



SZÉKFOGLALÓ ELŐADÁSOK A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIÁN

Pápay József

KŐOLAJ- ÉS FÖLDGÁZTELEPEK  
KITERMELÉSI ELJÁRÁSAI  
ÉS AZOK HATÉKONYSÁGA



Terintetes Nagy 97

személyi szabályainak 32. és a leg szót:  
újra újran választott tag, a külső kivétel  
szabályába tartozó dolgozat felolvasását,  
személyes megnevezés esetén beüld  
legfeljebb egy év alatt széklet foglalt; külsőben meg-  
száza megnevezésén."

Lehetetlen esetek, melyekben kivált vidéken la-  
gátolhatatlan a határidőt megtartani: de hallgat-  
elűzni a szabály meg nem tartatását, amelyet  
mint összes szabályzatunkat szőlőseink tekintetén  
kivételre emelne figyelemre sem a J. Akadémia  
szükségtelen.

Indoklásba hozatik tehát, hogy egyelőre az  
1861. <sup>1861</sup>ig választott székletfogalás által meg nem emel-  
tekett tagok nevei a kivételből kitöröltesse, az 1861-  
és 1865-ig választott a szabályokra emeltesse, jö-  
vőre pedig a titokzatos hivatal oda utasítsa, hogy  
evidenciában tartás végett az újban választottakat,  
míg széklet nem foglaltak, a sorozatba fel ne vegye."

853  
1865

Jan. 26. 1865.  
Zollner Mór  
Lugany Béla  
Hollán Ernő

Kemény László  
Königsberg László  
Jóshörményi János  
r. tag Jolly János utaz  
Gyengyósnál

Pápay József

KŐOLAJ- ÉS FÖLDGÁZTELEPEK KITERMELÉSI  
ELJÁRÁSAI ÉS AZOK HATÉKONYSÁGA

SZÉKFOGLALÓK  
A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIÁN

A 2004. május 3-án megválasztott  
akadémikusok székfoglalói

Pápay József

KŐOLAJ- ÉS FÖLDGÁZTELEPEK  
KITERMELÉSI ELJÁRÁSAI ÉS  
AZOK HATÉKONYSÁGA



Magyar Tudományos Akadémia • 2014

Az előadás elhangzott 2004. november 23-án

Sorozatszerkesztő: Bertók Krisztina

Olvasószerkesztő: Laczkó Krisztina

Borító és tipográfia: Auri Grafika

ISSN 1419-8959

ISBN 978-963-508-781-5

© Pápay József

Kiadja a Magyar Tudományos Akadémia  
Kiadásért felel: Lovász László, az MTA elnöke  
Felelős szerkesztő: Kindert Judit  
Nyomdai munkálatok: Kódex Könyvgyártó Kft.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A természetes szénhidrogén a 20. század egyik legfontosabb bányászati terméke lett. Az energiaellátásban a kőolaj és a földgáz részaránya jelenleg több mint 60%, és várhatóan még ebben az évszázadban is meghatározó lesz a szerepe. Ezért a nagy mélységben felkutatott, a kőzetek pórusaiban elhelyezkedő szénhidrogén hatékony kitermelése alapvető követelmény. Nagyszámú, különböző hatásmechanizmuson működő művelési eljárást dolgoztak ki. Ezeknek a módszereknek vannak általános és specifikus jellemzői. Amennyiben megértjük a különböző eljárások azonos jellemzőit, úgy az adott telepre vonatkozó specifikus tulajdonságokkal jellemzett művelési technológiát kisebb kockázattal és nagyobb hatékonysággal tudjuk megvalósítani és a szénhidrogént a kőzetekből kitermelni. A székfoglaló előadás egységes elméleti alapon tárgyalja a különböző termelési eljárások elméleti hátterét. Bemutatja azt, hogy a természetes és/vagy külső energia okozta kiszorítási mechanizmusok milyen tényezőkön keresztül növelik meg a telepből kinyerhető kőolaj és földgáz mennyiségét. A termelésben szerepet játszó kiszorítóenergia és a fluidum (kőolaj, földgáz) alapján osztályozza a művelési eljárásokat, meghatározza az alkalmazás korlátait a litológia, a rétegparaméterek, a telepfluidum-áramlási jellemzőinek a figyelembevételével. A világon alkalmazott technológiák eredményei alapján rámutat az elvárható eredményekre, mindamelllett középtávon meghatározza a különböző művelési eljárások részvételi arányát a kőolaj- és földgázellátottság biztosításában.

# BEVEZETÉS

A székfoglaló előadás alapja a *Development of Petroleum Reservoirs. Theory and Practice* Akadémiai Kiadó gondozásában 2003-ban megjelent 940 oldalas könyv, amely az irodalom feldolgozása és a világban alkalmazott ipari gyakorlat elemzése, továbbá a szerző több mint 40 éves elméleti-ipari munkássága alapján készült egységes szemléletben. A dolgozat a könyvet a székfoglaló előadás címében megjelölt témakör szemszögéből tárgyalja.

A természetben előforduló szénhidrogén (kőolaj és földgáz) ismerete az ember megjelenésével egyidős. Az energiafelhasználás növekedésével a 20. század egyik legfontosabb bányászati terméke, alapanyaga lett. A kőolaj és a földgáz részaránya a jelenlegi energiaellátásban több mint 60%, és még a 21. században is alapvető a szerepe.

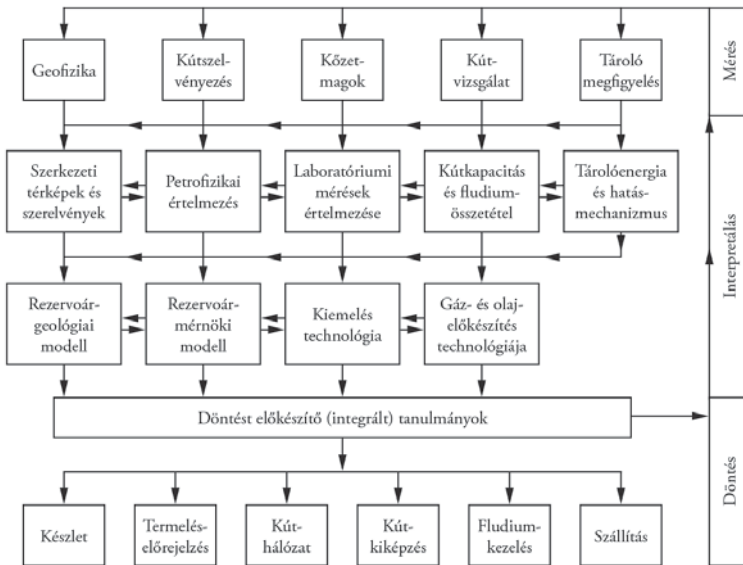
A szénhidrogén-bányászat két lényeges, egymással szoros kapcsolatban lévő tevékenységre osztható: a kőolaj- és földgáztelepek felkutatására és a felkutatott, megtalált kőzetek pórusaiban elhelyezkedő kőolaj- és/vagy földgázvagyon hatékony kitermelésére. Mindkét alaptevékenység szigorúan tudományos-műszaki alapon, különböző szakterületek integrált együttműködésével történik.

