

# A mélyfúrési geofizika részvétele a gáz—olaj határon történő vízelárasztás tervezésében és ellenőrzésében

SZILÁGYI ENDRE

*Az algyői mezőben 1973 elejéig szerzett tapasztalatok alapján mutatjuk be azokat a feladatokat és lehetőségeket, melyeknek megoldásával, illetve kihasználásával a mélyfúrési geofizika az eddigieknél hatékonyabban kapcsolódhat be a gáz—olaj határon történő vízbesajtolás tervezésébe és ellenőrzésébe.*

*На основе опыта, накопленного на нефтяном месторождении Алдэ до начала 1973 г. в работе рассматриваются возможности и задачи, использование и решение которых позволяет промысловой геофизике включиться более эффективно, чем до сих пор, в работу по проектированию и проверке нагнетания воды на газо-нефтяном контакте.*

*Basing on experiences acquired at the Algyő field until the beginning of 1973 tasks and possibilities have been shown through solving of which borehole geophysics may cooperate more effectively than before to plan and control water pressing-in on the gas—oil border.*

## Bevezetés

Magyarországon a szénhidrogén-telepek művelésénél alkalmazzák először nagyobb mértékben a gáz—olaj határon történő vízbesajtolást. A munka előkészítésébe és az ellenőrzésbe a geofizikusok is bekapcsolódtak. Tevékenységük zöme azonban az egyes megfigyelő kutakban végrehajtott ellenőrző mérésekhez kapcsolódott.

Az elmúlt időszak tapasztalatai alapján a tanulmányban a karottáznak az eddignél nagyobb területre kiterjedő komplex alkalmazási lehetőségét kíséreljük meg bemutatni. A mélyfúrési geofizika — jelenlegi színvonalán és néhány, nem nagy anyagi ráfordítást igénylő fejlesztési munka megvalósítása után — az alábbi területeken nyújthat hasznos segítséget a vízelárasztást tervező és ellenőrző olajmérnököknek:

tervezés:

- adatszolgáltatás a tervezési számításhoz,
- a vízmozgás várható előrejelzése,
- javaslatok a vízmozgás szabályozására,
- javaslatok a szelvényezéssel ellenőrzendő kutak kiválasztására,
- az ellenőrzés hatékonyságának előrejelzése;

ellenőrzés:

- a besajtolási folyamat ellenőrzése a besajtoló kutakban végzett mérésekkel,
- ellenőrző mérések megfigyelő kutakban,
- a kutak műszaki állapotának ellenőrzése.

## 1. Mélyfúrési geofizikai tevékenység a tervezésben

Vízbesajtolásos CH-termelésnél a vízfüggöny kialakulási folyamatának számítására különböző bonyolultságú és pontosságú módszerek ismeretesek (1). Az egyes besajtoló kutak körül kialakult vízteltett zónák terjedésének számítására J. A. Csarnij dolgozott ki közelítő számítási módszert.



Szerinte a víz nagyobb fajsúlya miatt, vastagabb homogén rétegben a víztest csonkakúp alakú. Kiszámítható a réteg alján levő legnagyobb és a tetőn levő legkisebb sugár és azok növekedése a teleptulajdonságok és besajtolási jellemzők függvényében. Csarnij módszerének alkalmazásához a geofizikai úton meghatározható alapadatok:

- rétegvastagság,
- permeabilitás,
- porozitás.

Ha a besajtoló kútban a telep nem homogén réteg — és az algyői telepek-nél ez az általános eset —, a számításhoz a telepet rétegekre, pontosabban fogalmazva áramlási szempontból önálló egységekre kell bontani. A többdimenziós, több fázisú hidrodinamikai számításokhoz pedig a heterogenitás területi változásának ismerete is szükséges. Vizsgáljuk ezért először a telep tagolásának kérdését.

### 1.1. *A telep tagolása*

A homokkő-agyagmárga rétegsor tagolása csövezetlen kútban felvett szelvények alapján az egyszerűbb interpretációs munkák egyike. A feladat különleges jellegéből fakadóan két alapkövetelményt kell teljesíteni:

- lehetőleg a telepben levő valamennyi impermeábilis réteg helyét meg kell állapítani,
- a permeábilis rétegek homogenitását is vizsgálni kell, és szükség esetén azokat további, áramlástanilag már homogénnek tekinthető szakaszokra kell tagolni.

A függőleges irányban impermeábilis rétegek jelentőségét nem vastagságuk, hanem területi kiterjedésük szabja meg. Ha kiterjedtek, kis vastagságuk ellenére is különálló áramlási egységekre bontják a telepet. Impermeábilis rétegek kimutatására akkor van remény, ha vastagságuk a  $0,1-0,2$  m-t eléri vagy meghaladja.

A nagy vastagságú impermeábilis rétegek a *PS*-en és mikrologon egyértelműen jelentkeznek, a vékonyak felismeréséhez a *PS*, mikrolog, rövid gradiens és laterolog együttes vizsgálata ad lehetőséget.

A permeábilis rétegek áramlástanai szempontból egymáshoz viszonyítva első közelítésben a kőzet-kifejlődéssel jellemezhetők. Minőségi tagolásra elegendő a *PS*, természetes gamma (*TG*) és az optimális laterolog kvalitatív vizsgálata. Az aleurit- és agyagfrakciónak a három görbére gyakorolt hatása alapján a permeábilis kőzeteket a továbbiakban három csoportba soroljuk:

- homokkövek, a homokfrakcióban legdúsabb kőzetek, minimális agyagtartalmúak és legfeljebb mérsékelt mennyiségű aleuritot tartalmaznak,
- aleuritos homokkövek, agyagtartalmuk nem túl jelentős, az aleuritfrakció uralkodó mennyiségű,
- agyagos-aleuritos homokkövek, az agyagfrakció mennyisége megnőtt, ezzel általában az aleurit-tartalom igen jelentős növekedése jár együtt.

A permeábilis rétegek kifejlődés szerinti tagolása felvilágosítást ad az olajmérnöknek a porozitás és permeabilitás változásának irányáról a telep mentén egy-egy kútban. Nevezetesen: a szennyező frakciók növekedése a porozitás kisebb mértékű ( $30\%$ -ról kb.  $15\%$ -ra) és a permeabilitás nagyobb mértékű ( $1000$  mD-ról  $1-10$  mD nagyságrendre) csökkenését eredményezi. Megkapjuk továbbá az egyes rétegek és azokon belül az egyes részegységek vastagságát is.



