rozpojenia

Mechanická práca sa vykoná buď pôsobením vonkajšej sily F (predpokladá sa konštantná hodnota tejto sily) na dráhe du (elementárne posunutie)

$$A = \int_0^u F du \quad [J], \quad (1)$$

alebo pri predpísanom (teda konštantnom) posunutí pôsobiacou silou

¹ Ing. Vít'azoslava Krúpa, PhD., Ing. Edita Lazarová, PhD., Ústav geotechniky SAV, 04353 Košice, Watsonova 45, e-mail: krupa@saske.sk, lazarova@saske.sk
(Recenzované, revidovaná verzia dodaná do 10.12.2001)

$$A^* = \int_0^F u \, dF \quad [J], \quad (2)$$

kde A^* je doplnok pretvárnej mechanickej práce A . Integrály (1) a (2) je možné vypočítať, ak je známa závislosť medzi F a u . V špeciálnom prípade, keď je táto závislosť lineárna, teda napr.

$$F = k u \quad \text{alebo} \quad u = \frac{F}{k}, \quad (3)$$

kde k je materiálová konštanta, vychádza $A=A^*$, pretože

$$A = k \int_0^u u \, du = k \frac{1}{2} u^2 = \frac{1}{2} F u \quad [J], \quad (4)$$

$$A^* = \frac{1}{k} \int_0^F F \, dF = \frac{1}{2k} F^2 = \frac{1}{2} F u \quad [J], \quad (5)$$

Obdobne, pri jednorozmernej napätosti, ak platí medzi napätím σ a deformáciou ε lineárny Hookov vzťah pre ťah a tlak

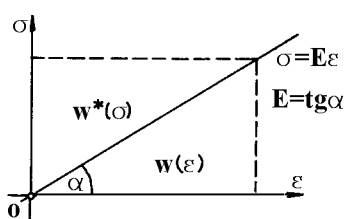
$$\sigma = E \varepsilon \quad [Pa], \quad (6)$$

kde E je modul pružnosti v ťahu alebo tlaku, alebo tiež tzv. Youngov modul, pre intenzitu energie deformácie pôsobiacich vnútorných síl a jej doplnku platia vzťahy

$$w = E \int_0^\varepsilon \varepsilon \, d\varepsilon = \frac{E}{2} \varepsilon^2 = \frac{1}{2} \sigma \varepsilon, \quad \text{resp.} \quad w^* = \frac{1}{E} \int_0^\sigma \sigma \, d\sigma = \frac{\sigma^2}{2E} = \frac{1}{2} \sigma \varepsilon \quad [Pa]. \quad (7)$$

Rozmerovo sa pretvárna mechanickej práce a jej komplementárny doplnok líši od intenzity energie deformácie a jej doplnku o rozmerový (objemový) faktor.

Grafickú interpretáciu intenzity energie deformácie vyjadruje obr.1.



Obr.1. Grafická interpretácia intenzity energie deformácie a jej komplementárneho doplnku pri lineárnom vzťahu medzi napätím a deformáciou.

Fig.1. Graphical interpretation of the deformation energy intensity and the interpretation of the complementary supplement in the linear relation between the stress and the strain.

Technickou obdobou intenzity energie deformácie je pri mechanických rozpojovacích procesoch tzv. merná objemová práca rozpojovania, ktorej veľkosť stanovuje veľkosť napätia a deformácie v okamihu rozpojenia horniny. Matematicky to vyjadruje objemová teória rozpojovania Kick Kirpičeva vzťahom (Lazarová, 1994)

$$w = \frac{\sigma_M^2}{2E} \quad [MJm^{-3}], \quad (8)$$

kde σ_M je napätie v okamihu porušenia.

