

A céltárgyba behatoló jet-sugár által előidézett változások fizikai vizsgálata*

DERES JÁNOS**

A nagymélységű fúrások perforálási műveleteinek előkészítése során a magas hőmérséklet, a nagy nyomás, a kedvezőtlen rétegtulajdonságok, valamint a szoba jöhető robbanóanyagok rossz robbanástechnikai tulajdonságai miatt speciális robbantószerkezeteket kellett kidolgozni. E fejlesztés új vizsgálati módszereket is igényelt, melyek közül kettőt részletesen bemutatunk. A perforáció során létrejövő hőemelkedést és a kőzetben szabaddá váló hőmennyiséget megmérve megállapítottuk, hogy a perforátor-töltet robbanási hőjének csupán 3–4%-át adja át a céltárgynak. Kísérleti módszert dolgoztunk ki a perforációs csatorna közelében fellépő nyomásértékek meghatározására is.

При подготовке операций перфорирования глубоких скважин, в связи с высокими температурами, давлением, неблагоприятными особенностями пластов, а также плохими по технике взрывания свойствами применяемых для этой цели ВВ, было необходимо разработать специальные виды взрывчатых веществ. Эта разработка потребовала применения новых методов испытания, из которых в настоящей работе более подробно описывается два метода. Изучение повышения температуры, происходящего при перфорировании, а также количества освобождающегося при этом в горных породах тепла, показывает, что всего лишь 3–4% от тепла взрыва перфораторного заряда передается изучаемому объекту. Нами разработан также опытный метод для определения величины давления, возникающего возле канала перфорации.

In the course of preparatory measures of perforational operations to be carried out in very deep wells one has to make available special explosives, owing to the high temperature, great pressure and unfavourable layering conditions, as well as because of the unsatisfactory technical features of conventional explosives. Such a development necessitated the introduction of new research methods, two of which is discussed in detail. Observing the temperature rise setting in during the perforation and measuring the heat liberated in the rocks we could state that of the heat of the charge of the perforator only 3–4% will be transferred to the target. An experimental method has also been elaborated for the determination of pressures presenting themselves near the perforation channel.

A szénhidrogénkutatásban és -termelésben világszerte elterjedt gyakorlat, hogy a mélyfúrások által harántolt rétegek rétegtartalmának megismerését szolgáló, robbanóanyagokkal végzett rétegmegnyitást, perforálást a geofizikai szervezetek végzik. Magyarországon különböző okok, de elsősorban a viszonylag kis mennyiségű felhasználás miatt a kábeles rétegmegnyitó eszközök fejlesztése is a karottázs szakemberek aktív részvételével és irányítása mellett folyik.

Az üreges (jet) töltetet alkalmazó perforátorok fejlesztésének legfontosabb területei:

1. A nagymélységű kutak megnyitásához szükséges robbanóanyagok, robbantószerkek és eszközök megteremtése.

2. A rutin munkához használatos jet-perforátorok hatásosságának egzakt mérése és a hatásosság növelése.

Az 1. ponttal kapcsolatos munkákról a közelmúltban a Magyar Geofizikában már összefoglalót adtunk.

* Elhangzott 1975. június 26-án, a Robbanástechnikai Szakcsoport előadójánál.

** Deres János, Országos Kőolaj- és Gázipari Tröszt Geofizikai Főosztálya.

E helyen erről csak annyit, hogy jelenleg hazánkban rendelkezésre áll a 260 C°-ig üzembiztosan és hatásosan működő, saját fejlesztésű villamos gyu-
tacs, robbanózsínór és perforátor, melyekkel eredményes üzemi munkákat is
végeztünk.

A vizsgálati módszerek fejlesztésének eredményei a perforátortöltet- és
robbanózsínór-vizsgálati szabványokban testet öltött vizsgálati eljárások és az
azok végrehajtásához szükséges eszközök.