## 1.2. Permeabilitás-becslés

A kőzetkifejlődés ismeretén túlmenően szükség van az egyes rétegek és rétegen belüli részegységek permeabilitásának ismeretére is. Az áteresztőképesség meghatározására eddig általában két eljárást alkalmaztak:

- kőzetmagokon végzett mérések, melyeknek eredménye szinte kizárólag az abszolút peremabilitás,
- talpnyomás-emelkedési görbékből végzett számítások, melyek effektív áteresztőképességet szolgáltatnak.

Egyik módszer sem alkalmas azonban arra, hogy a vízelárasztásba bevont valamennyi kútban a kívánt részletességgel adja a permeabilitást. A nyomás-emelkedési görbékből végzett számítások általában elvileg sem vezetnek a célnak megfelelő eredményhez. A megnyitott szakaszok ugyanis legtöbbször különböző áteresztőképességű részegységeket tartalmaznak. A számítás eredménye a teljes megnyitott szakaszra vonatkozó átlagérték. A feladat ezzel szemben a permeabilitás szerinti részletes differenciálás.

A kőzetmagokon végzett mérésekre főleg a  $0 - 100\%$  között változó magkihozatal és a tetemes költségek miatt sem lehet alapozni az áteresztőképességi profil megállapítását. A telepek magfúrással való feltártsága ilyen megoldás szempontjából nézve rendkívül hiányos.

Folyamatos peremabilitás-profilok előállítását karottázs-szelvények felhasználásával kell megkísérelni. Az áteresztőképesség megállapítására azonban általános érvényűnek tekinthető geofizikai módszer nincs, ezt az egyes mezőkre, telepekre külön kell kidolgozni.

A homokkő-tárolók permeabilitása és az uralkodó szemcseméret között többen találtak határozott összefüggést. Ugyancsak szoros kapcsolatot állapítottak meg a szemcseátmérő és a természetes gamma aktivitás között. Ennek alapján várható, hogy kapcsolat legyen az áteresztőképesség és a  $TG$  (természetes gamma) aktivitás között is. Annak érdekében, hogy a Tiszától ÉNY-ra levő mezőrész főtelepeire a magmintamérésekből kapott permeabilitások és a csövezés előtt elkészített  $TG$ -szelvényről megállapított intenzitások között kapcsolatot találjunk, átvizsgáltuk az 1971 közepéig lemélyített kutak anyagát. Kiválasztottuk azokat, amelyekben a magnyereség elegendő volt ahhoz, hogy az egyes magrészeket egyértelműen hozzá lehessen rendelni a karottázs-szelvényekhez, majd a rétegeket azonos  $TG$ -intenzitással jellemezhető részekre tagoltuk.

A permeabilitásmérések mintavételi sűrűsége, ezeknek a méréseknek viszonylag nagy hibalehetőségei és a  $TG$ -szonda integráló jellege miatt általában  $2\text{ m}$ -es szakaszok átlagpermeabilitását ( $k$ ) állapítottuk meg és ezt rendeljük a  $TG$ -intenzitáshoz. Egyedi és kb.  $10 - 20\text{ cm}$  mélységközre kiterjeszthető érvényű permeabilitás-adatok (3) ugyanis véleményünk szerint sokkal kevésbé kapcsolhatók össze egy kb.  $0,5\text{ m}$  sugarú gömbben levő kőzettömeg sugárzásával, mint a több mérés eredményéből megállapított átlagpermeabilitás.

A magvétel, magkezelés és feldolgozás hiányosságait mutatja, hogy a vizsgált mezőrészen magfúrással jól feltártnak minősített *Algyő-2* telepből csak 48, az *Algyő-1* telepből 38 adatpárt sikerült találni.

A karottázsban szokásos relatív  $TG$ -intenzitást ( $i$ ) használtuk a műszerek eltérő tulajdonságai, a hitelesítés eltérései, a kútkonstrukció különbségei hatásának csökkentése érdekében. Az adatok együttes feldolgozása azt mutatta,



hogy az elmondottak szerint átlagolt abszolút áteresztőképesség és a relatív intenzitás közötti kapcsolat a

$$\lg k = a - b \cdot \lg i$$

alakú függvényvel közelíthető. Ilyen összefüggést eredményeztek korábban Rabe vizsgálatai is (4). A szórás azonban nagy volt, a gyakorlati alkalmazáshoz az eredményeket javítani kellett.

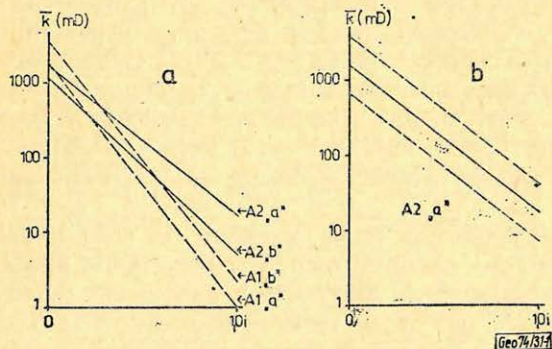
A nagy szórás alapvető okai az alábbiak lehetnek:

- mérési hibák és mintavételi hiányosságok,
- a telepek eltérő kőzet-kifejlődéséből adódó hatások,
- a permeabilitás és a geofizikai paraméterek közötti bonyolult, többváltozós kapcsolat legyszerűsítése.

A mintavétel hiányosságaira már rámutattunk. A hibák további forrása lehet az, hogy a kutatás kezdetén és a feldolgozási időszak végén végzett mérések nem egyforma súlyúak, mivel a laboratóriumi munka színvonala az utóbbi időkhöz folyamatosan javult.

A telepek eltérő kőzettani sajátosságából fakadó hatásokra vonatkozó fel-tételezésünket a vizsgálatok beigazolták. Úgy találtuk, hogy az egyes telepekre érvényes függvények (a) és (b) állandói eltérőek, sőt a telepeken belül is további felosztást lehetett tenni (1a. ábra). Kiszámítottuk a fél-logaritmikus koordiná-tarendszerben egyenesként megjelenő függvények 95%-os megbízhatósági intervallumát is (1b. ábra). Az intervallumok szélessége a négy függvénynél eltérő.

