

A kőzetjövésztés hatékonyságának növelése mikrohullámú kezeléssel

Rock Excavation Efficiency Improvement by Microwave Treatment

ANDRÁS Endre, ANDRÁS József, KOVÁCS József

Petrozsényi Egyetem, str. Universităţii 20,
Petroşani 332006, jud. Hunedoara, Románia, iosif.andras@gmail.com

Abstract

The paper deals with an overview of the state of art in using microwaves for assist hard rock cutting with mechanical means. The information provided consist on actual findings of researches previously performed in this field, from the literature review, which represents the start elements in the recently started MIWACUT project in the frame of ERAMIN-2 programme, financed jointly by EU and national research agency (UEFISCDI).

Kulcsszavak: mikrohullámok, jövésztés, kőzet, mikrohullámmal segített kőzetjövésztés

1. Bevezetés

Annak érdekében, hogy a kemény kőzetek gépesített jövésztése az alagútfúrógépeken kívül egyéb mechanikus jövésztőgépekkel is lehetséges legyen, vagy annak termelékenységét növeljék, és a jövésztő eszköz kopását csökkentsék, az utóbbi időben néhány innovatív módszer, például a mikrohullámmal segített kőzetjövésztés (MWA) kutatása felhívta a szakmai közösség figyelmét.

Jelenleg, a kemény (magas szilárdságú) kőzetek jövésztését a külszíni bányákban kizárólagosan fűrés-robbantásos módszerrel végzik. Ami a mélyműveléses bányászatot illeti, az alagútfúrógépek (TBM) alkalmazása, az egyetlen érett alternatív technológia a kemény kőzetek esetében, ennek alkalmazása viszont több hátránya miatt korlátozott.

A kőzetjövésztés célja nem csak az alagutak vagy vágatok fűrése, hanem a hasznosítható kőzet kitermelése is, ennek a kivitelezésére pedig, a legalkalmasabbnak bizonyult a gépesített jövésztés, viszont az erre alkalmazott gépeknek is a kőzet keménysége jelent alkalmazhatósági határokat.

A kemény kőzetek külszíni jövésztésére a nemrég fejlesztett hidegmarók (SCM) jelenthetnek alternatívát, de ezeknek is, mint a vágathajtó gépek esetében is, a kőzet keménységének felső határa korlátozza alkalmazhatóságukat.

Az utóbbi évtizedben, több fejlesztési eredmény született meg az előbb említett gépek elvi és üzemeltetési paramétereinek javításával kapcsolatosan, de még ipari alkalmazásra nem került sor, ami azt mutatja, hogy a technológia extenzív és intenzív fejlődési tartalékai kimerültek.

Ezen alternatív gépeket (berendezéseket) az 1. ábrában mutatjuk be, szemléltetés céljából.

Egy másik megközelítés, amely a jelen dolgozat témakörét képezi, a kőzet keménységének csökkentése, ebben a vonatkozásban pedig a mikrohullámú kezelés az egyik legígéretesebb megoldás.

Több kutatók megvizsgálták a mikrohullámú kezelés hatását a kőzetek mechanikai tulajdonságaira, ezen jelenségnek lehetséges felhasználása érdekében a mikrohullámmal segített kőzet jövésztésben.

Ezek a kutatások még nem szolgáltattak laboratóriumban vagy a helyszínen alkalmazható mikrohullámmal segített kőzetjövésztő gépet. Az eddigi kutatások főleg gránit és ehhez hasonló kőzetekre vonatkoztak.

A jelen tanulmány célja a karbonátos kőzetek megbonthatóságának tanulmányozása egy integrált MWA lineáris vágógéppel, amelynek eredménye esetleg egy MVA vágathajtógép fejlesztése lehet.