A tevékenység jelentőségét és hatékonyságát az alábbi számokkal jellemezhetjük: évente a világon kitermelt szénhidrogén mennyisége kőolaj-egyenértékben  $6,5 \times 10^9$  m<sup>3</sup> (kőolaj 60%, földgáz 40%), amelynek értéke jelenlegi világpiaci árakon 1200–1500 Mrd USD, és az óriási beruházási igényű kitermelő rendszerek 1–2 év alatt megtérülnek. Az iparág jelentőségéből következik, hogy a kockázat csökkentése, a hatékonyság növelése miatt jelentős erőket és pénzügyi eszközöket fordítanak a tevékenységet megalapozó tudományos-műszaki fejlesztésekre. Ennek eredményeként a tevékenység műszaki-tudományos színvonala rohamosan nő, amely végül is mind a szénhidrogéntelepek felkuta-



tási, mind a kitermelési hatékonyságának a növelését eredményezi. Ennek a fejlesztésnek a mozgatórugója az energiaigények kielégítésének a szükségessége és nem titkolva, a profit növelése.

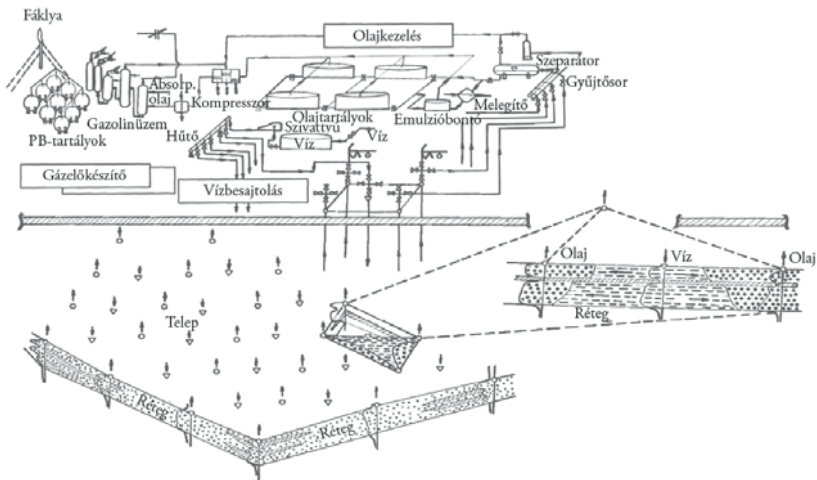
A természetesen előforduló szénhidrogéntelepek felkutatása és kitermelése integrált tevékenység, ahol is a diszciplínák, szakterületek (szervizvállalatok) méréseket végeznek, azokat értékelik (interpretálás), modelleket készítenek, és ezek alapján a befektető által preferált gazdasági mutatók szerint döntéseket hoznak (1. ábra). Ezek magukba foglalják a helyben lévő vagyont, a művelési technológiáktól függő kitermelhető mennyiségek meghatározását (készlet), a kúthálózatot, a kutak kiképzését, a kitermelt fluidumok kezelését, elszállítását.



1. ábra. Integrált tevékenység és információáramlás a kőolaj- és földgázterelésben

Ez a folyamat a következő egymás utáni részfolyamatokból áll: kutatás, amelynek eredménye a felfedezés, a feltárás, a telepek lehatárolása, a kitermelési technológia telepítése, a művelés (fluidumkitermelés), a fluidum kiemelése, kezelése, szállítása és végül a termelés befejezése, az felhagyás. A telep művelése akkor fejeződik be, amikor a termék (kőolaj és/vagy földgáz) ára nem fedezi a ráfordítás költségeit, figyelembe véve a tulajdonos által preferált gazdasági mutatókat. A tevékenység megköveteli geofizikus, geológus, rezervoármérnök, kitermelési technológiával foglalkozó olaj- és gázmérnök, vegyész mérnök és gazdasági szakember integrált együttműködését.

A művelési technológiák megtervezése, telepítése és „üzemeltetése” mérési adatok feldolgozásával, értelmezésével, modellek segítségével történik. Egy speciális olajkitermelő rendszert a 2. ábra szemléltet.



2. ábra. Tipikus olajkitermelő rendszer

Székfoglaló előadásomban a művelési eljárásokkal foglalkozom integrált szemléletben függetlenül attól, hogy kőolaj- vagy földgáztelepről van-e szó. Művelési technológia alatt azokat az eljárásokat értjük, amelyek műszaki-gazdasági szempontokat figyelembe véve, céltudatosan megvalósított kizorítási mechanizmusok alapján lehetővé teszik a kőzet porusaiban évmilliók során felhalmozódott szénhidrogének hatékony kitermelését.

Ipari gyakorlatban nagyszámú, különböző művelési technológia valósult meg. Ezeknek vannak közös és speciális jellemzői. Amennyiben megértjük a minden technológiában meglévő közös jellemzők tudományos-műszaki hátterét, úgy a technológiák speciális vonatkozásai is jobban definiálhatók, és végeredményben a kitermelési eljárások kisebb kockázattal és hatékonyabban telepíthetők és üzemeltethetők. A dolgozat rámutat a hatékonyságnövelés lehetőségeire és egyúttal korlátaira is.

A székfoglaló előadás módszertanilag, az érthetőség miatt a föld alatti áramlástan alaptörvényeit alkalmazza, annál is inkább, mivel a tárgyalat könyv a legkorszerűbb modellezési módszerek alkalmazását, elemzését, fejlesztési lehetőségét részletesen ismerteti. Az egyszerű tárgyalásra azért is szükség van, mert csak így lehet megérteni, illetve felismerni a porustérben elhelyezkedő kőolajat és/vagy földgázt kizorító mechanizmusokat, amelyek végül is meghatározzák az alkalmazandó művelési technológiát.

Az előadás a konvencionális szénhidrogéntelepek művelési lehetőségeit tárgyalja, tehát az olajhomok, olajpala, széntelepek, metángáz, nagy nyomás alatt vízben oldódó gáz, hidráttelepek stb. kitermelési lehetőségeivel nem foglalkozik.

# I. ELMÉLETI MEGALAPOZÁS

A természetes előfordulású szénhidrogéneket (kőolaj és földgáz) tartalmazó kőzetek – üledékes (szilikáttörmelékes, karbonátos), magmás vagy metamorf – pórusrendszeréből saját és/vagy kívülről besajtolott energiával történik a kőolaj és/vagy a földgáz kitermelése. A művelés célja az, hogy a kőzet pórusaiban felhalmozódott szénhidrogén minél nagyobb hányadát termeljük ki úgy, hogy a kitermelendő szénhidrogén helyébe a telep adottságaitól függően kiszorító fluidum áramlik, vagy azt oda besajtoljuk.

A tökéletlen kiszorításnak, azaz a veszteségnek két oka van:

- a kiszorító közeget a pont- vagy vonalszerű besajtolástermelés és a telep morfológiája, heterogenitása miatt nem tudjuk a telep minden részébe eljuttatni; a telep kőzettérfogatának elárasztásmértékét térfogati elárasztási határfok ( $\eta_{vol}$ ) adja meg;
- az elárasztott pórusterben a kiszorító és kiszorítandó fluidum közötti határfelületi és/vagy viszkozus erők miatt a kiszorítás határfoka (fluidumcsere) nem tökéletes; ennek a hatékonyságát a kiszorítási határfokkal ( $\eta_D$ ) jellemezzük.

Először a térfogat-elárasztás, majd ezt követően a kiszorítás határfokát elemezzük, amikor is a kiszorító és kiszorítandó fluidum között határfelület van, azaz a kiszorítás nem elegendő.

