

Optimální parametry dobývací techniky pro konkrétní podmínky

doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.¹, Ing. Tomáš Hapla¹, Ing. Tomáš Neumann²

¹VŠB - Technická univerzita Ostrava, Institut čistých technologií těžby a užití nerostných surovin, jiri.fries@vsb.cz, tomas.hapla@vsb.cz

²VŠB - Technická univerzita Ostrava, Katedra výrobních strojů a konstruování, tomas.neumann@vsb.cz

Přijato: 7. 4. 2014, recenzováno: 11. a 14. 5. 2014

Abstrakt

U procesu mechanického rozpojování nerostných surovin je vyžadováno přivedení určitého množství energie, která je spotřebována k oddělení třísek (elementárních kusů) horniny od horninového masivu. Tímto procesem je dán celý cyklus dobývání užitkového nerostu. Minimální energetické náročnosti procesu rozpojování se dosáhne především správným výběrem pracovního nástroje a volbou optimální rychlosti řezání a rychlosti posuvu nástroje do řezu, případně dalšími parametry, které již mají minoritní dopad na samotný proces desintegrace. Ke stanovování optimálních parametrů dobývací techniky je možno použít sofistikovaný přístroj pro měření rozpojovacích sil in-situ. Přístroj má osvědčení ATEX do prostředí s nebezpečím výbuchu metanu a je možno jej tudíž použít na všech dolech, a to nejen v České republice, ale prakticky kdekoli na světě. Principem přístroje je změření rozpojovacích sil in situ a následná aplikace na konkrétní stroj, respektive dobývací orgán.

The optimal parameters of the mining techniques for specific conditions

The process of the mechanical disintegration of mineral resources requires to bring a certain amount of energy that is consumed by the separation of the chips (elementary pieces) of rock from the rock massif. This process defines the whole cycle of a commercial mining of a mineral. The minimal energy requirements for disintegration are achieved, above all, by the right selection of the work tools and of the optimal cutting speed and feed rate of cutting tools in the cut, or eventually by other parameters, which already have just a minor impact on the process of disintegration itself. To determine the optimal parameters of the mining techniques a sophisticated device for the measuring the cutting forces in situ can be used. The device has a certificate for ATEX environment with the danger of the methane explosion and therefore it can be used on all mines, not only in the Czech Republic, but virtually anywhere in the world. The principle of the device is measuring of cutting forces in-situ and a subsequent application of results on a specific machine, respectively, on a cutting tool.

Optimale Parameter der Gewinnungstechnik für konkrete Bedingungen

Im Prozess des mechanischen Lösens mineralischer Rohstoffe ist es notwendig, eine bestimmte Energiemenge zu zuführen, die zum Abtrennen von Spänen (elementaren Stücken) des Gesteines vom Gesteinsmassiv verbraucht wird. Durch diesen Prozess ist der Gesamtzyklus der Gewinnung eines nutzbaren Minerals gegeben. Um Mindestenergiebedarf des Lösens zu erreichen, ist es wichtig, das Arbeitswerkzeug, die optimale Schnittgeschwindigkeit und die Geschwindigkeit des Werkzeugvorschubes in den Schnitt richtig zu wählen. Richtig zu wählen sind auch etwaige weitere Parameter, die den Desintegrationsprozess nur im geringen Maß beeinflussen. Zur Bestimmung optimaler Parameter der Gewinnungstechnik kann ein sophistiziertes Gerät für Messung der Lösekräfte in-situ eingesetzt werden. Das Gerät besitzt eine ATEX-Bescheinigung für Gefahrenbereiche (Risiko Methangasexplosion) und deswegen kann es in allen Bergwerken, nicht nur in der Tschechischen Republik, sondern praktisch weltweit, eingesetzt werden. Das Prinzip des Gerätes ist die Messung der Lösekräfte in-situ und eine anschließende Anwendung auf ein konkretes Gerät (eine konkrete Maschine), bzw. ein Gewinnungsorgan.

Klíčová slova: rozpojování, optimální parametry, dobývací technika.

Keywords: disintegration, optimal parameters, mining technique.

1 Úvod

Vlastní rozpojovací proces je možno chápat jako interakci řezného nástroje a dobývané horniny. Jedná se v podstatě o odpor dobývaného materiálu proti pracovnímu nástroji. Rozpojitelnost se řadí k základním technologickým vlastnostem hornin. Je definována jako technologická vlastnost hornin, která vyjadřuje velikost vnějších sil nutných k určitému způsobu rozpojování. Nevychází pouze z hodnocení průměrných řezných odporů, ale také z hodnot minimálních a maximálních řezných odporů a jejich různého váhového významu. Proces rozpojování uhelné stěny, který je realizován rozpojovacím orgánem dobývacího kombajnu, je založen na oddělení třísky uhlí od pilíře

prostřednictvím řezných/rozpojovacích nožů, jimiž jsou orgány osazeny [4,5].