Vzťah (8) sa stal základom tzv. energetickej teórie pevnosti, ktorá má v súčasnosti široké uplanenie v praxi pri hodnotení energetickej náročnosti procesu rozpojovania hornín. Hlavná časť energie rozpojovania sa podľa súčasných interpretácií tejto teórie spotrebuje na tvorbu nových povrchov vznikajúcich produktov rozpojenia, alebo na plastické deformácie (Rodin, 1992, Novik, 1988). Podľa Rodionova (1986), hlavný podiel energie rozpojenia je spotrebovaný na procesy porušovania v okolitej zóne vzniku napätí a deformácií, t.j. v kontaktnej zóne. Teda kontaktná zóna interakcie rozpojovacieho nástroja s horninou, t.j. kontaktujúci sa povrch horniny a tiež nástroja, sú energeticky zaťažené zhodnou hodnotou energie deformácie (prevažná časť energie pôsobiacej na nástroj) a hodnotou práce rozpojovania (prevažná časť energie pôsobiacej na horninu). Fyzikálne je korektnosť tejto teórie zaručená len vtedy, keď za procesom pružnej deformácie nasleduje plastická deformácia a nie ihneď porušenie. Preto sa v mnohých prácach predpokladá, že pri rozpojení existuje aj štádium plastickej deformácie, aspoň na mikroúrovni.

Pri mechanických procesoch rozpojovania hornín určuje hodnotu mernej objemovej práce rozpojovania vzťah

$$w = \frac{2 \pi n M_K}{S v} \quad [MJm^{-3}], \quad (9)$$

kde n sú otáčky rozpojovacieho nástroja, M_k je krútiaci moment, S je plocha rozpojovanej čelby a v je rýchlosť vírtania alebo razenia. Takto definovaná merná objemová práca rozpojovania vyjadruje prácu, resp. energiu, potrebnú na rozpojenie jednotkového objemu horniny. Rozmerovo je zhodná s napätím, t.j. vyjadruje sa v MPa. Jej všeobecný priebeh, v závislosti na pôsobiacej sile, je uvedený na obr.2 (Sekula, 1995).

Opotrebovanie

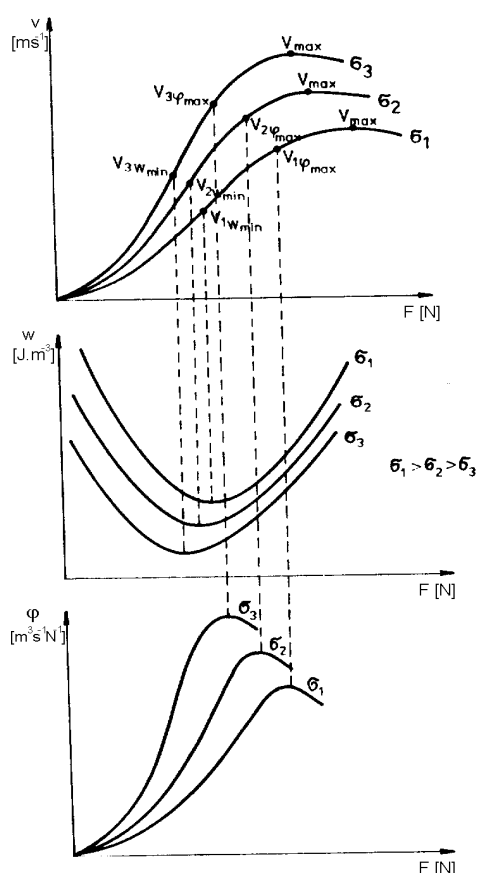
Vocel (1976) delí opotrebovanie na adhézne, abrazívne, erozívne, kavitačné, únavové, vibračné. V technickej praxi sa často jednotlivé druhy opotrebovania kombinujú, takže sa stretávame s niekoľkými typmi opotrebovania súčasne.

Dominantným prejavom adhézneho opotrebovania je silné zdrsnenie povrchu, ktoré možno pozorovať pod mikroskopom ako šupinky, resp. ryhy. Vzniká pri priamom kontakte pevných trecích povrchov. Je charakterizované oddeľovaním častíc materiálu pôsobením síl na rozhraní dotýkajúcich sa povrchov, ktoré sa pridriavajú na povrch druhého materiálu, alebo na pôvodnom povrchu, prípadne zostanú voľné.

