

# A hazai nagymélységű fúrási tevékenység problémái, értékelése

Írták: Dr. Hingl József—Lendvai László—Németh Ferenc—Szabó György

## Bevezetés

Hazánk távlati energiaellátásának szempontjából sürgős, nagyfontosságú feladat az eddig megismert és termelésbe állított szénhidrogén-mezőkön kívül, vagy azok alatt elhelyezkedő készletek felkutatása. Ezt a feladatot az igények rohamos növekedése is sürgeti, így az ilyen irányú tevékenység népgazdasági szempontból felelősségteljes, ugyanakkor számos rendkívül bonyolult műszaki probléma megoldására van szükség, amelyek közül néhányat kiragadva taglalunk.

## 1. Földtani viszonyok

Szénhidrogén-kutatásra hazánkban elsősorban az 1000 m-nél vastagabb neogén üledékek borított kb. 40 ezer km<sup>2</sup> területre szálkalkulálunk. Ennek közel 1/4-én, a kisalföldi, a zalai, szeged-békési és jászági medencerészek 9 ezer km<sup>2</sup> területén a neogén üledékek vastagsága meghaladja a 3000 métert. A zalai és Szeged-békési medencerészek egyes területein a neogénképződmények medencealjzata 5, esetleg 6 ezer méternél is mélyebben van.

A nyírségi, hajdúsági, jászági és délzalai területrészekben neogén üledékek alatti helyenként több ezer méter vastagságú flisoid képződmények szénhidrogénföldtani jelentőségének vizsgálata is mélyfúrásokra vár. A flisoid-képződményeket illetően fúrástechnológiai és szénhidrogén földtani szempontból igen bonyolult szerkezettel állunk szemben. A tektonizáltság miatt nagyon nehéz az azonosítás, és a bonyolult feszültségi állapot lyukfalstabilitási problémákat is okoz.

A szerkezetkutatás során szerzett információk és a fúrástechnológiai sajtóságok alapján a Szeged-békési és a zalai medence között bizonyos párhuzam vonható. Mindkét területen — amint az hazánkban általános — a geotermikus mélységlépcső kicsi, ami miatt a lyukhőmérséklet igen magas, és egyidejűleg túlnyomás lép fel. A jellegzetes szénhidrogén-indikációk miatt — amelyek rendszerint gázosodás formájában jelentkeznek és zavarják a fúrési műveleteket, sokszor kitörésvédelmi bonyodalmakat okoznak — valószínűnek látszik, hogy úgynevezett „behatolási előzónával” kell számolnunk. Mindezek a reményteljességet hangsúlyozzák és egyúttal megszabják az alkalmazandó módszert: a „nyomásellenőrzés” technológiát kell bevezetni. Ezirányú törekvéseink mintegy öt évre nyúlnak vissza, azonban az ellenőrzött nyomású fúrási rendszer megvalósítása üzemi kísérlet formájában csak az elmúlt évben kezdődött.

## 2. A hazai mélyfúrási tevékenység előzményei

Eltekintve az archív dokumentumokkal bizonyítható múlt században indult és a harmincas évek közepéig tartó szórványos és iparilag eredménytelennek mondható szénhidrogén-kutatástól a rendszeres, általában az adott időszakban korszerű fúráskutatási, ill. feltárási tevékenység kezdete 1935-re tehető. Ettől az időtől kezdve 1972. december 31-ig 7 862 843 m fúrást mélyítettünk kutatási és feltárási céllal, amelyből az 1966—1972 közötti időszakra az összméterszám 36%-a esik, ami a tevékenység összidejének csak 16%-a. Mindez tehát a munka értékelésekor nem hagyható figyelmen kívül.

Érdemes utalni arra, hogy az 1940-es évek elején a B—57. jelű fúrás 2502,5 m-rel sokáig rekordot tartott, de a mélyfúrási kategória felső határát a felmerülő szénhidrogén-földtani nehézségek miatt csak 1949-ben sikerült először túllépni az O—1. fúrás 3001 m-es talpmélységével.

A mélyszinti kutatásra irányuló céltudatos szervezett munka 1965-ben vette kezdetét a budafai szerkezetre koncentráltan. Azt megelőzően csak Lovásziban, Budafán, Nagylengyelenben és néhány zalai, Dráva-medence környéki kutatófúrásban haladta meg a talpmélység a 3000 m-es határt, azonban az 1957, 1959 és 1964-es években egy-egy fúrással 4000 m alá sikerült jutni. A teljes üledékgyűjtő medence egyetlen fúrással sem volt átharántolható, amiért azután rendkívül fontossá vált a medencealjzat elérése, ennek érdekében a mélyfúrási technológia és eszközállomány lendületes fejlesztése.

Az OKGT és az Országos Tervhivatal előterjesztésére a Gazdasági Bizottság határozattal támogatta az előkutatás és kutatás korszerűsítését, aminek eredményeként lehetővé vált a legszükségesebb eszközök beszerzése, terv szerint 1964—1970 között 20 millió \$-os importkeret volumenéig, amelyből 1968-al bezárólag 4,5 millió \$-t merítettünk ki, valamint további 2,3 millió Rbl. ráfordítást eszközöltünk. Ez idő alatt 8 mélyfúrás mélyült 4000 m alá, melyek közül 3 (B—V, Ká—2. és Bó—I.) meghaladta a 4500 m-es talpmélységet. A fenti keretösszegeből importáltunk fúró- és lyukbefejező berendezéseket (pl. Wirth GH—1200, SBS. DIR—379.), nagyteljesítményű szivattyúkat, nagynyomású kitörésgátló és működtető berendezéseket, műszereket, mentőszerszámokat, egyéb fúrási anyagokat, de ki kell emelni azt, hogy a tervezett keret negyed részét sem merítettük ki.

Az 1968 utáni időszakra további számos igen súlyos probléma sikeres leküzdése esik, amelyek közül kiemelkedik az, hogy lyukfalstabilitási nehézségek közepette 230 °C hőmérsékletet meghaladó kútviszonyok mellett a



Hód—I. nagymélységű fúrásnál 5842,5 m-es, a hasonló körülmények között L—II-nél 5400,5 m-es talpmélységet értünk el.

### 3. A mélyfúrási viszonyok nehézségei

A magyarországi nagymélységű kutatás leg-súlyosabb problémája a kis geotermikus mély-séglépcsőből adódó magas lyukhőmérséklet. A geotermikus gradiens általában 20—25 m/°C, de helyenként 15—20 m/°C. Az iszaptechnológia szempontjából kritikus ez mindenekelőtt azért is, mert néhol túlnyomás is fellép, amikor a szükséges magas iszapfajsúly nagy szárazanyag-tartalommal jár, ezért nehezebb a hőmérséklet leküzdése.

Ha normálisnak tekintjük a 0,033 °C/m-es (30 m/°C) hőmérsékletgradienst, nyomásra a 0,108 at/m-es értéket, akkor csak ezeket meghaladó, tehát anomáliás viszonyokról adhatunk számot, de gyakran a 0,05 °C/m-es gradienst is átlépjük. A nyomásviszonyokat illetően általában valamivel kedvezőbb a helyzet, azonban néhány esetben egész magas gradienst észleltünk (Szarvas—1, Makó—1, B—II.). Amennyiben egy bizonyos talpmélységben észlelt hőmérséklet értékét összevetjük a normális gradienssel, megállapítható az a lyukmélység, amelyben normális viszonyok között számolni lehet az adott hőmérséklettel. Eszerint például az említett Szarvas—1. 2300 m-es mélysége 4300-nak, a Makó—1-ben 4150 m 5100 m-nek, a B—II-ben 3600 m 4300 m-nek felel meg. A jelenlegi országos rekord így 5842,5 m helyett kb. 6700 m lehetne. Hasonló hozzávetőleges korreláció vehető a nyomásviszonyok alapján is.

A kútviszonyok fenti alakulása rendkívül súlyos helyzetet teremt. Mindenekelőtt az iszaptechnológiát kellett fejleszteni. Jelenleg kalciumbázisú olajemulziós iszappal 200—210 °C lyukhőmérsékletig dolgozunk biztonságosan, azonban invert (olajközegű) iszappal 230 °C feletti hőmérsékletre vállalkozhatunk.

A hőmérsékleti viszonyok miatt az eszköz-ellátás igen nehéz. A legfontosabb szerszámok, mint pl. fúró-lengéscsillapító, súlyosbító központosító vagy fúrócsővédő gumi, általában a gumialkatrészek nem képesek az igénybevételnek megfelelni. Hasonló a helyzet a rétegvizsgáló szerszámok tömítő gumijaival, kútgeofizikai műszerekkel, kábelekkel stb. A hőmérsékletváltozás dilatációja is ismétlődés miatt egy bizonyos idő után például bélésűcsőcsatlakozáshoz vezethet.

További esetenként leküzdhetetlen problémát jelent az erősen tektonizált összletek harántolása. A feszültségi állapot miatt lyukfal-

stabilitási problémák lépnek fel. Néhol majdnem függőleges csúszási lapokkal találkozunk a maganyagban; ezek a rétegek rendkívül hajlamosak az omlásra, becsúszásra. Az ilyen természetű kőzetek átfúrásakor a beomló törmelék mennyisége és összetömörülési mértéke szerint szélsőséges nyomásingadozás lép fel. Adott esetben egy kényszer szivattyúzási szünet, szivattyú átváltás tragikus szerszámmegszoruláshoz vezet.

Számos esetben bizonyos márgatípus ugyan eredetileg nem töredezett, azonban a tektonikai feszültség miatt az átfúrás alkalmával szét-esik, omlani kezd. Esetenként az iszappal való érintkezés okozza a megbomlást, sokszor ozmotikus jelenségek, máskor a nyomásingadozás, a szerszám mozgások elkerülhetetlen nyomáshullámlás; a végeredmény szerszámszorulás.

Néha célravezető a gyors harántolás, ami gyakran a nagynyomású sósvíz és gázrétegek ellensúlyozásához szükséges nagy iszapfajsúly miatt nem kivitelezhető. Ez esetben egyébként a szilárdanyag-szabályozás — ami a hőstabilitás szempontjából is döntő jelentőségű — rendkívül nehéz a ciklon típusú eszközökkel.

A különleges hőmérséklet- és nyomásviszonyok a bélésűcsőcsatlakozás cemenvezését is nehéz feladat elé állítja. Számos törekvésünk irányult a megfelelő technológia kifejlesztésére. Többlépcsős műveleteket, bal irányú cemenvezést alkalmazunk. 220 °C-t meghaladó hőmérséklet esetén megoldást jelent az import útján beszerzett kohósalak cement, de a hazai kohósalak-alapú kötőanyag kutatása is biztató stádiumban van.