2 Silové poměry na nožích řezných orgánů

Vyskytuje se značné kolísání těchto rozpojovacích sil v rámci jednoho procesu rozpojování, tedy i v případě stejných vstupních podmínek: stejné geometrie nožů, stejných řezných parametrů (rychlost posuvu dobývacího stroje, počet otáček rozpojovacího orgánu), stejného materiálu (rozpojovaná hornina), přičemž jejich hodnota se nikdy nerovná nule (obrázek č. 1).

Elementární síla rozpojování F_z je rovna výslednici sil tření na povrchu břitů nože a na jeho bočních plochách. Tato síla

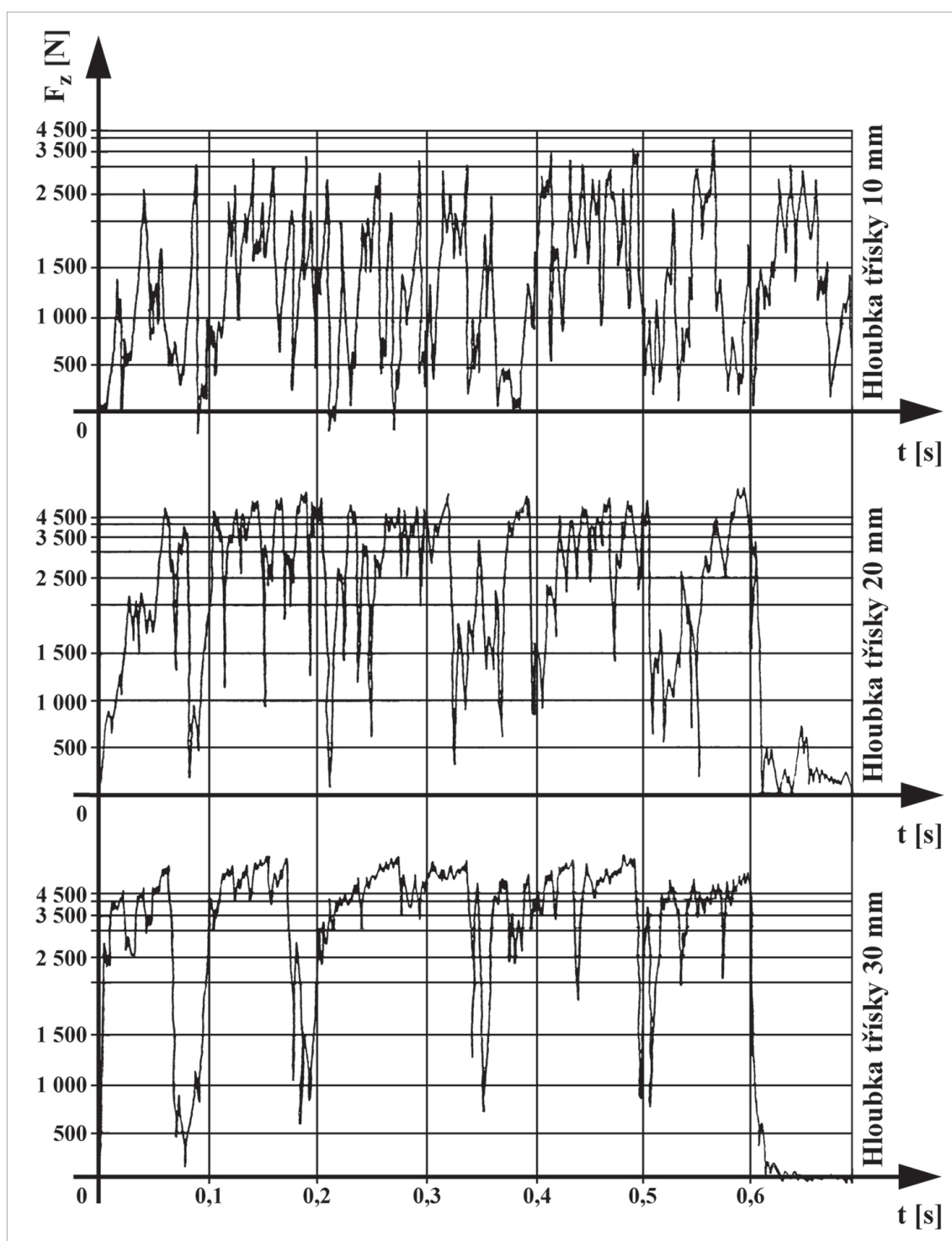
prakticky značně ovlivňuje potřebnou sílu nutnou k zajištění posuvu stroje, respektive posuvu nože do záběru. Se zvyšujícím se opotřebením nože dochází ke zvyšování potřebné síly zabrzdění stěnového kombajnu či přitlaku nože do záběru Y_I a také ke zvyšování třecí síly na hřbetu otupeného nože R_{VI} (obrázek č. 2).

