

## Vplyv termickej predúpravy na drviteľnosť kremeňa

Slavomír Hredzák<sup>1</sup>, Michal Lovás, Mária Kušnierová a Štefan Jakabský

### *Influence of thermal pretreatment on quartz crushability*

*The paper deals with an influence of thermal pretreatment on the crushability of quartz. The sample of lump quartz from the deposit of Švedlár (Eastern Slovakia) was subjected to primary crushing in the jaw crusher PS D-160 with a discharge of 10–20 mm to obtain a grain size fraction of 8–12 mm. This fraction was thermally pretreated in microwave and muffle ovens. Subsequently, unpretreated and pretreated samples of quartz were crushed again in the secondary jaw crusher VCM-3 with a discharge of 0,2–3 mm. The products of the secondary crushing were subjected to the grain size analyses. Finally, the results of the grain size analyses were plotted. The bond work index and the relative work index according to the Berry and Bruce method were calculated. The obtained results point to the fact that the thermal pretreatment results in a work index reduction by 5–21 %.*

**Key words:** quartz, crushing, thermal pretreatment, work index

### Úvod

Príspevok sa zaoberá vplyvom termickej predúpravy na drviteľnosť kremeňa z ložiska Švedlár. Termická predúprava bola uskutočnená v muflovej, ako aj v mikrovlnnej peci. Hodnotenie termického účinku bolo uskutočnené porovnaním zrnitostí produktov drvenia bez predúpravy a s predúpravou, na základe ktorých boli vypočítané Bondove indexy práce, ako aj relatívne indexy práce Berry-Bruce metódou.

Prvé práce, týkajúce sa vplyvu termickej predúpravy pred procesom zдробňovania, možno datovať na začiatok 20. storočia. Zaoberali sa účinkom zahriatia a prudkého ochladenia cornwallských cínových rúd pred drvením (Yates, 1918-1919) a tepelnou úpravou, ako faktorom v procese drvenia hornín (Holman, 1926-1927).

Aj L. B. Geller (1972), ktorý vo svojej práci uvádza: „Skutočnosť, že zahrievanie vsádzky pred mechanickým zдробňovaním zvyšuje rozpojitelnosť, resp. meliteľnosť mnohých rúd, je veľmi dobre známa“. Venoval pozornosť fyzikálnym parametrom termickej sekcie termicko-mechanického zдробňovacieho systému, konkrétne stupňu ohrevu a prudkosti ochladenia vsádzky.

Uvoľňovaniu minerálov v procese mletia pomocou termickej predúpravy sa venujú Fitzgibbon a Veasey, 1990. V práci uvádzajú pojem „Thermally Assisted Liberation – TAL“, doslova „termicky asistované uvoľňovanie“, pričom konštatujú, že tento proces zatiaľ nie je ekonomicky schodný, jedine, ak by výťažnosť úžitkových minerálov vykompenzovala náklady na ohrev. Zároveň však dodávajú, že aplikáciou lacnejšej a účinnej metódy ohrevu sa tento proces stane hospodárnym. Komplexný prehľad metód, zlepšujúcich uvoľňovanie minerálov v procese zдробňovania, podávajú vo svojej práci Veasey a Wills, 1991. Predhrievanie vsádzky zlepšuje zдробňovanie nielen v prípade rúd a nerudných surovín, ale aj uhlia, čo popisujú Lytle et al., 1992, pričom udávajú zvýšenie meliteľnosti uhlia o 40 %.

S rozvojom mikrovlnovej techniky sa otvoril nový priestor pre výskum v oblasti TAL. Mikrovlnová technika našla široké uplatnenie v mnohých priemyselných odvetviach, napr.: telekomunikačné technológie, spracovanie materiálov v mikrovlnovej plazme, mikrovlnové spracovanie polymérov, mikrovlnové spekanie keramických práškov, syntéza nových materiálov, úprava a spracovanie nerastných surovín a potravinárstvo, o čom referujú Ku et al., 2002.

