

# TERMICKÉ METÓDY ROZPOJOVANIA HORNÍN

*Gabriel Wittenberger<sup>1</sup>*

## Thermal methods of rock disintegration

**Abstract:** *This paper presents a new deep drilling technology. It refers to the current state of the deep drilling, which describes the important elements such as drilling downforce speed drill string, refining drilling, measurement of pressure and temperature etc. One of the key outcomes is the creation of a continuous ring of amorphous ventilated and congealing rocks around formed vertical segments, creating a continuous sheeting borehole without the need for plotting grit to the surface. As for other modes of drilling until now it was not possible. This new technology is established only hypothetically, but there are plans to introduce it into practice, since it is expected to be the leader in deep drilling. The energetic processes of disintegration of rocks were solved as system with photovoltaic power in case of the missing infrastructure, which we have solved the issue of logistical gases costs. We consider hydrogen fuel like the most suitable power which represents the development trend. Based on this, we described a control unit and also a deep drilling system using a photovoltaic system for the production of hydrogen and oxygen through the diffusion of water.*

**Key words:** *deep-drilling, thermal excavation, rock disintegration, cracking, stress*

## Úvod

Využitie ohňa ako nástroj na rozpojovanie pevných hornín na čelbe banského diela je technológia známa z neolitickej doby. Pred čelbou sa zapálilo drevo a po jeho vyhorení sa rozpálená hornina poliala studenou vodou. Termické napätie spôsobilo porušenie povrchu čelby a tým sa uľahčila a urýchlila práca s kladivkom, prípadne nástrojmi pripomínajúce háky, "vyrobenými" z parožia a kostí.

Kameň bol plameňom narušovaný pri teplotách do 1500°C, kde jednotlivé minerály zväčšovali svoj objem, pričom medzi nimi vznikalo veľké napätie. Najvýraznejšie zväčšenie vykazuje kremeň, preto bola táto metóda používaná na granitoch a iných horninách obsahujúcich vyšší obsah kremeňa. Aj v súčasnosti sa táto metóda úspešne využíva pri ťažbe blokov dekoratívneho kameňa, kde namiesto vrtov vytvára trysková termická súprava súvislé rezy prakticky neobmedzenej dĺžky a hĺbky, v závislosti od konštrukcie tyče s horákom (bežne 6 m). Pri horení je palivo (kerozín, nafta, benzín) obohacované stlačeným vzduchom alebo kyslíkom. Existujú aj iné systémy na báze iných palív, ale to nie je predmetom článku. Všeobecne platí, že menej náročné systémy bez kyslíka podávajú nižšie výkony.

Termická metóda oproti konvenčnej vrtnej metóde má niekoľko výhod ako napr. samotný proces termického hĺbenia, odpadajú komplikácie s vrtným nástrojom (jeho pravidelná výmena), paženie (pažiť je potrebné len v nevyhnutných miestach), cementácia (len v špeciálnych prípadoch), čerpacie skúšky, vystrojenie a karotáž je nepotrebná alebo je bezproblémová).

V súčasnosti vzniká veľká popularita propagácie termického hĺbenia či už technologického systému TER-HM, Plasmabit alebo technológie e-Fusion, ktorej princíp a hlavné prvky sú opísané v článku.

---

<sup>1</sup> doc. Ing. Gabriel Wittenberger, PhD., FBERG, TUKE, Letná 9/A, 040 00 Košice, Slovensko, [gabriel.wittenberger@tuke.sk](mailto:gabriel.wittenberger@tuke.sk)

## Termické hĺbenie

Hlbinné vrtanie je špecifickým odvetvím banskej činnosti, a preto sa riešenie jeho problémov dotýka rozsiahlej oblasti geotechnológií. Preto sú pri hlbinnom vrtaní úplne zrejme spoločné charakteristické znaky ako pre všetky odvetvia baníckej činnosti.

Najdôležitejšími charakteristickými znakmi v tomto konkrétnom prípade sú:

1. rozpojovanie horniny
2. odstraňovanie uvoľnenej horniny (vynášanie vrtnej drte spod dna rozpojovacieho nástroja)
3. zaistenie bankského diela

Pri využití termického hĺbenia (vrtania) hlbokých vrtov, body 2 a 3 sú viac menej bezpredmetné. Bod 2, to je odstraňovanie uvoľnenej horniny spod dna pracovného nástroja úplne a bod 3, zaistenie bankského diela je viac menej odstránené samonosným a samoukotvujúcim prenikaním roztavenej horniny do okolitej horniny s následným utuhtnutím. Len v prípade kavernózneho prostredia môže dôjsť k situácii, že sa vrtné dielo bude musieť klasicky prepažiť.