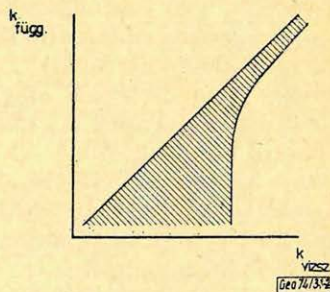
Legkedvezőbb a helyzet az *Algyő-1* telep „a” részén. Itt a 300 mD várható permeabilitás-értéknél a megbízhatósági intervallum határa 160–530 mD. A legkedvezőtlenebb eredményt az *Algyő-1* telep „b” részére érvényes összefüggés szolgáltatta. Ennek 300 mD várható értékéhez 90–900 mD az



1. ábra. Természetes gamma-intenzitás-permeabilitás kapcsolat algyői telepekre (a) a megbízhatósági intervallummal (b)

Рис. 1. Связь интенсивности естественного гамма-излучения с проницаемостью для залежей месторождения Алдэ в интервалом достоверности (б)

Fig. 1. Connection between natural gamma-intensity and permeability for the Algyő-fields (a) with reliability intervals (b)



2. ábra. A vízszintes és függőleges permeabilitás kapcsolata

Рис. 2. Связь горизонтальной и вертикальной проницаемости

Fig. 2. Connection between horizontal and vertical permeability



intervallumhatárok. Az *Algyő*-2 telepre kapott összefüggések megbízhatósági sáv-szélessége a két bemutatott közötti.

Rendszeres mintavétellel, több mérési eredmény birtokában, további területi bontással az eredmények valószínűleg pontosíthatók lennének. Erre utal az *Algyő*-1 telep keleti szárnyának (*Algyő*-1 „b” részterülete) feldolgozása során a TG-szelvényből becsült és a mért áteresztőképességek összehasonlítása (5).

Javulás várható több geofizikai paraméternek a korrelációba való bevonásától. A jellemző paraméterek kiválasztása, a kapcsolatok megállapítása és gyakorlati alkalmazása csak számítógépes feldolgozással képzelhető el, amire lehetőségünk nem volt.

Vizsgáltuk a vízszintes és függőleges irányban mért permeabilitások kapcsolatát is. Az összefüggés jellegét a 2. ábrán mutatjuk be. Eszerint még viszonylag nagy vízszintes permeabilitásokhoz is jelentősen eltérő függőleges áteresztőképességek tartozhatnak. Ezért kell törekedni a magas permeabilitású homokkőrétegek kissé lecsökkent permeabilitású részeinek kijelölésére. Ezek a rétegecskék ugyanis esetenként lecsökkent függőleges áteresztőképességűek lehetnek és az impermeábilis betelepülésekhez hasonlóan tagolhatják a réteget.

A permeabilitás-bebecslések eredményeit a litológiai oszlophoz kapcsolódva szelvénytípusú módon célszerű megadni.

### 1.3. Porozitás-meghatározás

Az algyői kutakban jelenleg felvett szelvények közül a mikrológ lehetne alkalmas porozitás-meghatározásra. Különösen a gáztároló szakaszokkal szemben azonban jelentősen torzítja annak indikációit a nagy ellenállású érintetlen réteg hatása. Emiatt és a hitelesítés körüli nehézségek miatt általában nem tartják kielégítő pontosságúnak.

Tájékoztató eredményeket a litológiai diagramból kaphatunk. Felépítésénél a homokkő-mátrix porozitására 30%-ot, az aleuritára 25%-ot tételeztek fel. A tényleges értékek ettől  $\pm(3-4)\%$ -kal is eltérhetnek. A diagram alakja az öblítőfolyadék fajlagos elektromos ellenállásának függvényében változik.

Pontosabb eredmények remélhetők az OKGT Geofizikai Főosztályának azoktól a vizsgálataitól, amelyek a porozitás és több geofizikai paraméter közötti többváltozós kapcsolat létrehozására irányulnak. A módszer ipari szintű alkalmazási lehetőségeinek megvalósulásáig a litológiai diagram használata ajánlható, mert feltételezései ellenére is sokkal megbízhatóbb jellemzését adja a rétegeknek, mint a hiányos magvizsgálati eredmények, vagy a nem geofizikusok által végzett „becslések”.

Ha a litológiai oszlophoz a permeabilitás-szelvény mellett a porozitás-szelvényt is feltüntetjük, megadtuk azokat az alapadatokat, amelyek a tervezéshez egy-egy kútba szükségesek.

### 1.4. A vízmozgás előrejelzése

A kutak egyenkénti feldolgozása után következő lépés a szomszédos kutak közötti, telepen belüli részletes azonosítás. Ez egyrészt a kutak egyedi vizsgálatából kapott litológiai oszlopok ellenőrzését, az impermeábilis betelepülések kijelölésében szükségessé válható korrekciók elvégzését szolgálja.

A részletes területi azonosítás további céljai:



- az elválasztó impermeábilis rétegek területi kiterjedésének nyomkövetése annak eldöntésére, hogy azok csak lokálisan, vagy nagyobb területre kiterjedően tagolják-e a permeábilis összletet,
- a permeábilis rétegek és az azokon belüli részegységek területi változásainak nyomkövetése.

Az azonosítási munka megállapításait a választott kutakon keresztül vezetett metszeteken vagy axonometrikus ábrákon kell rögzíteni. Ezek alapján:

- Megbecsülhető az egyes kutakba besajtolt teljes vízmennyiség ( $Q$ ) eloszlása az egyes áramlási egységek között. Az  $i$ -edik egységbe sajtolható relatív vízmennyiség ( $Q_i$ ) közelítőleg

$$\frac{Q_i}{Q} = \frac{h_i k_i}{h k},$$

ahol  $h_i$  és  $k_i$  a homogénnek tekinthető rétegszakasz vastagsága és átlagos permeabilitása.

- Megállapítható, hogy az áramlási egységek átteresztőképessége a besajtoló kút környezetében változik-e. Szükség esetén javítható a besajtoló kútra megállapított  $k_i$  érték.
- Az áramlási egységekbe sajtolható relatív vízmennyiség és a tervezett besajtolási intenzitás ismeretében Csarnij összefüggéseivel meghatározható a vízfront terjedési sebessége, ezáltal előrejelezhető az elviesedés időbeli lefolyása.
- Következtetni lehet a vízfront várható deformálódására, ha a besajtoló kútban homogén réteg a környező kutakban heterogénné vált.

Az elárasztási folyamat előrejelzése az ellenőrző méréseket értelmező geofizikus számára is fontos, mert helytelen következtetésektől óvhatja meg.

### 1.5. A vízmozgás szabályozásának lehetősége

A besajtoló vízmennyiség áramlási egységenkénti megoszlásának becslésénél feltételeztük azt, hogy a rétegek elegendő jet-lövessel tökéletesen vannak megnyitva. A megnyitás hatásfoka, azaz a perforálás utáni termelőképesség aránya ahhoz a termelőképességhez, melyet ugyanolyan átmérőjű fúróval megfúrt, de csövezetlen-cementeztetlen rétegből kapnánk, a perforátor és a töltet típusától és a méterenkénti lövésszámtól függ. A hatásfok javulása a lövésszám növelésétől közelítőleg  $y = 1 - e^{-x}$  alakú függvényvel jellemezhető. Egyes perforátor- és töltetfajtákra megállapított összefüggések találhatóak (6)-ban.