### 4. A mélyfúrási tevékenység költségkihatásai

Az előzőekben taglalt problémák a nagymélységű szénhidrogén-kutatást és -feltárást végző országokban megtalálhatók, és azonosságot is mutatnak. A talpmélységek növekedésével a feladat egyre összetettebb, költségkihatása jelentős; igényesebb, bonyolultabb az előkutatás, költségesebb az előkészítés, egyre tökéletesebb, különlegesebb berendezésekre és fúrás-technikára van szükség. A fúrási és főleg a kútkiképzési költségek növekszenek, és egyáltalán nincsenek arányban az átlagmélységek növekedésével.

Mind a Szovjetunióban, mind az USA-ban az utóbbi években növekedett ugyan az átlagmélység, de nem annyira, hogy az kifejezésre juttatná az igen nagy talpmélységek elérésére irányuló törekvéseket, amelyek célja az 5000 m-nél mélyebb előfordulások felkutatása.

A Szovjetunióban az elmúlt néhány évben többszáz kutat fúrtak 4500 m-nél nagyobb mélységre, és mintegy 40 fúrólyuk talpmélysége meghaladja az 5000 m-t. Az USA-ban kb. 5000 fúrás haladta meg ezideig az 4500 m-t, a 6000 m-t hozzávetőlegesen 300 db. 1972-ben a világcúcs 8687 m volt, amely az előzőt 14 év után szárnyalta túl, azonban nem volt hosszú életű, mert még abban az évben 9159 m-es talpmélységet ért el a Baden—1. jelű supermélységű fúrásnál. Mindezzel a nagymélységű tevékenység aktivitását kívántuk példázni.



Visszatérve az Egyesült Államokra vonatkozó adatokra, megállapítható, hogy a fúrás költségek 1960—1970 között 73<sup>0</sup>/<sub>0</sub>-kal növekedtek, miközben az átlagmélység 1284 m-ről 1550 m-re nőtt, azaz egy kb. 12<sup>0</sup>/<sub>0</sub> átlagmélység-növekedés mellett következett be a 73<sup>0</sup>/<sub>0</sub>-os költség-növekedés. Azonnal meg kell jegyezni, hogy csak 1967—1970 között 38,5<sup>0</sup>/<sub>0</sub>-kal növekedtek a kútépítés költségei. Az utolsó időben igen jelentősen emelkedett a különböző fúrás anyagok ára: üzemanyagok, alkatrészek ára, az iszap-költség stb. 8—10<sup>0</sup>/<sub>0</sub>-kal nőtt.

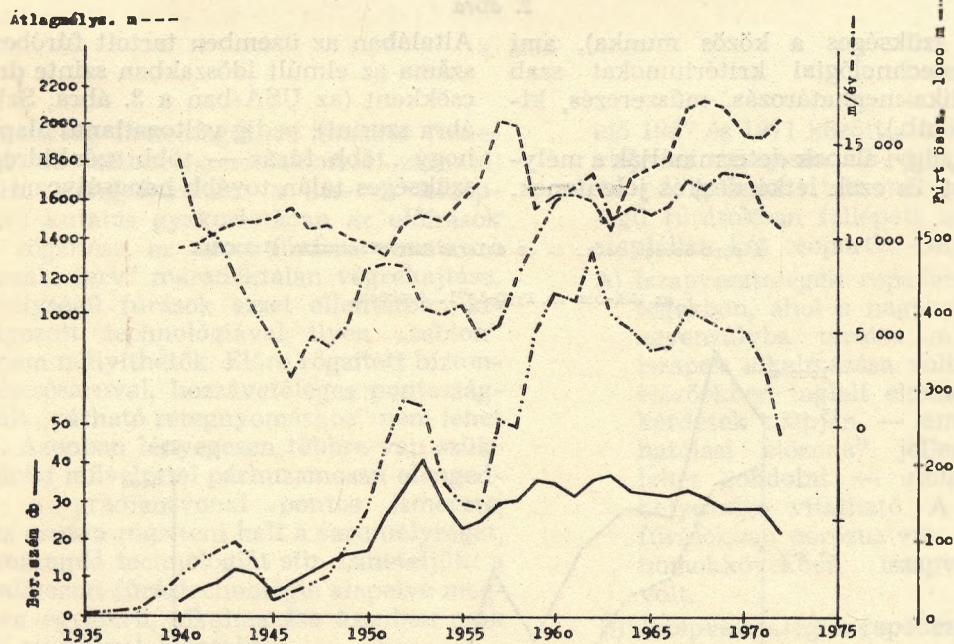
A szovjetunióbeli fúrás költségekről csak régebbi adatok állnak rendelkezésünkre, itt 1961—1967 között kb. 50<sup>0</sup>/<sub>0</sub>-os fúrás költség-növekedés mutatkozik.

A hazai méterköltség alakulását az 1-es ábrán a lemélyített méterszámmal és a fajlagos berendezés-teljesítménnyel egybevetve láthatjuk. Megfigyelhető a jelentősen emelkedő tendencia, amely indoka egyértelmű, ha megemlítjük, hogy csak 1970-ről 1971-re a felhasznált iszapjavító

legfontosabb technológiai felismerésén alapszik. Ez a múltbeli felfogással szemben az, hogy a fúrás kockázatát és ezzel költségét nem a pórús és közetnyomásnak öblítéssel való túlegyensúlyozásával lehet csökkenteni, hanem a tényleges tárolóréteg-pórusnyomások ellensúlyozásának megfelelő, azt csak éppen túlhaladó faj-súlyú hidraulikai rendszerrel. Az alapelv meg-tévesztően egyszerű, azonban úgy tűnik — ha-zánkban, de másutt is — alkalmazásának egyik kerékkötője a műszaki irányító apparátus kon-venzionális szemlélete. A legfontosabb tényező ugyanis nem a szükséges technikai eszközök birtoklása, hanem a különböző szakterületen dolgozó és képesítésű szakemberek (geológusok, geofizikusok, fúrás szakemberek) kollektív együttműködése, például adott esetben egy nagymélységű fúrás geoműszaki tervének kidol-gozásakor, illetve végrehajtásakor.

Azért kellett ezt hangsúlyozni, mert — ha eltekintünk attól, hogy ez a nagymélységű kutatás létkérdése (egyes szovjet szerzők szerint

A fúróberendezések számának, átlagos és összteljesítményének, valamint az átlagos fúrólukmélység alakulása az 1935-1975 években.



1. ábra

anyagoknál 42,8<sup>0</sup>/<sub>0</sub>-os, béléscsőnél 16,4<sup>0</sup>/<sub>0</sub>-os, termelési szerelvényeknél 63,1<sup>0</sup>/<sub>0</sub>-os áremelkedés történt. Mindez rendkívül nehéz helyzetet teremt, mert egy adott fúrás kapacitással, berendezésszámmal és annak kiszolgáló üzemágaival kötött, évről évre nagyjából azonos pénzügyi keretből kell gazdálkodni.

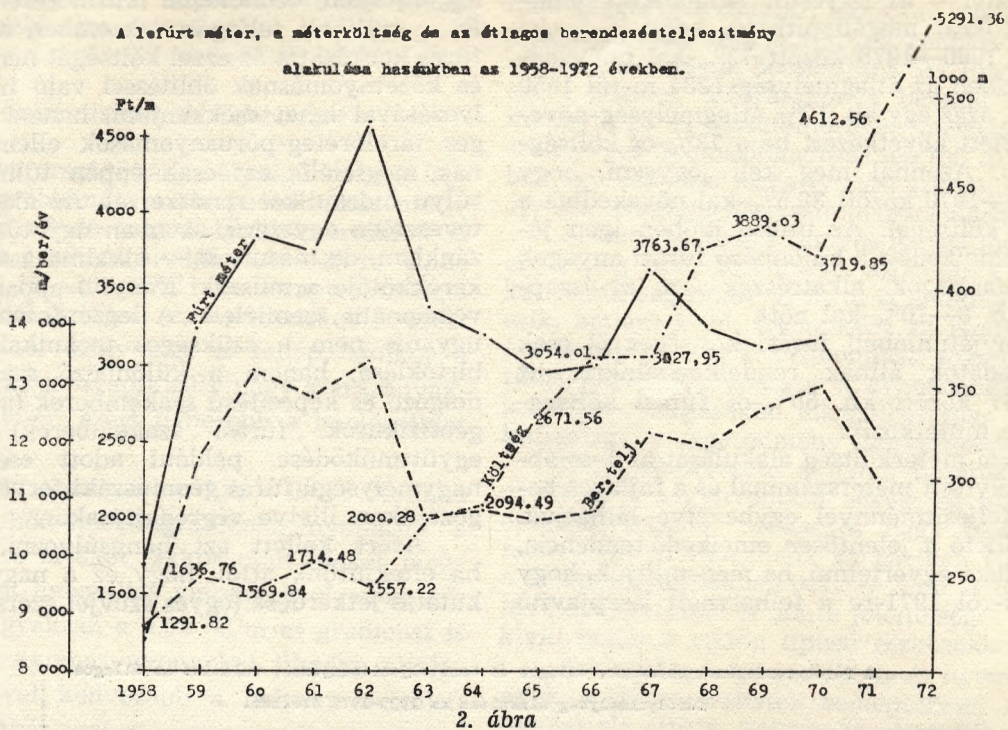
A nagymélységű fúrás tevékenység költségkihatásainak elemzésekor részletesen ki kell térni egy igen jelentős fúrastechnológiai vonatkozásra.

A nagymélységű kutatás fellendülésének időszakára esik az úgynevezett „kiegyensúlyozott” (vagy „ellenőrzött nyomású”, pontosabban „a szabályozott nyomású”) technológia bevezetése, üzemszerű alkalmazása, amely a közelmúlt

5000 m-nél nagyobb talpmélység nélkül biztonságosan vállalkozható) — a kiegyensúlyozott technológia gazdasági kihatása szinte felmérhetetlen. A tényadatok 6000 m-es fúrások esetében 50<sup>0</sup>/<sub>0</sub>-ot meghaladó költségcsökkenést bizonyítanak. Egy közismert, s a rotari fúrás lehetőségeit vizsgáló tanulmány szerint a rotari fúrással elérhető sebesség az elkövetkező egy-két év alatt a háromszorosára, a távolabbi jövőben (kb. 10 év) ötszörösére emelkedik.