Megvizsgálva az üreges töltetek által nyitott csatornák méreteinek és a
perforációk jellemzőinek kapcsolatát [1], valamint elemezve a külföldi fejlesztési
tendenciákat, megállapítottuk, hogy a rétegmegnyitás minőségét a jövőben csak a megnyitás közben és közvetlenül utána lejátszódó fizikai és vegyi
folyamatok részletes megismerése után lehet javítani. A modern tölteteknél
ugyanis a perforációs csatorna mélységét és átmérőjét már aligha lehet növelni,
a kőzetben lezajló rövid idejű jelenségek, a hő- és nyomásviszonyok azonban
még alig ismertek. A kutatások tárgya egyre inkább a perforációs csatorna
közvetlen környezete [1], s ezek a munkák még sok reális és nagyon effektív
fejlesztési célt hozhatnak.

Az ilyen jellegű vizsgálatok a dolog természete miatt sok nehézségbe ü-
tköznek [2]. Különösen megnehezíti a megfelelő kísérleti metodika és technika
megválasztását az, hogy

- a jelenségek robbanási jellegűek (rövid időtartam, nagy nyomások, bevédési igény stb.)
- a mérő elemek nem befolyásolhatják a mért fizikai mennyiséget,
- a méréseket a rendkívül nagy romboló erejű jet közvetlen közelében kell végezni.

Most azokról a munkáinkról számolunk be, melyek célja a jet behatolása
közben a céltárgynak átadott, ill. ott keletkező hőmennyiség, a jet-behatolási-
sebesség és a céltárgy feszültségi állapotának közvetlen mérésekkel történő
meghatározása.

A perforációkor létrejövő hőemelkedés és a kőzetben szabaddá váló hő-
mennyiség számszerű értékére irodalmi adat nem ismeretes, jóllehet a kérdés
elméletileg és gyakorlatilag is figyelemre méltó [3].

A mérésekhez a perforátorok sorozatvizsgálatához használt kombinált
céltárgyat [4] választottuk. A céltárgyban levő betonhenger hővezetőképessé-
gét, hőmérsékletvezető képességét és fajhőjét a geotermikai gyakorlatban is-
mert „pillanatnyi hőforrás” módszerével [5] határoztuk meg.

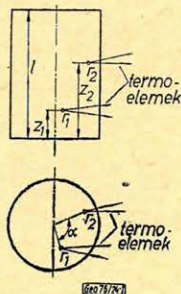
Ugyanezt a módszert használtuk fel a már ismert hőtani jellemzőkkel rendelkező céltárgyban szabaddá
váló hőmennyiség közelítő mérésére. A céltárgyakba a beton kiöntésekor hőelemeket építettünk be a követ-
kező (z; r) koordináták mellett.

(1. ábra.)

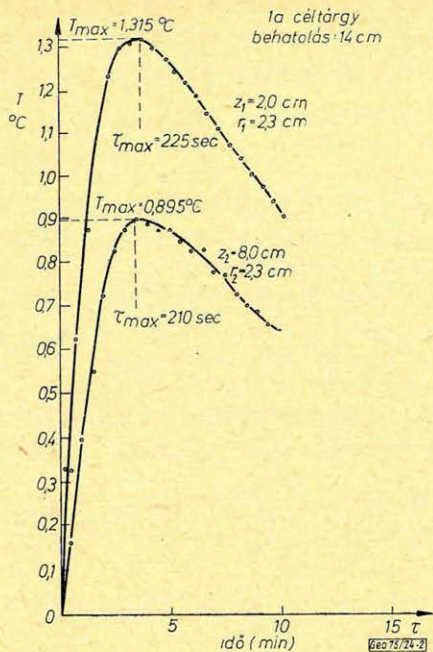
(2; 2) (4; 3) (8; 3) (16; 3) (cm)

(2; 3) (8; 4)

(2; 4)



1. ábra - puc - Fig.



2. ábra - puc - Fig.