Feltételezhető, hogy a hatásfok-függvény a folyamat megfordítása, a besajtolás esetére is érvényes. Ilyenformán az áramlási egységek folyadék-elnyelő képessége a méterenként leadott lövésszám csökkentésével csökkenthető. A rétegnyitási tervezésével tehát bizonyos mértékig csökkenthetők a vízfrontok mozgásának eltérései.

### 1.6. Javaslat a szelvényezéssel ellenőrzendő kutakra

Csővezetett kutakban a gáztestbe sajtoló víz mozgása ellenőrzésének egyik módszere a klasszikus neutron-karottázs. Eredményessége azonban a permeábilis rétegek aleurit- és agyagtartalmának növekedésével egyre csökken. A hatékony ellenőrzés érdekében tehát a legkedvezőbb kőzetkifejlődésű kutakat kell szelvényezéssel történő ellenőrzésre javasolni.



A kút funkciójára vonatkozó döntés azonban egyéb szempontoknak is függvénye. A megfigyelő kutak kijelölése után előre kell jelezni azt, hogy azok mely intervallumában lesz kis megbízhatóságú az ellenőrzés és hogy hol nem várható attól semmilyen eredmény. A támpontot a litológiai oszlop adja. A megbízhatóság fokozható a csövezés után legalább 3–4 hónap időeltolódással készített neutron szelvények birtokában. Ezek az érintetlen telepállapotot tükröző alapszelvények az ellenőrző mérések értelmezésénél is elengedhetetlenek.

A hagyományos neutron-szelvényezés számára kedvezőtlen kőzetkifejlődésű csövezett kutakban irodalmi közlések és tanulmányúti tapasztalatok alapján impulzusüzemű neutron-generátoros mérésektől várhatunk eredményt. A módszer hazai bevezetése a kezdeti lépéseknél tart. Ipari alkalmazásba vétele után a tároló kifejlődésétől függően tervezendő az ellenőrzés mérési módszere is.

A gáz – olaj határon besajtoló víz részben az olajtestben is terjed. Követésére jelenleg csak csövezetlen kútban felvett szelvények alkalmasak. A nyitott kútban végzett mérés kedvező lehet a gáztestben haladó víz ellenőrzésére is. Az algyői mezőben még intenzív feltáró tevékenység folyik. Ezt úgy kell kialakítani, hogy lehetővé váljon a fúrásoknak az ellenőrzés szempontjából kedvező időben történő lemélyítése.

## 2. Mélyfúrási geofizikai tevékenység az ellenőrzés folyamán

A vízelárasztás lefolyása, a térfogati záródás létrejötte még gondos tervezés esetén sem állapítható meg kizárólag számítással. Ennek okai a módszerekben alkalmazott közelítéseken kívül az alábbiak is:

- a permeabilitás bizonytalanságai,
- a tároló tulajdonságok változásai az egyes kutak között, melyek számításal nem mindig követhető torzulásokat eredményeznek,
- a besajtolás intenzitása időben jelentősen változik. A perforáció környékének fokozatos elszennyeződése miatt a benyomható vízmennyiség egyre csökken, majd kút-tisztítás után ismét az eredetihez közelálló lesz. Emiatt a vízfront nem egyenletes, hanem pulzáló mozgással halad (3a. ábra).
- A cementpalást esetleges rossz zárása azt eredményezheti, hogy a besajtoló víz egy része a szomszédos rétegekbe kerül.

Ellenőrző méréseket tehát nemcsak a megfigyelő, hanem a besajtoló kutakban is kell végezni és figyelemmel kell kísérni a cementpalást állapotát is.

### 2.1. Ellenőrző mérések besajtoló kutakban

A mérések célja:

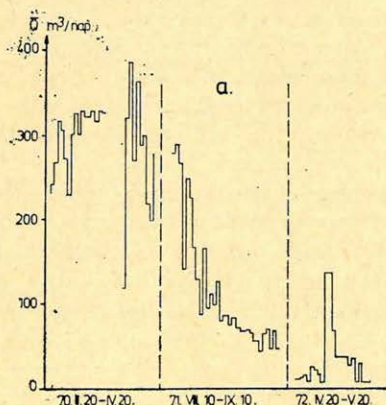
- a besajtoló vízmennyiség áramlási egységenkénti tényleges megoszlásának megállapítása,
- az elárasztás stabilitásának vizsgálata.

Az első feladat megoldására legalkalmasabb műszerek egyike a forgólapátos áramlásmérő, melyet a termelési geofizikában hosszú idő óta használnak. Magyarországon a Vízkutató és Fúró Vállalatnál fejlesztettek ki ilyen műszereket, melyekkel 1971-ben két kútban kísérleti méréseket végeztek. A *B.1 sz.* kút mérési eredményei a *3b. ábrán* találhatóak.



A mérések a rétegsorral összhangban álló eredményt szolgáltatottak. Ugyanakkor az is megmutatkozott, hogy háromirányú fejlesztő munka szükséges a forgólapátos műszerek üzemszerű alkalmazásához (7):

- a műszer átmérőjének csökkentése, tömítővel való felszerelése,
- kútfej szerelvény kifejlesztése,
- a mérés felszíni körülményeihez alkalmazkodó műszerkocsi és segédberendezések kialakítása.



3. ábra. Vizsgálatok a B.1 besajtoló kútban:

- a) A besajtoló vízmennyiség változásai
- b) Forgólapátos áramlásmérő mérési eredményei
- c) A besajtolás szünetében felvett neutron szelvényből számított gáztelítettség

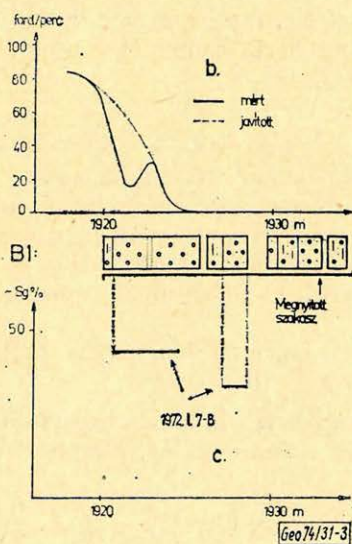


Рис. 3. Исследования, проведенные в нагнетательной скважине В.1:

- a – изменения количества нагнетаемой воды;
- б – результаты измерений, проведенных при помощи реометра с вращающимися лопатками;
- в – газо-насыщенность, подсчитанная по кривой НК, полученной в перерыве нагнетания

Fig. 3. Investigations in pressing-in well B. 1:

- a) Variations in the pressed-in volume of water
- b) Measuring results of a rotating blade flowmeter
- c) Gas-saturation calculated from the neutron profile taken during the pause of pressing-in

Elnyelési profilok felvételére ajánlják a besajtolás közben és azután végzett hőmérsékletmérést, melyhez kis átmérőjű, kis hőtehetetlenségű termoszonda szükséges. A Szovjetunióból beszerzett TEG 36 típusú elektronikus hőmérők mindhárom követelményt kielégítik. 1972-ben javasoltuk kísérleti mérések elvégzését részben besajtoló kútban (8), részben kivizsgálásra kerülő kutakban. Az utóbbiak célja a zavartalan geotermikus állapot felderítése lett volna. A mérések különböző okok miatt elmaradtak. Az első kísérletet 1973 elején végezték. A 4. ábra mutatja ennek a Nowak által javasolt módszerrel

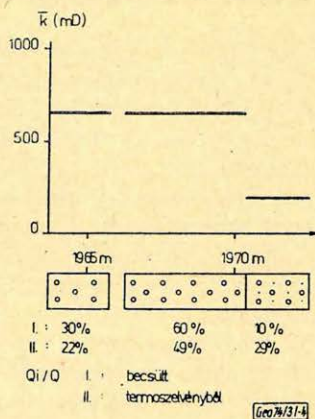


(9) végzett kiértékelését és összehasonlításul a permeabilitás és rétegvastagság alapján végzett becslést. Az eredmények jellege megegyezik, az eltérés azonban az alsó aleuritos rétegnél elég jelentős.

4. ábra. A besajtolási intenzitás ellenőrzésére felvett hőmérsékletszelvény Nowak módszerével végzett kiértékelésének eredménye

Рис. 4. Результаты интерпретации температурной кривой, записанной для проверки интенсивности нагнетания, по методу Новака

Fig. 4. Results of processing — by means of the Nowak method — of temperature profile taken for checking the pressing-in intensity



A két mérési módszert összehasonlítva az algyői rétegsorban a forgólápatos áramlásmérők alkalmazása látszik előnyösebbnek. Ennek felbontóképessége nagyobb, mennyiségi megállapításai pontosabbak és jó kútfejszerelvény birtokában lehetőség van a kút leállítása, tehát a besajtolás megzavarása nélkül végzett mérésre. Az eredmények azonban csak arra adnak felvilágosítást, hogy mekkora az egyes perforált szakaszokba belépő folyadékmennyiség, arra már nem, hogy ez tényleg mind a rétegbe került-e.

A hőmérsékletszelvények ezzel szemben az összes víznyelő helyeket mutatják, tehát azokat is, amelyek a cementezés hibája folytán nem a perforált szakasszal szemben vannak. Speciális esetekben a két mérés-fajta együttes alkalmazására is szükség lehet.

## 2.2. Ellenőrző mérések megfigyelő kutakban

A vízfűgőny ellenőrzésének rezervoármekanikai és geofizikai módszerei között munkamegosztás van. A nyomásmérésekkel történő ellenőrzéssel a vízfűgőny területi, horizontális alakulása tanulmányozható anélkül, hogy felvilágosítást kapnánk a tagolt telepek egyes áramlási egységeiben lezajló folyamatok részleteiről.

A karottázs-módszer csak egy-egy kútra vonatkozóan tájékoztat, de az egyetlen lehetőség a korlátozó feltételekkel meghatározott körben részletes telítettség profilok megállapítására és az időben egymás után következő változások nyomonkövetésére.

A neutron-mérésekkel történő ellenőrzés geofizikai részleteiről több jelentés, tanulmány beszámolt. Most csak néhány kiegészítő megjegyzést teszünk.

Az eddigi tapasztalatok azt mutatják, hogy a különböző időkben felvett szelvényeken a változatlan állapotú folyadék- és gáztárolókkal szemben is eltérőek a neutron-indikációk. Ez mind a neutron-egységekben mért intenzitásra, mind a görbék lefutásának kisebb részleteire vonatkozik. Ez a radioaktív mérések természetéből fakadó tény nem jelentős hibaforrás a kutatási feladatok megoldásánál, most azonban igen. Következménye az, hogy az egymás utáni ellen-



őrzéseknél mindig sokkal nagyobb intervallumban kell mérnünk, mint a tanulmányozandó telep vastagsága, mert meg kell határozni a változatlan állapotú rétegek szórási sávját. Csak annak a gáztelített rétegnek a változásai mutathatók ki megbízhatóan, melynek korábbi indikációja ezt a sávot meghaladja.

A mérés költségei így látszólag jelentősen nőnek. A valóságban azonban a költségek nagy részét nem a szelvényezés, hanem a kútjavító berendezés felszerelése és munkája igényli. Hasonló a helyzet akkor is, ha az interpretáció megbízhatóságának növelése érdekében különböző hosszúságú szondákkal kell mérést végezni.

Egyes esetekben — amikor a telepet zömmel tiszta vagy csak kevésbé szennyezett homokkövek alkotják — termelőcsőben lebocsátható neutronszonddával végrehajtott szelvényezésnél elkerülhető lenne a kútjavító berendezés felszerelése. Az Eötvös Loránd Geofizikai Intézetben elkészült egy ilyen szonda mintapéldánya.

A mérésekről készült értelmezések megállapításait rétegvizsgálatokkal ellenőrizték. Két vizsgálatnak az értelmezésben bizonytalannak minősített intervallumokról kellett felvilágosítást adnia. Nyolc vizsgálatot az interpretáció szerint biztosan megállapítható rétegtartalmú szakaszokban végeztek. Ezek eredményei:

<i>Rv. darab</i>	<i>Termelvény ért. alapján</i>	<i>Rv. eredmény</i>
2	gáz	2 gáz
2	gáz és víz	2 gáz és víz
4	víz	1 víz
		3 víz és gáz

A három, vizet és gázt adó intervallum gáztelítettsége az értelmezések szerint 25–35%, ez tehát kis mennyiségű szabad gáz jelenlétét valószínűsíti.

A rétegvizsgálati eredmények alapján feleslegesnek látszik a kevésbé szennyezett szakaszok további ellenőrzése. Célszerűbb ilyen módon az interpretáció bizonytalanságait tisztázni.