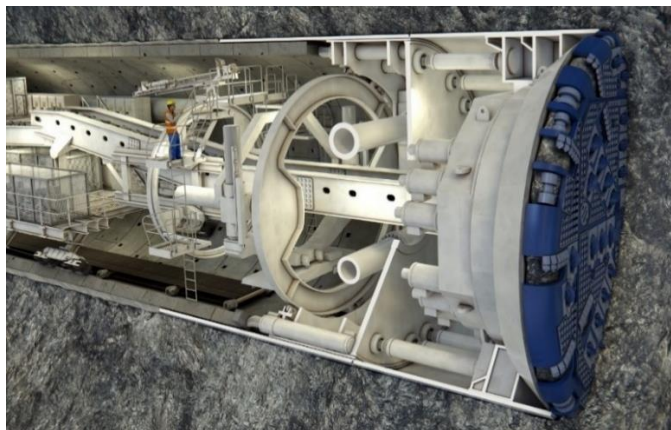
Jelenleg, a karbonátos kőzeteket fűrés és robbantás útján termelik ki, főleg, de nem kizárólagosan külszíni bányákban, ez egy nagy kihívást jelent a mechanikai jövésztéses módszer fejlődésének, mert jelen pillanatban a karbonátos kőzetek mechanikai jövésztése általában lehetetlen, vagy ha lehetséges, akkor nem hatékony.



a)



b)



c)

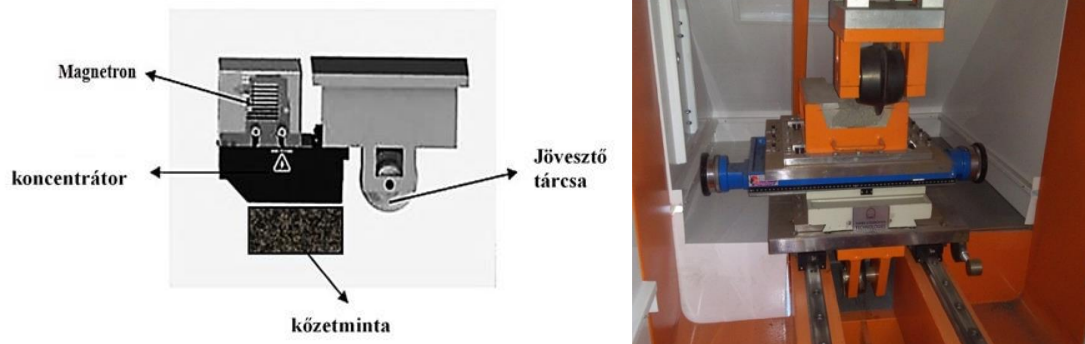


d)

1. ábra

*Különböző keménykőzet jövesztésére alkalmas gépek: a) Vágathajtógép (RH),
b) Hidegmaró (SCM), c) Alagútfúrógép (TBM), d) Continuous Miner (CM)*

Az idézett projektnek az a célja, hogy a karbonátos kőzetek megbonthatóságát mikrohullámmal segített jövesztő gépekkel tanulmányozza. Eddigi tanulmányok, vagy nem foglalkoztak ezen kőzet típusok MW segített jövesztésével, vagy elkönyvelték, hogy ezeknek a MW abszorpció rátája igen alacsony, és nem alkalmasak a MW segített jövesztésre. Ennek a kutatás hiányának az alapos és rendszeres tisztázása az idézett kutatásnak a fő témája.



2. ábra

Lineáris vágógép próbapad, integrált mikrohullámú berendezéssel [7]

Az első tervezett kísérleti eljárás, lineáris vágási tesztek elvégzése, mikrohullámmal segített eljárással és mikrohullámú kezelés nélkül, Romániából és Törökországból származó mintákon, és ezúttal a fajlagos energia meghatározása (2. ábra).

Erre alapozva, a CM-k teljesítménye lesz megbecsülve, a fajlagos energia és a kőzetek tulajdonságainak felhasználásával, a mikrohullámmal segített és a hagyományos jövesztéssel elért eredmények összehasonlítása céljából.

Végül a két gépesített eljárás és a jelenlegi fúrás-robbantással történő jövesztés fajlagos költségei (gazdaságossága) kerülnek összehasonlításra.