Dominantným prejavom abrazívneho opotrebovania je oddeľovanie častíc materiálu z funkčného povrchu ryhovaním alebo rezaním voľnými tvrdými častočkami, alebo tvrdým a nerovným povrchom druhého povrchu. Nevyhnutnou podmienkou pre vznik abrazívneho opotrebovania je väčšia tvrdosť častice, ktorá povrch opotrebováva, ako opotrebovávaného povrchu. Na abrazívne opotrebovanie majú vplyv najmä tieto faktory: mechanické vlastnosti trecích povrchov a abrazívnych častíc, zaťaženie, rozmery, tvar a množstvo abrazívnych častíc, ich koncentrácia medzi trecími povrchmi, teplota trecích povrchov, mazanie, kvalita a drsnosť povrchov (Garšín, 1983, Ikramov, 1987, Spivak, 1979).

Dominantným prejavom únavového opotrebovania je silový, cyklicky opakovaný dotyk dvoch povrchov, kedy hovoríme o kontaktnom únavovom porušení, alebo tiež o kontaktnej únave. Opakujúcimi sa elastickými a plastickými deformáciami v povrchových oblastiach trecích dvojíc sa vytvárajú zárodky trhlín, ktoré postupne rastú, šíria sa a v konečnom dôsledku vedú až k vytvoreniu častíc opotrebovania.

Dominantným prejavom vibračného opotrebovania je poškodenie materiálu oddeľovaním častíc z jeho povrchu, spôsobené vzájomnými kmitavými tangenciálnymi posunmi funkčných povrchov telies pri pôsobení normálového zaťaženia.



Obr.2. Funkcie okamžitej rýchlosti vírtania v , menej objemovej práce rozpojovania w a podielu týchto veličín v závislosti na prítlaku, (Sekula, 1995).

Fig. 2. Functions of the immediate drilling rate (v), specific volume energy (w), and their ratio depending on the thrust (Sekula, 1995).

Erozívne opotrebovanie je charakterizované rozrušovaním povrchu materiálu častočkami s menšou tvrdosťou ako erodovaný povrch. Podmienkou je ich vysoká kinetická energia pri dopade na povrch opotrebovávaného telesa. Erozívne opotrebovanie spôsobuje nerovnomerné poškodenie povrchu, tzv. erozívne zvlnenie.

Dominantným prejavom kavitačného opotrebovania je namáhanie materiálu veľkými, opakovanými hydrodynamickými rázmi, ktoré môžu spôsobiť miestne plastické deformácie, vedúce k vzniku jamôk. Poškodenie postupne preniká do väčšej hĺbky, až sa povrch kusovite rozloží.

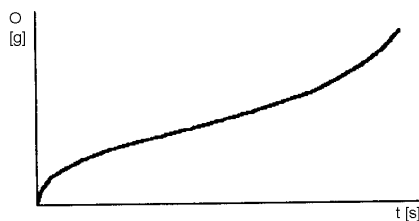
Vo väčšine prípadov je opotrebovanie sledované v závislosti na čase, alebo na dobe prevádzky strojného zariadenia. Pre počiatočnú fázu opotrebovania je typický tzv. zábeh. V podstate ide o dobu, počas ktorej sú odstraňované povrchové mikronerovnosti na funkčnom povrchu, mení sa veľkosť dotykových plôch, kolíšu teploty na týchto plochách, menia sa vlastnosti materiálu, atď. Po zábehu prebieha opotrebovanie ako ustálený dej. Opotrebovanie tuhých telies v tomto štádiu sa uskutočňuje v miestach povrchu, kde sa realizuje silové spolupôsobenie medzi trecími telesami, t.j. v miestach skutočného kontaktu. Tretia fáza je charakterizovaná vysokou intenzitou opotrebovania a nazýva sa pásmo

zrýchleného opotrebovania. Na obr.3 je znázornený typický priebeh opotrebovania v závislosti na čase. Skutočné priebehy opotrebovania, obr.4, sú charakterizované premenlivou rýchlosťou opotrebovania, ktorú spôsobujú

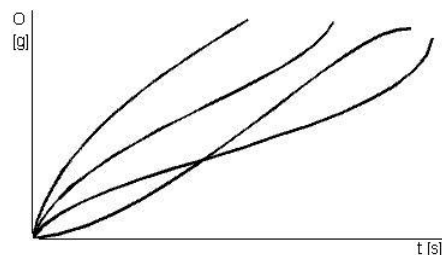
hlavne zmeny tlaku na funkčných plochách, zmeny súčiniteľa trenia a nedokonalé odstraňovanie produktov rozpojovania z funkčných plôch.

