

**LABORATORY MEASUREMENT OF CUTTING FORCES DURING
HARD ROCK DISINTEGRATION WITH HIGH-SPEED WATER JET
ASSISTANCE****LABORATORNÍ MĚŘENÍ ŘEZNÝCH SIL PŘI ROZPOJOVÁNÍ
TVRDÝCH HORNIN S PODPOROU VYSOKORYCHLOSTNÍHO
VODNÍHO PAPRSKU****Sitek L., Vala M.**

The first results of the experimental program aimed at the evaluation of cutting ability of point attack high-pressure-water-through bit in sandstone are presented in this paper. The cutting forces were recorded using three-component crystal dynamometer and data acquisition and process system. The results confirm that high-pressure-water-through bit can not only reduce the cutting forces but the jet itself plays a great role in hard rocks voluminal disintegration. The bit has the potential for much higher cutting output during hard rocks disintegration in this case.

ÚVOD

Již několik desetiletí se výzkumníci snaží vylepšit klasický mechanický řezný nástroj pro rozpojování hornin. Navzdory určitému pokroku v oblasti geometrie řezného nástroje, použití nových materiálů a technologií při výrobě, nebyl doposud vyvinut nástroj schopný efektivně rozpojovat tvrdé a abrazivní horniny (Vašek 1992). Jednou z cest jak zefektivnit rozpojovací proces bez nutnosti podstatných změn v hornické práci je aplikace vysokorychlostního vodního paprsku (VVP) v součinnosti s mechanickým řezným nástrojem (Vašek a kol. 1987). Bylo prokázáno (např. Styler & Thioms 1987), že tento systém zvyšuje životnost nástroje a schopnost řezat tvrdé a abrazivní horniny. VVP má v tomto případě další prospěšné vlastnosti: výrazně snižuje řezné síly, eliminuje tření nástroje a tím snižuje riziko zapálení metanovzdušné směsi a výrazně omezuje vznik respirabilního prachu při řezání.

Koncepce použití VVP při řezání hornin nebo v součinnosti s mechanickým nástrojem je zkoumána více než 20 let. Dřívější studie byly zaměřeny na hledání optimálního umístění vodního paprsku vzhledem k mechanickému řeznému nástroji a optimální geometrii řezného nástroje. Hood (1984) ukázal, že poloha paprsku blízko

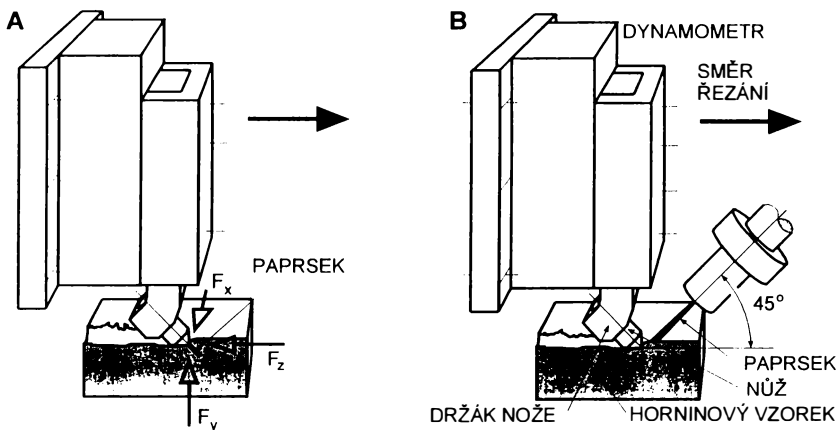
čela řezného nástroje je rozhodující pro snížení řezných sil, přičemž snižování vzdálenosti trysky od rozpojovaného materiálu (tzv. standoff distance) nemá na snížení řezných sil výrazný vliv, pokud je tato vzdálenost menší než 100 průměrů vodní trysky (průměry vodních trysek se pohybují řádově od desetin mm do několika mm).

Přes nesporné výhody není doposud VVP při rozpojování hornin příliš rozšířen. Hlavními důvody jsou zřejmě nedostatečná znalost základních procesů porušování (Sitek & Vala 1994) a relativně vysoká energetická náročnost při aplikaci VVP.

ROZPOJOVÁNÍ HORNIN S ASISTENCÍ VVP

Paprsky doposud aplikované při rozpojování hornin působí většinou na horninový povrch. Obecně lze vyčlenit dvě základní metody rozpojování hornin mechanickým nástrojem s asistencí VVP, kdy paprsek působí na povrch. U první metody je rozpojovaná hornina oslabena úzkými a hlubokými drážkami, které vytváří vodní paprsek. Poté je hornina rozpojena mechanickým nástrojem. Druhá metoda je založena na současném působení VVP a mechanického nástroje ve stejném čase a na stejném místě. Paprsky pak bývají směřovány většinou těsně před čelo mechanického nástroje nebo těsně vedle nástroje.