## I.1. Térfogat-elárasztási és összhatafok

A kiszorító közeget a telep bonyolult felépítése, a pontszerű (illetve vonal) besajtolás-termelés miatt a pórusos kőzet egy részét ( $\eta_{vol}$ ), kb. 0,3–0,9 hányadát árasztja el, így a kitermelés összhatafoka:

$$\eta = \eta_{vol} \eta_D \quad (1)$$

A térfogati elárasztás összhatásfoka a területi  $\eta_A$  és vertikális  $\eta_v$  hatásfokkal kifejezve a leművelés hatékonyságát jellemző összhatásfok:

$$\eta = \eta_A \eta_v \eta_D \quad (2)$$

A (2) összefüggés összenyomhatatlan fluidumok áramlása és stacioner szűrődés (nyomásfenntartásos művelési technológiák) esetén alkalmazható. Az utóbbi elsősorban a kőolajtelepek művelésére jellemző. Így alkalmazása az egyes olajkitermelő technológiák megítélése szempontjából elfogadható.

A részhatásfokok egymástól nem függetlenek. Ezért a (2) egyenlet megoldására Pápay J. (2003) pszeudorelatív függvények alkalmazását javasolta Buckley S. E. – Leverett M. C. (1942) módszerének kombinálásával, amikor is az elárasztandó pórusterfogot a területi hatásfoknak megfelelően (amelyet a besajtott fluidum kumulatív mennyiségének növekedése okoz) fokozatosan nő.

## 1.2. Kiszorítási hatásfok

Az egyszerűség miatt feltételezzük, hogy a pórusokból olajat szorítunk ki vízzel. Gáz vízzel történő kiszorítása állandó nyomáson értelemszerűen hasonló.

A kiszorítási hatásfok:

$$\eta_D = \frac{S_{oi} - \bar{S}_o}{S_{oi}} = \frac{S_{oi} - \bar{S}_o}{S_{oi} - S_{or}} \frac{S_{oi} - S_{or}}{S_{oi}} \quad (3)$$

A (3) összefüggést más alakban felírva:

$$\eta_D = \eta_D^* \eta_M, \quad (4)$$

ahol  $S_{oi}$  – kezdeti olajteltettség,  
 $S_{or}$  – maradék olajteltettség,  
 $\bar{S}_o$  – pillanatnyi átlagos olajteltettség.

A mozgólétettségre vonatkozó pillanatnyi kiszorítási hatások  $\eta_D^*$  és a mobilitási hatások  $\eta_M$  értéke a következő:

$$\eta_M = (S_{oi} - S_{or}) / S_{oi} \quad \text{és} \quad \eta_D^* = (S_{oi} - \bar{S}_o) / (S_{oi} - S_{or}) .$$

Amennyiben egy elemi  $dV = A\phi dx$  pórustérfogatot tekintünk, akkor Welge G. I. (1952) összefüggésének segítségével a (4) egyenlet:

$$\eta_D = \frac{S_{oi} - \left[ 1 - S_w - \left( 1 - \frac{1}{1+1/M} \right) Q_i \right]}{S_{oi} - S_{or}} \eta_M , \quad (5)$$

ahol  $A$  – keresztmetszet,

$\phi$  – porozitás,

$dx$  – elemi lineáris szakasz,

$$Q_i = \frac{\int q_w dt}{A\phi dx} = \frac{1}{(df_w / dS_w)_{S_w}}$$

$$M = \frac{k_w / \mu_w}{k_o / \mu_o} \approx \frac{\mu_o}{\mu_w} ,$$

$$f_w = \frac{1}{1+1/M} ,$$

$q_w$  – besajtott víz (gáz) üteme,

$S_w$  – elemi hasáb kilépési oldalán a víztelítettség:

$$S_{wc} \leq S_w \leq 1 - S_{or}$$

$S_{wc}$  – tapadó víztelítettség,

$k_{rw}; k_{ro}$  – víz és olaj relatív átteresztőképessége,

$\mu_w; \mu_o$  – víz és olaj viszkozitása.

A (5) összefüggés elemzése alapján megállapítható, hogy a kiszorítási hatások értékét meghatározza a mobilitási hatások ( $\eta_M$ ), a mobilitási arányszám ( $M$ ) és a pórustérfogatra vonatkoztatott besajtott (beáramlott) víz kumulatív mennyisége ( $Q_i$ ).

A  $Q_i$  és  $M$  egymástól nem független és a művelés hatékonysága szempontjából az értéküket az 1. táblázatban jelölt módon lehet jellemezni.

1. táblázat. Kiszorítási hatásfokot befolyásoló paraméterek

Minősítés	$M$ [-]	$Q_i$ [-]
igen jó	$\leq 1$	$\leq 1$
jó	1–10	1–4
közepes	10–50	4–10
kedvezőtlen	$> 100$	$> 10$

A (2) összefüggés az alábbi alakban írható fel:

$$\eta = \eta_A \eta_v \eta_D^* \eta_M \quad (6)$$

Megjegyezzük, hogy a (6) egyenletben adott tárolókőzetre és művelési eljárásra vonatkozóan  $\eta_M = \text{const.}$  addig a  $\eta_A$ ,  $\eta_v$  és  $\eta_D^*$  a kiszorító fluidum mennyiségétől függ.

$$\text{Tehát} \quad \eta_M = \text{const.},$$

$$\eta_A = \eta_A(Q_i); \quad \eta_v = \eta_v(Q_i); \quad \eta_D^* = \eta_D^*(Q_i);$$

$$\text{ha} \quad Q_i \rightarrow \infty, \text{ akkor } \eta = \eta_M$$

### 1.3. Mobilitási hatásfok és litológia kapcsolata

A mobilitási hatásfok értéke  $\eta_M < 1$ . Ennek oka a kőzet bonyolult (kapillaris méretű) litológiától függő pórusszerkezete és a kiszorító és kiszorítandó fluidum közötti határfelületi feszültség, amelyet az alábbiakban magyarázunk.

Ha a kőzet pórusteret az egyszerűség miatt  $r$  sugarú függőleges kapilláris csőnyalábként képzeljük el, és a kapilláris fala víznedves, akkor a víz a csőben  $h$  magasságig emelkedik fel:

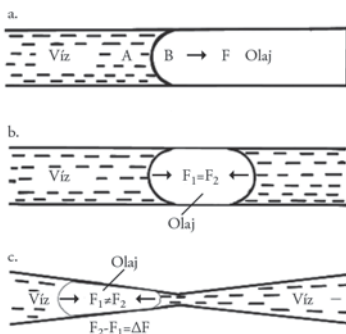
$$h = 2\sigma \cos \theta / (\rho_w - \rho_o)g \quad (7a)$$

Ez a fluidumfelemelkedés  $P_c$  kapillárisnyomás-különbség eredménye:

$$P_c = p_o - p_w = h(\rho_w - \rho_o)g = 2\sigma \cos \theta / r \quad (7b)$$

ahol  $\sigma$  – határfelületi feszültség,  
 $\theta$  – nedvesítési szög,  
 $g$  – nehézségi gyorsulás,  
 $\rho_w; \rho_o$  – víz és olaj sűrűsége,  
 $p_w; p_o$  – a víz és olaj fázisnyomása.

Amennyiben a kapilláris cső vízszintes és olajjal telített, akkor a csőben lévő olajat a kapilláris erő teljes mértékben kiszorítja. Ha a cső közepén van egy olajcsepp, és két oldalról vízzel érintkezik, akkor a kapilláris erők egyenlő nagyságúak, de ellentétes irányúak, így az olajcsepp mozdulatlanul a helyén marad, kiszorításához többletnyomás szükséges – Jamin-hatás (3. ábra).