A korábban hangsúlyozott „kollektív együttműködés” azért kulcskérdés, mert a kiegyensúlyozott fúrás technológiai alapja a tárolórétegek, kőzetek pórusnyomásának meghatározása, és az ebből levezethető rétegrepsz-tési nyomás gradiensvonalának megszerkesz-





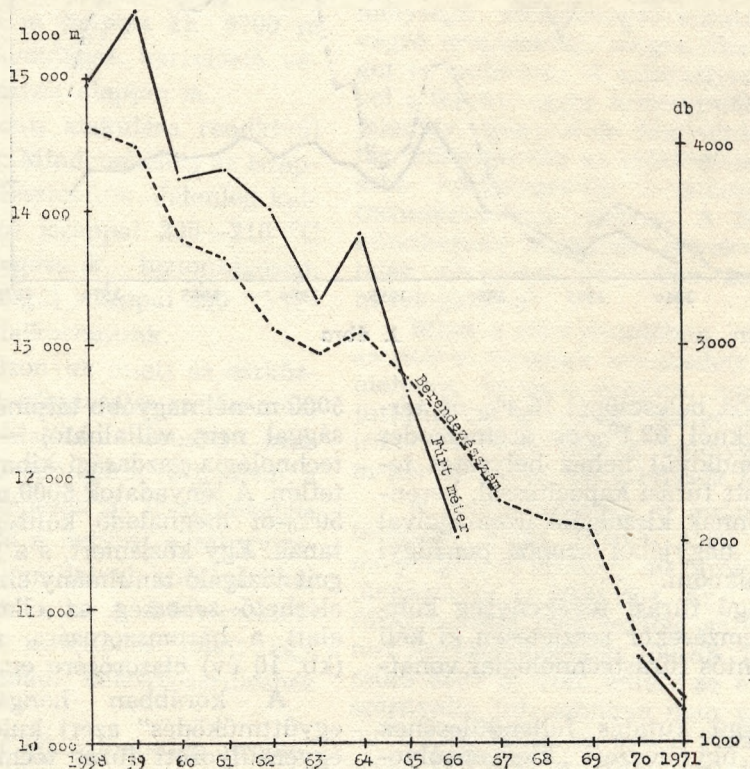
2. ábra

tése (ehhez szükséges a közös munka), ami azután fűrástechnológiai kritériumokat szab meg (hidraulika-meghatározás, műszerezés, kitérésvédelem stb.).

Ma a pénzügyi alapok determinálják a mélyfűrés-kutatást, és ezek létkérdést is jelentenek.

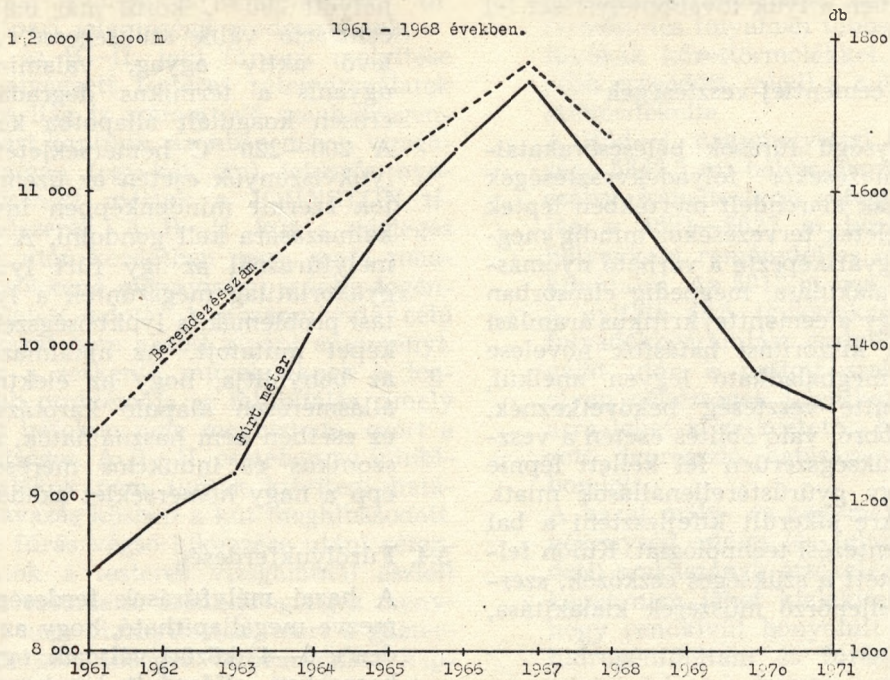
Általában az üzemben tartott fűróberendezések száma az elmúlt időszakban szinte drasztikusan csökkent (az USA-ban a 3. ábra, SzU-ban a 4. ábra szerint), pedig változatlanul alapigazság az, hogy „több fűrés — több szénhidrogén”; nem szükséges talán tovább hangsúlyozni a gazdasá-

A fűrt összes méter és az átlagos berendezésszám alakulása az USA-ban az 1958-1971. években.



3. ábra





4. ábra

gos tevékenység fontosságát. A témakör összefoglalásul az alábbi gondolatsorral zárható: Amennyire elengedhetetlen a kis- és közép-mély szintű kutatás gyakorlatában az előírások részletes rögzítése, az adott fűrésra vonatkozó „geo-műszaki terv” maradéktalan végrehajtása, a nagymélységű fűrésok ezzel ellentétben kiegyensúlyozott technológiával ilyen „sablon” alapján nem mélyíthetők. Előre rögzített biztonsági béléscsősaruval, hozzávetőleges pontossággal becsült „várható rétegyomáshoz” nem lehet igazodni. Azonban lényegesen többre van szükség. A fűrésai művelettel párhuzamosan elengedhetetlen a gradiensvonal pontos ismerete, amelyhez azután rögzíteni kell a sarumélységet, az alkalmazandó technológiát stb. Ismételjük: a kiegyensúlyozott fűrés technológia alapelve megtevesztően egyszerű, alkalmazása azonban csak kollektív munkával lehetséges.

#### 5. Műszaki fűrés technológiai problémák

A mélyfűrésai tevékenység során a lyuképités időszükségletét jelentősen befolyásoló tényezőkként a rétegnehezések jelentkeztek amelyek alapján véve három csoportba oszthatók:

5.1. Iszapelnyelések és egyéb folyadékvesztések;

5.2. A lyukfal-stabilitás megbomlása elsősorban márgaösszletekben;

5.3. Iszaptechnológiai problémák.

5.1. A rétegnehezések okozta többlet időszükséglet nagyságrendjének szemléltetésére elegendő azt az egyetlen adatot megemlíteni, hogy a leküzdésre, az ebből származó esetleges mentések felszámolására fordított

idő 1967 és 1971 között a mélyfűrésok összeidejének átlagosan 13—18%-a volt.

Az eddig lemélyített mély- és nagymélységű fűrésokban fellépett iszapvesztések alapján két csoportba oszthatók:

A) Iszapvesztések repedezett márgarétegekben, ahol a nagy nyomású rétegek egyensúlyba tartása miatt nehezített iszapok alkalmazása volt szükséges. Az előzőekben taglalt elméleti-technológiai kérdések alapján — amennyiben „behatolási előzőna” jellegű összletekre lehet gondolni — utólag a megoldás helyessége vitatható. A nagymélységű fűrésokban porózus víz- vagy olajtároló homokkövekben iszapvesztés nem volt.

B) Iszapvesztések repedezett, vagy porózus mészkövekben, esetleg kavernákban. Ez utóbbi esetben az alkalmazott iszap fajsúlya közel állt az 1,0 kp/dm<sup>3</sup> értékhez, egyes esetekben vízzel való öblítés mellett lépett fel elnyelés.

A két típus között alapvető különbség az, hogy a márgarétegekben a vesztés csak részleges volt, az iszapfajsúly csökkentésére nem minden esetben került sor, a felszámoláshoz nem volt szükség tömedékelő anyagra, míg a kavernás és teljes folyadékvesztésű jelentő mészkőrepedés-rendszerekben a vesztés rendszerint nem volt felszámolható, és a besajtoló tömedékanyag sem biztosított eredményes elzárást, azaz a fűrés visszaterő öblítés nélkül kellett folytatni. Egyes esetekben az ilyen jellegű teljes (katasztrofális) vesztés a fűrés szám megszorulásához vezetett, melynek



felszámolása nem mindig volt eredményes, számos esetben a lyuk továbbmélyítését fel kellett adni.

## 5.2. Jellegzetes cementtej-veszteségek

A nagymélységű fúrások beléscsörakatainak cementezésekor folyadékveszteségek általában csak alárendelt mértékben léptek fel. A műveletek tervezésekor mindig megfontolás tárgyát képezte a várható nyomásgradiensek alakulása, mégpedig elsősorban a célból, hogy a cementtej kritikus áramlási sebessége a kiszorítási hatások növelése érdekében meghaladható legyen anélkül, hogy cementtej-veszteség bekövetkezne. Gyakran jobbról való öblítés esetén a veszteségnek szükségszerűen fel kellett lépnie az igen nagy gyűrűstérellellások miatt. Ilyen esetekre sikerült kifejleszteni a bal irányú cementezési technológiát. Külön feladatot jelentett a szükséges eszközök, szerzőszámok és ellenőrző műszerek kialakítása, beszerzése.

## 5.3. Iszaptechnológiai problémák

Az iszapjavítással kapcsolatos nehézségek elsősorban a folyási tulajdonságok (látszólagos és differenciális viszkozitás,  $n$  kitevő,  $K$  konzisztencia index, mozgási ellenállás), a vízleadás és az iszapfajsúly megfelelő szinten való tartásával kapcsolatosan, esetenként ozmotikus hatások miatt a só-tartalommal függtek össze. Számos probléma az öblítőiszapok agyagtartalmának szükségtelen feldúsulása miatt következett be, illetve a nehézségek okai az agyag túltelítettségre vezethetők vissza. A nagy lyukhőmérséklet ilyen esetekben kritikus helyzetet teremthet.

Az üzemi és terepi mérésekkel egyidőben lefolytatott laboratóriumi vizsgálatok igazolták, hogy az öblítőiszapoknak vízzel való hígítása, valamint az ezzel egyidőben történő eredeti fajsúlyra való visszanehezítés barittal mind reológiai, mind pedig a víztartóképeségi tulajdonságokat jelentősen javító eljárás. Természetesen a vízzel való hígítás, valamint az egyidejűleg szükségessé váló baritfelhasználás az iszapköltségeket minden esetben tetemesen megnöveli. Következésképp a jövőben az öblítőiszapok szárazanyag-tartalmának szabályozására igen nagy súlyt kell fektetni. Ez egyébként alapkritériuma az ellenőrzött nyomású fúrastechnológia alkalmazásának is amellet, hogy önmagában is nagy horderejű gazdaságossági kérdés.