Aj keď je známe, že teplota lávy na povrchu dosahuje okolo 1000°C a menej, nie je namieste názor, že sú to teploty, ktoré bude treba dosahovať pri termickom hĺbení. V procese hĺbenia pracujeme s krátkodobým pôsobením teplôt na okolité prostredie pričom horninové prostredie je zlý vodič tepla. Výsledkom bude, že sa nevytvorí (v potrebnom časovom intervale) kaverna pod hlavou plameňového generátora dostatočné množstvo roztavenej horniny potrebnej na preniknutie do vzniknutých ťahových priečnych trhlín, aby sa po vychladnutí "zcelilo" teleso hĺbeného vrtu s okolitým prostredím a tiež nevznikne dostatok roztaveného materiálu na vytvorenie inkrustu okolo vyhlbeného diela (obr. 1).



Obr. 1. Interakcia nástroja termického hĺbenia s okolitou horninou [1].

Vzhľadom na energeticky náročný proces rozpojovania hornín vysokými teplotami, sa ako najvýhodnejšie palivo ukazuje vodík, ktorý predstavuje trend vývoja, ktorým vyspelé technológie získajú náskok pred ostatným svetom. Termické rozpojovanie vodíkovo- kyslíkovým plameňom je však energeticky veľmi náročný proces. Mať ho k dispozícii 24 hodín denne a po niekoľko týždňov, až mesiacov, podľa hĺbky realizovaného diela, je veľkým logistickým problémom. Vodík a kyslík je možné mať k dispozícii v batériách vo forme plynu, alebo, ako kryogénne skvapalnené plyny dodávané cisternami do zásobníkov v kontajneroch a dewarových nádobách. Ak by mala logistika týchto plynov spôsobovať problém, potom považujeme využitie nezávislého-autonómneho tzv. ostrovného systému, obr. 2 za reálnejšie. Navyše, je to systém, ktorý je možné

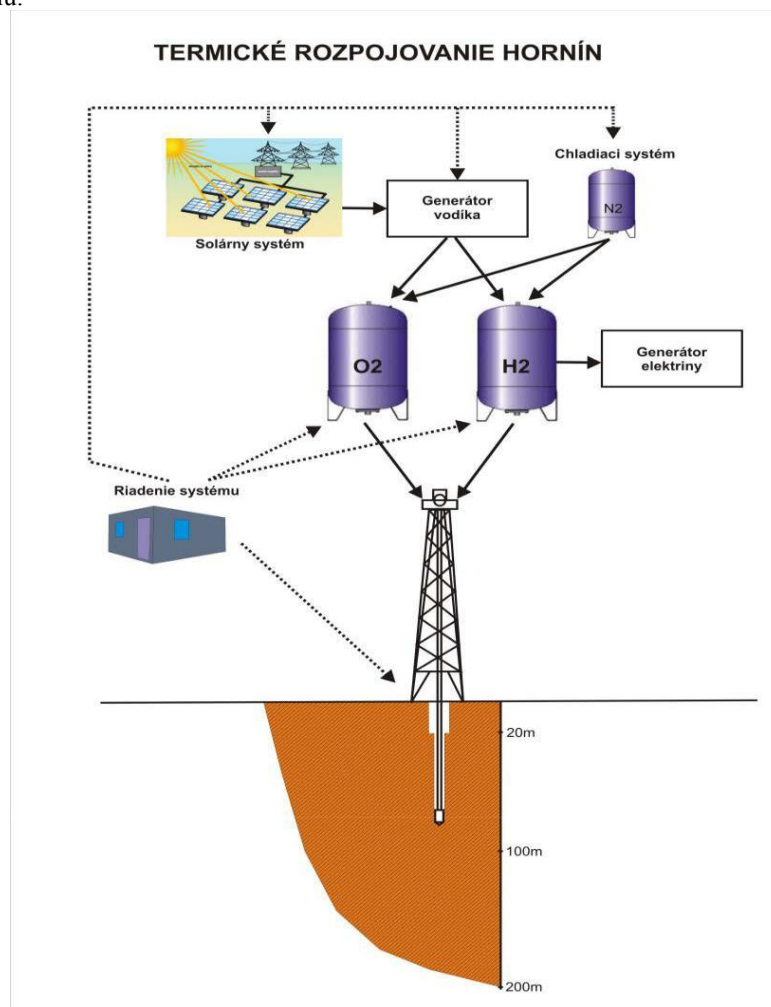
využiť aj v teréne s chýbajúcou infraštruktúrou (cesty, železnice, neprístupné horské oblasti, púšte, miesta vzdialené od civilizácie a pod.) [1].

