

K. SZÜCS FERENC

Vízszintes fúrás és hidraulikus kőzetreperesztés

Első rész

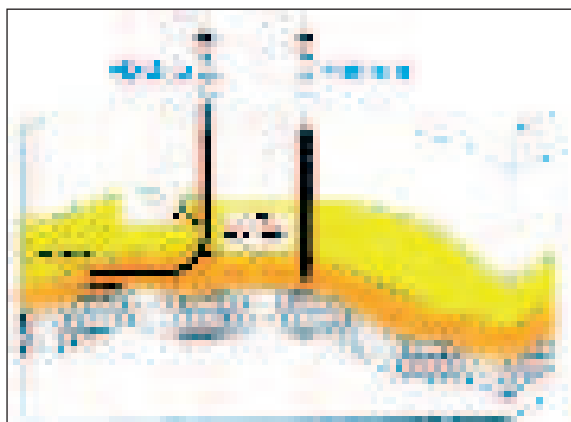
A szerző 35 éves pennsylvániai egyetemi munkássága alatt többször vizsgálta a Marcellus gázos képződményt. Ehhez járult két és fél éves szaúd-arábiai és kuvaiti kutatómunka. Viszont az új, nemkonvencionális olajkút-fúrási munkálatok csak újabban fejlődtek ki. Ez az értekezés többnyire ezeken a terepmegfigyeléseken alapszik.

Hubbert M. King a Shell Olajvállalat geofizikusa volt az első, aki 1956-ban megjósolta, hogy az Amerikai Egyesült Államok kőolajtermelése az 1970-es években fogja elérni a csúcspontját (peak oil). Szerinte a hozam és az idő grafikája egy a statisztikából jól ismert harang alakú görbét eredményez. Ez a prognózis abban az időben látszólag meg is valósult.

$$x = \frac{e^{-t}}{(1 + e^{-t})^2} = \frac{1}{2 + 2 \cosh t}$$

Ezt a logikát többen alkalmazták az egész világ fosszilisenergia-csúcspontjának az elérésére is, súlyos következményű előjelzéssel (Duncan, R.C. (2000). E sorok írójától hasonló cikk jelent meg extrapolációs görbéekkel a 2005-től 2045-ig terjedő időszakra a Természet Világában (K. Szűcs F. 2007.)

A sötét jósálatok ellenére, az utóbbi húsz év alatt viszont a világ kőolaj- és földgáztermelése növekedett. Az Egyesült Államok évi olajtermelése máris túlhaladta az oroszokét és közeledik a szaúd-arábiai Ghawaréhoz. A pesszimista jósálatok ugyanis nem vették figyelembe az új technológia fejlődését, ami megelőzte a világ népességének növekedésével megemelkedett energiafogyasztást. A jelenleg rendelkezésre álló nagyobb mennyiségű fosszilis energia két technológiai fejlődésnek az eredménye: irányított gáz/olajkút-fúrás és hidraulikus kőzetreperesztés. Az „irányított” szó helyett leggyakrabban a vízszintes kifejezést használják, habár a fúrás alakja a rezervoár formájától függ. A kőzetreperesztés az angol



1. ábra. A vízszintes és a merőleges gáz-olajkút közötti általános különbség

„fracking” szleng szóval került a köznyelvbe (fracturing = reperesztés, törés). A két új eljárást főképpen agyagpala gáz- vagy olajtermelésnél használják, amikor az üledékes kőzet permeabilitása nagyon alacsony, ami megakadályozza a gáz/olaj szivárgását a fúrókút felé. Meg kell jegyezni, hogy az agyagpala szó (angolul shale) helyesebb, mint a rövidített pala. Ugyanis az agyagpala üledékes kőzetre vonatkozik, míg a pala szó alatt általában metamorf kőzetet értünk, habár a definíciók nem egyértelműek.

