

EXPERIMENT S MODELOM HORNINOVEJ TAVENINY

prof. Ing. Tobiáš LAZAR, DrSc.¹ - prof. Ing. Félix SEKULA, DrSc.²

Anotácia :

Príspevok prezentuje výsledky výskumu modelového tavenia horniny, ktorá mení svoju viskozitu v závislosti na teplote a veľkosti pôsobiacich tlakov. Smerovanie výskumu malo za cieľ experimentálne ukázať na teoretickú zdôvodnenosť vzniku trhlín v skalnom masíve a zaplnenie ich objemu viskóznou modelovou horninou. Zmena hustoty horniny, vyvolaná poklesom pôsobiaceho vysokého tlaku, sa skokovo mení na tekutinu s nízkou viskozitou. Dosiahnutý výsledok je v príspevku diskutovaný s výstupom na zdôvodnenie návrhu funkčného riadiaceho člena, ktorého fyzikálne chovanie otvára nové možnosti termicko - tlakového hĺbenia otvorov do zeme.

Úvod :

Návrh a neskôr použitie fyzikálneho modelu výskumu interakcie modelovej taveniny horniny o známej teplote, komprimovanej vonkajším tlakovým zdrojom v potrubnom systéme (model vrtu) s charakteristickým, konštantným objemom a umiestnenom v horninovom masíve, bol podmienený prierezovým štúdiom literatúry a výskumných prác špecializovaných na chovaní modelovej viskóznej magmy.

1. Vstupné predpoklady výskumu :

V súčasnosti sa pod označením magma rozumie silikátová tavenina, obsahujúca kryštály silikátových a rudných nerastov, vodné pary a ďalšie prchavé zložky. Pomer zložiek v magme je variabilný a môže obsahovať až 10% tuhej fázy. Prítomnosť tuhej fázy (kryštálov) má dvojaký pôvod :

- môže byť relikdami roztavenej pôvodnej horniny
- môžu to byť kryštály vylúčené pri začiatkovej kryštalizácii magmatickej taveniny.

Voda, ktorá sa nachádza rozpustená v magmatických taveninách tvorí s mnohými prvkami a chemickými zlúčeninami komplikované systavy homogénneho, prípadne aj heterogénneho charakteru, nazývaného fluidum. Prítomnosť vody v tavenine podstatne mení jej fyzikálne vlastnosti. Napríklad obsah 2% vody v magmatickej tavenine znižuje jej viskozitu. Pokusy

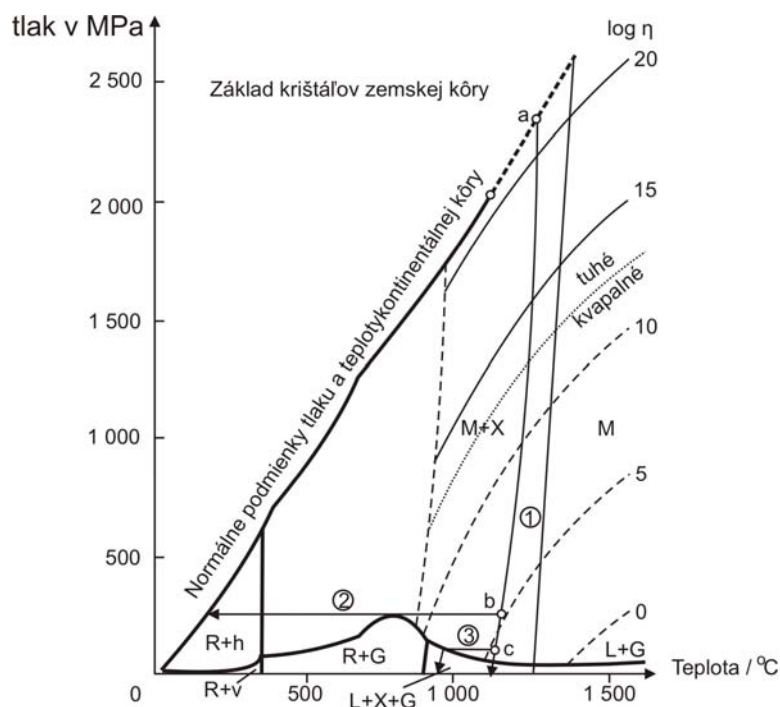
¹ prof. Ing. Tobiáš LAZAR, DrSc. Technical University Košice, Letecká fakulta, Rampová 7 041 21 Košice