S opotrebovaním rozpojovacích elementov rastie kontaktná plocha indentora s horninou, v dôsledku čoho sa taktiež zvyšuje podiel drvenej horniny. Opotrebovanie nástrojov vyvoláva rast rozpojovacích odporov, vibrácií, vzrast teploty, a tým ďalšie urýchlenie procesov opotrebovania, zníženie rozpojovacieho výkonu, zhoršenie kusovitosti rozpojeného materiálu, tvorbu prachu a celý rad ďalších negatívnych faktorov (Vašek, 1999). Tým je možné vysvetliť tiež poznatok, že energeticky náročnejší je proces rozpojovania horniny s nástrojom väčšej tuposti, ako to nameral a dokázal Rad (1975). Obdobné výsledky udáva McFeat-Smith a Foweel (1977). Výsledky Radových meraní pre tri prítlačkové hladiny znázorňuje obr.5.

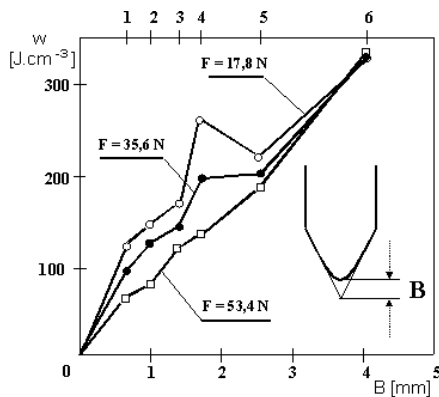
Postupné merania hodnôt opotrebovania rôznych nástrojov a ich vyhodnotenie v závislosti na čase dáva obraz o predchádzajúcej práci nástroja, resp. o stave jeho funkčnej plochy. Konkrétna aktuálna hodnota opotrebovania, ak nemáme k dispozícii jej predchádzajúce hodnoty, fixuje určitým spôsobom čiastkové deštruktívne deje, prebiehajúce na funkčnej ploche v minulosti. Dá sa povedať, že aktuálna hodnota opotrebovania "má pamäť", reprezentovanú svojim integrálnym charakterom a umožňuje hodnotiť stav nástroja. Poznanie spôsobu opotrebovania a hlavne príčin jeho vzniku, umožňuje použiť túto informáciu pre prognózovanie životnosti nástrojov. Pre hodnotenie aktuálnych zmien funkčných plôch rozpojovacích nástrojov používame tzv. intenzitu opotrebovania, definovanú ako opotrebovanie na jednotku odvrtnú. Okamžitá intenzita opotrebovania je definovaná ako derivácia opotrebovania od odvrtnú, resp. ako smernica dotyčnice k priebehu opotrebovania v závislosti od odvrtnú. Je to veličina analogická k okamžitej rýchlosti opotrebovania, definovanej v závislosti na čase. Táto veličina, pretože odráža aktuálnu okamžitú hodnotu rastu defektov na funkčnej ploche rozpojovacieho nástroja, umožňuje študovať vplyvy rôznych parametrov a ich kvantitatívne vyjadrenie. Na priebehu opotrebovania v závislosti na odvrtnú pozorujeme úsek zábehu, úsek zníženého opotrebovania a úsek záverečnej deštrukcie funkčnej plochy (obr. 6).



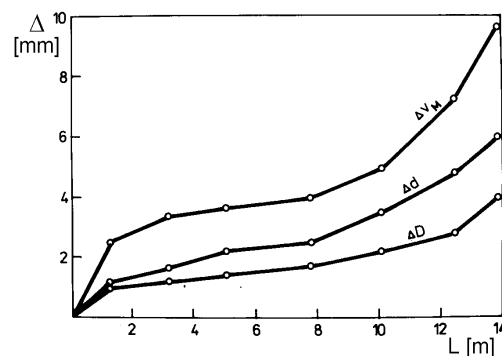
Obr.3. Typický priebeh časového opotrebovania.
Fig. 3. General flow of tool wear depending on time.



Obr.4. Skutočné priebehy opotrebovania v závislosti na čase.
Fig.4. Real flows of tool wear depending on time.



Obr.5. Energia rozpojovania v závislosti od narastajúcej tuposti nástroja.
Fig.5. Disintegration energy depending on the increasing tool bluntness.