2. Előzetes kutatások bemutatása

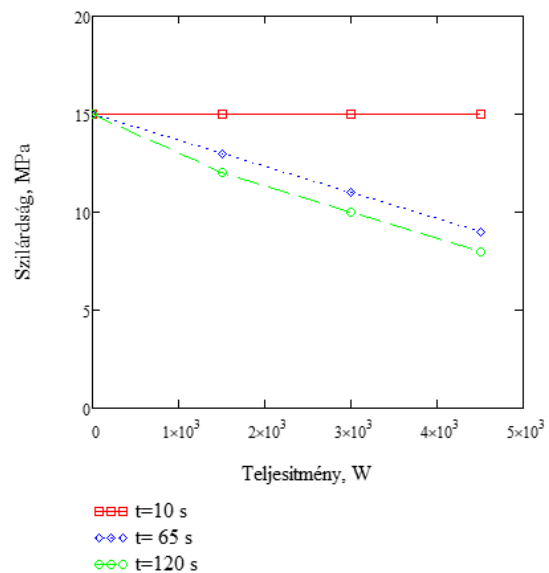
A mikrohullámok egyfajta elektromágneses sugárzás, amelynek hullámhossza 1 mm-től (300 GHz-es frekvenciától) az 1 m-ig (300 MHz-es frekvenciáig) terjed.

Több kutatások, numerikus és laboratóriumi módszereket alkalmazva, megerősítették, hogy a mikrohullámú energia felhevíti a kőzetet, a benne rejlő ásványi anyagok sajátos tulajdonságai szerint.

A hó, különböző ásványi anyagok hőtágulását okozza, és ezek az ásványi anyagok differenciált hőtágulásai belső feszültségeket okoznak a kőzeten belül. Ezek a feszültségek hatására, mikrórepedések alakulnak ki a kőzetben, és így csökken annak szilárdsága.

Ez a jelenség mikrohullámmal támogatott mechanikus fúrás, vagy kőzetjövesztő gépek fejlesztéséhez vezethet.

A mikrohullámú kezelésnek hatása, a kőzetek szilárdságának csökkentése szempontjából, az alkalmazott energiától, a sugárzás időtartamától és az ásványi anyag összetételétől függ (3. ábra), [7].



3. ábra

A kőzet szilárdság csökkenése a teljesítmény és a sugárzási időtartam függvényében

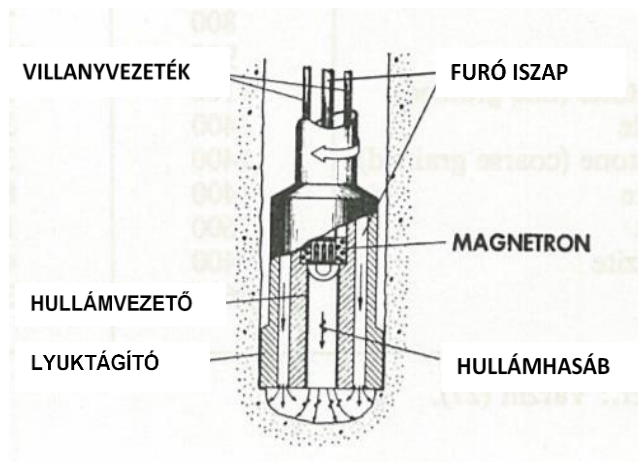
Elmondható, hogy az ásványi anyagok típusa és azoknak részarányai a legfontosabb paraméterek, amelyek befolyásolják a felmelegedési fokot ugyanazon kezelési körülmények között.

Ennek a tisztázása céljából további vizsgálatok elvégzését követeli, a különféle ásványi kőzetekkel, amelyek eltérő ásványtani jellemzőkkel rendelkeznek. Vizsgálni kell a nagyobb mikrohullámú teljesítmény hatásait alacsony sugárzási időtartamok esetében is.

A mikrohullámú energia hőtermelésének a mélyfúráshoz való felhasználását az 1960-as években röviden megvizsgálták [11], (4. ábra), ám akkoriban a műszaki problémák miatt ezt nem tartották gazdaságosnak és nem vizsgálták tovább.