Proces rozpojování probíhá cyklicky. Síla rozpojování roste s postupující deformací horniny až do momentu, kdy se objeví praskliny a trhliny. S jejich rozvojem prudce klesá rozpojovací síla, dochází k uvolnění a odlučování třísky od břitu a síla klesá na hodnotu tření mezi nožem a horninou. Dále probíhá

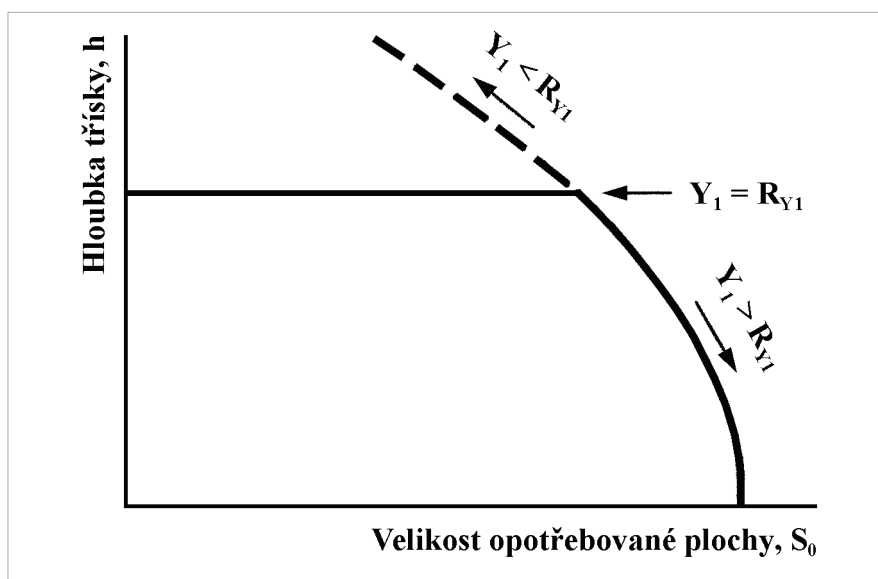
přemísťování břitu až k následnému kontaktu břitu s horninou a nastává další cyklus rozpojování horniny. Složitost procesu včetně odlučování třísky od nože naznačuje obrázek č. 3.

Zatížení celého rozpojovacího orgánu dobývacího kombajnu je charakterizováno výslednicí sil a momentů, které jsou na rozpojovacím orgánu v místě interakce dobývacího orgánu s masivem/horninou (viz obrázek č. 4).

Síly na rozpojovacím orgánu vznikají jako reakce horniny působící proti vnikání ostří nože do záběru, přičemž jejich výslednice je adekvátní krouticímu momentu na hřídeli



Obr. 1: Průběh elementární síly rozpojování v čase.



Obr. 2: Závislost hloubky řezu na ploše otupení rozpojovacího nože [3].

rozpojovacího orgánu a poměrové složce síly posuvu vrátkových částí kombajnu. V praxi se často jako hlavní parametr exploatace užitkového nerostu bere v úvahu jeho rozpojitelnost, respektive součinitel rozpojitelnosti.

Součinitel rozpojitelności (A) lze stanovit jako:

$$A = \frac{F_{\check{r}st\check{r}}}{h} \quad [\text{kN}\cdot\text{cm}^{-1}]$$

$F_{řstř}$ průměrná řezná síla vycházející ze stochastického zatížení silou F_z [kN]

hhloubka třísky [cm]

Hodnota součinitele rozpojitelosti A je svázána s úhlem bočního rozvalu ψ (obrázek č. 6), a to nezávisle na směru a smyslu prováděného řezu. Byl stanoven součinitel rozpojitelosti A_ψ , v němž se bere v úvahu skutečný tvar průřezu měřeného řezu.