Obr.6. Opotrebovanie výšky matrice $\Delta v_{(M)}$, vonkajšieho priemeru korunky ΔD a vnútorného priemeru korunky Δd v závislosti na odvrtnú.
Fig.6. Wears of matrix height $\Delta v_{(M)}$, outer drill bit diameter ΔD and inner drill bit diameter Δd , depending on the drilling length.

Vo fáze zábehu dochádza k zabrusovaniu rezných hrán funkčných plôch, k zvýšenému opotrebovaniu zle opracovaných a nekvalitných plôch. Nie každé opotrebovanie nástrojov v tomto úseku zhoršuje ich kvalitu. Takýmto typom sú napr. vsadzované diamantové korunky, tvrdokovové korunky a tiež korunky osadené doštičkami z polykrystalických diamantov. V ďalších fázach opotrebovania sa kvalita nástroja postupne znižuje. Sledovanie opotrebovania impregnovaných diamantových korúnok je komplikovanejšie. Ich konštrukcia, rozptýlenie diamantových zŕn v matici korunky vo viacerých vrstvách, umožňuje viacnásobné obnovenie

funkčnosti povrchových plôch tým, že po opotrebovaní pracovnej vrstvy diamantových zrn sa „odhalia“ diamanty ďalšej vrstvy. Tento cyklus sa môže viackrát opakovať. U týchto korúnok sa teda fáza zábehu s kladnými vplyvmi opotrebovania na kvalitu funkčných plôch uskutočňuje počas celej životnosti korunky, ktorá je limitovaná výškou impregnovanej vrstvy diamantov, resp. hĺbkou výplachových kanálikov. Tieto sa postupne zmenšujú a každá "obnovená" impregnovaná korunka pracuje pri zhoršených podmienkach odstraňovania vrtej drte, čo spôsobuje postupné skracovanie doby životnosti pracujúcej vrstvy diamantov, zvyšovanie okamžitej rýchlosti opotrebovania, resp. zvyšovanie intenzity opotrebovania impregnácie, a tým urýchľovanie vzniku čiastočných porúch funkčných plôch. Závislosť opotrebovania vybraných rozmerov diamantového vrtacieho nástroja od odvrty, znázornená na obr.6, je získaná z priamych meraní. Pretože tieto neumožňujú hodnotiť kontinuálne proces opotrebovania pri rozpojovaní hornín, hľadali sme nepriame postupy pre získanie potrebných informácií z čelby vrtu. Sú založené na monitorovaní vstupných a výstupných veličín procesu rozpojovania a na vypracovaní hodnotiacich veličín.

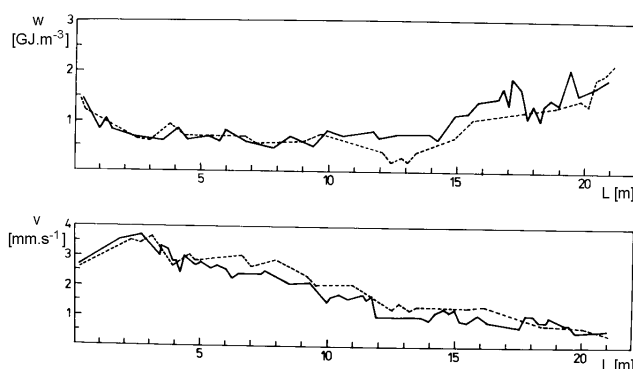
Pri konštantnom režime vrtania sa vplyvom opotrebovania znižuje okamžitá rýchlosť vrtania v závislosti na čase, resp. na odvrte exponenciálne, čo môžeme zapísať vzťahom

$$v = v_0 \cdot e^{-kx} \quad [mms^{-1}], \quad (10)$$

kde v je okamžitá rýchlosť vrtania, v_0 - počiatočná rýchlosť vrtania s novou korunkou, k - prepočítavací koeficient. Koeficientu k autori prisudzujú význam abrazivity. Ak $x \cong L$, pričom L je odvrta, dostávame vzťah pre výpočet okamžitej rýchlosti vrtania v závislosti na odvrte podľa Krendeleva; ak $x \cong t$, kde t je čas, dostávame vzťah pre výpočet okamžitej rýchlosti vrtania v závislosti na čase podľa Minina. Experimentálne práce na našom ústave umožnili určiť platnosť vzťahu (Krúpa, 1981)