Továbbra, a mikrohullámú alkalmazásokat elsősorban az ásványelőkészítés számára vizsgálták, [3], [5], hogy mikrohullámú előkezeléssel csökkentsék az ércek aprításának energiaigényét és növeljék az ásványi részecskék felszabadulását a fokozott elválasztás érdekében.

A rendelkezésre álló számos jövesztési módszerek közül [3] a kőzet mechanikus törése a leg gazdaságosabbnak, és ennél fogva a leggyakrabban alkalmazott módszernek bizonyult. A jelenlegi technológiák fejlődésével és az alapanyagok szűkülésével és értékének növekedésével növekszik az innovatív kőzetjövesztési módszerek kifejlesztésének fontossága, ennek egy megoldása lehet a MW segített jövesztés.



4. ábra

Mikrohullámmal segített mélyfúráshoz használt fúrófej elvi rajza [11]

A mikrohullámú kőzetjövesztés technikáját az 1960-as években vezették be [11]. Azóta a mikrohullámokat széles körben és egyre inkább használják az élelmiszeriparban [12] és az gyógyszer iparban is [19], valamint az ásványi anyagok feldolgozására [8].

A bányászatban és mélyépítésben a kemény kőzetek jövesztésére, a mechanikus berendezések, például az alagútfúrógépek (TBM) teljesítményét korlátozó tényezők (nagy méretű szerszámkopás és karbantartási igények) kikerülése céljából, előkezelési módszerek alkalmazhatók, amelyek közvetlenül vagy közvetetten hevítik a kőzetet.

Ilyen volt, például egy lángfáklyával támogatott TBM terve [9] amely a berendezés szempontjából gazdaságosnak tekintettek, de megvalósíthatóságát korlátozta a magas üzemanyag-fogyasztás és a füst kibocsátás. Ezzel szemben, mikrohullámú energiával történő előkezelés számos előnyt kínál mert az áramforrás rendelkezésre áll a gépen, nem hoz létre káros kibocsátást, és könnyen vezérelhető.

Az irodalomban leírt tanulmányokban alkalmazott mikrohullámoknak 150W-tól 5kW-ig terjedő teljesítménye volt, különböző időtartamokat (240 s-ig) alkalmazták, és a kőzet típusától, a mikrohullámú teljesítménytől és a sugárzás időtartamától függően eltérő keménységcsökkentést, repedések keletkezését és lokális olvadást figyeltek meg.

Nagyobb mikrohullámú teljesítményt (25 kW) alkalmazva néhány kemény kőzetre, bazalt, diabáz és gabbró esetében a hőmérséklet 6 másodperc alatt elérte a 270 ° C-ot. [2]. A homokkő és a gránit hőmérséklete 30 másodperc alatt 240 ° C-ra emelkedett. Fontos makrórepedéseket figyeltek meg a használt mintákon. (5. ábra)

Egy előzetes tanulmány készült a mikrohullámú kezelés hatásáról a márvány szilárdságára is. Bár egyes minták hőmérséklete elérte a 350 ° C feletti értéket, a legtöbb minta hőmérséklete kevesebb volt 300° C- nál, 6kW teljesítményű MW, 5 percet tartó kezelés után, és kimutatta, hogy az szilárdság

csökkenése körülbelül 20% volt az egytengelyű nyomószilárdság, illetve 38% és a szakítószilárdság esetében (Kahraman).

Az irodalomban nagyon korlátozott mennyiségű tanulmány található az MWA jövesztésről. Egy szabadalmat bocsátottak ki az MWA kemény kőzet jövesztő berendezéséről [9], és bemutatták a kőzet-blokk mikrohullámú kezelésének alapvető terveit a vágás közben (4. ábra), viszont a módszer gyakorlati alkalmazása nem történt meg. A szerző egy elméleti összehasonlítást is bemutatott az MWA alkalmazó vágathajtógép és a hagyományos változata között, kimutatva, hogy az MWA vágathajtógéppel az egységköltség 34% -kal volt alacsonyabb, mint a hagyományossal.