Pro materiály plastické:

$$A_{\psi} = \frac{F_{\check{r}st\check{r}}}{h} = A \quad [\text{kN}\cdot\text{cm}^{-1}]$$

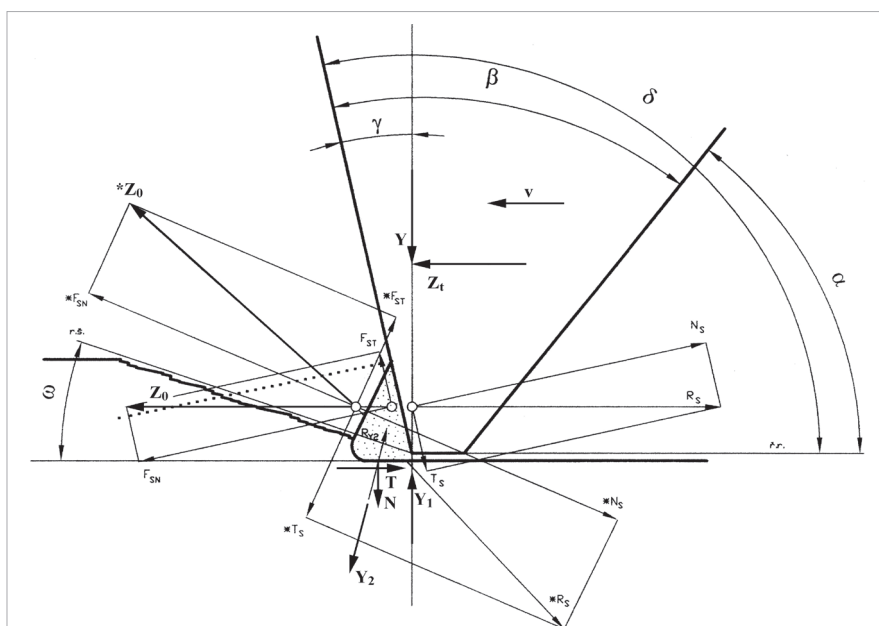
Pro materiály štěpitelné:

$$A_{\psi} = \frac{F_{\dot{r}\dot{s}\dot{t}\dot{r}}}{h \cdot (1 + \frac{h}{b} \cdot \tan \psi)} \neq A \quad [\text{kN} \cdot \text{cm}^{-1}]$$

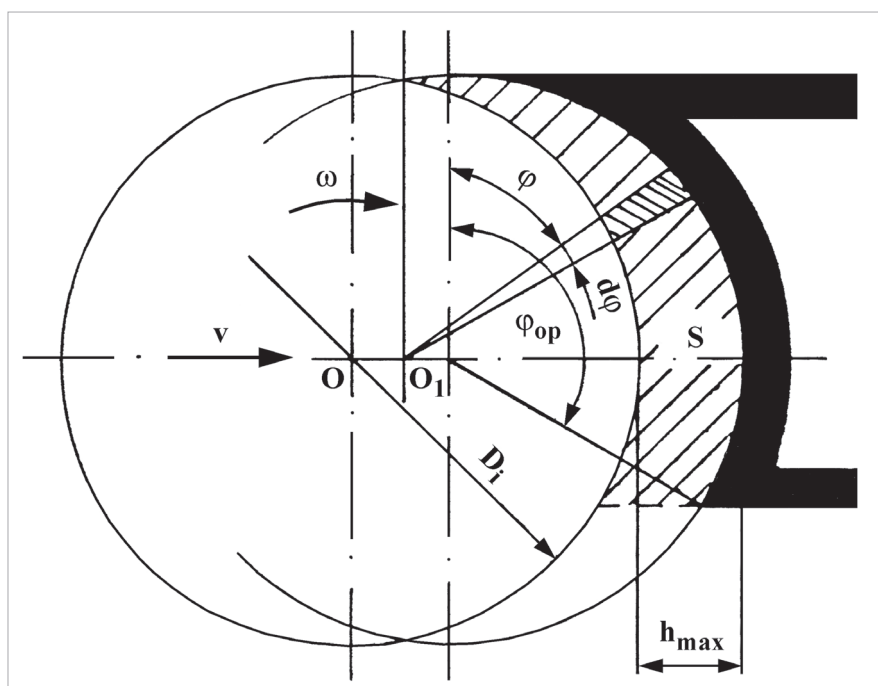
b je výpočtová šířka řezné hrany nože [cm]

Ψ úhel bočního rozvalu [°]

Dlouhodobá měření součinitele rozpojitelnosti v závislosti na pevnosti v prostém tlaku rozpojovaného materiálu (ČSN EN ISO 14689) ukázala, že se nejedná o charakter lineární, ale mírně exponenciální (obrázek č. 5). Navíc u vzorků s pevností



Obr. 3: Silové poměry na břitu nože.