Az agyagpala gáz és olaj energiaforrás felbecsülésének a módszerei

Az energiaforrás felbecsülésében több kritérium játszik fontos szerepet. A leülepedési környezet – tengeri vagy nem tengeri – döntő fontosságú, mivel az óceáni agyagpala kisebb az agyagtartalma és több törekeny ásványból áll, mint például a kvarc, karbonátok és földpátok. A víznyomásos (hidraulikus) stimulálásra ugyanis a kisebb agyagtartalmú kőzet könnyebben hasad. Míg a tavi és folyami agyagpala

magasabb agyagtartalmú, képlékenyebb és nehezebben eredményez hidraulikus reperesztést.

A mélység egy másik döntő jellegzetesség a tömör agyagpalából való gáz/olaj kinyerésénél. Akkor a legeredményesebb, ha a képződmény 1000 és 5000 méteres mélység között fekszik. Ezer méternél sekélyebb kutatási terepeknél alacsonyabb a felszíni kőzetek nyomása és kicsi a hajtóereje a gáz/olaj kinyeréséhez. Az ilyen agyagformációknak a víztartalma is nagyobb a természetes ha-

sadékokban. Viszont az 5000 méternél mélyebb képződmények permeabilitása (vízátteresztő-képessége) nagyon alacsony és így a fúrás és kifejlesztés költségei magasabbak.

Szerves szén a geológiai időszakokban élt mikroorganizmusokból (diatóma, plankton, spórák, pollenek stb.) fejlődött ki az üledékekben. Szénhidrogének (nyersolaj, földgáz) képződnek, ha a szerves anyag biológiai és vegyi degradációs folyamatokon megy keresztül és tovább módosul magas hőmérséklet és nyomás alatt hosszú idő folyamán. A folyamat hasonló a fotoszintézishez, csak éppen fordított irányban. Fontos tehát megállapítani, hogy milyen mennyiségű szerves anyag van a kutatóndó kőzetben. Ezt az összes szervesanyag-tartalom (total organic carbon = TOC) alapján lehet megállapítani. Általánosságban, az agyagpala TOC-jének 2% fölött kell lennie, hogy megérje a kitermelés költségeit. A TOC-t meg lehet állapítani vegyi analízis alapján (oxidálás által felszabadított CO₂ mérése infvörös spektroszkóppal). A terepen gammasugárszelvényezést használnak, mivel a korreláció a kettő között magas.

A magas hőmérséklet szintén fontos szerepet játszik az üledékben levő szerves anyagok szénhidrogénné való átalakulásában. A hő általi érlődés méri, hogy a formáció milyen mértékben lett kitéve magas hőmérsékletnek. Ezt a vitritit fényvisszaverődési erősségével (Ro%) szokás meghatározni.

Mivel az agyagpala gáz/olaj permeabilitása rendkívül alacsony – néhány száz nanodarcy-tól (0,0001 nD) egy néhány milidarcyig (0,001 mD) –, az agyagpala mátrixban levő szénhidrogén hathatós ki-termelése két, újabban kifejlesztett kútfúr-ási és gáz/olaj felszínre hozatali eljárást kíván meg: vízszintes fúrás és hidraulikus kőzetrepesztés.

Az új technológia kifejlesztésénél leginkább a kőzetrepesztésről esik szó, pedig azt a vízszintes fúrás időben jóval megelőzte. Érdekességképpen, az első irányított fúrás szabadalmát egy amerikai fogorvos kapta meg 1891-ben, fogászati alkalmazásra. Az első vízszintes olajkutat pedig Texasban fejezték be 1929-ben. Kísérleteket, melyek jelezték, hogy eredményes és gazdaságos vízszintes olajfúrások megva-

A horizontális kutak felső része merőleges, ugyanúgy, mint a függőlegeseké. A fúrólyuk és a béléscső közötti üregbe cementet pumpálnak a felszíntől a talajvíz aljágig a friss víz szennyeződésének megakadályozása céljából. A függőleges fúrás irányától való eltérés a cső hajlás-pontjánál kezdődik. A cső hajlás-pontja általában több száz méterrel van a friss víz alatt. Amikor a célzott ponthoz érkezünk (ami a vízszintes rész hosszúságától függ), a fúrószárat kihúzzák a kútból és egy hidraulikus motort helyeznek a fúrócső alá. A fúróhegyet a hidraulikus motor forgatja, melyet a csőbe öntött folyékony fúróagyag nyomása mozgat. A fúrócső a motortól a felszínig már nem fog.