² prof. Ing. Félix SEKULA, DrSc. Technical University Košice, Letecká fakulta, Rampová 7 041 21 Košice

R.W.Gorasona ukázali, že rozpustnosť vody v magmatických taveninách rastie s tlakom až do obsahu 10%, pri poklese teploty taveniny až o 300°C. Neskoršie bolo experimentálne dokázané, že prítomnosť vody v granitických a tazitových taveninách sa zvyšuje s rastom teploty. Uvádza sa, že v magme pri tlaku 0,9 GPa a teplote 1200°C sa môže rozpustiť až 18 % H₂O (A.A. Kadir, E.B.Lebbdev, 1968). Pri ochladzovaní magmy sa voda zase oddeľuje. Možno teda konštatovať, že charakter všetkých zložiek v magme je daný termodynamickými podmienkami ich existencie.

Na základe experimentov sa konštatovalo, že primárne existuje len magma, ktorá chemickým zložením zodpovedá materiálu plášťa Zeme a jej diferenciáciou vznikajú bázické, intermediálne a možno až kyslé magmy. Chemické zloženie primárnej magmy vyjadrujú D.H.Gren a A.E.Ringwood horninou označovanou ako pyrolit, ktorá predstavuje zmes pyroxénu a olivínu, resp. zmes bazaltu a dunitu v približnom pomere 1:3. K dôležitým fyzikálnym vlastnostiam magmy patrí teplota a viskozita, t.j. údaje ktorá sú dôležité pri procesoch diferenciácie magmy. Ďalej uvádzané údaje sú odvodené zo štúdia výstupov experimentálnych prác, zameraných na modelovanie ich prírodných procesov.

Priamym meraním teploty lávy sa získali kolísavé hodnoty a to v rozmedzí od 800°C do 1200°C, keď vo väčšine prípadov je teplota lávy na povrchu vyššia ako v hĺbke. Vyššia teplota lávy na povrchu sa vysvetľuje oxidačnými reakciami plynov pri styku so vzdušným kyslíkom. Z meraní teploty rôznych láv vyplýva, že bázické lávy majú vyššie teploty ako kyslejšie lávy. Doteraz publikované údaje o viskozite magmy sa týkajú väčšinou len láv, resp. rôznych silikátových roztokov, ktoré zodpovedajú suchým systémom. Ako uvádzajú niektoré práce (napr. C.M.Scarfe, 1973), viskozitu znižujú okrem prítomnosti vody aj iné zložky (napr. HF, HCl). Práca C.M.Scarfeho ukázala, že napr. pri tholeiitickom bazalte v procese rozpúšťania $4 \pm 0,5$ hmot. % objemu H₂O pri teplote 1 150°C sa znížila jeho viskozita. Viskozita pri 1 050°C a tlaku 1 atm môže byť rádovo rovná hodnote 105. Na základe izostatických vyrovnávacích pohybov a časového pôsobenia mohli geofyzici vypočítať, že približne v 80 km hĺbke viskozita pri teplote 1 300°C a tlaku 23 000 atm je rádovo 1 023. Ďalej môžeme uvažovať, že tepelná závislosť viskozity magmy je analogická ako pri lávach. Pri tomto uvažovaní sa objavujú vo vzorci konštanty v exponenciálnom vyjadrení zmien viskozity [3], [4] konštanty $a = 1 \cdot 10^{-3}$; $b = 45 \cdot 10^3$; $c = 0,75$, pomocou ktorých je možné vypočítať viskozitu pri všetkých tlakovo teplotných podmienkach. Výsledky tohto prepočtu sú uvedené na obr. 1 prerušovanými krivkami, ktoré udávajú logaritmus viskozity pri zvolených tlakovo teplotných podmienkach.



Obr. 1 Stavový diagram olivínicko-bazaltického materiálu

označenia na obr. 1 : M - tavenina, X - drobné kryštalické častice, R - kryštalická hornina, L - láva, G - plyny, p - pneumatiké roztoky, h - hydrotermálne roztoky, v - vodná para.

V častiach magmy /M a M+X/ sú uvedené prerušované krivky, ktoré približne zodpovedajú logaritmu viskozity; „tuhé“ s „kvapalné“ sa vzťahuje na seizmické chovanie a nie na vonkajší stav.