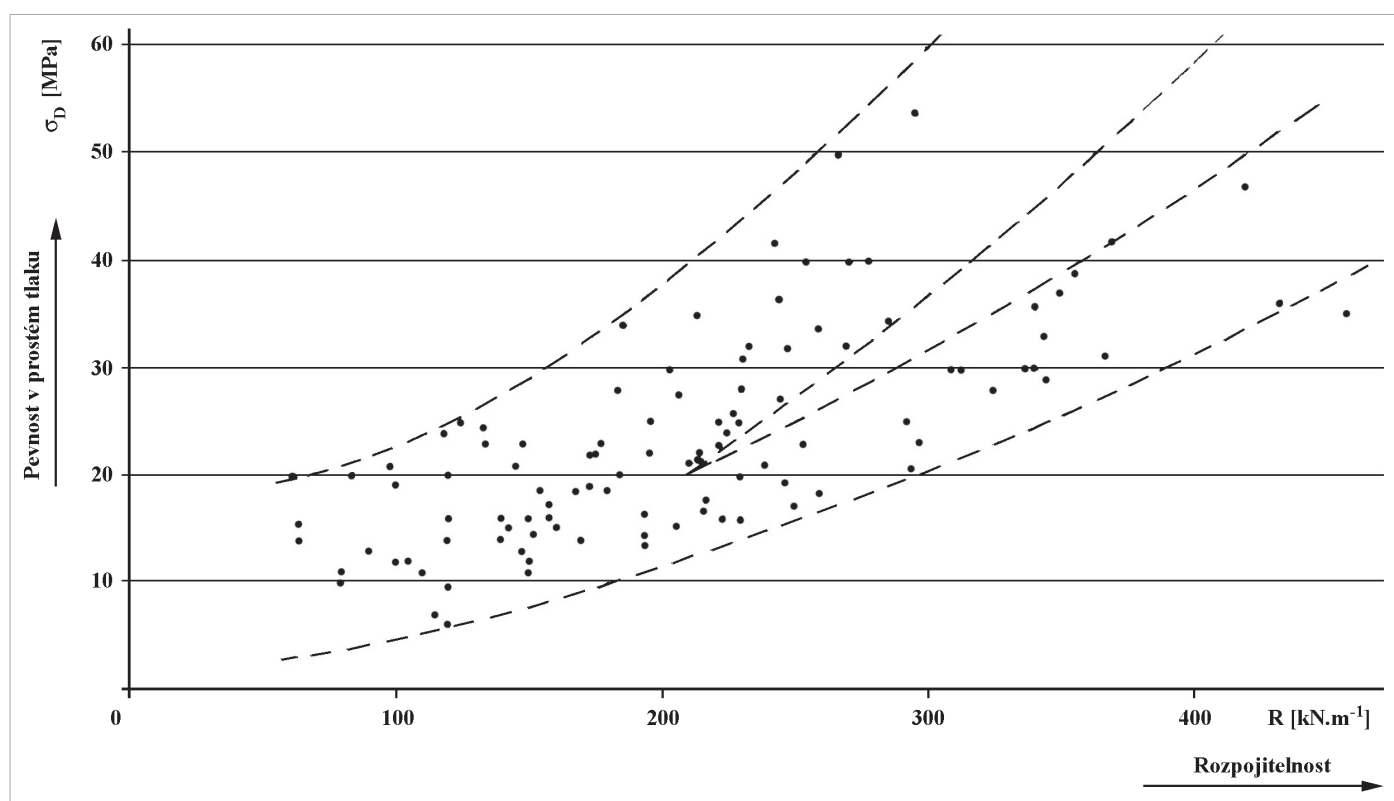


Obr. 4: Postupný záběr rozpojovacího orgánu ve sloji užitého nerostu [3].