A fúrás függőlegestől eltérő irányítását a hidraulikus motor végzi el a kútban. A hajlás irányának a változtatásával a fúrófej kormányozható a vertikalistól a vízszintesig és balról jobbra vagy fordítva. A görbület sugara általában 90-től 150 méterig változik.

A fúróhegy fölött egy energia műszer-csomag (geoirányító; **2. ábra**; módosítva Helms, 2010 után) különböző jelzéseket

rást nemkonvencionálisnak tekintik, mert a földgáz nem tud az anyakőzetből a rezervoárba átvándorolni. Az ilyen szénhidrogén kiaknázásához két dolog szükséges: vízszintes fúrás, ami megnöveli az érintkezést az anyakőzet és a fúrott kút között; és hidraulikus repesztés, ami útvonalakat teremt, melyeken keresztül a gáz az anyakőzetből a kútba folyhat.

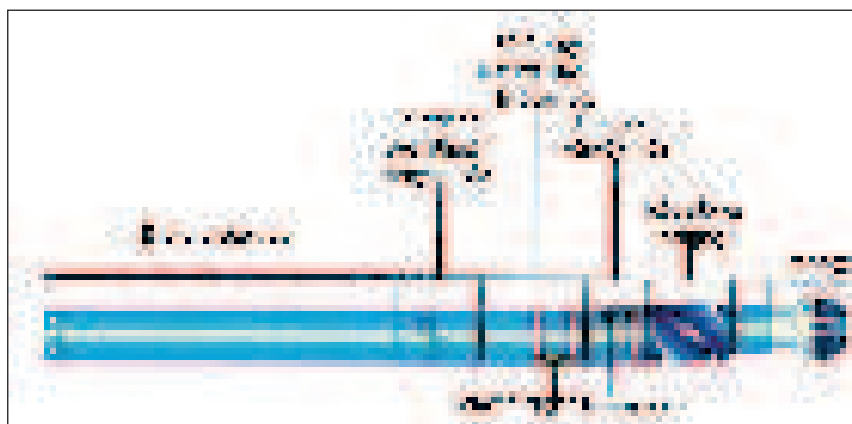
A kút a fúrás kezdete előtt nagy területet igényel a fúrószerkezet, a szivattyúmű, csövek, a mesterséges tárolómedencék, víz-tároló tank, rakodóhely és a vízszállító teherkocsi elhelyezésére. Ez a terület a horizontális fúrásnál több hektár kiterjedésű és a függőleges fúrás igényét ötven-százszorosán felülmúlja. Több vízszintes kutat lehet fúrni egy ilyen területről az agyagpala képződmény különböző részeinek az elérésére.

A legtöbb agyagpala kb. 1800 méteres mélységben fordul elő és gyakran vékony (pl. a Marcellus formáció vastagsága 15 és 60 méter között változik). A földgáz kitermelése ilyen vékony kőzetből megköveteli az irányított (hajlított) fúrást. Ezt úgy való-sítják meg, hogy merőlegesen fúrnak, amíg el nem érnek egy több száz méteres távol-ságot az agyagpala képződmény fölött. Ekkor kezdik meg a fokozatos hajlított fúrást, hogy az kb. vízszintes legyen, amikor eléri a formáció középvastagságát. Amikor a fúrás elérte a tervezett teljes vízszintes hosz-szúságát, a folyamat az utolsó és teljes cső-vezéssel és cementeléssel fejeződik be.

Víznyomásos kőzetrepesztés

A fúrás és csővezés utáni műveletekhez több technológia is létezik: cementelt cső, nyitott furat, nem-cementelt előzetesen lyukasztott, mechanikailag szigetelt stb. A kutakat általában csővezik és cementelik a felszíntől a csőhajlás aljágig. A cementelt béléscső befejezésénél a vízszintes kútfúr-ást is cementezik a stabilitás, a kőzetrepesztés szabályozása és a kút könnyebb karbantartása céljából. Gyakrabban a „dugás és lyukasztás” (plug and perf) technológiát alkalmazzák. Ebben az első lépés a dugó és a lyukasztó pisztoly lepumpálása egy vékony kábelon a csővezet horizontális részébe, közel a kút talpához. A dugókat speciális anyagból készítik, amik képesek magas hőmérséklet és nyomás elviselésére és könnyen kifurhatók. A lövés több kis lyukat eredményez a csővezeten és a cementen keresztül adott pontoknál. A dugókat és a perforáló pisztolyokat egymás után pumpálják a felszínről a vízszin-tes csőbe. Miután rögzítik az első dugót, a pisztollyal perforálják az első zónát.