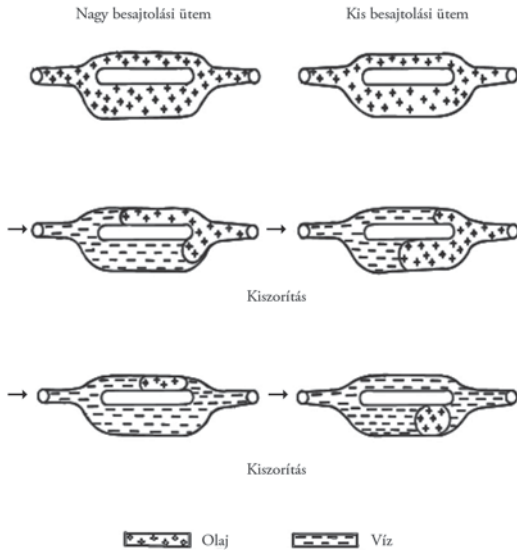
3. ábra. Áramlási ellenállás kapilláris csövekben



Amennyiben a kapilláris átmérője  $r_2$  sugárról  $r_1$  sugárra csökken le pórusméretnyi távolságon ( $L$ ), akkor az olajcsepp átszorításához szükséges nyomásgradiens:

$$\Delta p/L = [2\sigma \cos\theta (1/r_1 - 1/r_2)] 1/L. \quad (7c)$$

Ennek értéke gyakorlati feltételek mellett több száz bar/m, azaz a lefűződött olajcsepp (vagy gázbuborék) ki nem termelhető, és veszteségként marad vissza. Mivel a kőzetszerkezet rendkívül bonyolult, ezért a kőolaj/földgáz lefűződés mindenképpen bekövetkezik, tehát nem elegendő fluidummal történő kiszorítás miatt mindenképpen veszteséggel kell számolni (4. ábra).



4. ábra. Olajlefűződés összekötött kettős különböző méretű kapillárisokban

Megjegyezzük, hogy elegendő fluidummal történő kiszorítás esetén a  $\sigma$  értékét több nagyságrenddel csökkentik a mobilitási hatások növelése miatt ( $\eta_M \approx 1$ ).

A veszteség nagysága függvénye a kőzet pórusszerkezetének ( $\phi, k$ ), a kőzet nedvesítési tulajdonságainak, a kezdeti telítettségnek és a litológiának stb.

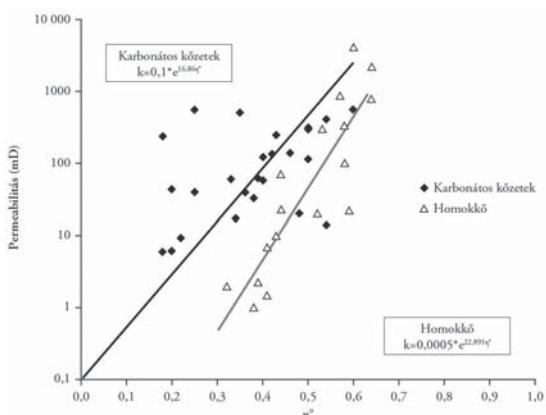
Az irodalom által közölt mérési adatok alapján a fenti paraméterek figyelembevételével 2004-ben Pápay J. egy algoritmusrendszert dolgozott ki a maradék szénhidrogén-telítettség meghatározására, amelynek egy fontos alapösszefüggése a következő:

$$\text{Homokkőtárolókra:} \quad k = 0,1e^{16,86\eta^0}, \quad (8a)$$

$$\text{Karbonátos tárolókra:} \quad k = 0,0005e^{22,89\eta^0}, \quad (8b)$$

Ahol  $k$  – a kőzet permeabilitása (mD),  
 $\eta^0$  – báziskiszorítási hatások (-).

Az 5. ábra szemlélteti az alapegyenleteket a mérési pontokkal együtt.



5. ábra. Bázishatások - permeabilitás összefüggése

Közelítésként a veszteség megbecslése céljából elfogadható:

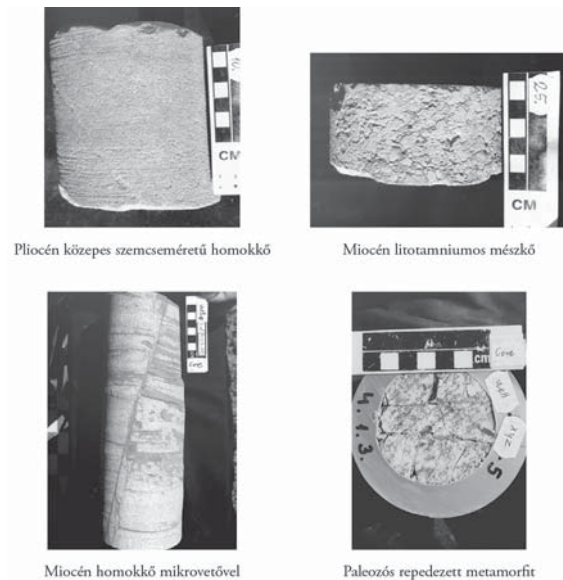
$$\eta^{\circ} \cong \eta_M.$$

Reális paramétertartományban a bázishatásfok értéke:

$$0,3 \leq \eta^{\circ} \leq 0,75 \text{ átlagosan kb. } 0,6.$$

Ez tehát azt jelenti, hogy abba a kőzettérfogatba, ahová a nem elegendő kizorító közeget besajtoljuk, vagy oda beáramlik, a kezdeti ásványvagyton 60%-át termelhetjük ki állandó kizorítási nyomást feltételezve.

A kitermelhető mennyiségekre a litológia és a kőzetfelépítés szerepét a 6. ábrából is megérthetjük.



6. ábra. Tipikus tárolókőzetek a Pannon-medencében

Ha  $M > 1$ , akkor véges mennyiségű kizorító közeget besajtolása esetén:  $\eta_D < \eta_M$ .

#### 1.4. A művelés hatékonysága és a kőolaj, valamint a földgáz tulajdonságainak összefüggése

A művelési folyamatok megértése és a kitermelés hatékonyságának a növelése érdekében alapvető a szénhidrogéntelepek csoportosítása kőolaj- és földgáztelepekre. Az előbbi fluidum rétegvizonyok között alapvetően folyadék, míg az utóbbi gáz halmazállapotú. A két fluidum mozgékonysága (viszkozitása) és kompresszibilitása (teleptérfogati tényező) nagyságrendekkel különbözik egymástól, és ez a kitermelési technológiát, a művelés hatékonyságát alapvetően meghatározza.

A rétegvizonyok között folyadék és gáz halmazállapotú fluidum tulajdonságai alapvetően különböznek, ezt a 2. táblázat szemlélteti.

2. táblázat. A kőolaj és a földgáz alapparaméterei

Szénhidrogén	Kompresszibilitás [1/bar]	Viszkozitás [cP]
Kőolaj	$10^{-5}$ – $0,01$	$0,5$ – $10^5$
Földgáz	$10^{-3}$ – $1$	$0,01$ – $0,03$

Megjegyzés: a kritikus szénhidrogénrendszerek átmenetet képeznek a kőolaj és földgáz között

Ez az eltérő tulajdonság végül is azt eredményezi, hogy az úgynevezett klasszikus művelési eljárásokkal a telepben lévő kőolaj 5–60%-a, míg a földgáz 60–90%-a termelhető ki. A fluidumtulajdonságokban való eltérés magyarázza azt, hogy a kőolaj kitermelése jóval bonyolultabb és költségesebb, mint a földgáztelep leművelése. A hatékonyságnövelő eljárások elsősorban a kőolajtelepek kihozatalának a növelésére irányulnak. Mivel a természetben a két fluidum gyakran egy telepben előfordul (például gázsapkás olajtelep, másodlagos gázsapka, olajszegéllyel rendelkező gázcsapadéktelep stb.), így a művelési technológiák szinergikus elemzése alapvető követelmény.