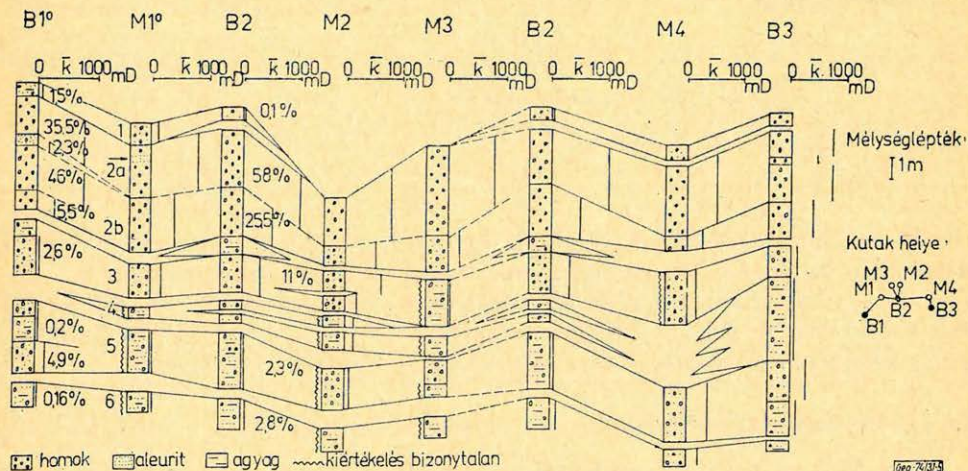
### 3. Gyakorlati példák

Az elmondottak illusztrálására vizsgáljuk meg az *Algyő* — 2 telep besajtoló (*B*) és megfigyelő (*M*) kútjainak egy csoportját. A geofizikai ellenőrző mérések itt kezdődtek el legkorábban. A besajtolás elkezdésekor a kutak lecsövezettek voltak az *M.3* sz. kivételével, melyet csak a megfigyelési időszakban mélyítettek le.

A litológiai oszlopok és a vázolt irányokban készített metszet az *5. ábrán* láthatók. A litológiai oszlopok és a melléjük rajzolt permeabilitás-szelvények azt mutatják, hogy a telep valamennyi kútban alapvetően hasonló kifejlődésű. Vékony, alacsony áteresztőképességű aleuritós homokkövel kezdődik, ezt követi az összvastagság egyharmadát-felét kitevő magas permeabilitású homokkő, amely még legalább két részre oszlik. A felső rész áteresztőképességének várható értéke 500–1000 *mD*, a továbbiaké annál kisebb lehet. A telep többi rétegei kis-közepes vastagságúak, permeabilitásuk általában igen alacsony. Ez alól csupán az *M.4* és *B.3* sz. kutak kivételek.



Vizsgáljuk meg részletesebben az egymással kapcsolatba kerülő besajtoló és megfigyelő kutakat.



5. ábra. Besajtoló és megfigyelő kutak litológiai oszlopai, azonosítás, áramlási egységekre bontás

Рис. 5. Литологические колонки нагнетательных и контрольных скважин, разбивка их на единые блоки притока

Fig. 5. Lithological columns, identification and resolving into flow units of pressing-in and observing wells

### 3.1. Előrejelzés a B.1 – M.1 – B.2 sz. kutakra

A telepet három kitartó impermeábilis réteg tagolja. A felső a B.2 sz. kút környékén erősen agyagos-aleuritós kispermeabilitású homokkőbe megy át, ami valószínűleg továbbra is függőleges irányú zárórétegnek tekinthető. A második záróösszletben kis átteresztőképességű, vékony, szennyezett homokkővek is feltűnnek.

Az áramlási egységekre osztást az M.1 sz. kút litológiai oszlopa mellett találjuk. Az 1. egység jelentéktelen.

A 2. egység vastagsága és magas átteresztőképessége miatt a legfontosabb. Ha a telepet teljes vastagságában azonos méterenkénti lövésszámmal nyitják meg a besajtoló kutakban (a valóságban ez történt), ebbe az egységbe kerül a teljes vízmennyiség 89%-a (B.1 sz. kút), illetve 84%-a (B.2 sz. kút). A 2. egység a permabilitás eltérései alapján további két részegységre tagolódik, sőt, az M.1 sz. kút környékén harmadik részegység is lehetséges, ha a nyíllal jelölt vékony aleuritós betelepülés nagyobb területre terjed ki. Az elvezetés leghamarabb ebben az egységben fog bekövetkezni. Az azonban bizonytalan, hogy a víz a 2a., vagy 2b. talpán jelenik-e meg hamarabb, mivel köztük záróréteg nem mutatható ki. Ha a függőleges permeabilitás magas, a felső részegységbe sajtoló és előresiető víz egy része súlya következtében az alsó részegységbe kerülhet át, növelve ebben a vízfront előrehaladási sebességét.

A 3. egység átteresztőképessége a három kútban eltérő. A megfigyelő kút környékének elárasztása valószínűleg a B.2 sz. kút irányából következik be, később, mint a 2. egységben. Az időkülönbség valószínűleg csökkenthető lenne



a méterenként leadott lövésszám változtatásával. Ha a lövésszám csökkentésével a megnyitási hatásfok 30%-al csökken a besajtoló kutak 2. egységében, a méterenként besajtolt relatív folyadékmenyiség a 3. egység szempontjából kedvezően alakul:

<i>Egység</i>	$Q_i$ %/m Perf. tervezése nélkül	Perf. tervezéssel
2a	23	22
2b	12	11
3	6	10

A további egységek a vízelárasztás szempontjából kedvezőtlen kifejlődésűek. A vízfront csak nagyon lassan terjed ezekben a rétegekben.

Az 1., 2. és 3-ban biztosan kimutathatók a változások. Az ellenőrző mérések hatékonysága 4., 5. és 6-ban lesz alacsony. Ezt az 5. ábrán hullámvonal jelzi. Vizsgálatukra neutron-generátoros mérést kellene végezni.

### 3.2. Előrejelzés a vizsgált területre

Az *M.2* sz. kútban a teleptetőről hiányzik a vékony, kispermeabilitású réteg. A 2a. és 2b. egységek az előbb tárgyalt kutakkal összhangban vannak. A fekü agyagmárga.

A 3. egység a vázolt azonosítás alapján további két alegységre oszlik, a felső áteresztőképessége feltűnően nagy. Ez másik megoldás lehetőségét is felveti. Nevezetesen: 3a. tulajdonképpen a 2. egységhez tartozik és a fekjében levő márga a *B.2* sz. kút erősen agyagos zárórétégeinek megfelelője. A választ csak az ellenőrző mérések adhatják meg. Ha az elvizesedés először 3a-nál jelentkezik, akkor az tényleg a 2. egységhez sorolandó, ha 2b-nél következik be először, akkor a felrajzolt azonosítás a helyes.