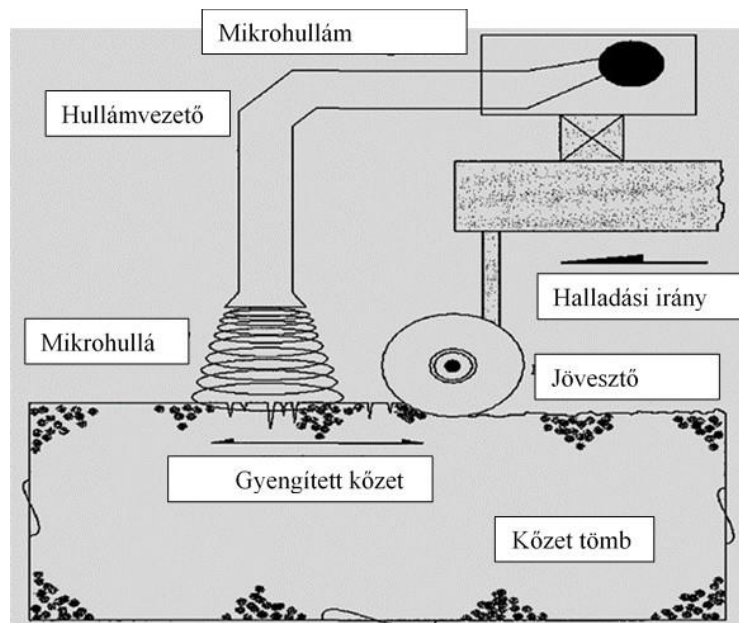
A [3], [4] dolgozatban, áttekintették a mikrohullámú energia néhány általános kemény kőzet mechanikai tulajdonságaira gyakorolt hatásáról szóló tanulmányokat, és bemutatták az MWA-TBM lehetséges sematikus kialakítását (6. ábra).



5. ábra

Repedések és olvadások gránit (a) és vasérc (b) esetében 6kW teljesítmény, 360 s kezelés után [2], [7]

Egy 24 kW nyitott végű hullámvezetővel egy 30 másodpercig besugározott gránitblokkon egy lineáris vágógéppel végzett vágással kimutatták, hogy a vágási erők csökkenése körülbelül 10% volt [2]. Ebben a tanulmányában, a mikrohullámú rendszer és a vágógép különálló rendszerek.



6. ábra

Az MWA jövesztés elvi rajza [3,4].

A tényleges vágási körülmények szimulálása érdekében mindkét rendszert integrálni kell, és a kőzetmintát mikrohullámú melegítés közben vágni kell. Egy ilyen MWA lineáris vágógépet gyártása,

amelyben a mikrohullámú rendszer a vágógépbe való integrálása folyamatban van. (2. ábra). Ennek a rendszernek a mikrohullámú teljesítménye 9 kW lesz.

A karbonátkövek kevésbé érzékenyek a mikrohullámú energiára, mint más kőzetek, mert átlátszók a mikrohullámú sugárzáshoz, 150W teljesítmény, 5 perc sugárzási időtartam esetében, [4], viszont a nagyteljesítményű erőforrások, például 3 kW vagy 6 kW teljesítmény esetén azonban már kevésbé átlátszó [7], [14].

Az említett esetekben, a sugárzási időtartam azonban magas (4-5 perc), a tényleges vágási körülmények között viszont a mikrohullámú sugárzási időtartamnak viszont kevesebbnek kell lennie, mint 10 s.

A vágási ciklusok előtti előkezelés alternatívája lehet a rövid sugárzási időtartamának, de akkor a teljes vágási hatékonyság alacsony lesz. Ezért az MWA lineáris vágógép teljesítményét 25 kW-ra tervezték.