Realizácia termického rozpojovania hornín vodíkovo-kyslíkovým plameňom v tzv. ostrovnom systéme si okrem iného vyžaduje:

- Inštaláciu fotovoltaickej elektrárne na výrobu elektrickej energie pre difúziu vody v difuzéroch na generovanie vodíka a kyslíka. (Pre difúziu vody je možné i využitie iného obnoviteľného zdroja ako je slnečná energia).
- Tlakové bezpečnostné nádoby pre uskladnenie kvapalného vodíka, kyslíka a prípadne ďalších technických plynov (kvapalný  $N_2$ ).
- Dodávky ďalších technických prác a zariadení - špeciálne čerpadlá, meracie zariadenia, tlakové fľaše s potrebnou infraštruktúrou na prechodné uskladnenie energetických plynov...
- Dvojsmerné prepojenie celej sústavy s riadiacou jednotkou.

**Riadiaca jednotka** priebežne sníma parametre vrtania (hlbenia) a riadi jeho priebeh, prípadne dáva pokyny vrtnému majstrovi na zmenu potrebných parametrov. Záznam z riadiacej jednotky dokumentuje priebeh hlbenia v čase s dokumentovanými parametrami. Do budúcnosti bude riadiaca jednotka postupne sama riadiť proces hlbenia a obsluha bude vykonávať iba kontrolnú činnosť.

Riadiaca jednotka poskytuje informácie o potrebe a reálnych dodávkach paliva pre rozpojovanie, pričom riadenie v reálnom čase bude už od počiatku ponechané na riadiacu jednotku a obsluha preberie iba kontrolnú funkciu.



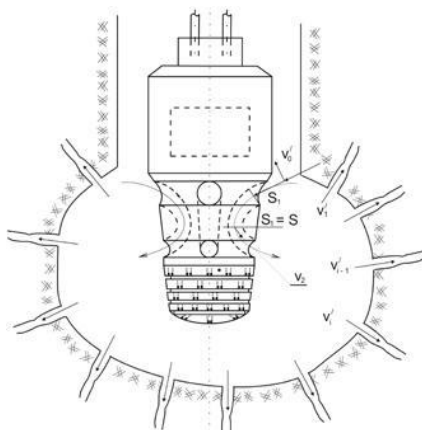
**Obr. 2.** Ostrovný-autonómny systém termického hlbinného vrtania s využitím fotovoltaického systému na výrobu vodíka a kyslíka prostredníctvom difúzie vody [1].

### Charakteristika technického systému

Charakter horenia je daný nielen fyzikálnymi a chemickými procesmi horenia, ale na kvalitu horenia vplyvajú aj jeho konštrukčné prvky. Pod pojmom generátor rozumieme súbor zdroja paliva a okysličovadla, prívodov plynov, regulačných a riadiacich prvkov systému, snímačov parametrov a predovšetkým konštrukčné detaily dýz - ich vzájomného usporiadania, dĺžky a materiálu z ktorých budú vyrobené. Výtok plynov musí poskytovať dostatočnú rezervu voči prevádzkovému tlaku. Úpravou geometrie a tlakov v dýzach je možné meniť tvar a intenzitu plameňa, pričom výtoková dýza je konštrukčnou konštantou, ktorá ovplyvňuje všetky riadiace prvky. Ďalším parametrom, ktorý je potrebné zohľadniť pri tvorbe generátora je významný rozdiel rýchlosti molekúl vodíka a kyslíka.