Na základe štúdia ďalších autorov, ale aj z experimentálnych pozorovaní vyplýva, že uvoľňovaním plynov z magmy sa viskozita taveniny podstatne znižuje. Bolo viackrát pozorované, že najmä vyvretá pyromagma sa vyznačuje viskozitou, porovnateľnou s vodou.

2. Experiment a dosiahnuté výsledky.

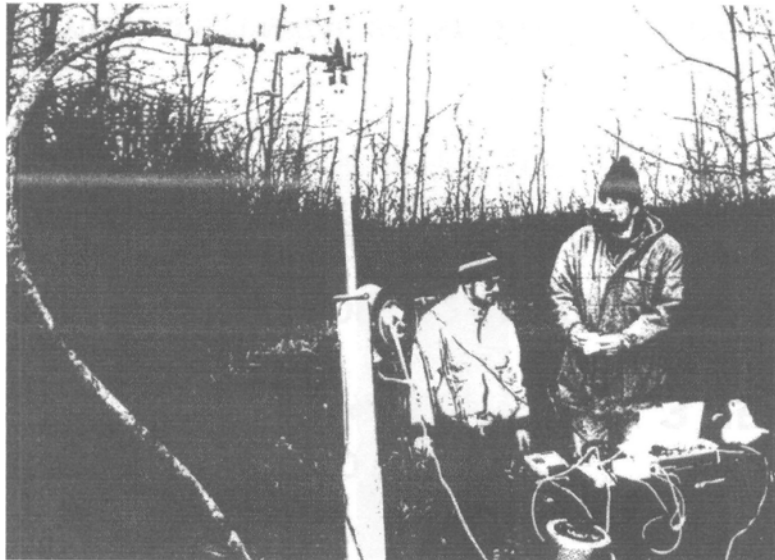
Fyzikálny model tlakovo termického hĺbenia koncepčne akceptoval statické a dynamické vlastnosti roztavených hornín. Zariadenie (viď obr. 2), navrhnuté výpočtovými metódami, sa vyznačovalo nasledujúcimi vlastnosťami :

- vysoká tuhosť a schopnosť odolávať tlakom v pozdĺžnom i priečnom reze
- dostatočný objem pre umiestnenie modelu horniny (parafín)

- vysoká tesnosť a priľnavosť vonkajšej steny modelu k hornine v mieste jej uloženia
- montážna spôsobilosť, manipulovateľnosť, dostupnosť pri obsluhu a bezpečnosť pri experimente

Vybavenosť fyzikálneho modelu bola určená cieľom experimentu a obsahovala :

- vstupné zariadenie, ktoré umožnilo pripojenie fyzikálneho modelu k tlakovému zdroju
- merací uzol s výstupmi od snímačov (tlakomer a snímač teploty modelovej taveniny)
- dýzu, ktorá umožňovala meranie tlakových spádov, pričom rozmery dýzy boli určené citlivosťnými parametrami tlakového snímača
- tepelného zdroja, ktorý zabezpečoval tavenie modelovej horniny
- zdroj elektrického prúdu s dostatočným výkonom
- záznamové zariadenie