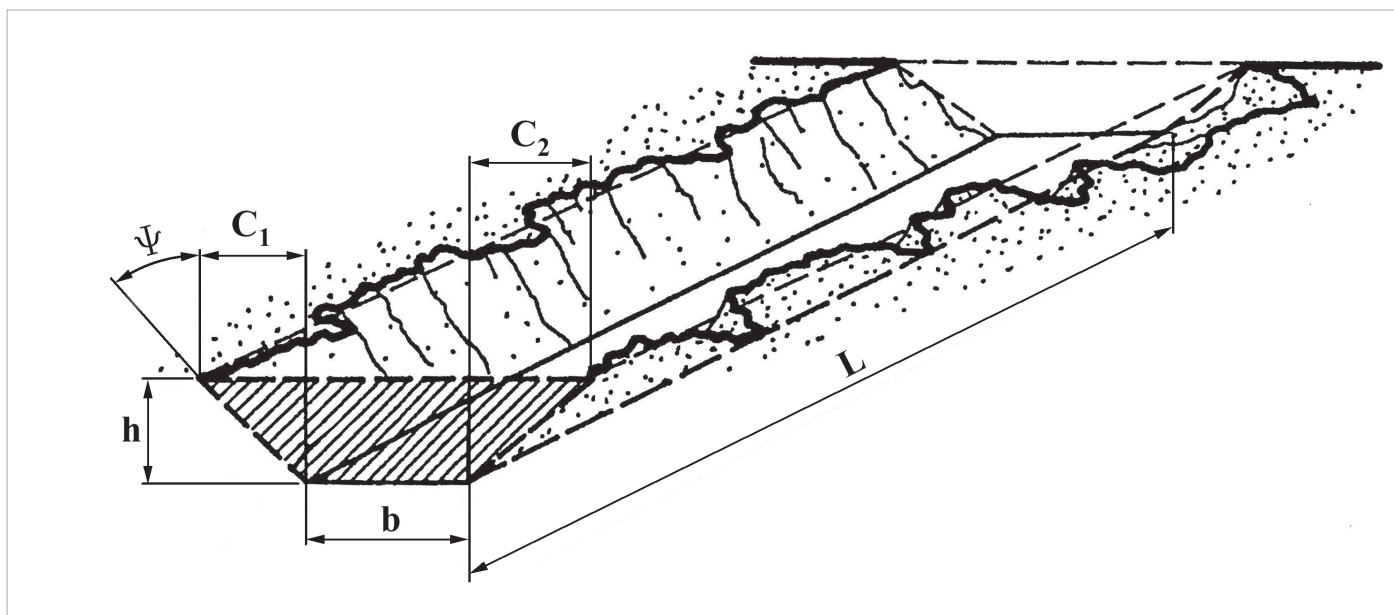
nad 20 MPa došlo k mírné diferenciaci rozpojitelnosti do dvou polí, což je dáno heterogeností uhlí a především vlivem uložení jeho vrstev a smyslu namáhání – směru rozpojování. To je obzvláště nutno brát v úvahu při návrhu dobývací techniky a rozpojovacích orgánů v případech, kdy se neprovádí měření rozpojovacích sil in-situ, ale určují se parametry horniny z odebraných vzorků.

3 Energetická náročnost procesu rozpojování

Energetická náročnost procesu rozpojování je svým způsobem ideální parametr pro posuzování rozpojitelnosti hornin (nerostů), neboť bere v úvahu jak parametry stroje, tak také charakteristiku horniny, a zohledňuje také důlně-geologické parametry porubního bloku. V neposlední řadě je energetická náročnost rozpojování přímým faktorem určujícím ekonomické parametry celého procesu těžby.



Obr. 5: Závislost rozpojitelnosti uhlí na jeho pevnosti v prostém tlaku.



Obr. 6: Tvar třísky v průběhu rozpojování.

Zjednodušeně se dá říci, že energetická náročnost procesu rozpojování je dána poměrem práce nutné k rozpojení uhlí/horniny z horninového masivu jako celku k objemu vytěženého uhlí.

Teoretickou energetickou náročnost dobývacího procesu popisuje rovnice:

$$E_T = \frac{F_{\text{řstř}} \cdot L}{V} \quad [\text{MJ} \cdot \text{m}^{-3}]$$

L délka řezu [m]

Objem rozpojovaného uhlí:

$$V = S \cdot L = h \cdot b + \left(\frac{C_1 + C_2}{2} \right) \cdot L \quad [\text{m}^3]$$

C_1, C_2 ...velikost bočního rozvalu [m] (obrázek č. 6)

Teoretická energetická náročnost procesu rozpojování zohledňující skutečnou délku ohraničující čáry vylomené třísky pro $C_1 = C_2$ je vyjádřena [1,2]:

$$E_T = \frac{F_{\text{řstř}}}{h \cdot (b + h \cdot \tan \psi)} \quad [\text{MJ} \cdot \text{m}^{-3}]$$

Energetická náročnost rozpojování v konkrétních hornicko-geologických podmínkách je definována jako poměr výkonu potřebného k rozpojování vůči rozpojenému objemu za jednotku času, respektive na jednotku hmotnosti:

$$E_U = \frac{P}{60 \cdot H \cdot z \cdot v \cdot \rho} \quad [\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$$

P celkový výkon odebíraný z elektropohonu dobývacího kombajnu [kW]

H výška stěny [m]

z šířka záběru stroje [mm]

v rychlost posuvu kombajnu [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

ρ měrná hmotnost vzorku uhlí [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

4 Stanovení optimálních parametrů dobývací techniky

Dalším způsobem stanovení energetické náročnosti exploatace nerostu a následně její minimalizace, popř. optimalizace rozpojovacích orgánů dobývací techniky, je použití přístroje pro měření rozpojovacích sil, který je k dispozici na Vysoké škole báňské - technické univerzitě Ostrava, přesněji na Institutu čistých technologií těžby a užití energetických surovin.