Öblítéstechnikai szempontból a nagymélységű fúrások iszapparamétereinek kiértékelése és az üzemi tapasztalatok azt bizonyították, hogy széles körben alkalmazott gipszbázisú öblítőiszapok 200—220 °C hőmérsékletig még alkalmazhatók, azonban utalni kell arra, hogy 160 °C talphőmérséklet túllépése után a CMC-felhasználás je-

lentősen megnő, és a szokásos 0,2—0,3% helyett 200 °C körül már 0,8—1,5% koncentráció válik szükségessé. Az iszapban levő aktív agyag, valamint a CMC ugyanis a termikus degradálódás miatt erősen koagulált állapotba kerül, bomlik. A 200—220 °C hőmérsékletet meghaladó lyukviszonyok esetén az üzemi tapasztalatok szerint mindenképpen invertiszap alkalmazására kell gondolni. A Hód—I. jelű mélyfúrásnál az így fúrt lyukszakaszban gyakorlatilag megszűntek a lyukfalstabilitási problémák, a lyukbővségszelvény ideális képet mutatott. Az alkalmazás feltételét az bonyolítja, hogy az elektromos ellenállásmérésen alapuló karotázs módszerek ez esetben nem használhatók, a rádióaktív, szonikus és indukciós méréseket viszont épp a nagy hőmérséklet akadályozza.

## 5.4. Fúrólyukferdeség

A hazai mélyfúrások ferdeségadatait elemezve megállapítható, hogy az átlagos ferdeség 0—4° között változik, egyes lyukszakaszokban előfordult lényegesen nagyobb érték is, azonban ez általában szerszámmozgatás, beléscsővezetés során nem vezetett műszaki balesetekhez.

A 12<sup>1</sup>/<sub>4</sub>"-es szelvényben ilyen szempontból jól bevált a 9<sup>5</sup>/<sub>8</sub>"-es súlyosbító alkalmazása, ez esetben 25—30 Mp fúróterhelés alkalmazható az elferdülés veszélye nélkül még akkor is, ha elmaradt a központosítók beépítése. A 8<sup>1</sup>/<sub>2</sub>"-es lyukszakaszban használatos 7—6<sup>3</sup>/<sub>4</sub>"-es súlyosbítókat azonban minimálisan két helyen központosítani kell, de esetenként célszerű 4—5 súlyosbító-központosító használata. Jóllehet elvben ezek a stabilizálási megoldások nem elegendők a szerszám alsó szakaszának megfelelő merevítéséhez, azonban az esetenként fellépő erőteljes ferdeségek egyenletesek (nincs „kutyaláb”), így nehézségeket nem okoznak. A jövőben elsősorban görgős utánfúrók, fúró lengéscsillapítók, négyszögletes és spirális súlyosbítók használatát fokozni kell elsősorban azért, mert a költségcsökkentés érdekében a fúróterhelés további növelése elengedhetetlen, ez pedig hosszú súlyosbító-rakatok alkalmazását teszi kötelezővé.

## 5.5. A mélyfúrások rétegvizsgálatának értékelése

A nagymélységű fúrások rétegvizsgálatainak is állandóan visszatérő problémája az extrém lyukhőmérséklet, esetenként a jelentős túlnyomás bonyolítja a helyzetet. 200 °C felett a tömitőelemek nem funkcionálnak megbízhatóan, ami a fúrócsővel végezhető vizsgálatok elsődleges problémája, de hasonló a helyzet a perforáló szerszámokkal, amelyeknél további nehézséget jelent a megfelelő robbanóanyag biztosítása. A rétegvizsgálatok minőségi igény szerinti kielégítése ezért rendkívül nehéz helyzetet teremt, súlyos feladat.



Mindezek ellenére számos hasznos információ már ezideig is rendelkezésre áll, vannak ipari jelentőségű eredményeink.

A B—I. és B—II. jelű fúrások mélyítése közben elvégzett testeres rétegvizsgálatok során iparilag is számottevő szénhidrogén-beáramlást kaptunk, azonban már a vizsgálat folyamán (egy-két óra) jelentős nyomáscsökkenést mértek a JOHNSTON típusú műszerek. A B—II. kút a végleges kiképzés után kezdetben nagy, majd rohamosan csökkenő mennyiségű szénhidrogén-gáz-termelést adott. A hozamnövelő célú rétegsavazás nem hozott kívánt eredményt. Ezeknek a serkentő műveleteknek a leg súlyosabb problémája az inhibítálás, amely az adott hőfokon nem megbízható, ezért a siker kétséges. A B—II. esetében az inhibítáló adalékok nem tudták kifejteni hatásukat, savazás közben a kút meghibásodott. A B—I. fúrás végső kiképzése utáni rétegvizsgálatok a testeres vizsgálatnál észlelt nagyobb volumenű szénhidrogén-gáz mennyiséget nem bizonyították, mert a gáztermelés helyett bőséges vízbeáramlást kaptunk szénhidrogén-gázzal. Ilyen esetben rendszerint megfelelőképpen izolálhatatlan a folyadék- és gázfázis.

A B—III. kút miocén korú törmelékes zónájából napi 1 millió Nm<sup>3</sup> feletti CO<sub>2</sub> gáz termelésére képes. Kiképzése megfelel az igényeknek, kb. 600 000 m<sup>3</sup>/nap hozammal a budafai mező másodlagos termelési céljait szolgálja.

A B—IV. jelű fúrásban 21 perforálásos rétegvizsgálatra került sor, ezenkívül 2 testeres rétegvizsgálat is volt. Szénhidrogén-gáz csak nyomokban jelentkezett, illetve két réteg 12—17 000 Nm<sup>3</sup>/nap nem éghető gázkeveréket adott.

A B—VI. sz. kútban összesen 11 rétegvizsgálat történt, amelyek eredménye néhány esetben teljes beáramláshiány, néhány esetben éghető gáznymó volt. A kút szénhidrogéntermelés szempontjából meddő.

A L—I. mélyfúrásban, illetve kútban összesen 18 rétegvizsgálat közül a 3560—3403 m-es nyitott szakasz a termeltetés során 6—12 000 Nm<sup>3</sup>/nap éghető gázzal 24 m<sup>3</sup>/nap mennyiségű párlatnyomos rétegvizet adott. A 3750—3755 m-es lyukszakasz 14 mm-es fúvókával 21 400 Nm<sup>3</sup>/nap mennyiségű éghető gázbeáramlást eredményezett 760 m<sup>3</sup>/nap forró sósvízzel, amely a kifolyónál 120 °C hőmérsékletű volt, a sókoncentráció 21,2 g/l. A termelési talpnyomás kezdetben 719 at volt, azonban az idő függvényében csökkenő tendenciát mutatott, így feltételezhetően nem végtelen, hanem zárt tárolórendszerrel lehet szó.

A Makó—1. jelű mélyfúrás rétegvizsgálata tömítővel kiképzett kútban történt. A nyitott 4152,5—4156,0 m-es és előre perforált bélésű mögötti 4142,0—4152,3 m-es lyukszakasz hozammérése során egyértelmű eredményt nem sikerült kimutatni. A kút szénhidrogén-gázt és párlatot termelt kez-

detben. A nyomásmérések alapján a rétegnyomás extrapolálással 884 at-ra tehető. A termeltetés folyamán többször eldugultak a fúvókák közettörmelékkel. A jelenség később erősödött, végül a kutat a kőzetanyag tömmedékelte.

A Hód—I. nagymélységű fúrás (talpmélysége 5842,5 m) bélésű vezetetlen lyukszakaszában kábeltesteres rétegvizsgálatok alapján a 4001—5027 m közötti mélységben helyenként reményteljes rétegeket sikerült kimutatni. Az 5012 m-ben ültetett testerral a nyitott alsó lyukszakaszról gáznymos folyadékbeáramlást észleltek. A rétegvizsgálat után a nyitott szakasz elzárásakor olyan nehézségek jelentkeztek, amelyekből arra lehet következtetni, hogy az alkalmazott depresszió hatására a lyukfal meg bomlott.

A hazai mély- és nagymélységű fúrási tevékenység eddigi (és feltétlenül csak kezdeti) szakaszának értékelése alapján átfogó képet nem lehet kialakítani. Az bizonyos, hogy rendkívül bonyolult geológiai—szénhidrogénfeldtani és fúrástechnológiai feladatot jelent a kutatás, amelynek költségkihatása tetemes. Az eddig kutatott mélymedencék kétségkívül „behatolási előzőna” jelleget mutatnak, amely alapján a jövőre nézve a nagymélységű kutatási tevékenység reményteljesnek ítéhető.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

1. *Alliquander Ödön—Giliz Béla*: A kiegyensúlyozott fúrás elméleti alapjai és gyakorlati feltételei (MINDOK. 1971.)
2. *K. A. Anikiev*: Prognoz szverhviszokih plasztovüh davlenij i szoversensztvovanie glubokogo burenja na neft i gaz; NEDRA, (Leningrád) 1971.
3. *Patsch Ferenc—Németh Ferenc—Szabó György*: Fúrási költségek, fúrási tevékenység (OMBKE XIII. Vándorgyűlés, 1972.)
4. Ten Year Survey Reveals Drastic Cost Rise; Petroleum Engineer 1972. febr. p. 54.
5. Petroleum Facts and Figures 1967. API. (New York).
6. Itogi pervovo goda devjatoj pjatileti, Burenije, 1972. I. p. 3—4.
7. *C. F. Iglehart—F. A. Dix*: North American Drilling Activity in 1970. American Association of Petroleum Geologists 1971. juli. p. 918—942.

Д-р Хингл Иштван—Немет Ференц—Сабо Дёрдь:

#### ПРОБЛЕМЫ И ОЦЕНКА ПРОХОДКИ ГЛУБОКИХ СКВАЖИН

После общего геологического ознакомления и ознакомления с геологией углеводородов, автор излагает вопросы проходки глубоких скважин, говорит о затруднениях при глубоком бурении, особенно проблемы вызванные высокой температурой, сверхвысоким давлением и стойкостью стен скважин. Путем анализа затрат на глубокое бурение автор знакомит нас с основными факторами финансовых затруднений и констатирует, что это является всемирным явлением. В завершение дается анализ некоторых проблем технологии бурения с тем, чтобы облегчить задачи компетентных людей.



# A kiegyensúlyozott nyomású fúrás néhány problémája

Írta: Tóth Zoltán

Az a törekvés, hogy a fúróluk mélyítését a rétegnyomásra gyakorolt minimális többletnyomással kívánják megoldani, azzal magyarázható, hogy ezáltal

- értékes információkat nyerhetnek fúrás közben,
- csökken a szénhidrogéntárolók károsodásának veszélye,
- csökken a kitörésveszély,
- jelentősen nő a fúrás sebessége,
- olcsóbb a kút létesítési költsége.

A rétegnyomáshoz közelálló kúttalpi nyomású fúrás ugyanakkor gondos tervezést, a fúróluk — rétegnyomás egyensúlyi feltételeinek mindenkor biztosítását és így az egyensúly fennállásának, vagy hiányának gondos figyelmét, a rétegnyomás várható változásának (pozitív anomália) előrejelzését kívánja meg.