Irodalom

1. CHURCH, R.H., WEBB, W.E., SALSMAN, J.B. , 1988: *Dielectric properties of low-loss minerals*. United-States Department of the Interior and The Bureau of Mines, Report of investigation RI-9194.
2. HARTLIEB, P., GRAFE, B. , 2017: *Experimental study on microwave assisted hard rock cutting of granite*, Berg und Hüttenmännische Monatshefte 162 (2), 77–81.
3. HASSANI, F., NEKOOVAGHT, P. , 2011 :The development of microwave assisted machineries to break hard rocks, *Proceedings of the 28th ISARC*, pp. 678–684.
4. HASSANI, F., NEKOOVAGHT, P.M., GHARIB N.,2016 : The influence of microwave irradiation on rocks for microwave assisted underground excavation. *J. Rock Mech. Geotech. Eng.* 8, 1-15.
5. HASSANI, F., RADZISZEWSKI, P., OUELLET, J. , 2008 : Microwave assisted drilling and its influence on rock breakage - A review, *5th Asian Rock Mechanics Symposium*, 24-26 November, Tehran, Iran, pp. 97-104.
6. JACOB, J., CHIA, L.H.L., BOEY, F.Y.C., 1995 : Review of thermal and non-thermal interaction of microwave radiation with materials. *Journal of Materials Science*, 30(21), 5123-5327.
7. KAHRAMAN S. et al, 2018 : *Microwave-assisted hard rock excavation*,. <https://tunneltalk.com/TunnelTECH-Jan2018-Microwave-assisted-hard-rock-excitation.php>
8. S.W. KINGMAN, N.A. ROWSON, 1998: Microwave treatment of minerals-a review, *Minerals Engineering, Volume 11, Issue 11, Pages 1081-1087, ISSN 0892-6875, https://doi.org/10.1016/S0892-6875(98)00094-6*.
9. LAURIELLO, P. J. FRITSCH, C. A., 1974 : Design and economic constraints of thermal rock weakening techniques *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 11 (1) pp. 81-89
10. LINDROTH, D.P., BERGLUND, W.R., MORRELL, R.J, BLAIR, J.R. ,1991 : *Microwave-assisted hard rock cutting*. United States Patent 5,003,144.
11. LINDROTH, D.P., BERGLUND, W.R., MORRELL, R.J., BLAIR, J.R. , 1992 : Microwave-assisted drilling in hard rock. *Mining Engineering* 44, 1159 - 1163.
12. MAURER, WILLIAM C, 1968 : *Novel drilling techniques*, Pergamon Press,
13. METAXAS, A. C., MEREDITH, R. J. ,1983 : *Industrial microwave heating*. Short Run Press.
14. MOTLAGH, P.N. , 2009: *An investigation on the influence of microwave energy on basic mechanical properties of hard rocks*. MSc Thesis, Building, Civil and Environmental Engineering, Concordia University.
15. PEINSITT, T., KUCHAR, F., MOSER, P., KARGL, H., RESTNER, U., SIFFERLINGER, N. , 2008: Microwave heating of rocks with different water content, *Microwave Technology in Minerals Engineering (Microwave Technology 08)*, November 11-12, Cape Town, South Africa, 5p.
17. PEINSITT, T., KUCHAR, F., HARTLIEB, P., MOSER, P., KARGL, H., RESTNER, U., SIFFERLINGER, N.A., 2010, Microwave heating of dry and water saturated basalt, granite and sandstone. *Int. J. Mining Miner. Eng.* 2, 18-29.
18. OUELLET, J., RADZISZEWSKI, P., RAGHAVAN, V., SATISH, H., HASSANI, F. ,2013: *Electromagnetic energy assisted drilling system and method*. United States Patent No. US 8,550,82.
19. SANTAMARINA, J. C. , 1989 :Rock excavation with microwaves, A literature review, *Foundation engineering: current principles and practices proceedings*, Evanston, Illinois, pp. 459-473.
20. SAXENA, V.K., CHANDRA, U., *Microwave Synthesis: A Physical Concept*, <https://www.intechopen.com/books/microwave-heating/microwave-synthesis-a-physical-concept>
21. ZNAMENACKOVA, I., LOVAS, M., HAJEK, M., JAKABSKY, S. ,2003 : Melting of andesite in a microwave oven. *Journal of Mining and Metallurgy* 39(3-4)B, 549 - 557.