A *kritikus szénhidrogénrendszerek* esetén, amelyek természetes előfordulása nem gyakori, a telepkörülmények között az olaj és a gáz tulajdonsága azonos: viszkozitás, kompresszibilitás vagy akár a sűrűség stb. Ebben az esetben olyan művelési technológiát kell telepíteni, alkalmazni, amely figyelembe veszi a kedvező áramlási, kompresszibilitási, valamint határfelületi tulajdonságokat.

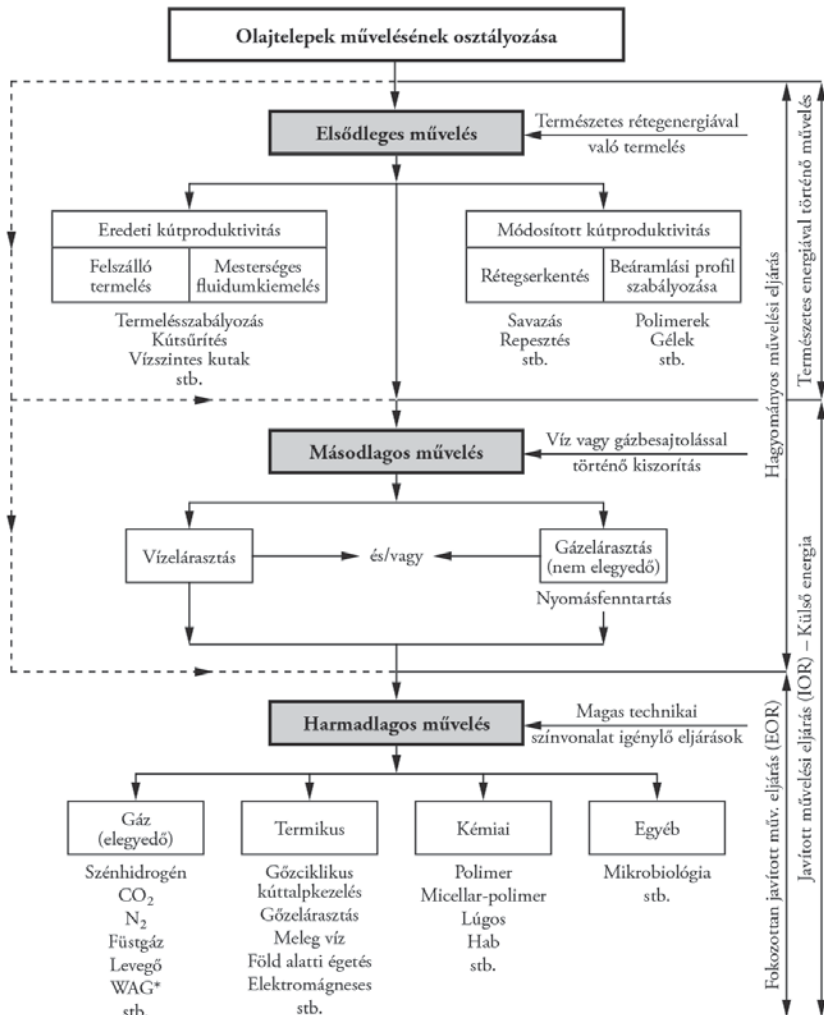
A következőkben az egyszerűség és az érthetőség miatt a kőolaj- és földgáztelepek művelési eljárásait és azok hatékonyságnövelésének a lehetőségeit külön tárgyaljuk. A művelési eljárásokat a kitermeléshez szükséges energia alapján osztályozzuk.

## 2. OLAJTELEPEK KITERMELÉSI ELJÁRÁSAI ÉS AZOK HATÉKONYSÁGA

### 2.1. Kőolaj-kitermelő eljárások osztályozása

A művelési eljárások hatékonyságának elemzéséhez nélkülözhetetlen azok osztályozása. A kőolajtelepek művelési eljárásainak osztályozása nem egységes, leginkább az *Oil and Gas Journal* (például 1992) osztályozása elfogadott, ezt 1997-ben Pápay J. alapvetően módosította (7. ábra).

Az első osztályozások követték a megvalósítás időbeni sorrendjét: elsődleges, másodlagos és harmadlagos módszerek. A tudomány fejlődésével és a gazdasági indokok alapján hamarosan kiderült, hogy nem célszerű az egyes technológiák megvalósítása az időrendi sorrend betartásával, és így új elnevezések születtek, ezt az ábra jobb oldalán lévő függőleges vonalak mutatják. A 7. ábrával kapcsolatosan megjegyezzük, hogy az egyes hatékonyságot növelő művelésszabályozási lehetőségek, elemek, eszközök és felülről lefelé és jobbra haladva minden művelési módszerbe beépíthetők: például termelésszabályozás és/vagy horizontális kutak és/vagy kútsűrítés és/vagy rétegrepesztés alkalmazása minden eljárásnál lehetséges, és valójában alkalmazzák is.



7. ábra. Olajtelepek művelésének osztályozása

## 2.2. Művelési eljárások jellemzése

### 2.2.1. Természetes energiás kitermelési eljárások (elsődleges)

Ebben az esetben rétegenergiával, tehát külső energia alkalmazása nélkül történik a termelés. A termelés miatti nyomáscsökkenés miatt a póruster zsugorodik, a kőolaj térfogata az oldott gáz kiválásával együtt nő, expandál a gázsapka, és az aquiferből víz áramlik a kőolajat tároló pórusokba. Mindezek külön-külön vagy együttesen meghatározzák a kitermelhető kőolaj mennyiségét.

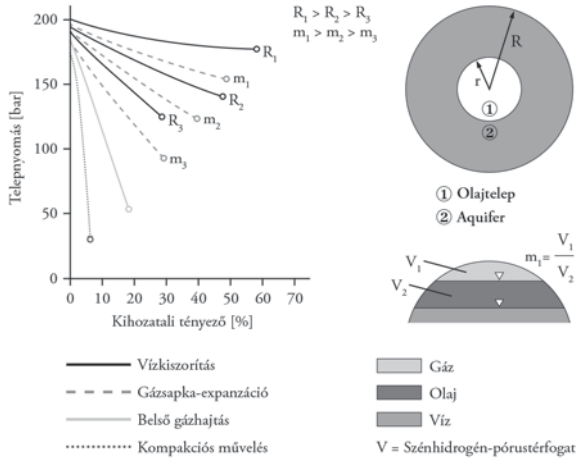
A természetes energiás művelés osztályozásának kialakult módszere van, és ez a következő:

- kompakcióval,
- oldott gázzal (belső gázzal történő kiszorítás),
- gázsapka-expandációval (külső gázkiszorítás),
- vízkiszorítással külön-külön vagy együttesen.

Az utóbbit nevezik kombinált működési mechanizmusnak.

A kőolajtermelés mennyisége mechanizmusonként más és más, általában kijelenthető, hogy a kőolajtermelés mennyisége növekvő sorrendben: kompakció, oldottgáz-hajtás, gázsapka-expandáció és rendszerint vízkiszorítás esetén legnagyobb a kitermelt mennyiség, amint 8. ábra példaképpen szemlélteti könnyű olaj esetén (viszkozitás < 10 cP) (Pápay 2003).

A rezervoármérnöknek a feladata felismerni ezeket a mechanizmusokat és beavatkozni a hatásmechanizmusok módosításával a kőolajtermelés növelése érdekében úgy, hogy például alapvetően a külső gázhajtás és/vagy vízkiszorítás érvényesüljön.



