

Vplyv mikrovlnného žiarenia na porušenosť hornín

Ingrid Murová¹, Michal Lovás¹ & Štefan Jakabský¹

The influence of microwave radiation on the failure of rocks

The heating and processing of materials using microwaves becomes increasingly popular for industrial applications. Compared to conventional heating, microwave processing can provide a rapid, the production of materials with unique properties, and reductions in manufacturing costs and processing times.

The positive influence of the microwave radiation on the faulting of the individual rocks is described. At the heating of the heterogeneous ores, the microwaves have an selective effect for individual mineral components. Owing to the different degree of to heating and thermal dilatation the stress and destructive attendants arise, which increase the faulting of rocks. The rate of the faulting has been investigated on the basis of measurement of the elastic waves motion velocity by the impulse-dynamic method.

On the basis of the measured values of elastic wave motion in the observed rocks before and after their microwave heating the coefficient of faulting was computed according to the relation (1). Subsequently, from these coefficients the rate of faulting was determined for individual rocks according to Jaeger (Table 1).

Various rate of rocks faulting caused by the radiation depend on their ability to absorb microwave power. High rate of faulting was observed in rocks with strong absorption of microwave power unlike from substances which weakly absorb the radiation. Particularly, a high rate of faulting after microwave heating was observed at samples of limestone (Rožňava-Jovice) and magnesite (Hačava). Low rate of faulting was obtained in the case of granodiorite (Podhradová), granite (Hnilec), sandstone (Horelica), marble (Koelga) and andesite (Hubošovce).

The influence of microwave energy on the rate of rocks faulting was confirmed. The new knowledge can be applied for the intensification of the rock disintegration processes.

Key words: microwave irradiation, failure, rock.

Úvod

V súčasnosti sa mikrovlnná energia stále viac využíva v mnohých priemyselných odvetviach pri inovácii technológií spracovania rôznych druhov materiálov. Mikrovlnami definujeme oblasť elektromagnetického žiarenia s vlnovou dĺžkou od decimetrového až do submilimetrového pásma. Pre technickú prax je významný efekt, založený na generácii tepla v dôsledku pohltienia alebo indukcie elektromagnetických vln materiálmi. Tepelný efekt mikrovln je možné využiť pri intenzifikácii procesu rozpojovania nerastných surovín zvýšením ich stupňa porušnosti. Stupeň porušnosti a rozpojenia hornín vplyvom tepla určujú: pevnosť a pružnosť hornín, tepelná vodivosť hornín a nerastov, merné teplo a súčiniteľ tepelnej rozťažnosti (Stiebitz, 1975). Porušenosť sledovaných hornín pred a po ich mikrovlnnom ožarovaní bola sledovaná prostredníctvom merania rýchlosti šírenia ultrazvukových vln.

Hodnotenie porušnosti hornín

Porušenosť sa hodnotí na základe šírenia pozdĺžnych a priečných vln v horninách. Rýchlosť šírenia týchto vln je určovaná pružnými parametrami horniny a mení sa v závislosti od jej mineralogického zloženia, objemovej pórovitosti, vlhkosti, štruktúry a textúry, teploty, anizotropie, porušnosti a stavu napätosti. U väčšiny hornín zvýšenie teploty spôsobuje vznik trhlín a puklín, ktoré spôsobujú zníženie rýchlosti šírenia vln, ktoré je spojené so zvýšením stupňa porušnosti. Rýchlosť šírenia pozdĺžnych vln môže byť preto charakteristikou stavu napätosti hornín (Pandula, 1989; 1992). Metódy merania sú založené na výskume sledovania polí vznikajúcich pri tvorení trhlín a porušení hornín.

Podľa odporúčania Medzinárodnej spoločnosti pre mechaniku hornín ISRM, je koeficient porušnosti K_p určovaný podľa vzťahu (Pandula, 1995):

$$(1) \quad K_p = \frac{V_{POR}}{V_{NEPOR}} \cdot 100 \quad [\%]$$

kde V_{POR} - rýchlosť šírenia pozdĺžnych vln vo vzorke po mikrovlnnom ohreve [ms^{-1}].

V_{NEPOR} - rýchlosť šírenia pozdĺžnych vln vo vzorke pred mikrovlnným ohrevom [ms^{-1}].

¹ Ing. Ingrid Murová, RNDr. Michal Lovás, PhD. & Ing. Štefan Jakabský, PhD., Ústav geotechniky SAV, Watsonova 45, 043 53 Košice (Recenzované v roku 2000)

Na základe vypočítaného koeficienta porušenosť je možné kvantifikovať stupeň porušenia hornín. V tabuľke 1 je uvedené kvantitatívne ocenenie porušenosť hornín podľa Jaegera (Jaeger, 1972).