A 4–6. egységek is az előbbi kutakénál látottakkal egyezők.

Az *M.3* sz. kút besajtoló kútjával egyértelműen azonosítható. A 2a és 2b részegységek áteresztőképessége között nagy eltérés van, ezért elképzelhető, hogy a víz 2a. talpán fog először megjelenni. A 3. egység a többi kutakhoz viszonyítva rosszabb kifejlődésű. 3–6.-ban (5. egy szakasza kivételével) az ellenőrző mérések értelmezhetősége kétes.

A *B.3–M.4* kútpár fő vonalaiban kapcsolódik az eddigiekhez, a telep alapjának permeabilitása azonban magasabb. A *B.2* sz. kútnál ismét meg lehetne kísérelni a perforálás tervezésével a 2b. és 4. egységekbe sajtolható méterenkénti relatív vízmennyiség növelését.

Valamennyi kút alapján végeredményben arra a következtetésre jutunk, hogy a térfogati záródás a 2. egységben fog először bekövetkezni. A többi egységben csak sokkal hosszabb idő múlva várható a vízfrontok találkozása, a nagyon alacsony áteresztőképességű egységekbe esetleg nem is sajtolható be víz.

### 3.3. Ellenőrzések a *B.1* sz. besajtoló kútban

A kútban forgólapátos áramlásmérővel vettek fel besajtolási profilt. Az eredményül kapott integrálgörbe a 3b. ábrán látható. Az értelmezés szerint: „a víz a tároló magas permeabilitású, felső szakaszába lép be. 1926,0 m alatt ki-

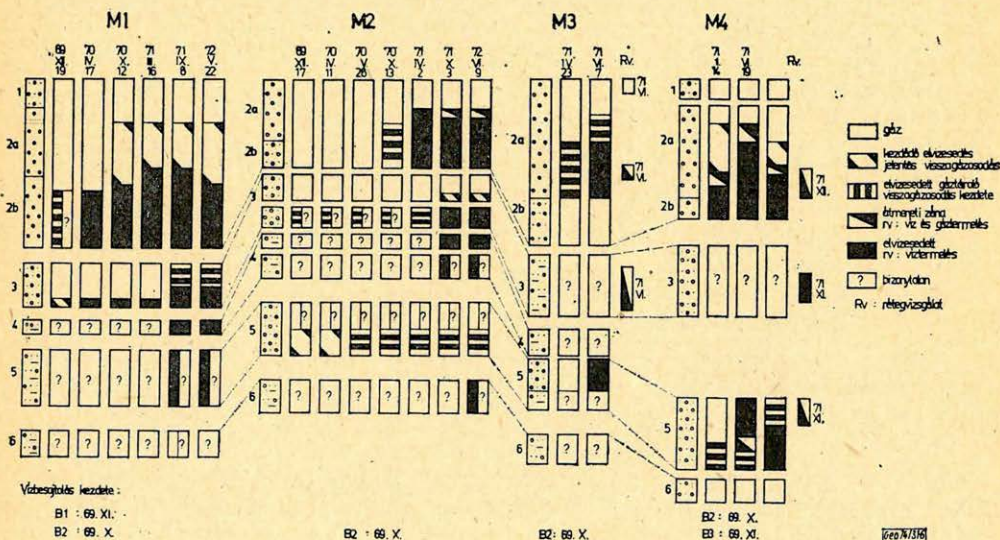


mutatható vízelépés nincs. A műszer induló érzékenysége is figyelembe véve az alsó szakaszba a teljes vízmennyiség kb. 8%-a juthat" (10). Az eredmény teljes összhangban van a tervezésnél megállapított értékkel, ami szintén 8%. Ennek megfelelően várható, hogy az elárasztás az előrejelzést megközelítő módon zajlik le.

Ugyancsak a B.1 sz. kútban hosszabb besajtolási szünet után neutron szelvényt vettek fel. A 3. ábrán látható, hogy a 2. és 3. egységekben jelentős gázosodás következett be. A több éve folyó besajtolás ellenére is 33–43%-ra emelkedett a rétegek gáztelítettsége. Gázosodást a besajtoló kutak javítása folyamán sok esetben tapasztaltak. Várható, hogy a megfigyelő kutakban is találkozunk „visszagázosodással”, azaz a víztelített rétegvastagság csökkenésével egy korábbi állapothoz képest.

### 3.4. Az ellenőrző mérések „regionális” értelmezése

Az egyes megfigyelő kutakban végzett mérések egyedi értelmezései, melyeknek elkészítésénél csak a karottázs-szelvényeket vizsgálták, a kutak környezetét alig vették figyelembe, a 6. ábrán láthatók (11). Mind a négy megfigyelő kút a gáztestben harántolta a telepet. Az ábrából megállapítható, hogy az elárasztás fő vonalaiban úgy játszódtott le, ahogy azt a tervezési anyag birtokában jeleztük. A részleteket illetően azonban több helyen bizonytalanság és ellentmondás van az egyes értelmezések között. Több kút anyagának együttes szemlélése segítséget ad ezek feloldására.



6. ábra. A megfigyelő kutakban neutron-szelvényezéssel végzett ellenőrzések eredményei

Рис. 6. Результаты проверки, проведенной методом НК в контрольных скважинах

Fig. 6. Results of checkings made in the observation wells by neutron profiling

Az M.1 sz. kútban a víz a vártnak megfelelően a 2b. egység alján jelent meg először nagyobb vastagságban. A megjelenés időpontja azonban bizonytalan, ezt az értelmezés is jelzi. Oka: nem vettek fel a biztosan érintetlen állapotot



tükröző alapszelvényt és ezért nem lehetett eldönteni, hogy a besajtolás megkezdése után néhány hónappal készített szelvényen 2b. alján jelentkező indikációcsökkenés az előnyomuló víz hatására, vagy litológiai ok következtében állt-e elő. Az M.2 sz. kútban a 2b. elvizesedése csak később, 1970. X. hóban jelentkezik. Ennek alapján M.1. sz. kútban is későbbi időpont látszik valószínűbbnek.

A 2. egység részegységekre osztását a vízfront előrehaladása nem indokolja. Feltűnő viszont, hogy az elvizesedés kezdetének jelei 1970. X. hótól 1972. V. hóig gyakorlatilag azonos mélységtől mutatkoznak. Ez egybeesik a litológiai oszlopon nyíllal megjelölt vékony aleuritos réteggel, amely zárórteggként viselkedhet. Ez adhat magyarázatot arra az ellentmondásra is, hogy miért nem haladt látszólag előre a vízfront a 2. egységben 1971. III. hó és IX. hó között, míg ezalatt 3. egység jelentős mértékben elvizesedett.