$$v(F, n) = v_0(F, n) \cdot e^{-k_A \cdot w(F, n) \cdot L} \quad [mms^{-1}], \quad (11)$$

kde v_0 je okamžitá rýchlosť vrtania, vyjadrená ako funkcia režimových parametrov, k_A -prepočítavací koeficient, $w(F, n)$ - špecifická energia ako funkcia režimových parametrov, L - odvrta. Zo vzťahu vyplýva, že zmenou režimu vrtania sa exponenciálny charakter poklesu okamžitej rýchlosti nemení. Mení sa len intenzita poklesu okamžitej rýchlosti vrtania. Vo vzťahu vystupuje priemerná hodnota mernej objemovej práce rozpojovania w . Jej charakteristický priebeh pri konštantnom režime vrtania v závislosti na odvrte je znázornený na obr.7, (Sekula, 1975, 1976). Táto grafická závislosť je nepriamym dôkazom toho, že intenzita opotrebovania je funkciou mernej objemovej práce rozpojovania, a teda táto veličina je nositeľom informácie o intenzite opotrebovania nástroja pri známych približne konštantných vlastnostiach rozpojovanej horniny. V záberovej a záverečnej fáze opotrebovania, kde je vyššia hodnota intenzity opotrebovania, je aj vyššia hodnota mernej objemovej práce rozpojovania a naopak. Vplyv horniny na absolútne hodnoty intenzity opotrebovania definuje koeficient k_A . Merná objemová práca vykazuje vo väčšine sledovaných prípadov v závislosti na režimových parametroch absolútny alebo relatívny extrém v ohraničenej oblasti použiteľných režimov, a preto ju môžeme využiť na optimalizovanie (minimalizovanie) opotrebovania vrtacích nástrojov počas ich životnosti (Krúpa, 1981). Optimálnym režimom z hľadiska opotrebovania je režim, prislúchajúci argumentu minima mernej objemovej práce rozpojovania.



Obr.7. Závislosť mernej objemovej práce rozpojovania a rýchlosti vrtania na odvrte.
Fig.7. Dependence of the specific volume energy and the drilling rate on the drilling length.

Ak namiesto mernej objemovej práce rozpojovania definovanej vzťahom (9), zadefinujeme spotrebovanú prácu na jednotku odvrty výrazom (Lazarová, 1994)

$$A_L = \frac{2\pi n M_k}{v} = \frac{P}{v} = \frac{Pt}{L} \quad [MJm^{-1}], \quad (12)$$

kde P je výkon, potom platí

$$w = \frac{A_L}{S} \quad [MJm^{-3}]. \quad (13)$$

Zavedením formálnej úpravy

$$k_{AS} = \frac{k_A}{S} \quad (14)$$

môžeme vzťah (11) upraviť do tvaru

$$v(F, n) = v_0(F, n) \cdot e^{-k_{AS} \cdot A_L \cdot L} \quad [mms^{-1}] \quad (15)$$

a dosadením výrazu (12) do(15) dostávame tvar

$$v(F, n) = v_0(F, n) \cdot e^{-k_{AS} \cdot P \cdot t} \quad [mms^{-1}], \quad (16)$$

ktorý vyjadruje vplyv rozpojovacieho výkonu na pokles dosahovanej rýchlosti vrtania a umožňuje navzájom transformovať časovú a odvrtovú závislosť vrtania pri opotrebovaní nástroja.

Výraz

$$A_R = P \cdot t \quad [J] \quad (17)$$

vyjadruje celkovú energiu spotrebovanú na rozpojovanie horniny pri vrtaní. Ak výraz $k_{AS} \cdot P$ považujeme za transformovaný obraz intenzity opotrebovania rozpojovacieho nástroja v zmysle predchádzajúcich úvah, potom pre opotrebovanie platí vzťah

$$O = k_{AS} \cdot A_R \quad [g]. \quad (18)$$

Keď výrazy $k_A \cdot w(F, n)$ vo vzťahu (11) alebo $k_{AS} \cdot P(F, n)$ vo vzťahu (16) sú transformovaným obrazom intenzity opotrebovania, potom exponenty funkcií v týchto vzťahoch predstavujú transformovaný integrálny obraz celého opotrebovania korunky. Pri zadefinovaní celkového možného úbytku hmoty funkčných plôch vrtacích nástrojov, ktorý sa dá stanoviť špeciálnymi experimentami, by bolo možné určiť s istým priblížením aj stav funkčnej plochy. Spochybnené by boli len v prípadoch výskytu defektov náhodného charakteru, ktoré nie je možné v procese vrtania vylúčiť.