Tab.1. Kvantitatívne ocenenie porušenosť (podľa Jaegera).
Tab.1. Quantitative assessment of faulting.

K_p [%]	100 – 90	90 – 75	75 – 50	50 – 25	25 – 0
porušenosť	veľmi nízka	nízka	stredná	vysoká	veľmi vysoká

Charakteristika vzoriek

Vplyv mikrovlnného ohreву na porušenosť hornín bol sledovaný na vzorkách v tvare hranolov a valčekov, ktorých charakteristika je uvedená v tabuľke 2.

Tab.2. Charakteristika sledovaných hornín.
Tab.2.Characteristic of observed rocks

HORNINA	LOKALITA	ROZMERY [mm]	HMOTNOSŤ [g]	DĹŽKA VZORKY [mm]
VÁPENEC	Rožňava -Jovice	155,0 x Ø 55,5	1 088,0	155,0
VÁPENEC	Tisovec	124,0 x 45,0 x 46,0	678,0	124,0
VÁPENEC	Včeláre	146,5 x Ø 41,2	528,8	146,5
PIESKOVEC	Ličartovce	91,9 x Ø 41,7	326,2	91,1
PIESKOVEC	Horelica	216,0 x Ø 39,7	681,7	216,0
GRANODIORIT	Podhradová	91,0 x Ø 41,6	332,1	91,0
ŽULA	Hnilec	184,0 x 37,3 x 30,7	527,0	184,0
MAGNEZIT	Jelšava –Dúbrava	107,0 x 39,0 x 41,0	658,0	107,0
MAGNEZIT	Hačava	59,1 x 39,6 x 38,5	329,9	59,1
ANDEZIT	Ruskov	86,4 x Ø 31,8	169,0	86,4
ANDEZIT	Hubošovce	97,2 x 63,1 x 60,7	950,7	97,2
DOLOMIT	Jelšava –Dúbrava	110,5 x 41,0 x 44,9	612,0	110,5
MRAMOR	Koelga (Rusko)	250,0 x 31,5 x 29,6	629,6	250,0
SIDERIT	Nižná Slaná – Kobeliarovo	88,7 x 42,6 x 43,0	587,9	88,7
TRAVERTÍN	Spišské Podhradie	134,0 x Ø 40,0	419,5	134,0

Metodika meraní

Experimenty boli vykonané v laboratórnych podmienkach na horninových vzorkách za účelom skúmania ich porušenosť po ich mikrovlnnom ožarovaní. Mikrovlnný ohrev hornín bol realizovaný v mikrovlnnej peci typu Panasonic NN-5251B (frekvencia žiarenia 2450 MHz). Vzorky boli umiestnené v zvislej polohe vo výške 3 cm na keramickej podložke. Vzorky boli ožarované 5 minút pri výkone 900 W. Teplota vzoriek bola meraná po mikrovlnnom ohreve bezkontaktným infračerveným teplomerom s laserovým zameriavaním (typ Raytek ST; rozsah merania $-30 \div 900$ °C). Na meranie rýchlosti šírenia pozdĺžnych vln bol použitý ultrazvukový prístroj MATERIAL TESTER typ 543 s digitálnym odčítavaním času (presnosť merania 0,01 μ s). Frekvencia použitého ultrazvukového vlnenia bola 1 MHz.

Rýchlosť šírenia pozdĺžnych vln v horninách bola vypočítaná podľa vzťahu (Martinček, 1962):

$$v = \frac{l}{t} \quad [\text{m}\cdot\text{s}^{-1}] \quad , \quad (2)$$

kde l – dĺžka meranej vzorky [m],
 t – čas, za ktorý vlnenie prešlo cez meranú vzorku [s].

Experimentálne výsledky a diskusia

Namerané výsledky sú uvedené v tabuľke 3. Z nameraných hodnôt rýchlosti pozdĺžnych vln v sledovaných horninách pred a po ich mikrovlnnom ohreve bol vypočítaný koeficient porušenosť podľa vzťahu (1). Na základe vypočítaných koeficientov bol stanovený stupeň porušenosť jednotlivých hornín podľa Jaegera. Vysoký stupeň porušenia bol zistený u vzorky vápenca (Rožňava-Jovice) a vzorky magnezitu (Hačava). U vzorky sideritu (Nižná Slaná) bol po mikrovlnnom ohreve pozorovaný vznik rozsiahlej siete viditeľných nepravidelných trhlín.

V prípade travertínu (Spišské Podhradie) bol pozorovaný rozpad vzorky. Aplikovaná metóda merania neumož-

nila stanoviť stupeň ich porušenia. U ostatných sledovaných hornín bol po ich mikrovlnnom ohreve pozorovaný stredný, resp. nízky stupeň porušenia.