Bohužel, vysoká pevnost horniny v tlaku působí v těchto případech proti tlakové síle od zastavení paprsku na povrchu horniny. VVP navíc nemůže proniknout dostatečně hluboko do tvrdé horniny v důsledku krátké doby působení paprsku způsobené relativně vysokou rychlostí rozpojování. Paprsek působící na povrch horniny tak dostatečně nevyužívá všech svých výhod. Zdá se, že pro rozpojování hornin s podporou VVP je vhodnější mechanický nástroj, kde je paprsek generován uvnitř nástroje (viz Khair & Vašek 1995). Takto je paprsek prostřednictvím nástroje „vnořen“ do horniny, čímž se vyvolá přídavný hydraulický rozpojovací efekt (tzv. hydraulický klín). Při šíření trhlin v hornině během rozpojování se tak s výhodou využívá oblastí narušených indukovanými nebo přirozenými mikrotrhlinami a malé pevnosti v tahu tvrdých hornin.



Obr. 1. Rozpojování hornin s asistencí VVP vedeným přes nůž (A) a situovaným před nožem (B).

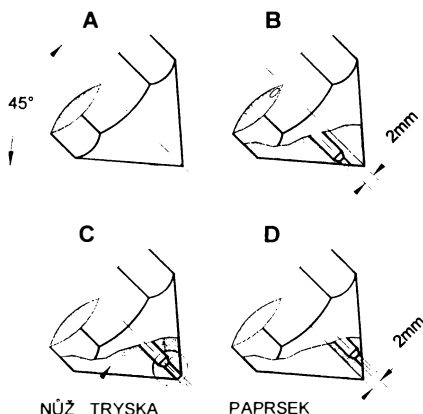
Navzdory nízké úrovni řezných sil, která je dosahována v tvrdých horninách tangenciálními noži, způsobu vedení vysokotlaké vody přes nástroj více vyhovuje radiální nůž s kuželovým zakončením, protože jeho životnost je oproti tangenciálním nožům obecně vyšší. Je to zpravidla způsobeno tím, že radiální nůž je schopen se pootáčet kolem podélné osy, a tím se ostří.

EXPERIMENTY

Základem experimentů bylo testování radiálního nože s VVP vedeným vnitřkem nože a tryskou situovanou do oblasti jeho špičky. Hlavním zjišťovaným parametrem byla tříšlžková řezná síla měřená na noži. Jednotlivé složky síly byly označeny následujícím způsobem: F_x - boční síla, F_y - normálová síla, F_z - řezná síla. Experimentální uspořádání pro dva případy rozpojování s podporou VVP je uvedeno na obr. 1.

Řezné síly byly měřeny tříšlžkovým piezoelektrickým dynamometrem Kistler 9265A1 s rozsahy měření -15 kN až +15 kN v osách x, y a 0 kN až 30 kN v ose z. Dynamometr byl připojen k systému měření a zpracování dat HP 6942 A / Vectra ES. Pro přesné měření tlaku vody před tryskou byl použit piezoelektrický tlakový snímač Kistler 6211.

Abychom získali základní informace o vlivu polohy trysky v oblasti špičky nože, byly testovány celkem 4 typy radiálních nožů (viz obr. 2). Základní typ A bez vodní trysky má stejný geometrický tvar špičky jako běžně užívaný nůž AM50 s úhlem břitu 80°.



Obr. 2. Typy testovaných nožů (A - bez paprsku, B - tryska pod špičkou, C - tryska ve špičce, D - tryska nad špičkou).

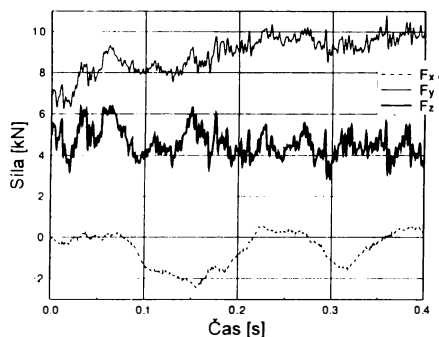
Nože typu B, C a D jsou obdobné nože s tryskami umístěnými dle obr. 2. Další úhly na noži byly v průběhu experimentů udržovány rovněž konstantní: úhel čela 5° a úhel hřbetu 5°. Rychlost řezání byla ve všech případech 0,1 ms⁻¹. Průměr trysky byl v případě paprsku umístěného před nožem 0,325 mm a v případě paprsku vedeného přes nůž 0,5 mm.