#### Vplyv a činnosť generátora vodíkovo-kyslíkového plameňa na okolitú horninu

Iniciovaním plameňového generátora produkujúceho veľmi vysoké teploty prevyšujúce 2000°C sa vytvára komora vzniknutá okamžitým roztavením, až sublimovaním bezprostredne obklopujúcej horniny. Horením vodíkovo-kyslíkového plameňa vznikajú vodné pary, ktoré vytvárajú vo vzniknutej kaverne pod hlavou generátora tlaky, ktoré pôsobia na okolitú horninu súčasne s extrémne vysokými teplotami. V okolitej hornine, okrem toho, že vznikajú prevažne radiálne trhliny, obr.3 kolmo na os postupujúceho tepelného generátora, sú generované gradientne termické napätia vplyvom pôsobenia teplotného gradientu pri prestupe tepla z tepelného zdroja do horniny. Ich veľkosť je určená jednak charakteristikami tepelného zdroja (teplota, spôsob pôsobenia na horninu) a jednak tepelno-technickými vlastnosťami horniny (tepelná rozťažnosť, tepelná kapacita, tepelná vodivosť). Druhým typom vznikajúceho termického napätia sú štruktúrne termické napätia, generované v dôsledku rozdielnych hodnôt tepelných charakteristík jednotlivých zložiek horniny, v dôsledku anizotropie tepelnej rozťažnosti jedného minerálu (napr. kremeň), alebo napätia generované v dôsledku rôznych zmien v chemickom alebo kryštalografickom zložení horniny pri zvyšovaní jej teploty. Štruktúrne termické napätia sa v hornine indukujú aj v prípade, že teplotný gradient vyvolaný pôsobením tepelného zdroja je zanedbateľne malý.[2,10]



Obr. 3. Tvorba radiálnych trhlín [1].

Moskalev et al [11] rozdelil skalné horniny podľa charakteru zmeny pevnosti v oblasti vysokých teplôt do dvoch skupín:

- horniny, ktorých pevnosť sa so zvyšovaním teploty postupne znižuje,
- horniny, ktorých pevnosť sa so zvyšovaním teploty najprv zvyšuje po určité maximum a potom sa znižuje.

Do prvej skupiny patria horniny, pri ohreve ktorých dochádza ku kvalitatívnym a kvantitatívnym zmenám robotizácie pracoviska umožní automatické podávanie hadíc a potrubia, (v ktorom sú umiestnené prírodné hadice, snímače, riadiace prvky a ďalšie elementy na on-line riadenie generátora plameňa). Prípadná porucha generátora sa bude riešiť nasadením nového generátora, ktorý prepáli poruchovú zónu a systém pokračuje v hĺbení diela ďalej.

Systémy sa súbežne vyvíjajú na vytváranie nevertikálnych diel - šikmých, alebo horizontálnych. Využitie: tvorba neporušených podzemných veľkopriemerových priestorov na uskladnenie (rádioaktívnych) odpadov a podobne. Systém bude možné upraviť aj na razenie podzemných veľkopriestorových dopravných líniových diel.

Horniny druhej skupiny majú maximálne hodnoty pevnosti v oblasti teplôt 200-300°C, pričom tieto hodnoty sú o 20-40 % vyššie ako pri normálnej teplote. Toto zvýšenie pevnosti možno vysvetliť vznikom dislokácií v mineráloch a medzizrnovej hmote, ktoré sa medzi sebou zmiešavajú a nevychádzajú na povrch, čo vedie k zvýšeniu pevnosti. Pri ďalšom zvýšení teploty nad spomínanú oblasť teplôt dochádza k znižovaniu pevnosti v dôsledku zhukovania vakancií, ako zárodkov mikrotrhlín, ktoré sa rozvíjajú pôsobením štruktúrnych termických napätí. K tejto druhej skupine hornín patria pieskovce, gabro, žuly, železité kvarcity.[7,8]

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. Priamym meraním teploty lávy sa získali kolísavé hodnoty a to v rozmedzí od 800 °C do 1 200 °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 lát vyplýva, že bázičné lávy majú vyššie teploty ako kyslejšie lávy. [9]