A lyukasztás egymagában viszont nem elégséges hogy a gáz/olaj elkezdjen folyni a kőzetből a termelőcsőbe. Ezt víznyomá-



2. ábra. Geoirányító

lósíthatók, a francia Elf Aquitaine vállalat végzett el 1980 és 1983 között Délnyugat-Franciaországban és Olaszország nyugati partjai mentén. A gáz- és olajiparban a vízszintes kútfúrás folyamatosan fejlődő technológiája és alkalmazása gyors ütemben alakult ki az 1900-as évek eleje óta.

Irányított gáz/olajkútfúrás

A horizontális fúrás előnyösebb a függőlegeshez viszonyítva mert a gáz/olaj „termelő képződmény” sokkal nagyobb terjedelemben van kapcsolatban a kúttal (a képződmények területe nagyobb, mint a vastagsága), ami nagymértékben növeli a termelést. Az **1. ábra** mutatja a két fúrás-fajta közötti különbséget.

közvetít a felszínen dolgozó geológusokhoz, mérnökökhöz, mint például a fúró-eszköz azimutja (északi irány) és a lejtés (függőleges szög). Az ellenállás a kőzetek elektromos tulajdonsága, ami jelzi a szénhidrogének jelenlétét. A legtöbb kőzet ugyanis alacsony ellenállású vizet tartalmaz, míg a gáz és olaj ellenállása igen magas. Ezek a műszerek információt adnak a kút környezetéről: hőmérséklet, kőzetnyomás, nyomás a fúrófejen, forgósebesség, torziós nyomaték. Ezen kívül a kőzet fúrásideji fizikai jellegzetességét (radioaktivitás, elektromos ellenállás) is mérik. A hagyományos kútmérésen kívül a szelvényezés fúrás közben történik.

A kútmélyi motor és a geoirányító kifejlesztése tette ezt a technológiát kereskedelmileg megvalósíthatóvá. Ezt a fú-



3. ábra. Fúrás és hidraulikus kőzetrepesztés (módosítva Conoco-Philips után)

sos kőzetrepesztéssel lehet elérni (3. ábra). Repesztés történik, amikor a repesztési folyadékot olyan nyomással pumpálják a csőbe, ami meghaladja a kőzet repedési (nyomás) grádiensét. A nyomás gradiens a nyomás emelkedése a mélységgel arányosan, amit bar/méterben mérnek. Ez a kőzet fajsúlyától függ. A perforálás után a szerkezeti számokat kihúzzák a kútból és megkezdik a lövéslyukak stimulálását a repesztési folyadék pumpálásával. A rögzített dugó a folyadékot a lövéslyukakon keresztül a kőzetbe tereli és a magas nyomás a kőzetben repedéseket képez. Az első szakasz után megkezdik a következő dugás és perforálás munkáját, ami ismétlődik a csővezet sarkának az irányába. A szakaszok száma a vízszintes csővezet hosszúságától függ. Háromezer méter hosszúságú horizontális csővezet sem ritkaság. A perforálás közötti távolság néhány métertől 150 méterig változik. A lyukasztó művelet hulladékot hagy a kútban és magában a perforációkban is. Ennek eltakarítására gyenge savat pumpálnak a csőbe, ami feloldja a törmelék.