Jako testovací materiál byly použity dva druhy pískovce: měkký (s pevností v tlaku 35 MPa) a tvrdý a abrazivní (pevnost v tlaku 121 MPa). Z pískovců byly nařezány vzorky o velikosti 200 x 150 x 100 mm.

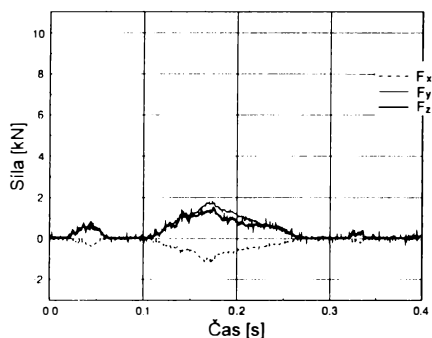
Zdrojem vody o vysokém tlaku bylo plunžrové čerpadlo Hammelmann HDP 64, E 2500-06 s maximálním pracovním tlakem vody 250 MPa.

VÝSLEDKY

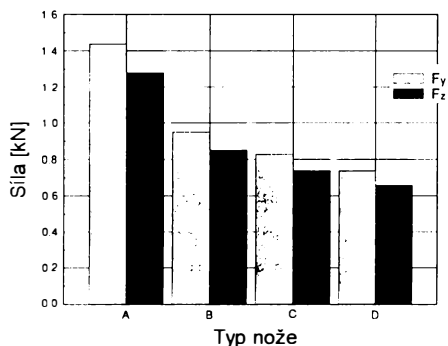
Příklady výsledků měření řezných sil jsou prezentovány v grafické podobě na obr. 3 a 4. Obr. 3 ukazuje záznam měření řezné síly při rozpojování tvrdého pískovce nožem typu A (tedy bez asistence VVP), obr. 4 nožem typu D (s asistencí VVP). Řezná



Obr. 3. Záznam řezné síly (nůž A, hloubka řezu 3 mm, pískovec 121 MPa).



Obr. 4. Záznam řezných sil (nůž D, tlak vody 100 MPa, hloubka řezu 3 mm, pískovec 121 MPa).

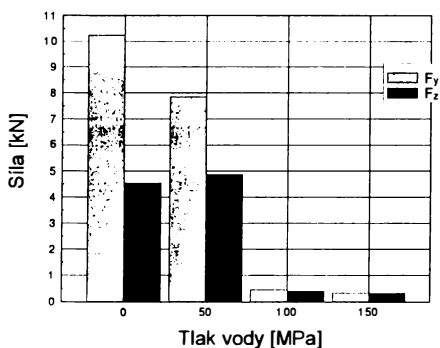


Obr. 5. Vliv pozice trysky uvnitř nože (tlak vody 100 MPa, hloubka řezu 3 mm, pískovec 35 MPa).

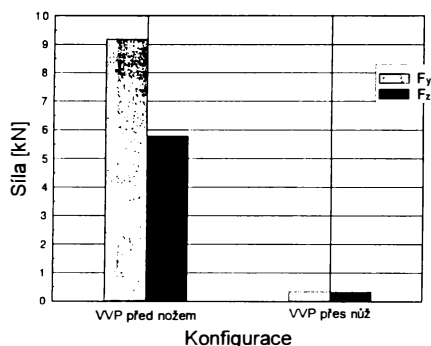
síla se ve druhém případě výrazně snižuje vlivem schopnosti VVP objemově rozpojovat tvrdé horniny.

Prvním úkolem experimentálního programu bylo zjištění vlivu polohy trysky uvnitř nože. K tomuto účelu byl použit měkký pískovec. Výsledky jsou prezentovány na obr. 5. Nůž typu D (obr. 2) vykazuje nejnižší řezné síly a zdá se, že poloha trysky před špičkou nože je pro daný způsob součinnosti nože s VVP nejvhodnější, protože se při rozpojování nejlépe využívá hydraulického klínu. Kvůli redukci velkého počtu záznamů řezných sil bylo rozhodnuto pokračovat v testech pouze s noži typu A a D. Obr. 6 ilustruje vliv tlaku vody před tryskou na řeznou sílu u nože typu D. Z grafu je zřejmé, že mezi 50 a 100 MPa existuje prahová hodnota tlaku, kde bylo pozorováno výrazné snížení úrovně řezné síly. Další zvyšování tlaku nad tuto hodnotu nemá na účinnost rozpojování již prakticky žádný vliv. Pro různé horniny má prahová hodnota tlaku různou velikost.