Azt, hogy 3. önálló hidraulikai egység, az értelmezés megerősíti. Az elvizesedés kezdetére tett megállapítás azonban nincs összhangban sem az előrejelzéssel, sem azzal, hogy az M.2 sz. kútban is csak később jelent meg a víz a 3b. egységben.

Az 5. egységben különböző hosszúságú szondákkal felvett mérésekből 1971. IX. hóban jelzett vizet az értelmezés, „bizonytalan” kiegészítéssel. A víz megjelenésének lehetőségét a szomszédos M.3 sz. kút értelmezése támasztja alá. Ebben a kútban az 5. egység kedvező kifejlődésű aleuritos homokkövében a víz biztosan megjelent 1971. VI. hóban.

Az M.2 sz. kút 2. egységének elvizesedése az M.1 sz. kútban észleltekkal egyezően folyik. A 3. egység azonosítását igazolja az értelmezés. 3a-ban ugyanis csak a 2-énél jóval később jelentkezik a víz, tehát két különálló áramlási egységgel van dolgunk.

3b. elvizesedésének kezdetét az értelmezés „bizonytalanul” 1969. XII. hóra teszi. Ez ellentmond a feltételezéseknek és részben az M.1 sz. kút értelmezésének is. A reális dátum 1971. IV. hó. A 4. egység szennyezett homokköveinek itt és az M.1 sz. kútban is 1971. IX. hóra jelzett elvizesedését támasztja alá az M.3 sz. kútban 1929,0–1930,5 m között végzett rétegvizsgálat eredménye, az 5. egységben pedig ugyanennek a kútnak az értelmezése. Az azonban teljesen valószínűtlen; hogy ez a vizesedés már 1969. végén, két hónappal a besajtolás kezdete után kezdődött volna, hiszen a szomszédos M.3 sz. kút 5. egysége még 1971. IV. hóban biztosan gáztároló volt.

Az M.3 sz. kutat 1971 elején mélyítették, így abban elektrokarottázsmérésnek segítették a telítettségi profil megállapítását. Azonosítása az M.2 sz. kúttal a 2. és 3. egységeket illetően bizonytalan.

A víz először 2a. talpán jelent meg. Ennek oka vagy fel nem ismerhető vékony zárórteggel, vagy az, hogy a 2b. egység függőleges permeabilitása olyan alacsony, hogy a felette mozgó víz nem tud ide oly módon átkerülni, mint azt az M.1 sz. kútban valószínűsítettük.

Megjegyzést kell tennünk az 5. egység minősítésével kapcsolatban. Hasonlítsuk össze az érintetlen állapotot tükröző és az 1971. évben megállapított gáztelítettséget az M.2 sz. kút 4. egységének hasonló rétegével:

	$S_g$ %	
	M.3	M.2
érintetlen állapot	63	60
1971. VI., ill. IX. hó		



Aleuritos tárolóban ez a lehetséges hibákat figyelembe véve jól egyező eredménynek számít, ezért helyesebb lett volna a két kútban rajzban is egyező minősítést adni.

Az *M.4* sz. kút értelmezésénél ismét meg kell említeni az alapszelvény hiányából származó értelmezési bizonytalanságot. A szelvény felvételére a kút lemélyítésének ideje miatt nem volt lehetőség (elektromos szelvényezés 1970. IX. hóban). A 3. egységet az elektromos mérések szénhidrogén-tárolónak jelezték. Alapszelvény hiányában és a rétegtartalom megállapítását elősegítő „többszondás” mérési anyag hiánya miatt ennek az egységnek a rétegtartalmára csak rétegvizsgálat tudott felvilágosítást adni.

A 2. egységben jelentős „visszagázosodás” történt, amit rétegvizsgálat is igazolt. Ez teljesen egyértelművé teszi a 8. sz. kútban 1972. V. hóban jelzett gáztest növekedést is.

Visszagázosodás mutatkozik az 5. egységben is. Ezt a tervezésnél nem tagoltuk további alrészekre, noha az elektromos szelvényekből megállapított gáztelítettségek két eltérő kőzetet jeleztek, amit a víz előnyomulása alá is támasztott. A felső réteg kedvezőbb hidraulikai tulajdonságokkal rendelkezik, ami lehetővé tette, hogy benne a víz egy idő múlva „előresiessen” az alsóhoz képest.

Úgy gondoljuk, hogy a leírtakkal olyan programot vázoltunk a termelési geofizikát művelő mérnök elé, amelynek végrehajtásával a jelenleginél határozottabb segítséget tud adni az olajmérnök munkájához.

#### IRODALOM

- [1] *Hornyos János, Őri Viktor*: Vízbesajtolás a gáz – olaj határon. Kőolaj és Földgáz 1972. nov.
- [2] *Bartai Zoltán*: Fúrólukban végzett geofizikai vizsgálatok speciális problémái. NIMDOK, 1971.
- [3] *Doleschal Sándor*: Előadás a MGI rezervoármechanikai tanfolyamán. 1972.
- [4] *Rabe C. L.*: A gamma-sugárzás és a permeabilitás közötti kapcsolat a Denver – Julesburg medencében. J. of Petr. Techn. 1957. 2.
- [5] *NK FV Földt. Főo.*: Az Algyő – 1 telep kifejlődésének vizsgálata geofizikai szelvények alapján. Jelentés, 1972.
- [6] *Gyulai Zoltán*: Rezervoármechanika. Bányászati Kézikönyv IV.
- [7] *Munkácsi István*: Algyői vízbesajtoló kutakban végzett áramlásmérési kísérletek. Jelentés 1971.
- [8] *NK FV Földt. Főo.*: Az Algyő 170 sz. kútban végzendő hőmérsékletmérés technológiai utasítása 1972.
- [9] *Nowak T. J.*: A rétegösszetétel víznyelőképességi jellegzőgörbéjének felépítése hőmérsékletszelvényekből. J. of Petr. Tech. 1953. 8.
- [10] *NK FV Földt. Főo.*: Jelentés az Algyő 170 sz. kútban végzett áramlásmérési kísérletről. 1971.
- [11] *NK FV Földt. Főo.*: Az Algyő – 1 és Algyő – 2 telepek gáz – olaj határára történő vízelárasztás vizsgálata geofizikai módszerrel. Jelentés, 1972.