V súvislosti s uplatnením mikrovlnového žiarenia pri spracovaní nerastných surovín a v environmentálnych technológiách (Haque, 1999; Jones et al., 2002) uvádzajú nasledovné procesy: mletie nerastných surovín, redukcia oxidov kovov uhlíkom, sušenie surovín a dehydratácia minerálov s kryštálovou vodou, lúhovanie minerálov, praženie a tavenie sulfidických koncentrátov, predúprava ťažkopraviteľných Au koncentrátov, regenerácia spotrebovaného aktívneho uhlíka po spracovaní Au rúd, úprava kontaminovaných pôd a odpadov. K týmto procesom možno ešte priradiť modifikáciu magnetických vlastností minerálov, o ktorej bližšie pojednávajú práce Lovás et al., 2003, Znamenáčková a Lovás, 2003 a Znamenáčková et al., 2005.

Vo všetkých vyššie spomenutých procesoch sa uplatňuje mikrovlnový ohrev, ktorého výhody oproti klasickému sú nasledovné (Haque, 1999): bezkontaktný ohrev, prenos energie a nie tepla, rýchle ohrievanie,

<sup>1</sup> Ing. Slavomír Hredzák, PhD., RNDr. Michal Lovás, PhD., doc. Ing. Mária Kušnierová, PhD., Ing. Štefan Jakabský, PhD., Ústav geotechniky SAV, Watsonova 45, 043 53 Košice, 055/7922602, [hredzak@saske.sk](mailto:hredzak@saske.sk)  
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 7. 10. 2005)

selektívne ohrievanie materiálov, objemový ohrev, zahrievanie začína zvnútra telesa materiálu, rýchla iniciácia a zastavenie ohrevu, vyššia úroveň bezpečnosti a automatizácie.

Z charakteru mikrovlnového ohrevu vyplýva, že pri jeho aplikácii prednostne vznikajú trhliny na rozhraniach minerálnych zrn. Pri takto termicky narušenom materiáli sa potom energia zdobňovania sústreďuje predovšetkým do rozhrania medzi minerálnymi zrnami, čím sa obmedzuje tvorba transgranulárnych puklín, teda dochádza k oddeľovaniu, resp. uvoľňovaniu minerálov od seba.

Na podporu predchádzajúcich informácií možno uviesť niekoľko príkladov aplikácií mikrovlnového ohrevu pred zdobňovaním – microwave-assisted comminution (grinding). Walkiewicz et al., 1991 udáva zníženie Bondovho indexu práce po mikrovlnovej predúprave Fe-rúd o 10 – 24 %. Marland et al., 1998 po krátkom pôsobení mikrovlnového žiarenia na uhlie dosiahli zníženie relatívnej energie mletia v rozsahu 20 – 40 %. Vplyvu mineralogického zloženia na správanie sa vsádzky pri mletí po mikrovlnovej predúprave sa podrobne venujú Kingman et al., 2000. Zdôrazňujú významnú úlohu minerálov – absorbérov na celkový efekt mikrovlnovej predúpravy. Vorster et al., 2001 uvádzajú zníženie Bondovho indexu práce až do 70 % po mikrovlnovej predúprave Cu-rúd. Navyše dosiahli ďalšie zníženie indexu prudkým ochladením vsádzky do mlyna. V porovnaní s nechladenou vsádzkou bol index nižší o cca 15 %. Podobne, zníženie Bondovho indexu práce až do 40 % po mikrovlnovej predúprave Pb-Zn rúd uvádzajú Kingman et al., 2004a. Kingman et al., 2004b popisujú zníženie výnosu medziproduktu Cu-sulfidov z 69,2 % na 31,8 % ako dôsledok zlepšenia uvoľnenia minerálov po mikrovlnovej predúprave a mletí pri úprave karbonatitových rúd. Zároveň uvádzajú zníženie energie zdobňovania o viac ako 30 %. O znížení Bondovho indexu práce po mikrovlnovej predúprave o 18,5 % pri mletí Au-rúd referujú Amankwah et al., 2005. Predúprava sa prejavila aj vo zvýšení výťažnosti zlata o 28 – 40 %. Priaznivý efekt mikrovlnovej predúpravy pri mletí dolomitu, vápenca a kremeňa popisujú Wang a Forsberg, 2005.