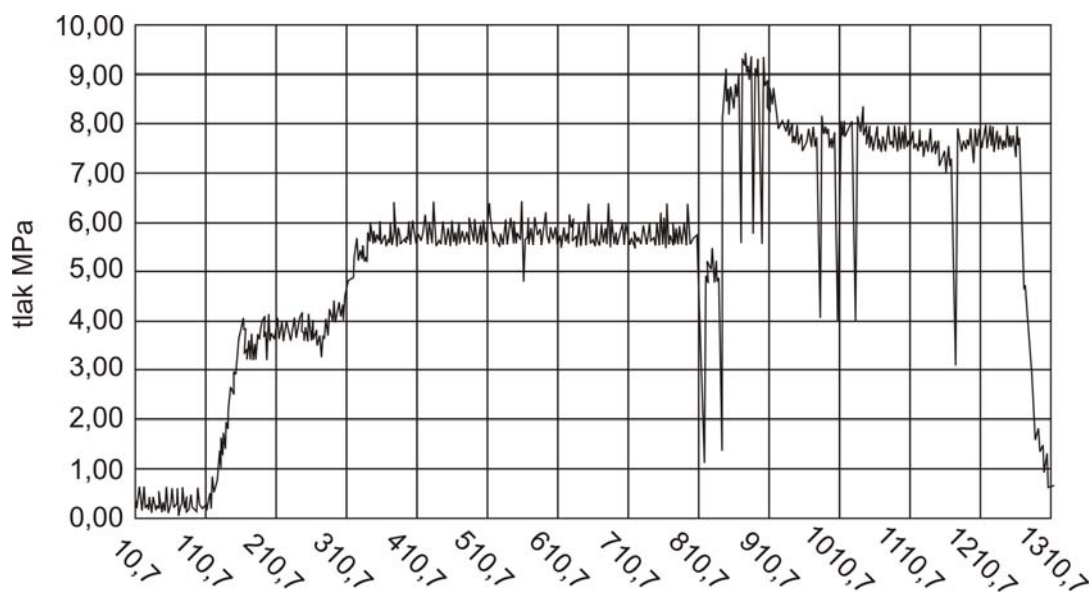


Obr. 2 Príprava registrácie merania tlaku v zapustenom fyzikálnom modeli



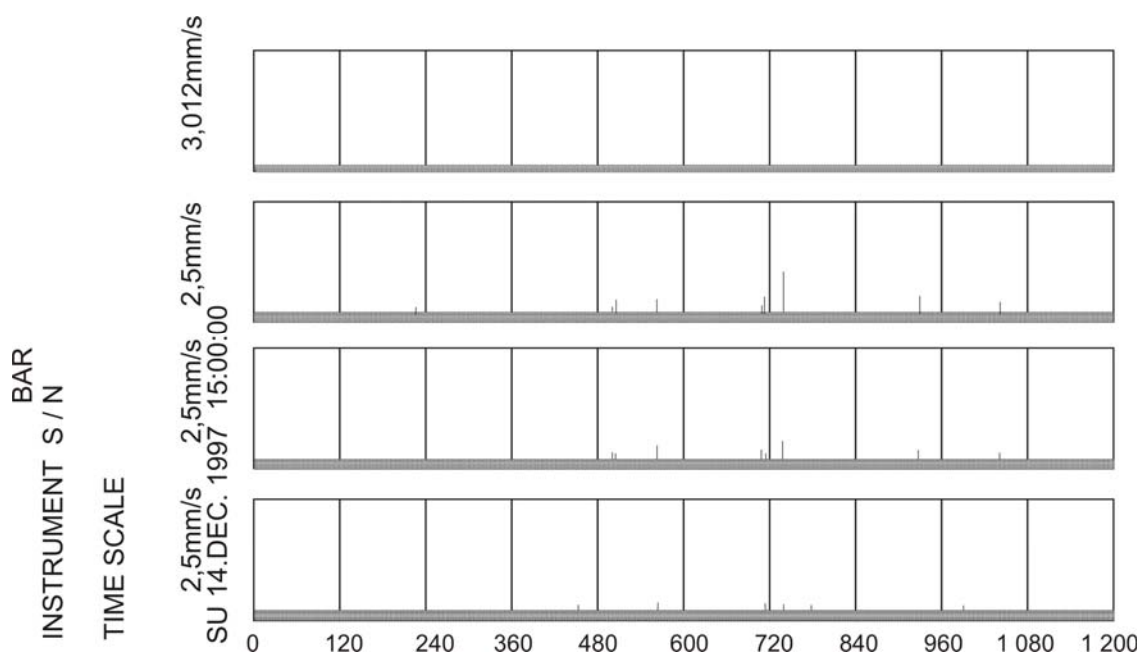
Obr. 3 Príprava registrácie seizmických vln vyvolaných tlakom vo fyzikálnom modeli