A töltet ellövésének időpillanatától kezdve mértük a hőelemek hőfokemelkedését az idő függvényében (30 s-ként). Szemléltetésül bemutatjuk az 1a jelű céltárgyban (2; 2,3) és (8; 2,3) felvett hőfok-függvényeket (2. ábra). (A számításokban a jet által ütött csatorna falától mért tényleges r értékeket használtuk fel.)

A perforációs csatorna l cm-es hosszán szabaddá váló hőmennyiséget

$$Q = \frac{\gamma \cdot C \cdot e \cdot r^2 \cdot T_{\max}}{A(r)} \text{ cal. cm}^{-1}$$

képlet segítségével határozzuk meg, ahol

- γ a beton-céltárgy sűrűsége,
- c fajhő,
- T_{\max} a hőfokfüggvényről leolvasott maximális hőmérséklet,
- e a természetes logaritmus alapszáma,
- $A(r)$ a mérési elrendezés korrekciós függvénye, értéke $0,98-1,00$

között van.

A mérési értékeket az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat – таблица – Tabelle

Céltárgy száma	Termoelem koordináták		T_{\max} C°	Perforációs csatornahossz L (cm)	A céltárgyban felszabaduló hőmennyiség Q (cal)
	cm	cm			
1 a	2,0	2,3	1,315	14,0	653,68
1 a	8,0	2,3	0,895	14,0	444,87
1 b	4,0	2,2	1,125	9,8	358,16
2 a	2,0	2,1	1,150	16,5	551,66
2 a	2,0	3,6	0,610	16,5	874,91
2 b	8,0	1,5	1,290	9,5	185,10
2 b	8,0	3,3	0,5625	9,5	367,27
3 a	2,0	2,4	1,0875	15,0	630,60
3 a	8,0	3,2	0,575	15,0	592,80

A felvett hőmérséklet-idő függvényekből, azok jóságának ellenőrzése céljából meghatároztuk a céltárgyak hőmérséklet-vezetőképességét a

$$k = \frac{B(r)r^2}{4 \tau_{\max}}$$

képlet segítségével, ahol $B(r)$ korrekciós függvény, értéke esetünkben $0,98 - 1,00$ közé esik,

τ_{\max} a beérkező hőmérséklet hullám maximális hőmérsékletéhez tartozó idő.

Az ellenőrzés azt mutatja, hogy az $1/a$ céltárgy és a $2/a$ céltárgy (2,0; 3,6) koordinátájú termoeleme kivételével a mérések pontossága megközelíti a geotermikai gyakorlatban szokásos pontosságot.

Összefoglalásként megállapíthatjuk, hogy a kidolgozott mérési metodika alkalmas a céltárgyba behatoló jet által átadott hőmennyiség közelítő értékének mérésére, ez a hőmennyiség viszonylag alacsony, az alkalmazott üreges töltet robbanási hőjének csupán $3 - 4\%$ -a.

A nyomásmérés akadályai hasonló természetűek, de lényegesen súlyosabbak, mint a hőmérsékletmérésé.

A céltárgyba hatoló jet környezetében kialakuló mechanikai feszültségek és a keletkező ütőhullámok nyomás-idő függvényeinek közvetlen meghatározására mérési módszert dolgoztunk ki.

A részletes elméleti és gyakorlati vizsgálatok után összeállított mérési elrendezés a következő. Az 1. ábrán látható kombinált céltárgyba ólomcirkónát-titanát anyagú $0,5\text{ mm}$ vastagságú $5, m$ átmérőjű piezo-kerámia tárcsákat öntöttünk be. E kis tömegű mérőfejek a hullámterjedési viszonyokat kis méretük, valamint a betonhoz közelálló szerkezetük és sűrűségük miatt nem zavarják, önfrekvenciájuk néhány MHz . Az előzetes vizsgálatok kiterjedtek a mérőfejek hőérzékenysége elhanyagolhatóságának és a polikristályos mérőfejek lineáris polarizációs függvényének igazolására is.