### Postup termickej predúpravy a drvenia

Pre štúdium vplyvu tepelnej predúpravy na drvitelnosť bol použitý kremeň z ložiska Švedlár, ktorého priemerné zloženie je uvedené v tab. 1. Z tabuľkových hodnôt je zrejmé, že sa jedná o pomerne čistý kremeň, prímеси nedosahujú ani 1 %.

Tab. 1. Chemické zloženie kremeňa zo Švedlára (Jančura, 1993).

Tab. 1. Chemical composition of quartz from Švedlár (Jančura, 1993).

Chemická zložka	[%]
SiO <sub>2</sub>	99,78
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,07
CaO	st.
MgO	0,02
K <sub>2</sub> O	0,01
Na <sub>2</sub> O	0,01
TiO <sub>2</sub>	st.
Cu + Mn + Sn + ostatné prímеси	0,05
Σ	100,00

Kusové vzorky kremeňa boli podrobené primárnemu drveniu v čeľustovom drviči PS D-160 (Pohronské strojárne), vstup max. 80 mm, výstup 10 – 20 mm, s horným uchytением pohyblivej čeľusti. Triedením na sítach bola pripravená zrnitostná trieda 8 – 12 mm, ktorá bola následne tepelne predupravená v muflovej peci LM pri 800 °C a v mikrovlnovej peci Panasonic NN 5251B (900 W; 2,45 GHz) pri teplotách 600 a 800 °C. Teplota pri mikrovlnovom ohreve bola kontrolovaná laserovým bezkontaktným teplomerom Raytek RAYMX4PG (-30 °C +900 °C). Časť vzorky po ohreve v muflovej peci bola ešte navyše podrobená dekripitácii v studenej vode. Následne bola vykonaná kontrolná zrnitostná analýza produktov tepelnej úpravy.

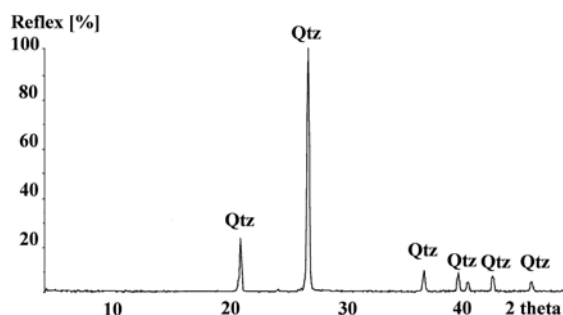
Je nutné poznamenať, že kremeň sa z hľadiska mikrovlnového ohrevu zdá byť problematickým minerálom, pretože je klasifikovaný ako tzv. transmisný materiál, t.j. nereaguje s mikrovlnovým poľom. Avšak aj nepatrné nečistoty spôsobujú nahrievanie tohto minerálu.

Tepelne predupravené vzorky a vzorka bez predúpravy (navážky 1,5 kg) boli podrobené drveniu v malom sekundárnom drviči VCM-3-VD-1 (vibrační čeľustový mlynek, VÚGI Brno), vstup max. 15 mm, výstup 0,2 – 3 mm, s horným uchytением pohyblivej čeľusti, pri dvoch nastaveniach výstupnej štrbiny, t.j. maximálnom a minimálnom roztvorení. Po vykonaní sekundárneho drvenia boli vykonané kontrolné zrnitostné analýzy, ktoré boli graficky vyhodnotené.

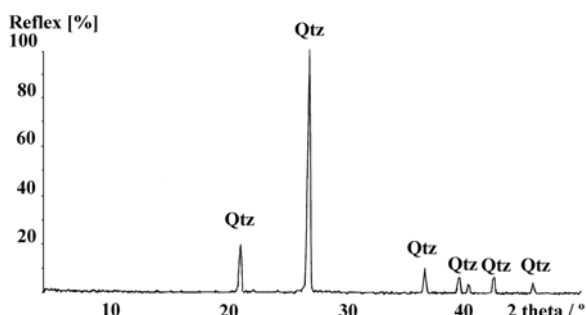
### RTG difrakčné analýzy kremeňa

Vzorky surového a tepelne upraveného kremeňa pri 600 °C boli podrobené RTG difrakčnej analýze na prístroji DRON-UM1 pri nasledovných podmienkach: žiarenie Cu K $\alpha$ , Ni-filter, napätie 30 kV, prúd 20 mA, krok goniometra 2°/min. Difraktogramy sú zobrazené na obr. 1 a 2.