8. ábra. Kihozatali tényező – hatásmechanizmus összefüggése olajtelepek és természetes energiával történő művelés esetén

### 2.2.2. Klasszikus víz- és/vagy gázbesajtolás (másodlagos)

Ez a többletermelés legkiforrottabb és leginkább használt módszere, amikor is kívülről alkalmazott energia segítségével gázt és/vagy vizet sajtolnak be, amelyek jó hatásfokkal a porusokból a kis és közepes viszkozitású olajat kiszorítják. Természetesen erre akkor kerül sor, ha az olajtelep víztestmérete kicsi, és/vagy nem rendelkezik elegendő nagy gázsapkával (8. ábra). A kiszorítás hatásfoka – lásd az (5) összefüggést – a mobilitásarány és a besajtoló fluidum mennyiségének a függvénye. Általában kijelenthető, hogy a gyakorlatban megvalósított esetekben a természetes energiás műveléshez képest a kőolajtermelés 1,5–2-szerese lesz, ha víz- és/vagy gázbesajtolást alkalmazunk. Ez a többleteredmény igen jelentős. Ezért ahol az szükséges és lehetséges, ezeket az eljárásokat alkalmazzák.



A fentiekből adódik, hogy az elsődleges és a másodlagos módszerek elválasztása éles határokkal nem lehetséges. Tehát a *8. ábra* tartalmazza a másodlagos módszerek eredményeit is (m és R értéke nagy).

### 2.2.3. Bonyolult hatásmechanizmusú művelési eljárások (harmadlagos – EOR)

Ebben az esetben az előzőekben ismertetett hatásmechanizmusok mellett más hatásmechanizmusok is érvényesülnek a kőolaj-kitermelés növelése céljából úgy, hogy elegendő gázokat vagy termikus energiát, illetve kémiai anyagokat sajtolnak be.

Az EOR- (Enhanced Oil Recovery) eljárások hatásmechanizmusának megértéséhez elemezni kell a (6) összefüggést. Ha a kiszorítási hatásokhoz hasonlóan vizsgáljuk a területi és vertikális hatásokot, akkor a nyomásfenntartásos művelési eljárások eredményességét a *3. táblázatban* feltüntetett paramétereken keresztül befolyásolhatjuk (Pápay J. 2003). A *3. táblázat* nem más, mint az olajtermelés táblázatos formában megfogalmazott algoritmus.

3. táblázat. Részhatásfokokat befolyásoló tényezők

Paraméterek	$\eta_A$	$\eta_V$	$\eta_D$
Mobilitási arányszám	+	+	+
Kapilláris erő (határfelületi feszültség, nedvesíthetőség)	-	-	+
Heterogenitás	+	+	-
Kiszorító fluidum kumulatív mennyisége	+	+	+
Kúthálózat	+	-	-
Kútkiképzés	-	+	-

Amennyiben valamilyen módon a területi, vertikális vagy kiszorítási határfokot külön-külön vagy együttesen növeljük, úgy a kitermelt olaj mennyisége is növekszik. Ezen alapszik az EOR művelési eljárások többletolajat termelő hatása. Megjegyezzük azt, hogy a táblázat utolsó három sorában lévő határfok-növelési lehetőség a klasszikus művelési eljárásoknál is alapvető, így ezekkel itt nem foglalkozunk.

Gázos elegyedő eljárásoknál rendszerint könnyű olajat szorítanak ki a kiszorító gáz összetételétől függően általában nagy nyomáson, amikor is az olaj és a gáz elegyedik egymással. A kiszorító elegyedő gázt rendszerint víz és/vagy (kisebb értékű) gáz besajtolása követi. Elegyedés miatt  $\eta_M$  nő, és így az olajtermelés is növekszik.

Termikus eljárásoknál a felszínen (melegvíz-, illetve gőzbesajtolás), illetve a telepben (föld alatti égetés) előállított hőenergiával a kőolaj viszkozitását csökkentik, azaz a mobilitásviszonyokat javítják (meleg víz, gőz, föld alatti égetés), illetve a gőzbesajtolásnál és a föld alatti égetésnél ezen felül a mobilizációs határfokot ( $\eta_M$ ) növelik is úgy, hogy a maradék olaj telítettségét csökkentik. Ezek a hatások összességében többleteredményt eredményeznek.

Polimeres elárasztási módszereknél a besajtoló víz „viszkozitását” növelik, és a moderáltan heterogén tárolót homogenizálják, így a vízelárasztás határfokát növelik, ez a kevésbé elvizesedett tárolóban többletolaj-termelést eredményez. Micelláris-polimeres elárasztás esetén alapvetően a mobilizációs határfokot (micelláris oldat) növelik, ennek a végeredménye a többletolaj termelése. Lúgos módszereknél a többlettermelés a mobilizációs határfok növelésén alapul – 4. táblázat (Pápay J. 2003).

4. táblázat. EOR-módszerek hatásmechanizmusa

Művelési eljárás		Mobilitási arány-szám csökkenése	S <sub>or</sub> csökkenése	Pórus-szerkezet módosítása	Növelt részhatások	Megjegyzés
1.	Gázos elegyedő		++		$\eta_M$	Határfelületi feszültség csökkentése
2.	Termikus	+			$\eta_A; \eta_V; \eta^*_D$	Olajviszkózitás csökkentése
		++	+		$\eta_A; \eta_V; \eta^*_D$	Olajviszkózitás és határfelületi feszültség csökkentése
		++	++		$\eta_A; \eta_V; \eta^*_D$	Olajviszkózitás és határfelületi feszültség csökkentése
3.	Kémiai elárasztás	++		+	$\eta_A; \eta_V; \eta^*_D$	Vízviszkózitás növelése és pórus-szerkezet módosítása
		(+)	++	(+)	$(\eta_A; \eta_V; \eta^*_D)$	Határfelületi feszültség csökkentése (vízviszkózitás növelése és pórus-szerkezet módosítása)
			+		$\eta_M$	Határfelületi feszültség csökkentése és nedvesítésváltoztatás

### 2.3. A művelési eljárások alkalmazhatóságának műszaki és gazdasági feltételei

Ahhoz, hogy megértsük a bonyolult hatásmechanizmusú (EOR) módszerek alkalmazhatóságának a feltételeit, a megvalósításuk realitását, ismerni kell a klasszikus módszerek (természetes energiás művelés, hagyományos víz- és/vagy gázbesajtolás) alkalmazhatóságának a feltételeit is. Ezek összehasonlítása teszi lehetővé az eljárások valódi értékelhetőségét. Mivel minden művelési eljárás profittermelő tevékenység, ezért a reális értékelés alapja az olajtermelésben szerepet játszó hatásmechanizmusok meghatározása és ezek olajtermelésben való részvételének kvantitatív jellemzése.

Minden hatásmechanizmus megvalósítása pénzügyi befektetést igényel, és minden egyes hatásmechanizmusnak más és más a termelésben való részvételi aránya, amely rezervoármérnöki eszközökkel meghatározható. Amennyiben a többletráfordítást a többleteredménnyel szembeállítjuk, úgy a vizsgálandó technológia realitása meghatározható. Csak ezzel a módszerrel tudjuk felmérni a kitermelési technológia és a pénzügyi befektetés realitását. Például, ha a technológia kútsűrítéssel megvalósítandó polimeres elárasztás, akkor az összeredményben jelentkeznek: a kútsűrítés többleteredménye, a nyomásfenntartás (vízelárasztás) eredménye, illetve a „kémiai anyag” polimer-többleteredménye. Ezeknek a részbeavatkozásoknak (amelyek végül is együtt jelentkeznek) a költségei meghatározhatók, és a kémiai beavatkozás eredményessége gazdaságilag megítélhető. Tehát a technológia reális megítélése miatt az egyes kizorító mechanizmusok megvalósításához szükséges (rész-) ráfordításokat kell az egyes mechanizmusok okozta (rész-) eredményekkel (többletolaj-termelés) szembeállítani, azaz a ráfordítások és az eredmények átlagolása, összevonása tilos és kerülendő.