A kiegyensúlyozott nyomású fúrás mód a fúrási technológia magasabb szintű ismeretét tételezi fel, amely igényessége döntő súlyát a fúrást kivitelező személyzetre hárítja. A fúróluk mélyítésének teljes időtartama alatt a fúróluknyomás—rétegnyomás viszonyát a fúrási tényezők változásából, azok értékeléséből kell megállapítani.

A fúrás során kinyert információk legfontosabbika a szénhidrogén-tároló előrejelzése és mobilitásának megismerése. Ellentétben a hagyományos, folyadéköblítésű rotari fúrással, a kiegyensúlyozott fúrás mód nem „öli meg”, nem „fojtja el” a tároló réteget fúrás közben, hanem a nyomások kiegyensúlyozásával lehetőséget ad a rétegfliuidum, a rétegnyomás és a tárolóközet vezetőképességének (áteresztőképesség és az effektív rétegvastagság szorzata) a megismerésére. Ezzel lehetőséget teremt a tárolók eredeti tulajdonságainak megőrzésére, valamint a hatékony kitörésvédelemre.

A kiegyensúlyozott nyomású fúrás mód a fúrási technikával szemben is nagyobb követelményeket támaszt. A fúróberendezés és műszerzettsége, a fúróluk beléscsővezési terve, a beléscsörszakaszok szilárdsági adatai, valamint a felszíni lyukelzáró szerelvények alapot kell biztosítsanak

- a fúrási műveletek hatékony kivitelezésére,
- a fúróluk-rétegnyomás egyensúlyának fenntartására,
- a megbomlott egyensúly észlelésére,
- az egyensúly helyreállításához szükséges adatok regisztrálására és feldolgozására,
- az egyensúly helyreállítására,
- a fúrás kitűzött céljának elérésére.

A kiegyensúlyozott nyomású fúrás módra való felkészülést a hazai ipar évekkel ezelőtt (1965—66-ban) kezdte el. A korszerű beléscsőfej család, a kitörésgátló és lefuvató rendszer fejlesztése és egy széles körű ellenőrző-regisztráló

műszer család létrehozására irányuló program összeállítása a Nagyalföldi Kutató és Feltáró Üzem kezdeményezése. A technológia fejlesztése az OGIL feladata. Itt foglalkoznak az anomáliás rétegnyomás előrejelzés feltételeinek és mérési módszereinek kutatásával, a fúróluknyomás-szabályozás, valamint az egyensúly helyreállítás elméleti kutatásával az üzemi kísérletek előkészítésével.

Az elmúlt évben sikeresen lemélyült az első kísérleti fúrás, amely hivatva volt a kiegyensúlyozott fúrási technológia alkalmazhatóságát bizonyítani. A Szank—106. fúrás nyert tapasztalatok bizonyítják, hogy a rétegekre ható túlnyomás mérséklésével nő a fúrási sebesség, csökken a fúrófelhasználás, viszonylag jól szabályozható a fúrási folyadék szilárdanyag-tartalma.

A kiegyensúlyozott fúrás mód használatára irányuló felkészülés 1973-ban tovább folytatódik, folytatja a technikai eszközök kifejlesztését, a technológia részkérdéseinek kidolgozását. A jelen cikkben néhány problémát vizsgálunk meg, ami a kiegyensúlyozott fúrási technológia fejlesztésével kapcsolatban merült fel.

## 1. A fúróluk nyomásviszonyai

Az üledékes kőzetek pórusaiban, repedésrendszerében lévő fluidum nyomása bonyolult összefüggésben van az üledékképződés folyamatával, annak kémiai-fizikai jellemzőivel, a fluidum anyagi minőségével és a tárolóban elfoglalt etázsmagasságával.

Hazánkban a negyedkori és a felső pliocén üledékekben a nyomásviszonyok hidrosztatikusak. A felsőpannonnál idősebb neocén üledékekben a mélységgel és a geológiai korról növekvő nyomások uralkodnak. Ismert az algyői alsópannon alapkonglomerátum 0,124—0,130 at/m nyomásgradiense. Szankon a miocén gáztároló nyomásgradiense 0,130—0,140 at/m. A legnagyobb túlnyomást Úllésen a törtónai konglomerátum gáztelepében (0,161 at/m) és a makói kutatási terület alsópannoniai gázcsapadéktelep tetőrészen (?) észleltük (0,215 at/m).

Az üledékes kőzetek egyik igen fontos tulajdonsága a repeszhatóság. A kőolaj- és földgáztermelés gyakorlatában a hidraulikus rétegrepeztesztés a hozamnövelő eljárások egyike. A fúróluk mélyítése közben a rétegrepeztesztés káros jelenség, mert a megnövelt szűrési felületen keresztül nő az 1 at nyomáskülönbségre eső folyadékvesztés. A fúrás közben előidézett rétegrepeztesztés mindig folyadékvesztéssel jár, amit szélső esetben az öblítőkör megszüntése, sőt negatív folyadékszint-beállítás követhet.

A fúróluk biztonságos lemélyítéséhez ismerni kell a rétegek teherbíró képességét és folyadékszűrési tulajdonságait.



Hazánkban mindmáig kevés figyelmet szenteltek a kőzetek repesztési nyomásának, vagy a repesztési nyomásgradiens megismerésének.

A repesztési nyomás függ a tektonikai viszonyoktól. A tektonikusan kilazult területeken a repedések létrejönnek olyan besajtoló nyomásokon, melyek kisebbek, mint a fedőteher nyomása. A tektonikusan komprimált területeken a repedés létrehozásához olyan besajtoló nyomás szükséges, amely egyenlő, vagy nagyobb a fedőteher teljes nyomásánál. A viszonylag nem deformált kőzetekben mechanikailag nem látszik lehetségesnek repedéseket létrehozni akkora összes besajtolási nyomással, amely kevesebb, mint a fedőrétegek terheléséből adódó nyomás.

Végeredményben a feladatunk a kőzetek, vagy kőzettömeg feszültségi állapotának vizsgálata, a feszültségi állapot és a kőzetszilárdság összefüggéseinek kimutatása.

A fedőkőzetek terheléséből keletkező feszültség [1] szerint

$$\begin{aligned}\sigma_z &= -\gamma_k \cdot L \\ \sigma_r = \sigma_\psi &= \lambda \cdot \sigma_z (\equiv \lambda \cdot \gamma_k \cdot L)\end{aligned}\quad (1)$$

ahol  $z$ ,  $r$  és  $\psi$  a hengeres koordináta-rendszer jellemzői

$z = 0$  felület megegyezik a kőzettömeg felszínével és a  $z$  tengely lefelé irányul

$\gamma_k$  — a kőzettömeg átlagfajsúlya

$\lambda$  — a kőzetsúly  $z$ -re merőleges összetevőjének arányossági tényezője, melynek értéktartománya

$$0 < \lambda < 1$$

A  $\gamma_i$  fajsúlyú folyadékkal feltöltött fúrólyuk egyensúlyi feltételeinek megfelelő koordinátafeszültségek kifejezhetők az alábbi összefüggésekkel

$$\begin{aligned}\sigma_r &= -\lambda \cdot \gamma_k \cdot L \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right) - \gamma_i \cdot L \cdot \frac{r^2}{R^2} \\ \sigma_\psi &= -\lambda \cdot \gamma_k \cdot L \left(1 + \frac{r^2}{R^2}\right) + \gamma_i \cdot L \cdot \frac{r^2}{R^2} \\ \sigma_z &= -\gamma_k \cdot L \\ \tau_{rz} &= 0\end{aligned}\quad (2)$$

ahol  $\gamma_i$  — a fúrólyukat feltöltő folyadék fajsúlya

$r$  — a fúrólyuk sugara.

A (2) képletből látható, hogy a legveszélyesebb hely a kőzettömegben a fúrólyuk fala, ahol  $\sigma_r$  és  $\sigma_\psi$  feszültségek elérik maximális értéküket ( $r = R$ )

$$\begin{aligned}\sigma_r &= -\gamma_i \cdot L \\ \sigma_\psi &= L \cdot (\gamma_i - 2\lambda \cdot \gamma_k) \\ \sigma_z &= -\gamma_k \cdot L \\ \tau_{rz} &= 0\end{aligned}\quad (3)$$

A kifejtett egyenletrendszerrel a mélyfúrások tervezésének egy sor kérdése oldható meg megfelelő pontossággal.

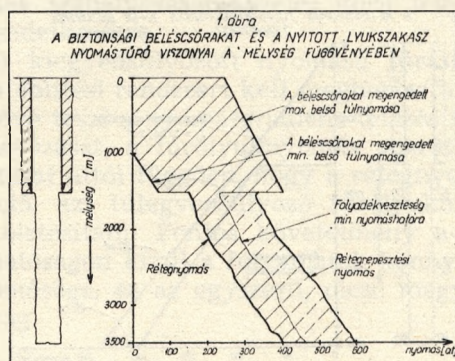
Az egyenletrendszer gyakorlati alkalmazásának alapfeltételei azonban még nem eléggé tisztázottak, ilyenek:

- A határfelület ismerete. A határfelület megszerkesztéséhez elegendő a húzás vagy nyomás egyenletének ismerete. A legtöbb kőzetre vonatkozóan ezek az adatok ismeretlenek.
- A  $\lambda$  kiválasztása. Az oldalirányú terhelés arányossági tényezője nagyságáról jelenleg vita folyik. A leginkább elfogadott nézet egyike a rugalmas súlyos tömeg vizsgálatából indul ki, amelyben nincs feszültség-átrendeződés.

Ez esetben  $\lambda = \frac{\nu}{1 - \nu}$ , ahol  $\nu$  — a Poisson szám.

A második nézet támogatói abból indulnak ki, hogy a kőzetek (geológiai periódusokkal mérhető) kora el kellett vezessen a feszültségek olyan átrendeződéséhez, ami a nyírófeszültség teljes eltűnését eredményezte. Így tehát  $\lambda = 1$ .

A kérdés gyakorlati megoldásához vezető egyik út a fúrólyukfal szilárdsági vizsgálata lehet hidraulikus rétegrepszteskor. A hidraulikus rétegrepsztesssel nyert adatok alapján meghatározható a biztonsági beléscsőrakat beépítési mélysége, illetve a saru alatti lyukszakasz terhelhetősége. Az 1. sz. ábrán a vonalkázott terü-



let adja a fúrólyukban alkalmazható hidraulikus nyomás alsó és felső határát. Látható az ábrából, hogy mennyire szűk lehet az a nyomásintervallum, amelyen belül ellensúlyozni kell a rétegnyomást és meg kell előzni a folyadékvesztést, valamint a rétegek felrepsztesését.

A fúrólyukat feltöltő öblítőiszap fajsúlyát általában — abból a megfontolásból választják meg, hogy az statikus és dinamikus viszonyok között is ellensúlyozni tudja a nyitott szakaszban lévő összes rétegek telepnyomását.