Difraktogramy sa od seba v podstate nelíšia. Po tepelnej predúprave však bolo pozorované mliečne zakalenie vzorky kremeňa, teda možno predpokladať, že pri teplote 573 °C prebehla transformácia  $\alpha$ -modifikácie na  $\beta$ -modifikáciu. Táto zmena je sprevádzaná zväčšením objemu o 0,86 % (Frondel, 1962). Pri chladnutí vzorky prebehla spätná rekryštalizácia na  $\alpha$ -modifikáciu, ale pomery v intenzite píkov v porovnaní s pôvodnou vzorkou neboli zachované, čo je zrejme z tab. 2. Teda, z hľadiska vplyvu tepelnej predúpravy na proces drvenia sa rekryštalizáciami  $\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \alpha$  vytvorili mikropukliny (mliečne zakalenie), ktoré dávajú predpoklad zvýšenia drviteľnosti kremeňa.



Obr. 1. RTG analýza surového kremeňa.  
Fig. 1. XRD pattern of raw quartz.



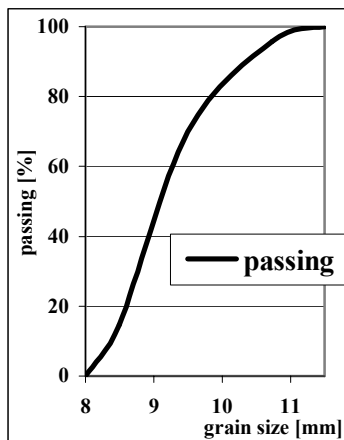
Obr. 2. RTG analýza tepelne predupraveného kremeňa.  
Fig. 2. XRD pattern of thermally pretreated quartz.

Tab. 2. Porovnanie získaných a tabuľkových hodnôt pri RTG difrakčných analýzach.  
Tab. 2. Comparison of obtained and tabular values at XRD analyses.

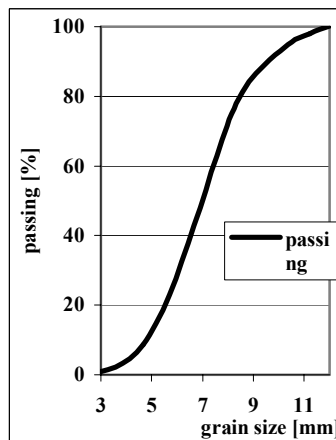
surový kremeň untreated quartz			tepelne predupravený kremeň thermally pretreated quartz			$\alpha$ -kremeň $\alpha$ -quartz		$\beta$ -kremeň $\beta$ -quartz	
uhol	d [nm]	I [%]	uhol	d [nm]	I [%]	d [nm]	I [%]	d [nm]	I [%]
20,83	0,426	21,79	20,91	0,425	19,54	0,4255	35	0,4328	17
26,63	0,335	100,00	26,70	0,334	100,00	0,3434	100	0,3392	100
36,54	0,246	8,85	36,58	0,246	10,40	0,2458	12	0,2499	4
39,46	0,228	7,90	39,51	0,228	6,88	0,2282	12	0,2309	2
40,26	0,224	3,89	40,29	0,224	4,03	0,2230	6	0,2164	3
42,44	0,213	6,64	42,49	0,213	6,71	0,2127	8	0,2012	4
45,77	0,198	4,11	45,82	0,198	4,39	0,1980	6	0,1843	22

### Zrnitostné analýzy produktov drvenia

Kumulatívna krivka prepadov vzorky po primárnom drvení je uvedená na obr. 3. Hodnote 80 % podsietného produktu prislúcha veľkosť zrna 9930  $\mu$ m.