Na obr. 4 je grafický záznam meraného vstupu komprimovaného vzduchu do fyzikálneho modelu. Ako vidieť zo záznamu, čas potrebný na tlakovanie fyzikálneho modelu od kompresora cez vysokotlaké hadice mal časový interval 360 s. Po tomto čase bol udržiavaný trvalý tlak na hodnote 5,8 MPa v trvaní 450 s, ktorý bol aj časom pozorovania funkcie fyzikálneho modelu. Ďalej sú na obr. 4 dobre viditeľné výchylky, ktoré môžu mať význam počiatku štádia štiepenia horniny. V uvedenom čase zrejme prebiehal proces stlačovania modelovej horniny umiestnenej v spodnej časti fyzikálneho modelu. Po uplynutí uvedeného času došlo k výraznému štiepnemu procesu a vstupu modelovej taveniny (horniny) do vzniknutého objemu, pričom vzápätí vystúpil tlak na hodnotu v rozmedzí 8,8 - 9,5 MPa. V čase pôsobenia tlaku o rozsahu 8,8- 9,5 MPa v rozsahu približne 60 s nastali ďalšie tri štádia štiepenia. V ďalšom časovom úseku poklesol tlak zhruba na 7,8 MPa, čo možno zdôvodniť postupným vytlačovaním a transportom taveniny modelovej horniny do väčšej vzdialenosti od vrtu, o čom svedčí pokles napätia a komprimovaného vzduchu v potrubí v bezprostrednom okolí vrtu. Toto štádium trvalo približne 300s a počas tejto doby prebehli ďalšie štyri štiepacie procesy. Veľmi zaujímavá je skutočnosť, že po tomto časovom štádiu tlaková hodnota bola rovná počiatkovej, čo možno vysvetliť prerazením trhliny do lomovej steny vzdialenej 63 m. Po ukončení experimentu bolo odmerkou zistené, že modelová hornina zo zásobníka fyzikálneho modelu bola zatlačená do trhlín v celkovom množstve 10,37 l. Experimentálne bolo dokázané, že transport magmy do štiepanej horniny má reálny význam.



Obr. 4 Záznam tlakového pôsobenia na horninu

Seizmický záznam ilustrovaný na obr. 5 ukazuje najväčšiu amplitúdu v čase 740s. Je to približne 60s pred prvým zaznamenaným tlakovým výkyvom. Príčinou časového oneskorenia môže byť hysterézia pružného prívodu tlakového zdroja, ale aj skutočnosť, že trhlinka vznikla o 60s skôr, ako čas odozvy seizmického snímača. Ostatné amplitúdy seizmického záznamu nie sú evidentne významné majú však racionálny pôvod.



Obr. 5 Záznam seizmických vln

3. Východiská pre návrh interaktívneho situačného riadenia vstreku magmy do rozpojenej horniny.

Výstupy experimentálneho výskumu ukazujú na možnosti sofistikovaného procesu tlakovo termického hĺbenia otvorov do horninového masívu. Zariadenie, ktoré má realizovať tlakovo - termické hĺbenie sa musí vyznačovať:

1. Schopnosťou odolávať náhlym zmenám vysokých tlakov a teplôt po dobu životnosti hĺbiaceho zariadenia.
2. Vysokou citlivosťou na vznik zmien tlakov v priestore rozpojovania horniny [3]
3. Citlivosťnými parametrami a reakciami na rýchlosť zmien teplotných diferencií.
4. Riadiť dodávku vstrekaných médií do štiepaných trhlín podľa rýchlosti ich vývoja, ktorých vznik ovplyvňuje dynamiku viskozity.
5. Nastaviť želaný zákon riadenia (najlepšie s predstihom) rastu štiepných tlakov pri prejave lokálneho diskontinua.
6. Schopnosťou spoľahlivo pracovať vo vymedzenom pracovnom rozsahu teplôt a tlakov a pri pôsobení zvukovej energie.

Záver:

Účelná integrácia princípov tlakového horenia v spojení so sledovaním tepelne-tlakových interakcií v priestore pod štiepnym nástrojom môže pozitívne ovplyvniť návrh, funkciu a konštrukciu zariadení určených najmä pre hĺbkové vytváranie podzemných objemov.

Literatúra:

- [1] SEKULA F., RYBÁR P., LAZAR T.: Zhodnotenie riešenia vedecko-technického projektu štátnej objednávky ŠO/95/5135/059 LITHO JET za rok 1997. Výskumná správa. Košice, 15.2.1998
- [2] Deutsche Patent - und Markenamt: DE IO 2008 031 490 B4 2010. 08.26 Vertreter: Rackete Partnerschaft Patenten- Wälle, 79 o 98, Freiburg. Erfinder, Sekula F. - Lazar, T. - Sabol, A. 23 s.
- [3] LABAŠ M.: Termické rozpojovanie hornín pri pôsobení plameňa na ich povrch. Kandidátska dizertačná práca. Fakulta BERG TU v Košiciach 2008, 127 s.
- [4] RYBÁR P., LAZAR T., HAMRÁK H. a kol.: Štúdium problematiky tavenia nerastných surovín v extrémnych podmienkach. Edičné stredisko AMS, BERG TU v Košiciach.