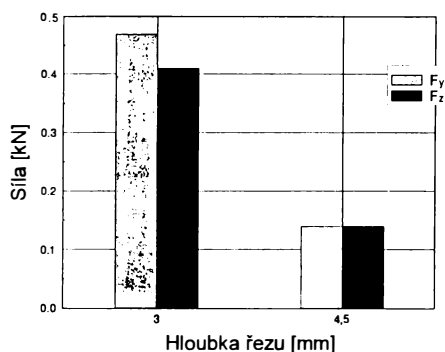
Řezy provedené nožem s tryskou umístěnou uvnitř (typ D) byly porovnány s dřívějšími řezy provedenými nožem typu A za asistence VVP umístěného dle obr. 1B před nožem pod úhlem 45° (Khair & Vašek 1995). Výsledky porovnání jsou uvedeny na obr. 7. Vliv hloubky řezu u nože typu D ukazuje obr. 8. Z grafu je zřejmé, že hlubší „vnoření“



Obr. 6. Vliv tlaku vody (nůž D, hloubka řezu 3 mm, pískovec 121 MPa).



Obr. 7. Vliv konfigurace VVP (tlak vody 150 MPa, hloubka řezu 3 mm, pískovec 121 MPa).



Obr. 8. Vliv hloubky řezu (nůž D, tlak vody 100 MPa, pískovec 121 MPa).

vysokorychlostního vodního paprsku do materiálu prostřednictvím nože se může projevit zlepšením účinnosti rozpojování.

ZÁVĚREČNÉ POZNÁMKY

Výsledky experimentů ukazují, že vysokotlaká voda procházející přes radiální nůž nejenom snižuje řeznou sílu, ale hraje také významnou úlohu při objemovém rozpojování tvrdých hornin. Nůž není v tomto případě pouze nástrojem k řezání horniny, ale slouží také ke vnoření paprsku pod povrch horniny.

Radiální nůž s vysokotlakou vodou procházející přes nůž a vodní tryskou situovanou před špičku nože se zdá být z hlediska rozpojování tvrdých hornin nejvhodnější. Nůž by měl být ponořen pod povrch co nejvíce, aby se využilo všech vlastností vysokotlakého vodního paprsku. Výsledky měření řezných sil dále ukazují, že u daného typu tvrdé horniny lze nalézt prahovou hodnotu tlaku vody, kdy paprsek začne horninu objemově rozpojovat, čímž se výrazně sníží úroveň řezných sil.

PODĚKOVÁNÍ

Autoři děkují Grantové agentuře České republiky za finanční podporu této výzkumné práce prostřednictvím projektů č. 202/93/2338 a 101/94/1429.

LITERATURA

- Hood, M. 1984. Water-Jet-Assisted Rock Cutting - the Present State of the Art. Bureau of Mines Information Circular 9045.
- Khair, W. A., Vašek, J. 1995. Cutting Process of Hard Rocks and Water Jet Assistance. Příspěvek přednesený na SME Annual Meeting, Colorado.
- Sitek, L., Vala, M. 1994. Měření silových účinků vysokorychlostního tekutinového paprsku při jeho dopadu. Sborník přednášek 32. konference EAN '94, VŠST Liberec.
- Styler, A. N., Thimons, E. D. 1987. Analysis of Rock Chips Produced During Water-Jet-Assisted Cutting. Bureau of Mines Information Circular 9164.
- Vašek, J. 1992. Theoretical Evaluation of Pick Tips Assisted by High Pressure Water Jet. Sborník přednášek 11th Int. Symposium on Jet Cutting Technology: 123-133, Dordrecht: Kluwer Academic Publisher
- Vašek, J., Vala, M., Foldyna, J., Gondek, H. 1987. Mechanismus rozpojování hornin vysokotlakým vodním médiem. Výroční výzkumná zpráva Hornického ústavu ČSAV, Ostrava.

Libor Sitek, Ing.¹

Miroslav Vala, Ing., CSc.²

¹Ústav geoniky AVČR, Studentská 1768, 708 00 Ostrava - Poruba
Tel.: (069) 6918651, Fax: (069) 6919452, E-mail: geonics@ugn.cas.cz

²Ostravská Univerzita, Dvořákova 7, 701 03 Ostrava 1
Tel.: (069) 6222755, Fax: (069) 6222803, E-mail: vala@oudec.osu.cz