### Záver

Ako už bolo uvedené termické systémy boli pôvodne vyvíjané na vrtanie (hĺbenie) zvislých vertikálnych diel do hĺbok dosahujúcich niekoľko km. Jedná sa o ideálny systém pre prieskum a ťažbu ropy, zemného plynu a geotermálnej energie. Rýchlosť postupu sa v porovnaní s klasickými metódami hĺbkou diela zvyšuje, pretože nedochádza k vyťahovaniu vrtného náradia, odpadá paženie a cementácia. Možnosť robotizácie pracoviska umožní automatické podávanie hadíc z cievok a potrubia v ktorom sú umiestnené prírodné hadice, snímače, riadiace prvky a ďalšie elementy na on-line riadenie generátora plameňa. Prípadná porucha generátora sa bude riešiť nasadením nového generátora, ktorý prepáli poruchovú zónu a systém pokračuje v hĺbení diela ďalej. V súčasnosti sa vyvíja generátor, ktorý by mal hĺbiť 1 000 m vrt bez nároku na opravu, alebo haváriu.

Hĺbenie využívajúce termické systémy sú súbežne vyvíjané aj na vytváranie nevertikálnych diel, alebo horizontálnych, kde by našlo využitie v neporušených podzemných veľkopriemerových priestoroch, napr. na uskladnenie rádioaktívnych odpadov a podobne. Systém bude možné upraviť aj na razenie podzemných veľkopriestorových banských alebo dopravných líniových diel.

### Literatúra

- [1] Rybár, P., Lazár, T., Hamrák, H.: Štúdium problematiky tavenia nerastných surovín v extrémnych podmienkach.: AMS FBERG TU v Košiciach, Košice 2004, ISBN: 80-8073-085-7, s. 235
- [2] Hoand-Etienne, F., Houpert, R.: Thermally Induced Microcracking in Granites: Characterization and Analysis. Int.J.Rock Mech.Min.Sci.&Geomech.Abstr., Pergamon Press, Oxford 1989. Vol.26, No.2, pp.125-134,
- [3] Flegner, P., Leššo, I., Metódy a algoritmy spracovania akustického signálu z procesu rozpojovania hornín rotačným vrtaním - 2011. In: Posterus. Roč. 4, č. 5 (2011), s. 1-11. - ISSN 1338-0087
- [4] <http://geologie.vsb.cz/TECHHLDOB/hlubinneVrtani/vrtani/vrtyRopaPlyn.html#h15>
- [5] Laciak, M., Šofranko Optimization of device selection in design of technological lines for the aggregates production - 2014. In: Applied Mechanics and Materials. Vol. 611 (2014), p. 387-394. - ISSN 1660-9336.
- [6] Pinka, J., Wittenberger, G., Engel, J., - 1. vyd - Košice : FBERG TU, - 2007. - 233 s. - ISBN 978-80-8073-706-1.
- [7] Spišák, J., Lišuch, J., Roháčová, A.: Technological logistics - tool of optimalization of heat treatment processes of raw materials (2011) METAL 2011: 20th anniversary international conference on metallurgy and materials, 18. - 20. may 2011, Brno, p. 1169-1176, ISBN 978-80-87294-22-2.
- [8] Pavol, M., Lechan, P., Podolský, Puzder, M., Využívanie stavebného kameňa pri výstavbe cestnej infraštruktúry v SR [et al.] - 2014. In: Vedecký seminár doktorandov 2014 : Ekonomika zemských zdrojov a Využívanie a ochrana zemských zdrojov : 7. november 2014, Košice. - Košice : TU, 2014 S. 56-61. - ISBN 978-80-553-1826-4
- [9] Štrba, L., Rybár, P., Molokáč, Š., Rybárová, M., Domaracká, L., Determination of rock properties for study of melt penetration range in radial fractures / 2013. In: Transformation of knowledge and technologies to the praxis obtained by research and development in the earth resources area. - Košice : Slovak Physical society, 2013 S. 46-54. - ISBN 978-80-970625-6-9
- [10] Rybár, P., Štrba, L., Molokáč, Š., Domaracký, D., Rybárová, M., Hvizdák, L., Molokáč, M.: Study of physical-mechanical rock properties for rock disintegration purposes ,2012. In: Underground Mining Engineering. Vol. 20, no. 21 p. 131-133. - ISSN 0354-2904
- [11] Moskalev, A.,N., et. al.: Razúšen ije gornych porod pri termocikli českom vozdejstviji. Naukova Dumka, Kijev, 1987