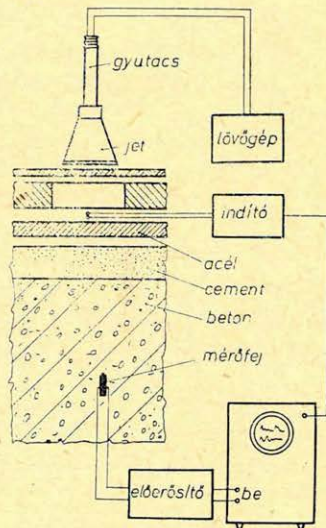
A mérés elvi sémája a 3. ábrán látható. Amikor a jet eléri az acéllapot, az ionizált fémsugár rövidre zárja az indító érintkezőit, s az indítófeszültség jele kiváltja az oszcilloszkóp egyszeres elfutását. A jet haladása közben észlelt mechanikai feszültség időbeli lefutása a mérőfejek elektromos jele által modulált oszcilloszkóp-képen láthatóvá válik.

A mérőfejek hitelesítésére gyors lefutású ütőhullámok méréséhez a Bányászati Kutató Intézet e célra készült különleges nyomás-szimulátorát használtuk, melyen változtatható a nyomásamplitúdó, a felfutási idő és a maximális nyomás lecsengésének ideje.

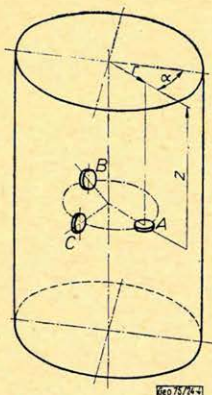
A mérésekhez speciális, nagy bemeneti ellenállású előerősítőket terveztünk és készítettünk.

Egy céltárgyba négy mérőfejet építettünk be három különböző irányítással; ezek:

- axiális, a mérőfej lapja merőleges a céltárgy hossz tengelyére,
- radiális, a mérőfej lapja merőleges a céltárgy sugarára,
- tangenciális, a mérőfej lapja a középpontján átmenő sugáron fekszik (merőleges a középpontján átmenő kör érintőjére).



3. ábra - puc - Fig.



4. ábra – puc – Fig.

A három irányítás mellett a mérőfejeket $r = 1,5; 2; \text{cm}$ távolságra helyeztük el a henger tengelyétől. A céltárgy felső lapjától mért axiális távolságok, rendre $z = 2; 4; 6; 8; 16 \text{ cm}$. Az azonos z értékű mérőfejeket 30° -os szögben eltoltuk egymástól, hogy egymást ne árnyékolják (4. ábra).

Az összesen 46 kísérlet feldolgozása még folyamatban van, eddigi eredményeink a következők:

A felvett nyomáshullámképeken kijelölt első beérkezések felhasználásával út-idő diagramokat szerkesztettünk, melyek alapján a következő megállapítások tehetők:

– a jet behatolási sebessége (V_b) a bélés-csővet helyettesítő acélkorong után kezdetben nő, majd csökken, átlagos értéke kb. 3000 m/s ,

- a $V_b(t)$ és $V_b(z)$ függvényekből a jet-behatolással foglalkozó elméletek több fontos anyagállandója meghatározható,
- a különböző z mélységekben és r sugarakon felvett út-idő görbék lehetőséget adnak a jet fejhulláma és z irányban haladó síkhullám szétválásztására.

A nyomáshullámok első és második maximum-helyeihez tartozó időértékek felhasználásával szerkesztett út-idő görbék még pontosabb képet adnak a hullám jellegéről, mert a lökőhullámokra jellemző sebességsziszperzió jól megfigyelhető.