Tab.3. Porovnanie rýchlostí šírenia pozdĺžnych vln v horninách pred a po ich mikrovlnnom ohreve a stupeň ich porušenia.

Tab.3. Comparison of motion velocity of longitudinal waves in rocks before and after their microwave heating and their rate of faulting.

HORNINA (lokality)	VZORKA PRED MW OHREVOM		VZORKA PO MW OHREVE		MAX. TEPLOTA po MW ohreve [°C]	KOEFIČIENT PORUŠENIA [%]	PORUŠENOSŤ podľa Jaegera
	ČAS t _N [μs]	RÝCHLOSŤ v _N [m/s]	ČAS t _N [μs]	RÝCHLOSŤ v _N [m/s]			
VÁPENEC (Rožňava-Jovice)	31,02	4 967,9	70,34	2 204,8	245	44,4	vysoká
VÁPENEC (Tisovec)	22,64	5 486,7	43,54	2 850,5	280	51,95	stredná
VÁPENEC (Včeláre)	20,52	7 139,4	30,68	4 771,9	310	66,84	stredná
PIESKOVEC (Ličartovce)	18,12	5 027,5	28,12	3 241,9	240	64,48	stredná
PIESKOVEC (Horelica)	266,6	810,2	300,1	719,7	186	88,83	nízka
GRANODIORIT (Podhradová)	14,24	6 390,4	17,06	5 352,9	240	83,76	nízka
ŽULA (Hnilec)	39,5	4 658,2	43,5	4 229,8	200	90,8	nízka
MAGNEZIT (Jelšava)	18,52	5 783,8	31,9	3 354,2	220	57,9	stredná
MAGNEZIT (Hačava)	15,5	3 812,9	41,6	1 420,6	340	37,2	vysoká
ANDEZIT (Ruskov)	16,5	5 236,4	24,7	3 497,9	350	66,79	stredná
ANDEZIT (Hubošovce)	16,84	5 785,7	19,32	5 036,2	150	87,04	nízka
DOLOMIT (Jelšava)	14,72	7 517,0	21,2	5 212,3	320	69,34	stredná
SIDERIT (Kobeliarovo)	22,5	3 942,2	-	-	460	-	-
TRAVERTÍN (Sp. Podhradie)	29,1	4 640,8	-	-	187	-	-

oznámka: t – čas prechodu ultrazvukového vlnenia, r – rýchlosť šírenia pozdĺžnych vln.

Note: t – time of ultrasonic wave motion passing, r – velocity of longitudinal waves motion.

Záver

Aby sme dosiahli zvýšenie porušenia hornín, boli sledované vzorky ožarované v mikrovlnnom poli. Porušenosť sledovaných hornín bola určovaná prostredníctvom merania rýchlosti šírenia pozdĺžnych vln pred a po ich mikrovlnnom ohreve. Dosažený rozličný stupeň porušenia ožarovaných hornín závisí na ich schopnosti absorbovať mikrovlnnú energiu. U hornín, dobre absorbujúcich mikrovlnnú energiu, bol pozorovaný vysoký stupeň porušenia. Naopak, u vzoriek slabo absorbujúcich mikrovlnné žiarenie, bol zaznamenaný stredný, resp. nízky stupeň porušenia. Na základe uvedených výsledkov bol potvrdený vplyv mikrovlnnej energie na stupeň porušenia hornín, ktorý je možné využiť pri intenzifikácii procesu rozpojovania nerastných surovín.

Literatúra

- JAEGER, C.H. 1972. *Rock Mechanics and Engineering*. Cambridge, 1972.
- MARTINČEK, G. 1962. *Nedeštruktívne dynamické metódy skúšania stavebných materiálov*. Academia, Bratislava, 1962.
- STIEBITZ, J. 1975. Rozpojování horninových masívů v ČKP. Zb.: *Súčasné poznatky výskumu a praxe v rozpojovaní hornín*, Vysoké Tatry, 1975, s. 293 – 314.
- PANDULA, B. 1989. Vplyv porušenia horninového prostredia na stupeň prechodu energie pružného vlnenia. Zb.: *Fyzikálne vlastnosti hornín a ich využitie v geofyzike a geológii III.*, Smolenice, 1989, s. 171-176.

- PANDULA, B. et al. 1992. The influence of rocks on the dynamic characteristic of elastic waves. *Acta Montana, ÚG ČSAV* 84, 1992, p. 207-214.
- PANDULA, B. 1995. Určovanie porušenosť hornín seizmickými a seizmoakustickými metódami a ich aplikácia pri rozpojovaní hornín výbuchom. *Kandidátska dizertačná práca*, TU Košice, 1995.