Samotný přístroj (obrázek č. 7) je složen ze čtyř hlavních částí: nosník (2) spojuje stojiny (1) a na něm je posuvně umístěn rotační hydromotor (3) reverzně pohánějí rameno s rozpojovacím nožem (4) osazeným tenzometry.

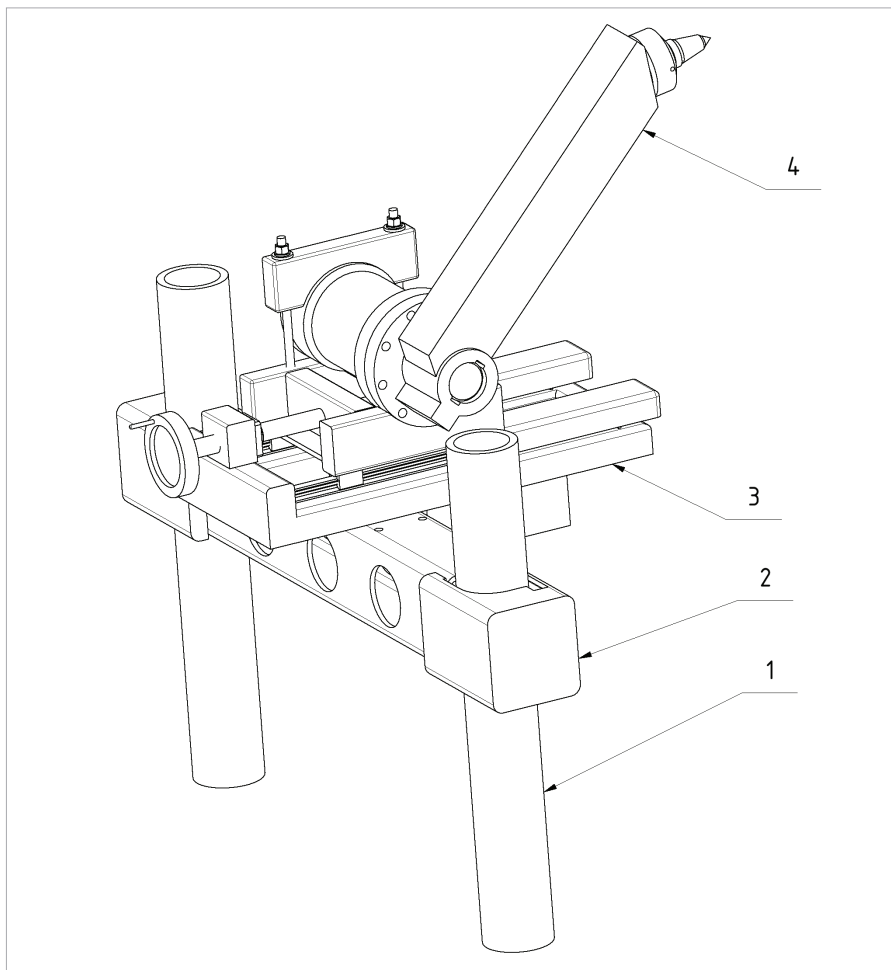
Přístroj částečně imituje pohyb jednoho nože rozpojovacího orgánu, přičemž přímo in-situ měří reálné síly na hrotu tohoto nože, ve všech požadovaných směrech (viz obrázek č. 1). Takto naměřené silové poměry se mohou za použití speciálního softwaru vyhodnotit a po interpolaci těchto výsledků na konkrétní rozpojovací orgán, respektive schéma rozmístění nožů, je možno predikovat, zda rozmístění nožů je optimální, nebo je možno (popř. nutno) nože rozmístit tak, aby energetická náročnost rozpojovacího procesu byla co nejmenší.