Bonyolultabb, sőt nem is egyértelmű a nyomásamplitúdókból felrajzolható függvények elemzése. A nyomás-idő és nyomás-hely függvények arra utalnak, hogy a mérőfej összetett hatást érzékel. Külön nehézséget okoz a húzó- és nyomófeszültségek szinte szabálytalan váltakozása. Az egymásnak ellentmondó jelenségek okainak feltárására végzett vizsgálatok szerint az eltérések egyrészt a céltárgyak elhanyagolhatóan vélt különbözőségeitől, másrészt véges méreteitől és a sugárirányban is réteges felépítéstől származnak.

A mérések során igen magas, $7500-8000 \text{ kp/cm}^2$ értékű nyomásokat is tapasztaltunk. Mivel a kísérletsorozat előtt ilyen magas nyomásokat nem vártunk, nem vizsgáltuk meg a mérőfejek viselkedését ilyen magas nyomáson. Irodalmi adatok szerint az ólomcirkonát-titanát 2000 kp/cm^2 -ig lineáris jelet szolgáltat. Ilyen rendkívül magas nyomásokkal azonban nem foglalkoztak s elképzelhető, hogy e nyomásokon a kristályok különleges változásokat szenvednek. Ekkora nyomásokon azonban már csak robbantási hatással lehet elegendően rövid idejű és amplitúdójú nyomásimpulzust hitelesítési célokra előállítani.

A feszültségképet befolyásolja a jet-fejhullám és a céltárgy fedőlapjáról elinduló síkhullám interferenciája, melyet a hullámhossz és a terjedési sebesség meghatározása útján igazoltunk.

A behatolási jellemzők – perforáció mélység, átmérő, repedezettség – és a feszültségtér minőségi és mennyiségi változásai között felismerhető összefüggés van, melyre azonban a kísérleti feltételektől eredő hatások szuperponálódnak.

Kísérletsorozatunkban sikerült tehát piezoelektromos jeladókkal megmérni a betonba hatoló jet közvetlen környezetében fellépő nyomásváltozásokat. A megfigyelések kiértékelése olyan új kísérleti technika kifejlesztéséhez ad támpontokat, amely a céltárgyban végbemenő fizikai folyamatok teljesebb leírását adja. A különböző töltetek és perforálási jellemzők (eltartási távolság, a töltet és céltárgy közötti közeg minősége stb.) közötti kapcsolatok mélyebb feltárása a rétegmegnyitó eszközök vizsgálati és minősítési módszereit gazdagítja és segítséget nyújt a rétegmegnyitás változatos feltételek közötti helyes megtervezéséhez.

A hőmérsékletmérések kivitelezésében dr. Egerer Frigyes, a nyomásméréseknél Papp József nyújtott nagyon értékes segítséget, akiknek ez alkalommal is köszönetet mondok.

IRODALOM

- [1] Bell, W. T. — stb.: Laboratory flow characteristics of gun perforations, 46th Annual Fall Meeting of SPE. Preprint 3444.
- [2] API Recommended practice standard procedure for evaluation of well perforators, API RP 43. Second Edition 1971. nov.
- [3] Robinson, R. L.: Temperature effect on formation during jet perforating, JPT. 9. (1957) p. 12–14.
- [4] NIMSZ 10187/5 T.
- [5] Ljubimova, E. A.: Geotermicseskaja issledovania, Izdat. „Nauka” Moszkva, 1964.

Lapszemle

Fizikai Szemle XXV. évf. 2. sz. 1975. február

Neugebauer Tibor: A gömbvillám elmélete, 49–56 old.

A szerző már 1937-ben kidolgozott egy elméletet — kvantumtechnikai kicserélődési erőkre alapozva — ennek a mindmáig rejtélyes elektromos jelenségnek a magyarázatára. A jelen cikkben továbbfejlesztette elméletét a plazmafizika legújabb eredményeinek figyelembevételével.

Szöts Farkasné: Egy Magyarországon megfigyelt gömbvillám, 56 old.

T. G.