Obr. 3. Kumulatívna krivka prepadov vsádzky na sekundárne drvenie.  
Fig. 3. Cumulative passing curve of feed into secondary crushing.



Obr. 4. Kumulatívna krivka prepadov vsádzky na sekundárne drvenie po deprecipitácii.  
Fig. 4. Cumulative passing curve of feed into secondary crushing after deprecipitation.

Pri tepelnej predúprave nedochádzalo k rozpuškaniu zrn, preto do nižšie uvedených výpočtov bola braná táto hodnota. Triedením na sitách na trepačke by mohlo nárazmi dôjsť k drobeniu zrn, čo by mohlo skresliť výsledky. Iná situácia bola v prípade dekriptovanej vzorky, kde počas prudkého ochladenia došlo k roztrhaniu zrn. Kumulatívna krivka dekriptovanej vzorky je uvedená na obr. 4. Hodnote 80 % podsitného produktu možno priradiť veľkosť zrna 8600  $\mu\text{m}$ .

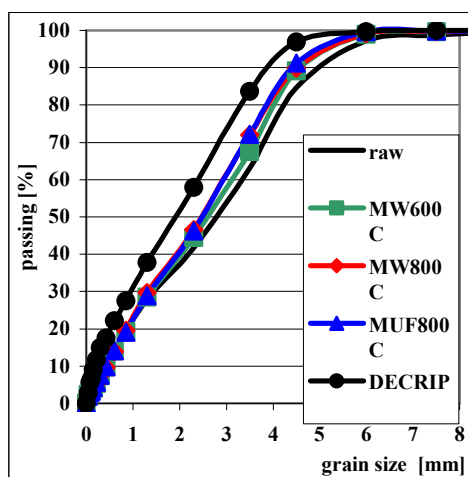
Kumulatívne krivky prepadov vzoriek po sekundárnom drvení sú uvedené nižšie na obr. 5 a 6. Prirodzene, evidentne jemnejší produkt z hľadiska zrnitosti bol získaný pri minimálnom nastavení výpustnej štrbiny. Po odčítaní z príslušných kriviek sú hodnoty veľkosti zrna, pri ktorom je 80 % podsitného produktu uvedené v tab. 3.

Tab. 3. Veľkosť zrna pri 80 % podsitného produktu.  
Tab. 3. Grain size of 80 % passing.

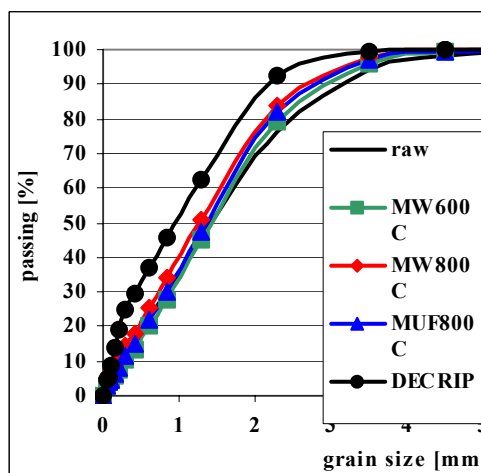
predúprava pretreatment	maximálne otvorenie výpustnej štrbiny	minimálne otvorenie výpustnej štrbiny
	veľkosť zrna [ $\mu\text{m}$ ]	veľkosť zrna [ $\mu\text{m}$ ]
raw	4220	2480
MW600C	4000	2350
MW800C	3850	2200
MUF800C	3830	2130
DECRIIP	3300	1800

(raw – tepelne nepredupravená vsádzka, MW600C a MW800C – mikrovlnový ohrev pri 600 °C a 800 °C, MUF800C – ohrev v muflovej peci pri 800 °C, DECRIIP – vzorka po dekriptácii)

(raw – thermally unpretreated feed, MW600C and MW800C – microwave heating at 600 °C and 800 °C, respectively, MUF800C – heating in muffle oven at 800 °C, DECRIIP – sample after decrification)



Obr. 5. Kumulatívne krivky prepadov produktov po sekundárnom drvení pri maximálnom nastavení veľkosti štrbiny.  
Fig. 5. Cumulative passing curves of secondary crushing products at maximal opening of discharge.