Přístroj má osvědčení ATEX do prostředí s nebezpečím výbuchu metanu a je možno jej tudíž použít na všech dolech, a to nejen v České republice, ale prakticky kdekoli na světě. Pro jeho provoz je nutno zajistit zdroj tlaku hydraulické kapaliny a napětí 220 V. Hydraulická kapalina je s výhodou odebírána přímo ze zdroje tlaku emulze pro manipulaci s mechanizovanou výztuží. Pokud by bylo nutno, je možno celý přístroj konstrukčně upravit, avšak muselo by opět dojít k získání osvědčení ATEX, nebo jej provozovat s výjimkou ředitele dolu nebo příslušných orgánů.

Z dlouholetého sledování dobývacích komplexů velmi mocných slojí, které se obecně skládají z dobývacího kombajnu, stěnového hřeblového dopravníku a sekcí mechanizované výztuže, byly stanoveny optimální technické parametry jednotlivých strojních celků (viz tabulka č. 1).

Tab. 1: Optimální parametry dobývacích komplexů velmi mocných slojí.

Parametr	Jednotka	Doporučená hodnota
Dobývací kombajn		
Instalovaný výkon rozpojovacího orgánu	[kW]	max. 500
Instalovaný výkon pojezdového vrátku	[kW]	max. 100
Celková tažná síla kombajnu	[kN]	max. 680
Maximální výška rozpojování	[m]	max. 6,0
Minimální výška rozpojování	[m]	min. 2,8
Postupová rychlost kombajnu - plynulá regulace	[m·min ⁻¹]	0 až 15
Směrný úklon dobývání (platí také pro mechanizovanou výztuž a stěnový dopravník)	[°]	min. 15
Podélný úklon dobývání ploše uložených slojí (platí také pro mechanizovanou výztuž a stěnový dopravník)	[°]	min. 20
Šířka rozpojovacího orgánu	[m]	0,8
Mechanizovaná výztuž		
Odpor výztuže	[kN·m ⁻²]	800 - 1 200
Nosnost výztuže	[kN]	max. 10 000
Výškový rozsah	[m]	2,8 - 6,0
Stěnový hřeblový dopravník		
Dopravní výkon při zabrzdění kombajnu plným pokosem	[t·h ⁻¹]	max. 1 500
Dopravní výkon při zabr. kombajnu polovičním pokosem	[t·h ⁻¹]	max. 1 000
Dopravní řetěz	[-]	2 x ø 42



Obr. 7: Přístroj pro měření rozpojovacích sil.

5 Závěr

Z výše uvedeného je zřejmé, že z důvodů optimalizace rozpojovacího procesu dobývací techniky za účelem snižování energetické náročnosti exploatace užitkového nerostu je důležité měření fyzikálně-mechanických vlastností nerostu přímo in-situ. To je možno provádět především sofistikovanými přístroji simulujícími samotný řezný nástroj či rozpojovací orgán samotného dobývacího stroje. Na základě vyhodnocení dat pak je možno optimalizovat např. rozložení rozpojovacích nožů rozpojovacího orgánu. I v případě úspory energie pouze několika desetin MJ na tunu, dojde v důsledku těžby relativně velkých objemů rovněž k úspoře nemalého objemu finančních prostředků a také k prodloužení životnosti strojního zařízení k exploataci užitkového nerostu.

Poděkování

Článek byl zpracován v rámci projektu Institutu čistých technologií těžby a užití energetických surovin, reg. č. CZ.1.05/2.1.00/03.0082 podporovaného Operačním programem Výzkum a vývoj pro Inovace, financovaného ze strukturálních fondů EU a ze státního rozpočtu ČR.

Literatura

- [1] BIAŁY, W.: *Volba dobývacích kombajnů na základě výzkumů rozpojitelosti uhlí*. Vydání I, Ostrava: Ediční středisko VŠB-TU Ostrava. 2009. 122 s. ISBN 978-80-248-2032-3.
- [2] BIAŁY, W.: *New Devices Used in Determining and Assessing Mechynical Charactereistics of Coal*. In Geology, Exploration and Mining, SGEM2013 Conference Proceedings, Vol. 1, p. 547 - 554. ISBN 978-954-91818-7-6 / ISSN 1314-2704.
- [3] FRIES, J.: *Stanovení provozně technických parametrů dobývacích komplexů velmi mocných slojí*. Habilitační práce v oboru Konstrukční a procesní inženýrství. VŠB-TU Ostrava, 170 s., 2005.
- [4] JASZCZUK, M., CHODURA, J., SIWIEC, J.: *Obliczanie parametrów pracy ścianowych maszyn urabiających*. Wydanie I, Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej 1993, Skrypt nr 1785. stron 174, ISSN 0434-0825.
- [5] ROXBOROUGH, F.F.: *Mechanical Excavation*. Selected papers relating to research in the field of mine mechanization. The University of South Wales. 1994.