Tekintettel arra, hogy a biztonsági beléscsőrakat védelmében jelentős hosszúságú lyukszakasz mélyítése tervezhető, fel kell tételezni, hogy ezen belül hidrosztatikus, túlnyomásos, esetleg elégtelen nyomású rétegek települhetnek.

A rétegnyomással egyensúlyt tartó iszapfajsúly kiszámítása a telepnyomás és a települési mélység ismeretében az alábbi képlettel lehetséges



$$\gamma_i = \frac{10 \cdot P_r}{L} \quad [\text{kp/dm}^3] \quad (4)$$

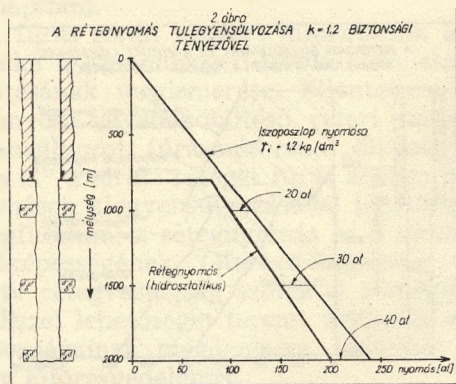
ahol  $\gamma_i$  — a telepnyomás ellensúlyozásához szükséges iszapfajsúly  $[\text{kp/dm}^3]$   
 $p_r$  — rétegnyomás (telepnyomás)  $[\text{at}]$   
 $L$  — a rétegtető függőleges távolsága a felszíntől  $[\text{m}]$

A rétegnyomás túlegyensúlyozásához szükséges fajsúlyt az eddigi gyakorlat biztonsági szorzótényező alkalmazásával számította ki. E szerint a rétegnyomás túlegyensúlyozásához szükséges fajsúlyt a

$$\gamma_{i,b} = k \cdot \gamma_i \quad [\text{kp/dm}^3]$$

összefüggés adja.

Ez a nézet nem veszi figyelembe, hogy a biztonsági szorzótényezővel növelt iszapfajsúly a mélység növekedésével növekvő értékű többletnyomást eredményez. A folyadékoszlop súlya valamely, meghatározott mélységen túl a szükségesnél nagyobb mértékű túlegyensúlyozást eredményez, ugyanakkor a sekély mélységben települő szénhidrogén-tárolók túlegyensúlyozása elégtelen, nem éri el a biztonság követelte minimális szintet. Hidrosztatikus nyomású rétegeket feltételezve az  $1,2 \text{ kp/dm}^3$  fajsúlyú iszap az 1000 m mélységben megnyitott gáztárolót 20 at többletnyomással ellensúlyozza, míg a 2000 m mélyen települő gázréteggel szemben a többletnyomás már 40 at lesz (2. ábra).



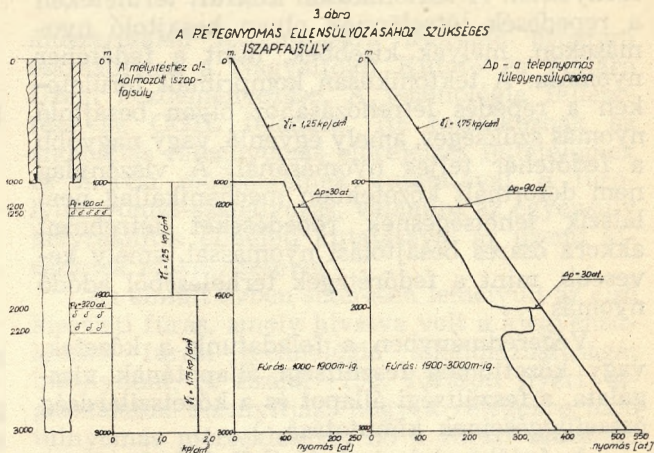
A helyes gyakorlat a rétegnyomás ellensúlyozásához szükséges többletnyomást — gondos mérlegeléssel — abszolút értékben határozza meg, és azt a rétegtető mélységében érvényesíti. Így a biztonsággal növelt fajsúly az  $L$  mélységbe települő és  $p_r$  telepnyomású réteg ellensúlyozásához

$$\gamma_{i,b} = \frac{10}{L} (p_r + p_b) \quad [\text{kp/dm}^3] \quad (5)$$

ahol  $p_b$  — a biztonsági többletnyomás  $[\text{at}]$

Az abszolút értékben meghatározott túlnyomást és így a szükséges iszapfajsúlyt a kút-szerkezetnek megfelelő fúrási szakaszokra, ezen belül a CH-tartalmú rétegekre, külön-külön kell megállapítani. A nyitott lyukszakaszban alkalmazható minimális iszapfajsúlyt a legfelső CH-tartalmú réteg nyomására és a rétegtetőre vonatkozóan kell kiszámítani. A végmélységre vonatkoztatott szükséges és elégséges iszapfajsúlyt

a lyukszakaszban megnyitott maximális nyomásgradiensű réteg és a rétegtető települési mélysége határozza meg.



A 3. ábrán egy olyan esetet vázoltunk, amelyben az 1000—3000 m-ig terjedő lyukszakaszban egy hidrosztatikus és egy túlnyomásos tárolót tervezünk megnyitni. Mindkét tárolót 30 at-ás többletnyomással terheljük, természetesen úgy, hogy a szükséges iszapfajsúlyt a várható rétegtető fölött 100—200 m-rel kezdjük használni.

A telepnyomás túlegyensúlyozásához szükséges többletnyomás ( $p_b$ ) értékét, abszolút nagyságát igen sok tényező befolyásolja. A nagyobb biztonság a  $p_b$  értékét növelni igyekszik. Ennek szab határt a rétegek iszapszűrési-elnyelési képessége és repszűrhetősége. A biztonság túlzott növelése nélkül is növelni kell a többletnyomás abszolút értékét, ha gázos réteget kell megnyitni, ha a réteg települési mélysége csekély, ha a fúróluk átmérője kicsi, vagy az alkalmazott fúrószerszám túlméretes (szűk gyűrűstér).

Növelni kell a  $p_b$  értékét ismeretlen területen mélyülő fúrásoknál, ott, ahol a fúróberendezés személyzete nem rendelkezik kellő tapasztalattal, vagy ott, ahol a fúróberendezés műszerzettsége az egyensúly megbomlásának észlelésére nem alkalmas.

Csökkenteni lehet a  $p_b$  értékét, sőt negatív értékű  $p_b$ -t lehet számításba venni ott ahol tömött, állékony kőzeteket kell átfúrni, sőt ott is ahol a gáztartalmú rétegek áteresztőképessége elhanyagolhatóan kicsi (gáztartalmú márgák).

A túlegyensúlyozás mértékét tehát esetenként a ható tényezők számbavételével kell meghatározni. A túlegyensúlyozás mértékének sablonszerű használata csökkenti a fúrás biztonságát, csökkenti a fúrási sebességet és növeli a fúrás költségeit.

## 2. A lyuktalpnnyomás szabályozása

A kiegyensúlyozott nyomású fúrási rendszerben a fúróluk egyensúlyi feltételeit külön-külön teszik vizsgálat tárgyává fúrás közben és az öblítés leállítása után, a fúrócsere idejére.

Az 1. fejezetben tárgyalt iszapfajsúly-meghatározás és ezzel együtt a fúróluk biztonságát



szolgáló többletnyomást öblítés nélküli állapotban kell biztosítani.

Öblítés és előfűrés közben a lyuktalpra ható nyomást a pórusnyomáshoz közelítik. Rossz átteresztőképességű, tömött rétegsor esetében a nyomás lehet egyenlő, vagy kisebb a pórusnyomásnál. Ebben az esetben a fűrőlyuk talpára ható differenciális nyomás leszorító hatása csökken, megszűnik, sőt negatív talpnyomás—pórusnyomás viszony esetében kőzetjövészto hatás érvényesül.

A probléma abban jelentkezik, hogy a fűrés időrendben egymást követő és ismétlődő fázisaiban hogyan lehet biztosítani a pórusnyomás túlegyensúlyozását, majd a nyomástöbblet megszüntetését. Tovább bonyolítja a helyzetet a gyűrűstér áramlási vesztesége, amely fűrés közben a lyuktalpat terheli.

Az öblítés közbeni talpnyomás csökkentése elérhető iszapcserével. Ez esetben beépítés után, az előfűrés megkezdése előtt kisebb fajsúlyú iszapra cserélik ki a fűrőlyukat feltöltő folyadékot. A technikailag kivitelezhető módszer hátránya időigényességben és abban jelentkezik, hogy a különböző fajsúlyú iszapok az érintkezési határon összekeveredve egymás jellemzőit kölcsönösen lerontják. A kezelési költségeket jelentősen megnöveli az, hogy a szükséges iszapmennyiség kétszeresét kell elkészíteni és kondicionálni.

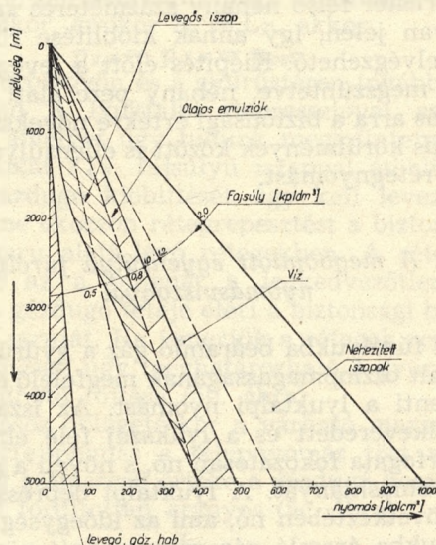
A lyuktalpnyomás szabályozásának másik lehetséges változata, olyan fajsúlynövelő és -csökkentő iszapkezelő-rendszert tételez fel, amivel megoldható a kiépítés előtti nehezítés egy öblítési ciklusban. Ebben az esetben granulált baritit nehezítenek és rendelkeznek olyan felszíni berendezéssel, ami biztosítja a fajsúly automatikus szabályozását. A kiépítés előtti utolsó öblítési ciklusban az iszap fajsúlyát granulált baritit bekeverésével oly mértékben emelik, hogy ezáltal biztosítható legyen a rétegnyomás túlegyensúlyozásához szükséges  $p_b$  statikus túlnyomás. A fűrés megelőző öblítés közben a granulált baritit kivonásával csökkentik az iszap fajsúlyát, majd fűrés közben a fajsúly szabályozásával a rétegnyomás—lyuktalpnyomás egyensúlyára törekednek.

Dicséretes törekvések vannak kis szilárdanyag-tartalmú, szilárdanyagmentes és igen kedvező reológiai tulajdonságú iszapok kifejlesztésére. Tekintettel azonban arra, hogy ezek az iszaptípusok az áramlási veszteségek csökkentését szolgálják, önmagukban véve a nyomásegysúly kialakítására nem alkalmasak, mert az öblítés nélküli rétegnyomás túlegyensúlyozását és az öblítés közbeni egyensúly feltételeit, tehát a nyomásgradiens változtatását csak egyéb intézkedésekkel lehet biztosítani.