Obr. 6. Kumulatívne krivky prepadov produktov po sekundárnom drvení pri minimálnom nastavení veľkosti štrbiny.  
Fig. 6. Cumulative passing curves of secondary crushing products at minimal opening of discharge.

### Hodnotenie drviteľnosti

Hodnotenie drviteľnosti bolo uskutočnené podľa Bondovej tretej teórie zdrobňovania (Dinter, 1984). Základná rovnica tejto teórie má tvar:

$$W = \frac{10 W_i}{\sqrt{P}} - \frac{10 W_i}{\sqrt{F}} \quad [\text{kWh.t}^{-1}] \quad (1)$$

kde: W – spotreba práce pri zdrobňovaní materiálu z pôvodnej veľkosti zrn F na konečnú veľkosť zrn produktu P,

$W_i$  – index práce [ $\text{kWh.t}^{-1}$ ],

F – okatosť sita, ktorým prepadne 80 % zrn vsádzky [ $\mu\text{m}$ ],

P – okatosť sita, ktorým prepadne 80 % zrn konečného produktu [ $\mu\text{m}$ ].

Za základ hodnotenia bola braná hodnota indexu práce pre drvenie kvarcitu (Impact Work Index) podľa príručky Basic in Mineral Processing - Size Reduction, t.j. 16  $\text{kWh.sh.ton}^{-1}$ . Po prepočte krátkej tony (short tonne = 907,16 kg) na metrickú bola získaná hodnota indexu práce  $W_i = 17,64 \text{ kWh.t}^{-1}$ .

Po dosadení do rovnice (1) bude spotreba práce pri drvení nepredupravenej vzorky pri maximálnom otvorení výpustnej štrbiny rovná:

$$W = 0,945 \text{ kWh.t}^{-1} \text{ pri stupni drvenia } 2,353,$$

pre minimálne otvorenie výpustnej štrbiny sa spotrebovala práca:

$$W = 1,772 \text{ kWh.t}^{-1}, \text{ pri stupni drvenia } 4,004.$$

Pre index práce odvodením z rovnice (1) platí:

$$W_i = \frac{W}{10 \left( \frac{1}{\sqrt{P}} - \frac{1}{\sqrt{F}} \right)} \quad (2)$$

Vypočítané hodnoty  $W_i$  s prepočtom na percentá tabuľkovej hodnoty sú uvedené v tab. 4.

Tab. 4. Vypočítané hodnoty indexu práce.

Tab. 4. Calculated values of work index.

predúprava pretreatment	maximálne otvorenie výpustnej štrbiny		minimálne otvorenie výpustnej štrbiny	
	$W_i$ [kwh.t <sup>-1</sup> ]	[%]	$W_i$ [kwh.t <sup>-1</sup> ]	[%]
raw	17,64	100,00	17,64	100,00
MW600C	16,36	92,76	16,72	94,83
MW800C	15,54	88,11	15,70	89,02
MUF800C	15,43	87,49	15,23	86,23
DECRIIP	14,27	80,91	13,85	78,56

Porovnanie indexu práce možno uskutočniť aj bez konkrétne známej hodnoty indexu práce. Berry a Bruce, 1966 odvodili podľa Bondovej teórie nasledovný vzťah, pre tzv. relatívny index práce:

$$RIP = \frac{\left( \frac{10}{\sqrt{Pr}} - \frac{10}{\sqrt{Fr}} \right)}{\left( \frac{10}{\sqrt{Pt}} - \frac{10}{\sqrt{Ft}} \right)}, \quad (3)$$

kde: RIP – relatívny index práce (RWI - Relative Work Index),

F – okatosť sita, ktorým prepadne 80 % zrn vsádzky [ $\mu\text{m}$ ],

P – okatosť sita, ktorým prepadne 80 % zrn konečného produktu [ $\mu\text{m}$ ].

r – materiál bez preúpravy (referenčný materiál),

t – termálne predupravený materiál.