Az újabb technológia mellőzi a cementelést és az egyenkénti perforációs műveletet. A rendszer ajtós hüvelyből és termelési csomagolóból áll. A csomagoló tömítést képez a termelőcső külseje és a beléscső,

vagy a kútfal belseje között. Többszörös (gyakori) zóna esetében a tömítést a perforációk elkülönítésére használják. Ebben az esetben a csomagolók közé helyezett hüvely ajtajának a kinyitásával határozzák meg, hogy melyik zóna termeljen. Az ajtó kinyitását a folyadék nyomásával, vagy a hüvelyre pumpált labdával aktiválják. Ez a folyamat a folyadékot a kőzetbe irányítja, ami hidraulikus repesztést eredményez az izolált zónában. A földgáz vagy olaj az agyagpala repedéseiből a termelési csőbe folyik, majd onnan a felszínre.

Visszont a repedések csak addig maradnak nyitva, amíg a repesztési folyadék nyomása tart. Amikor a nyomást lekapcsolják, a repedések összehúzódnak és megszűnik a gáz/olaj termelése. Ennek megakadályozására a repesztési vízbe szemcséket kevernek, amik a nyomás megszűnte után is nyitva tartják a repedéseket. Ezeket a műveleteket hívják víznyomásos repesztés-

nek. Általában a repesztési folyadék vízből (90%), homokból vagy kerámiareszcskékből (9,5%) és több mint 750 vegyi adalékból (0,5%) áll. A vegyi adalékok fő feladata a nagy mennyiségű szemcse szállítása a repedésekbe, a viszkozitás növelése, a síkosság emelése, a folyadék visszafolyásának a megengedése, de a szemcserészcskéket megtartása a repedésekben. Néhány ilyen vegyi anyag a poliakrilamid, etilglikol, bórsav, guar gumi, nátrium és kálium-karbonát, glutaraldehid, vízben oldódó gél, citromsav, izopropanol stb. Amikor a hidraulikus repesztés folyamata befejeződik, a kutat kiöblítik a felesleges repesztési folyadék eltávolítása céljából. A használt folyadéknak csak a kis mennyisége jön vissza felszínre. A folyadék többsége feltehetőleg a sok parányi repedésben marad a hajszálcsővésség és az agyag duzzadása következtében.

(A cikk második részét szeptemberi számunkban közöljük)

Irodalom

- Blakey, R. (2008). Paleogeography and geologic evolution of North America. *Global Plate Tectonics and Paleogeography*.
- Hubbert, M. K. (1956). Nuclear Energy and The Fossil Fuels, Spring Meeting of the Southern District, American Petroleum Institute, San Antonio, TX.
- Duncan, R. C. (2000). The peak of world oil production and the road to the Olduvai Gorge. *Geological Society of America, Pardee Keynote Symposia*, pgs. 13, Reno, NV.
- Engelder, T. (2004). tectonic implications drawn from differences in the surface morphology on two joint sets in the Appalachian Valley and Ridge, Virginia. *Geology*, v. 32, p. 413-416.
- Engelder, T. and Lash G. G. (2008). Systematic joints in devonian black shale: A target for horizontal drilling in the Appalachian Basin. *American Association of Petroleum Geologists, Bulletin*.
- Forster, D. and Perks, J. (2012). Climate impact of potential shale gas production in the EU. *American Economic Association*.
- Helms, L., (2010). Horizontal Drilling, *DMR Newsletter*, vol. 35, No. 1.
- Hirsch, R. L. (2007). Peaking of world oil production: Recent forecasts. *U.S. Department of Energy*.
- Howart, R. W., Santoro, R., Ingraffea, A. Methane and the greenhouse footprint of natural gas from shale formations. *Clim. Change*, 106, 679 – 690.
- K. Szűcs, F. (2007). A kőolaj hajnala, aranykora és alkonya. *Természet Világa*, 138 évf. 1. sz. p.13-16.
- Lash, G. G. (2007). Jointing within outer arc of a forebulge at the onset of the Alleghanian Orogeny. *Journal of Structural*



4. ábra. A devon korszak paleogeográfiája

- Geology*, v. 29, p. 774-786.
- Maurenzi, I. J. and Jersey, G. R. (2013). Life cycle greenhouse emissions and freshwater consumption of Marcellus shale gas. *Environmental Science and Technology*. American Chemical Society.
- Marcellus Shale, (2012). Issue Number 6, January, pgs. 6, Ithaca, N.Y.