Záver

Z odvodených výrazov (16) a (18) vyplýva, že hodnotu rýchlosti vrtania ovplyvňuje veľkosť opotrebovania rozpojovacieho nástroja, resp. celková energia spotrebovaná na rozpojovanie horniny. Merná objemová práca rozpojovania vyjadruje intenzitu opotrebovania nástroja definovanú vzťahom

$$I_N = k_A \cdot w(F, n) \quad [g \cdot m^{-1}], \quad (19)$$

a teda ju okrem vlastností samotného nástroja a vlastností rozpojovanej horniny zásadne ovplyvňuje režim vrtania. Na tomto teoretickom základe bola vybudovaná na Ústave geotechniky metodika experimentálnej optimalizácie procesu rozpojovania.

Literatúra

- GARŠIN, A.P., GROPIANOV, V.M., LAGUNOV, J.V.: Abrazivnyje materialy, "Mašinstrojenie", Leningrad, 1983.
- IKRAMOV, U.A.: Rasčotnyje metody ocenki abrazivnovo iznosa. Moskva, "Mašinstrojenie", 1987.
- KRÚPA, V.: Matematické modelovanie diamantového vrtania na základe standového výskumu. [KDP], BaÚ SAV, Košice, 1981.
- LAZAROVÁ, E.: Vybrané problémy plnoprofilového razenia, [KDP], 1994, s.168.
- MCFEAT-SMITH, I. AND FOWELL, R.J.: Correlation of rock properties and the cutting performance of tunneling machines. In. *Proceeding of a conference on rock engineering* (Newcastle upon Tyne, April 1977), s. 581-601.
- NOVIK, G.JA., GRAŠČENKOV, N.F., PEREŽILOV, A.E., CHARKOVSKIJ, V.S.: K voprosu opredelenija energoemkosti processa droblenija gornych porod. *IVUZ Gornyj žurnal*, 1988, No.10, s.3-8.

- RAD, P.F.: Bluntness and Wear of Rolling Disk Cutter. *Int.J. Rock Mech. Min.Sci. and Geomech. Abstr.*, No.12, p.93-99.
- RODIN, R.A.: O pravomernosti rassmotrenija processa razrušenija gornych porod na osnove teorii pročnosti. *IVUZ Gornyj žurnal*, 1992, No.5, s.10-15.
- RODIONOV, V.N., SIZOV, I.A., CVETKOV, V.M.: *Osnovy geomechaniky*. Moskva, Nedra, 1986, 301s..
- SEKULA, F.: *Inauguračná prednáška*, BERG Fakulta TU Košice, 1995.
- SEKULA, F., KOČI, M., BEJDA, J., KRAJECOVÁ, O.: Standový výskum v problematike optimalizácie diamantového výtania. *Geologický průzkum*, 6 (1976), s.169-173.
- SEKULA, F., KOČI, M., DRÁBIK, J., KRAJECOVÁ, O.: Výsledky standového výskumu rozpojovania hornín rotačným vitaním. In: *Súčasné poznatky výskumu a praxe v rozpojovaní hornín*, I.diel, Dom techniky SVTS, Košice, 1975, s.45-57.
- SPIVAK, A.J. and POPOV, A.N.: *Desintegration of the rock at the drilling* (v ruštine). Moscow: Nedra, 1979, 238 p.
- VAŠEK, J., KRÚPA, V., PINKA, J.: Rozpojiteľnosť uhlia a hornín reznými nástrojmi I., (eds.) Bejda, J., Krepelka, F., Vydavateľstvo Štroffek, ISBN 80-88896-29-0, 1999, 92s.
- VOCEL, M., DUFEK, V.: Tření a opotřebení strojních součástí, SNTL, Praha, 1976.