Az eddigi kutatások elemzése és nagyszámú irodalom feldolgozása alapján az 5. táblázatban szemléltetjük a különböző művelési eljárások alkalmazható-

ságának a feltételeit. Az 5. táblázat Taber J. J., Martin F. D. és Seright R. S. (1997) adatainak feldolgozásán, táblázatos feldolgozásuk módosításán és egyszerűsítésén alapszik. Az összehasonlító elemzés miatt Tabertől és társaitól eltérően fontosnak tartottuk a klasszikus eljárások feltételeinek a bemutatását is. Megállapítható, hogy szinte minden egyes paramétertartománnyal rendelkező kőolajtelepre van kidolgozott eljárás, de az egyes művelési eljárások alkalmazhatósága, figyelembe véve a kőolajtelepek paramétereit, a litológiát, valamint a kőolaj és a besajtolt fluidumok tulajdonságait, meglehetősen szűk. A litológiát tekintve a homokkötőarólokra a legszélesebb a művelési eljárások választéka. Ezzel magyarázható az, hogy az alkalmazandó eljárások igen széles körében történik a tudományos-műszaki alap- és alkalmazott kutatás.

5. táblázat. Művelési eljárások alkalmazhatóságának feltételei

Művelési eljárás	Formáció típus	So [-]	K [mD]	Mélység			Olajviszkózitás [cP]
				H [ft]	Pr [bar]	Tr [°F]	
Természetes energiás művelés (elsődleges)							
Rezervoár-energiával való művelés	NC	> 0,4–0,5 (0,7–0,8)	NC	NC	NC	NC	<300 (< 10)
Klasszikus víz- és gázbesajtolás (másodlagos)							
Nyomásfenntartás nem elegendő fluidumok besajtolásával	NC	> 0,5–0,6 (0,7–0,8)	NC	NC	NC	NC	<300 (< 10)

Művelési eljárás	Formáció típus	So [-]	K [mD]	Mélység			Olaj- vizskozitás [cP]
				H [ft]	Pr [bar]	Tr [°F]	
Bonyolult hatásmechanizmusú eljárások (harmadlagos – EOR)							
Elegendő gázbesajtolás							
Egylépcsős elegyedés (C <sub>3</sub> -C <sub>4</sub> )	(NC)***	>0,3 (0,7-0,8) [0,8]	NC	(NC)	> 100	(NC)	<5 (< 0,5) [0,2]
Kondenzációs többlépcsős elegyedés (C <sub>1</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>4</sub> )	NC****	> 0,3 (0,7-0,8) [0,75]	NC	(NC)	> 150	(NC)	<5 (< 0,5) [0,5]
Vaporizációs többlépcsős elegyedés (CO <sub>2</sub> )	NC	> 0,3 (0,7-0,8) [0,55]	NC	(NC)	> 180	(NC)	<10 (< 1) [1,5]
Vaporizációs többlépcsős elegyedés (C <sub>1</sub> , N <sub>2</sub> , füstgáz)	NC	> 0,3 (0,7-0,8) [0,75]	NC	(NC)	> 300	(NC)	<5 (< 0,5) [0,2]
Termikus elárastás							
Gőzelárastás**	Nagy porroztítású homok, homokkő	>0,4 (0,7-0,8) [0,72]	>200 (>1000) [2540]	<4500 (400-4500) [1500]		NC	<200000>150 (100-10000) [4700]

Művelési eljárás	Formáció típus	So [-]	K [mD]	Mélység			Olajviszkozitás [cP]
				H [ft]	Pr [bar]	Tr [°F]	
Föld alatti égetés**	Nagy porozitású homok, homokkő	>0,5 (0,7-0,8) [0,66]	> 200 (>500)	<11500 [3500]		>100 [135]	<1000 (10-1000) [1200]
Kémiai elárasztás							
Polimer	Homokkő	>0,5 [0,80]	>20 [800]	(NC)	(NC)	<200 [123]	<150>10 (1*-150) [85]
Micelláris – polimer	Homokkő	>0,35 [0,53]	>20 [450]	(NC)	(NC)	<175 [95]	<35 [6]
Lúgos	Homokkő	>0,35 [0,53]	>20 [450]	(NC)	(NC)	<200	<200 [15,5]

- Megjegyzés: ( ) kedvező paraméter  
 [ ] jelenlegi alkalmazás átlaga  
 \* ha „csak” a heterogén tároló homogenizálása a feladat  
 \*\* minimális rétegvastagság > 20 Ft  
 \*\*\* nem nagyon kritikus  
 \*\*\*\* nem kritikus

Néhány szót kell szólni az egyes művelési eljárások alkalmazását korlátozó tényezőkről is. Általában kijelenthető, hogy a bonyolult tárolófelépítés (nagyértékű heterogenitás, ismeretlen irányítottságú és dimenziójú repedésrendszer stb.) kedvezőtlen klimatikus és/vagy terepviszonyok (tengeri mezők, permafrost területeken elhelyezkedő telepek stb.), relatívan kis földtani vagyonyú tárolók stb. nem kedveznek egyik művelési eljárásnak sem, de különösen problematikusá teszik a külső energia segítségével történő művelési eljárások

alkalmazását. Eltekintve ezektől, az alábbiakban számba vesszük a művelési technológia alkalmazását korlátozó tényezőket, eljárásonként.

A klasszikus művelési eljárásoknál az egyedüli korlátozó tényező a kőolaj viszkozitása, a kedvezőtlen mobilitási arányszám.

Az EOR-módszerek alkalmazhatósági feltételei módszerenként mások és mások:

- A gázos elegyedő módszerek könnyű olajat és közepes, illetve nagy kiszorítási nyomást lehetővé tevő telepek esetén alkalmazhatók az elegyedési nyomás feltételeinek a biztosítása miatt, gyakorlatilag a litológiájától függetlenül.
- A termikus technológia általában kis és közepes mélységű, nagy porozitású homokkő, jó áteresztőképességű és bizonyos rétegvastagságot meghaladó ( $h > 20$  ft) közepes és nagy viszkozitású olajat tartalmazó tárolók esetén javasolt. Általában ott alkalmazzák, ahol a klasszikus módszerek nem adnak jó eredményt a kedvezőtlen mobilitási arányszám miatt. A szigorodó környezetvédelmi előírások nem kedveznek a termikus módszereknek (elsősorban gőzelárasztás).
- A kémiai módszerek alkalmazását korlátozza a kémiai oldatok termikus, a kőzet agyag- és kétértékű kation- (kalcium-, magnézium-) tartalma okozta degregáció és adszorpció stb. Ezért általában tiszta, homogén (kivétel polimer), jó áteresztőképességű homokkőekre javasolt technológia, amikor is az olaj viszkozitása kicsi vagy közepes.