Pre percentuálne vyjadrenie RIP k určitej referenčnej hodnote možno po úprave vzťahu (3) uviesť nasledovný tvar:

$$RIP = \frac{\left( \frac{1}{\sqrt{Pr}} - \frac{1}{\sqrt{Fr}} \right)}{\left( \frac{1}{\sqrt{Pt}} - \frac{1}{\sqrt{Ft}} \right)} \times 100\% \quad (4)$$

Tab. 5. Relatívne indexy práce v percentách.

Tab. 5. Relative work indexes in percentage.

predúprava - pretreatment	maximálne otvorenie výpustnej štrbiny RIP [%]	minimálne otvorenie výpustnej štrbiny RIP [%]
raw	100,00	100,00
MW600C	92,77	94,83
MW800C	88,12	89,02
MUF800C	87,51	86,36
DECRIIP	80,89	78,56

Z porovnania hodnôt v tab. 4 a 5 je zrejmé, že oboma postupmi boli zistené rovnaké hodnoty zníženia indexu práce. Možno teda konštatovať, že tepelná predúprava pred drvením ovplyvňuje drviteľnosť kremeňa, pričom spôsob ohrevu nie je rozhodujúci z hľadiska zrnitosti získaných produktov. Výrazne sa však prejavila dekrepitácia, pri ktorej aplikácii sa najviac znížil index práce.

## Záver

V predložennom príspevku sú predložené výsledky štúdia: vplyv tepelnej predúpravy kremeňa na jeho drviteľnosť. Na základe dosiahnutých výsledkov možno konštatovať, že tepelná predúprava znižuje hodnotu indexu práce, čo sa prejavilo jemnejšou zrnitosťou tepelne predupravených produktov, drvených pri rovnakých podmienkach. Bez dekripitácie sa dosiahlo zníženie indexu práce o cca 5 – 13 %. Účinok dekripitácie je výrazný, index práce sa pri jej aplikácii znížil o cca 19 – 21 %.

*Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia grantového projektu VEGA č. 2/5150/25*