A folyadéköblítésű fűrés egyenes lefutású gradiens vonalat eredményez. Ez egy merev rendszer, melyben a statikus talpnyomást az iszap fajsúlyja határozza meg. Természetesen lehetőség van a talpnyomás széles körű szabályozására a folyadék fajsúlyának változtatásával. További lehetőséget nyit meg a fűrés folyadék habosítása és a légnemű közegek használata.

A habosított és a részlegesen, vagy teljesen elgázosított öblítőközeg nyomásgradiense nem állandó, hanem az általános gáztörvények által definiálható. A 4. ábra mutatja be a fűrésnél használható öblítőközeg mélység—fűrőlyuknyomás görbeseregét. Látható, hogy a fűrőlyuk-

4. ábra  
FÜRŐLYUKNYOMÁS A MÉLYSÉG ÉS AZ ÖBLÍTŐ KÖZEG FÜGGVÉNYÉBEN



nyomás szabályozására széles körű fegyvertár áll rendelkezésre.

A kiegyensúlyozott nyomású fűrésnél olyan öblítési rendszert kell meghonosítani, ami lehetővé teszi a nyomásgradiens tetszés szerinti szabályozását, a fűrőlyuknyomás operatív változtatását attól függően, hogy a rétegnyomással egyenlő, azt túlegyensúlyozó fűrőlyuknyomást kell biztosítani. Fontos követelmény a szabályozhatóságon kívül a folyamatok könnyű áttekinthetősége, és az egyszerű, olcsó megvalósíthatóság.

### 3. A rugalmas és merev közegű fűrés folyadék kombinációja

Az előzőekben kimutattuk, hogy a rétegnyomás túlegyensúlyozásához  $\gamma_{i,b}$  fajsúlyú folyadékot kell alkalmazni. Fűrés közben olyan öblítési rendszert kell kialakítanunk, ami a rétegnyomással egyensúlyt tartó dinamikus talpnyomást biztosít, tehát

$$p_r = p_{st} - p_b - p_{h.e.} \text{ [at]} \text{ ahol}$$

$p_r$  — rétegnyomás [at]

$p_{st}$  — a  $\gamma_{i,b}$  fajsúlyú folyadék statikus talpnyomása [at]

$p_b$  — a statikusan vett biztonsági többletnyomás at

$p_{h.e.}$  — a gyűrűstér hidraulikus ellenállása [at].

A statikus és dinamikus talpnyomás különbségét biztosítandó vizsgáltuk a gyűrűstérben áramló folyadék részleges elgázosítását.



Megállapítottuk, hogy az iszapáram aerizálásával az öblítés közbeni talpnyomás a kívánt mértékben csökkenthető a statikus talpnyomáshoz viszonyítva.

Kimutattuk, hogy a kompresszor végnyomása függvényében a levegő táplálási mélységének ( $L_{lev}$ ) optimuma van. Nincs szükség a levegőt a teljes cirkulációs úton végigszállítani. Ezzel kettős célt lehet elérni. Egyrészt kisebb végnyomású kompresszorral elérhető a kívánt aerizációs fok, másrészt a levegősített iszap a gyűrűstér felső néhány százméteres szakaszában van jelen, így annak kiöblítése rövid idő alatt elvégzhető. Kiépítés előtt a levegőbetáplálást megszüntetve, néhány perc alatt a talpnyomás arra a biztonsági értékre növekszik, ami statikus körülmények között is ellensúlyozni képes a rétegnymást.

#### 4. A megbomlott egyensúlyú fűrőlyuk nyomásviszonyai

A fűrőlyukba beáramló gáz a gyűrűstérben elfoglalt oszlopmagasságának megfelelő értékkel csökkentti a lyuktalpi nyomást. Az iszapárammal elkeveredett és a lyukszáj felé elmozdult gáz térfogata fokozatosan nő, s növeli a gyűrűstér nyomáshiányát. A lyuktalpi depresszió ennek következtében nő, ami az időegység alatt a fűrőlyukba áramló gáz mennyiségét növeli. Ez a folyamat az időben gyorsulón játszódik le és mindaddig tart, amíg ki nem alakul egy dinamikus egyensúly a telepnyomás, valamint a fűrőlyuk talpán lévő nyomás között. Az egyensúlyt biztosító talpnyomást a fűrőlyukat feltöltő közegek oszlopnymása, az áramlási nyomásvesztések és a felszíni fojtás együttesen adják.

jes iszapmennyiséget. Ha ebben az esetben tovább folytatjuk a szivattyúzást, úgy gázoszlopban diszpergált fűrőiszappal van dolgunk vad gázkítörés közepette.

Az egyensúly megbomlásának észlelésekor célszerű a fűrőlyukat azonnal lezárni, és megállapítani, hogy mennyi iszap hiányzik a fűrőlyukból és milyen értékű a lyuktalpi nyomáshiány (depresszió).

Az 5. a. ábrán egy olyan fűrőlyukat ábrázolunk, amelyet  $L$  mélységig mélyítették  $\gamma_{i0}$  iszapfajsúllyal és az egyensúly megbomlása miatt a felszínen  $Q_{i0}$  térfogatú iszapszaporulatot észleltek.

A fűrőlyukat lezárva az 5. a. ábrán vázolt nyomásviszonyok uralkodnak a fűrőlyukban ( $p_{f,0}$ ;  $p_{gy,0}$ ;  $p_{v,0}$ ).

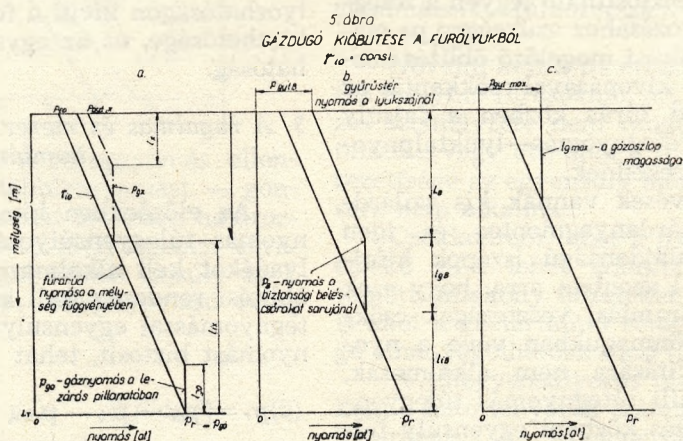
Feltételezve, hogy a fűrőcső ismert fajsúlyú ( $\gamma_{i0}$  gázmentes iszappal van feltöltve, a fűrőcsőnyomás ( $p_{f,0}$ ) megegyezik azzal a nyomáshiánnyal (depresszió), amivel a rétegből a gázbeáramlást előidéztük. A gáztelep nyomása egyenlő a zárt fűrőcsőnyomás és a fűrőcsőben lévő iszaposzlop nyomásának összegével.

$$p_r = p_{v,0} = p_{f,0} + \frac{i_0 L_T \cdot \gamma}{10 i_{i,0}} \quad [\text{at}] \quad (6)$$

A zárt fűrőcsőnyomást felfoghatjuk úgyis, hogy az egyenlő a fűrőcsőszakat hosszára vonatkoztatott iszapfajsúlyhiánnyal.

$$\Delta \gamma = 10 \cdot \frac{p_{f,0}}{L} \quad [\text{kp/dm}^3] \quad (7)$$

A gyűrűstér tetején zárt állapotban mért nyomás ( $p_{gy,0}$ ) eltér a fűrőcső nyomásától. Az



Ilyen dinamikus egyensúlyi helyzet csak a rossz vezetőképességű rétegeknél alakul ki, és azzal jellemezhető, hogy az iszapárammal a felszínre szállított gáz mennyisége stabilizálódik.

Jó áteresztőképességű rétegek esetében a dinamikus egyensúlyhoz tartozó gázmennyiség tízszerese, sőt százszorosa lehet a fűrőlyukba táplált iszapfluxusnak és így az egyensúly kialakulása előtt kiszoríthatja a fűrőlyukból a tel-

eltérést az a gázmennyiség okozza, amely az iszappal elkeveredve a gyűrűstérből részlegesen kiszorította az iszapot. Az 5. a. ábrán ezt a gázmennyiséget egy tömegben koncentráltuk a fűrőlyuk talpán. Ez egyszerűsíti a fizikai jelenség vizsgálatát, ugyanakkor a ténylegesen várható lyukfejnyomást elhanyagolható mértékben módosítja.



A gáz által elfoglalt gyűrűstér hosszát kiszámíthatjuk a felszíni iszapszaporulat és a gyűrűstér felületének ismeretében

$$l_{g,0} = \frac{Q_{i,0}}{F_{gyt}} \quad [m] \quad (8)$$

ahol  $Q_{i,0}$  — iszapszaporulat a kút lezárásáig  $[m^3]$

$F_{gyt}$  — a gyűrűstér felülete  $[m^2]$

Az egyensúly megbornlását okozó közeget általában nem ismerjük. A kút lezárásakor észlelt felszíni nyomások és az eredeti iszapfajsúly ismeretében kiszámíthatjuk a lyuktalpra beáramlott közeg fajsúlyát ( $\gamma_x$ -et).

$$\gamma_x = \gamma_{i,0} - 10 \cdot \frac{p_{gyt,0} - p_{f,0}}{l_{g,0}} \quad [kp/dm^3] \quad (9)$$

Ha  $\gamma \rightarrow 0$ -hoz, úgy gázbeáramlás történt, ha  $0,5 < \gamma_x < 1,0$ , úgy rétegfolyadék áramlott a lyuktalpra.

A fúrólukba áramlott fluidum kiöblítését a zárt nyomások megállapítása után azonnal el kell kezdeni. Célszerű a kiöblítést azzal az iszappal elvégezni, ami rendelkezésünkre áll, tehát a fúrás közben használt  $\gamma_{i,0}$  fajsúlyú iszappal.

A gyűrűstér szükséges fojtását abból a megfontolásból számítjuk ki, hogy az a rétegnyo-

A gázdugó nyomását valamely ( $L_T - l_{i,x}$ ) mélységben kifejezhetjük a gyűrűstér fojtásán keresztül is

$$p_{gyt,x} = p_{f,0} + (p_{gyt,0} - p_{f,0}) \frac{p_r}{p_{g,x}} \quad (11)$$

A (11) egyenlet második tagja a gázdugó nyomásváltozásának a hatását adja a gyűrűstér szükséges fojtására.