## Literatúra – References

- Amankwah, R., K., Khan, A., U., Pickles, C., A., Yen, W., T.: Improved grindability and gold liberation by microwave pretreatment of a free-milling gold ore. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy (Trans. Inst. Min. Metall. C)*. Vol. 114, No. 1, March 2005, p. 30 – 36.
- Basic in Mineral Processing. *Size Reduction. Product Handbook*.  
<http://www.ausimm.com.au/membersonly/chap2/sect1c.pdf>
- Berry, T., F., Bruce, R., W.: A simple method of determining the grindability of ores. *Canadian Gold Metallurgist*, 1966, p. 63 – 65. In: Marland, S., Han, B., Rowson, N., A., Merchant, A., J.: Microwave embrittlement and desulphurization of coal. *Acta Montanistica Slovaca*, roč. 3 (1998), č. 3, s. 351–355.
- Dinter, O.: Drcení a mletí nerostných surovin. *SNTL Praha*, 1984.
- Frondele, C.: The system mineralogy: silica minerals, Vol. III, Wiley, New York, 7th edition, 1962, p. 119. In: Pocock, J., Veasey, T., J., Tavares, L., M., King, R., P.: The effect of heating and quenching on grinding characteristics of quartzite. *Powder Technology*, 95 (1998), pp. 137 – 142.
- Fitzgibbon, K., E., Veasey, T., J.: Thermally assisted liberation – a review. *Minerals Engineering*, Vol. 3, Issues 1–2, 1990, pp. 181 – 185.
- Geller, L., B.: Thermal stress in spheres – A basis for studying the grinding of preheated rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, Vol. 9, Issue 2, March 1972, pp. 213 – 240.
- Haque, K., E.: Microwave energy for mineral treatment process – a brief review. *International Journal of Mineral Processing*, 57 (1999), pp. 1 – 24.
- Holman, B., W.: Heat treatment as an agent in rock breaking. *Trans. IMM*, 26, (1926-1927), pp. 219 – 256. In: Kingman, S., W., Rowson, N., A.: *Microwave treatment of minerals – a review. Minerals Engineering*, Vol. 11 (1998), No. 11, pp. 1081 – 1087.
- Jančura, M.: Výpočet zásob ložiska kremeňa – Švedlár. *Železorudné bane*, š. p. Spišská Nová Ves, 1993, 32 strán.
- Jones, D., A. Lelyveld, T., P., Mavrofidis, S., D., Kingman, S., W., Miles, N., J.: Microwave heating applications in environmental engineering – a review. *Resources, Conservation and Recycling*, 34 (2002), pp. 75 – 90.
- Kingman, S., W., Jackson, K., Bradshaw, S., M., Rowson, N., A. Greenwood, R.: An investigation into the influence of microwave treatment on mineral ore comminution. *Powder Technology*, Vol. 146, Issue 3, September 2004a, pp. 176 – 184.
- Kingman, S., W., Jackson, K., Cumbane, A., Bradshaw, S., M. Rowson, N., A., Greenwood, R.: Recent developments in microwave-assisted comminution. *International Journal of Mineral Processing*, Vol. 74, Issues 1 – 4, November 2004b, pp. 71 – 83.
- Kingman, S., W., Vorster, W., Rowson, N., A.: The influence of mineralogy on microwave assisted grinding. *Minerals Engineering*, Vol. 13, No. 3, (2000), pp. 313 – 327.
- Ku, H., S., Siores, E., Taube, A., Ball, Jar.: Productivity improvement through the use of industrial microwave technologies. *Computers & Industrial Engineering*, 42 (2002), pp. 281 – 290.
- Lovás, M., Murová, I., Mockovčiaková, A., Rowson, N., A., Jakabský, Š.: Intensification of magnetic separation and leaching of Cu-ores by microwave radiation. *Separation and Purification Technology*, Vol. 31, Issue 3, June 2003, pp. 291 – 299.
- Lytle, J., Choi, N., Prisbrey, K.: Influence of preheating on grindability of coal. *International Journal of Mineral Processing*, Vol. 36, Issues 1 – 2, September 1992, pp. 107 – 112.
- Marland, S., Han, B., Rowson, N., A., Merchant, A., J.: Microwave embrittlement and desulphurization of coal. *Acta Montanistica Slovaca*, roč. 3 (1998), č. 3, pp. 351 – 355.

- Pocock, J., Veasey, T., J., Tavares, L., M., King, R., P.: The effect of heating and quenching on grinding characteristics of quartzite. *Powder Technology*, 95 (1998), pp. 137 – 142.
- Veasey, T., J., Wills, B., A.: Review of methods of improving mineral liberation. *Minerals Engineering*, Vol. 4, Issues 7 – 11, 1991, pp. 747 – 752.
- Walkiewicz, J., W., Lindroth, D., P. Mc Gill, S., L.: Microwave assisted grinding. *IEEE Transactions on Industrial Applications*, 27(2), March 1991, pp. 239 – 242. In: Kingman, S., W. Rowson, N., A.: Microwave treatment of minerals – a review. *Minerals Engineering*, Vol. 11 (1998), No. 11, pp. 1081 – 1087.
- Wang, Y., Forssberg, E.: Dry comminution and liberation with microwave assistance. *Scandinavian Journal of Metallurgy*, 2005, 34, pp. 57 – 63.
- Yates, A.: Effect of heating and quenching Cornish tin ores before crushing. *Trans. IMM*, 28, (1918-1919), pp. 41 – 47. In: Kingman, S., W. Rowson, N., A.: Microwave treatment of minerals – a review. *Minerals Engineering*, Vol. 11 (1998), No. 11, pp. 1081 – 1087.
- Znamenáčková, I., Lovás, M.: Mikrovlny nielen v kuchyni. *Quark*, roč. 9, č.7 (2003), s.16-17.
- Znamenáčková, I., Lovás, M., Mockovčiaková, A., Jakabský, Š., Briančin, J.: Modification of Magnetic properties of siderite ore by microwave energy. *Separation and Purification Technology*, Vol. 43, Issue 2, May 2005, pp. 169 – 174.