A (10)-ből belátható, hogy a gázdugó teljes kiöblítésekor, amikor  $l_{i,x} = L_T$ , akkor

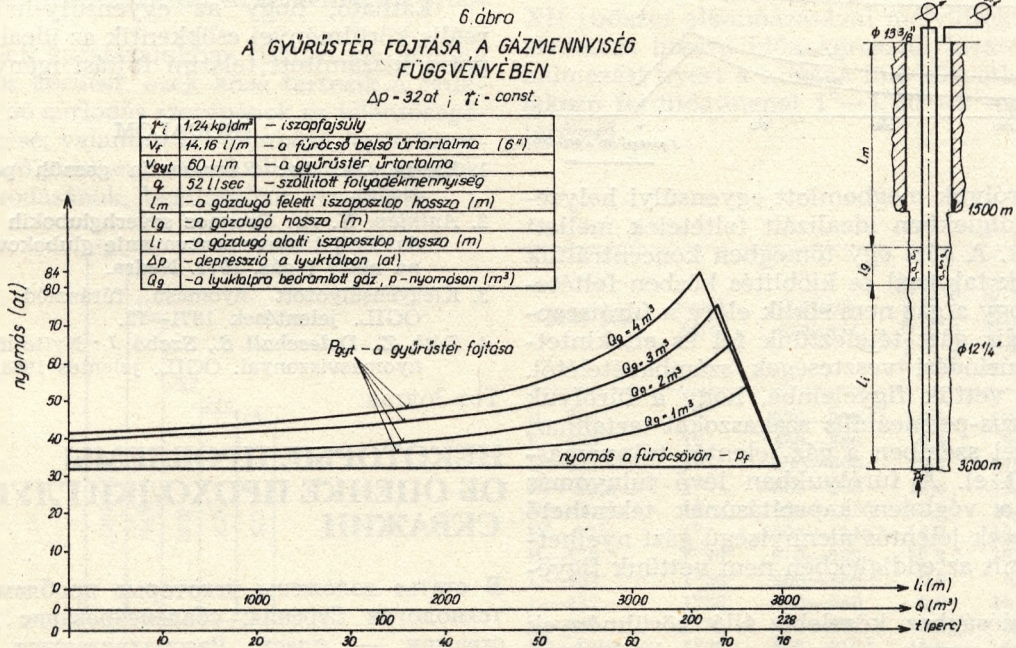
$$p_{g,x} = p_{f,0} = p_{gyt}$$

tehát a fúrósövön és a gyűrűstéren továbbra is fennmarad a lyuktalpi depresszióval azonos nyomás, amelyet úgy tudunk megszüntetni, ha a fúrólukot  $\gamma_{i,b}$  fajsúlyú iszappal átöblítjük.

A gázdugó kiöblítését úgy kell levezetni, hogy az ne okozzon rétegrepszertészt a biztonsági beléscsősáru alatt lévő rétegekben. A rétegrepszertésre az a pillanat a legkedvezőtlenebb, amikor a gázdugó teteje eléri a biztonsági beléscsőszakat saruját. Ha ismerjük a rétegek ropeszrtési nyomását, úgy meghatározható a gyűrűstér megengedhető fojtása (5b. ábra).

Fojtásos öblögetéskor a várható maximális gyűrűstérfejnnyomás a telepnnyomás tört része, amelynek számszerű értéke a gázdugó hosszsváltozásával fordítottan arányos (5c. ábra).

$$p_{gyt,max} = \frac{l_{g,0}}{l_{g,max}} \cdot p_r \quad [at] \quad (12)$$



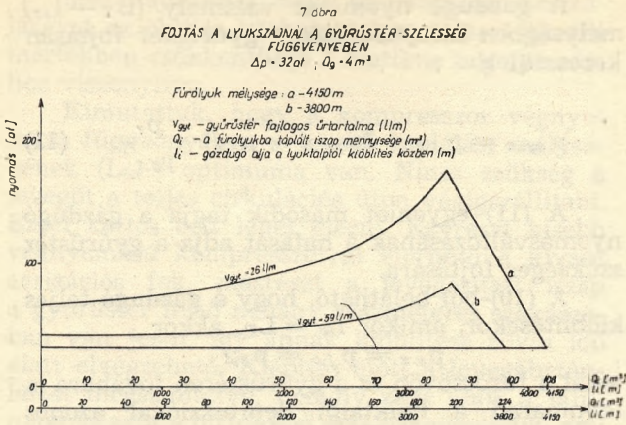
más értékéig egészítse ki a gyűrűstérben lévő fluidumok oszlopnnyomását.

A gázdugó talpánál uralkodó nyomás az 5.a. ábra alapján valamely ( $L_T - l_{i,x}$ ) mélységben

$$p_{g,x} = p_{g,0} + \frac{L_T \cdot \gamma_{i,0}}{10} - \frac{l_{i,x} \cdot \gamma_{i,0}}{10} \quad [at] \quad (10)$$

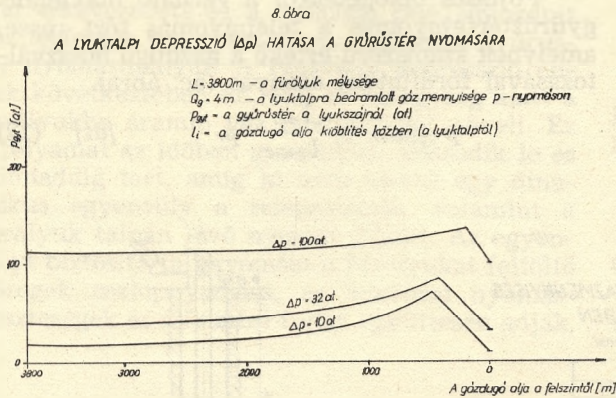
Más oldalról a gyűrűstér maximális fojtása annyival haladja meg a fúrósőv kezdeti zárt nyomását, mint amennyi a gázoszlop miatt hiányzó iszaposzlop nyomása, tehát a gyűrűstérbe beáramlott gáz mennyiség hossza a várható kútfejnnyomásokat alapvetően befolyásolja (6. ábra). A gyűrűstér szélessége (felülete) adott





gázmennyiség esetén fordított arányban befolyásolja a szükséges felszíni fojtás értékét (7. ábra).

A gázdugó kitágulásának mértéke függ a lyuktalpi depressziótól is. Minél nagyobb a depresszió, annál kisebb lesz a gázszlop hosszváltozása a kiöblítés során és annál nagyobb a várható maximális gyűrűstérfojtás a felszínen (8. ábra).

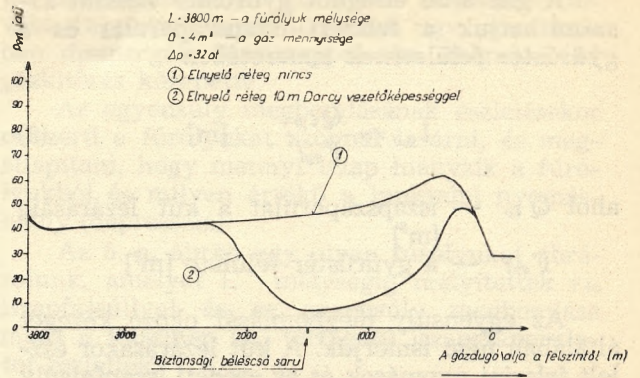


A fúróluk megbomlott egyensúlyi helyzetét az eddigiekben idealizált feltételek mellett vizsgáltuk. A gázt egy tömegben koncentráltuk a fúróluk talpánál és kiöblítés közben feltételeztük, hogy a gáz nem siklik előre a fúróiszapban. Ideális gázt tételeztünk fel és eltekintettünk a súrlódási veszteségek számbavételétől.

Nem vettünk figyelembe, hogy a fúróluk fala porózus-permeábilis szakaszokat tartalmaz, amelyekkel szemben a gáz jelentős túlnyomással haladt el. A fúrólukban lévő túlnyomás hatására a végtelen kapacitásúnak tekinthető vizes rétegek jelentős mennyiségű gázt nyelhetnek el, amit az eddigiekben nem vettünk figyelembe.

A valósághoz közelebb álló körülmények figyelembe veszik, hogy a gáz a lyuktalpon izzapárammal találkozik és abban elkeveredik, részlegesen oldatba megy és abszorbeálódik, így csökken térfogata és nyomása hőmérsékletfüggő és összenyomhatósága is eltér az ideális gázokétól. A gyűrűstér áramlási vesztesége csökkenti a gáztérfogatot és mérsékli a szükséges felszíni fojtás értékét.

A 9. ábrán a gázdugó kiöblítésekor várható tényleges nyomásokat szemléltetjük.



Itt figyelembe vettük a reális gázok viselkedését az egyesített gáztörvény alapján, a gáz keveredését a fúróiszappal, az áramlási nyomvesztések hatását, valamint a porózus-permeábilis rétegek által elnyelt gázmennyiséget is. A diagrammon a gázos izzap alja van a mélység függvényében ábrázolva. A 2. számú görbén 20 m vastag 0,5 Darcy átteresztőképességű vizes réteget vettünk figyelembe. A görbén két negatív nyomásgradiensű szakasz jelölhető ki. Az 1850 m mélységtől jelentkező nyomásesés a gázkiszűrődés következménye. Ha a nyitott lyukszakasz nem tartalmaz porózus kőzetet, úgy a nyomásdiagram az 1. sz. görbe mentén változik. A második negatív nyomásgradiensű szakasz a gázos izzap kiáramlását jellemzi az atmoszférába. Ennek a szakasznak a kezdő pontja (400 m), a fojtási nyomás maximuma a gázos izzap felszínre jutását és az elgázosodott izzapszlop hosszát jelzi.

Látható, hogy az egyensúly-helyreállítás reális körülményei csökkentik az idealizált állapotra kiszámított felszíni fojtási igényt.

## IRODALOM

1. Eszrin, Ju. Ja.: Razrusenija gornüh porod. 1968. Nedra.
2. Anikiev, K. A.: Prognoz szverhglubokih plasztovüh davlenij i szovershtovanie glubokovo burenja na nefty i gáz. 1971. Nedra.
3. Kiegészülözött nyomású fúrásmód fejlesztése. OGIL. jelentések 1971—72.
4. Tóth Z., Doleschall S., Szabó J.: Nyitottfalú gázkút nyomásviszonyai. OGIL. jelentés 1968.

Тот Золтан:

## НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОБ ОЦЕНКЕ ПРОХОДКИ ГЛУБОКИХ СКВАЖИН

В статье изложены некоторые проблемы новой технологии бурения: сбалансирование давлений скважин — пласт. Рассматриваются вопросы пластового давления, давления разрыва пласта и выбор удельного веса промывочного раствора. Изложен новый метод регулирования противодавления столба промывочной жидкости на вскрываемые пласты во время промывки и бурения. Балансирование давлений распространяется на случай поступления газа из пласта и дается общая методика для восстановления равновесия скважина — пласт.