A világirodalom feldolgozása alapján az egyes eljárások többleteredményét a vízelárasztásos technológiához viszonyítva a 6. táblázatban szemléltetjük (Pápay J. 2003). A 6. táblázat összeállításánál Chu C. (1977, 1982, 1983, 1985, 1987); Chang H. L. (1978); Lake L. W.–Pope G. A. (1979); Farouq A. S. M.–



Meldau R. F. (1979); Holm L. W. (1980); Mayer E. H.–Berg R. L.–Carmichael J. D. –Weibrandt R. M. (1983); Stalkup Jr. F. I. (1984); Needham R. B.–Doe P. H. (1987); Brock W. R.–Bryan L. A. (1989); Randall T. (1993); Bíró Z.–Pápay J. –Gombos Z. (1999); Turta A. T.–Singhal A. K. (2001) adatai kerültek feldolgozásra és elemzésre.

6. táblázat. Ipari EOR-eljárások többleteredménye

Művelési eljárás	Adatok száma	Többletkihozatal [%]	Megjegyzés
Elegyedő gázbesajtolás			
Egylépcsős elegyedés (CH)	9	9,9 (3,5–19)*	
Kondenzációs elegyedés (CH)	4	10,9 (3,1–27)	
Vaporizációs elegyedés (CH)	10	8,6	
Vaporizációs elegyedés (CO <sub>2</sub> )	23	12,2 (7,1–22)	
Termikus elárasztás			
Gőzelárasztás	13	38 (8–63)	Az alkalmazott esetekben a klasszikus eljárások átlagos kihozatala 10,5%
Föld alatti égetés	16	33,4 (11,6–68)	
Kémiai elárasztás			
Polimer	33	6,3 (0–30)	
Micelláris – polimer	22	13 (0–31)	Becsült kezdeti telítettség alapján
Lúgos	9	2,1 (0–8)	

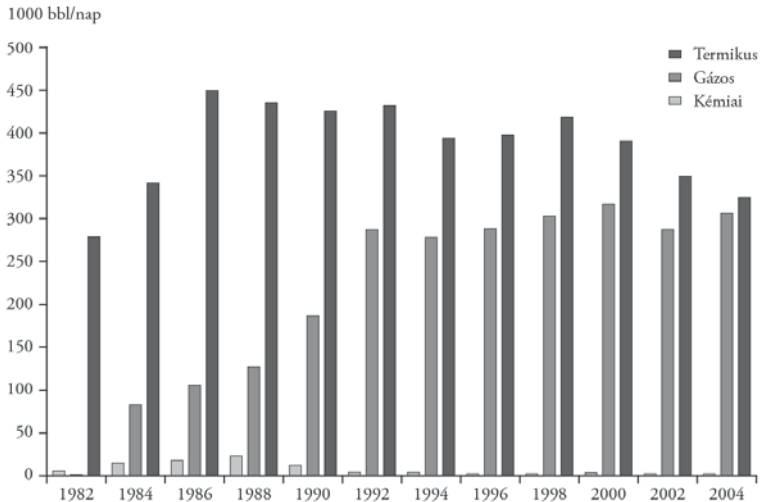
\* A zárójelben lévő számok az intervallumhatárok

A többletolaj önköltségét a vízelárasztáshoz viszonyítva az 1990-es ár-szinten Simandoux P., Champton D. és Valentin E. adatai alapján átdolgozva a 7. táblázat mutatja. Megállapítható, hogy a nagy kihatalt ígérő eljárások, az úgynevezett bonyolult hatásmechanizmusú módszerek fajlagos önköltsége a legnagyobb, amely végül is a módszerek ipari alkalmazásának feltételeit is meghatározza.

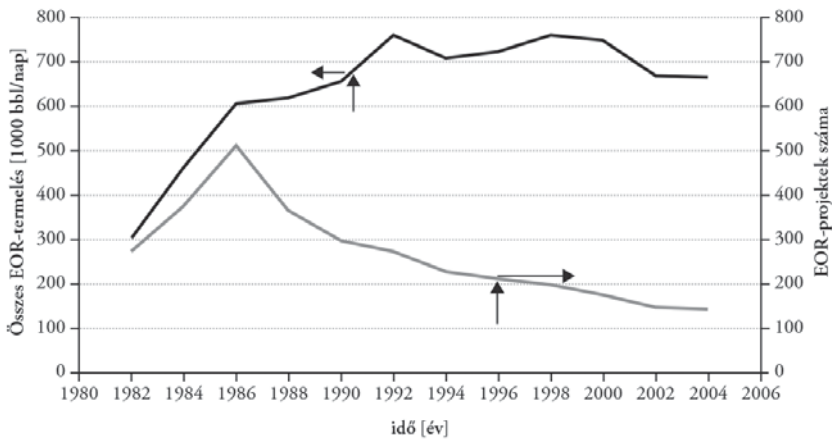
7. táblázat. EOR-eljárások végső kihatála és realív költsége a vízelárasztáshoz képest

Művelési eljárás	Végső kihatatal [%]	Relatív költség [-]
Természetes energiás művelés	5-25	0,5-0,8
Vízbesajtolás	32	1,0
CO <sub>2</sub> -besajtolás	41	4,7
Termikus	37	4,0
Polimer	39	3,3
Micelláris	52	7,9

Amennyiben az USA gyakorlatát mint etalont elfogadjuk az egyes műve-  
lési eljárások alkalmazhatóságát illetően, akkor az Oil and Gas Journal (2004)  
adatai szerint a 9. ábra szemlélteti a bonyolult hatásmechanizmusú (EOR- vagy  
kiemelt hatékonyságú) módszerek termelt olajmennyiségét, míg a 10. ábra mu-  
tatja az EOR-eljárásokkal termelt olaj mennyiségét és az üzemi alkalmazások  
számát. Megállapítható, hogy az EOR-eljárásokkal kitermelt olaj mennyisége  
2000-ig folyamatosan nőtt, majd ezt követően lassan csökken. Az üzemi alkal-  
mazások száma 1986-ig nőtt, majd ezt követően csökken: a nagy fajlagos költsé-  
gű technológiákat felszámolták az olajár világgpiaci áráról függően. Megmaradt  
projekteknél szerzett üzemi tapasztalatok bővülésével azok hatékonysága nőtt,  
és ez végül is az EOR-össztermelés növekedését eredményezte.



9. ábra. EOR-termelés az USA-ban



10. ábra. Összes EOR-termelés és a megvalósítások száma az USA-ban

A termikus művelés esetén a termelés zömét a kaliforniai gőzelárasztás adja, amely már érett stádiumba került, így ennek eredményeként lassan a termelt kőolaj mennyisége fokozatosan csökken. A termikus módszerek között a meleg vízzel és a föld alatti égetéssel kitermelt olaj mennyisége kisebb, mint 1-1%.

A gázélarasztásos módszerek ( $2/3$   $\text{CO}_2$ ,  $1/3$   $\text{CH}_4$ ) által termelt olaj mennyisége egy tízéves állandó ütem után jelenleg és a jövőben is várhatóan nő. Ez elsősorban a  $\text{CO}_2$ -s eljárás üzemi alkalmazási számának a növekedéséből adódik, és ezt jelentősen elősegíti a környezetvédelem miatti  $\text{CO}_2$  geológiai szerkezetekbe való elhelyezése, visszasajtolása, amelyet olajtermeléssel is kombinálnak. A kémiai eljárások alkalmazása az Egyesült Államokban csak potenciális lehetőség, mivel ipari alkalmazásáról gyakorlatilag nem beszélhetünk magas önköltsége miatt.

Egy-egy eljárás eredményessége nem csak a műszaki sikerességtől függ, mivel nem lehet attól elvonatkoztatni, hogy a megvalósítás milyen gazdasági környezetben történik, és azt gazdaságilag miként értékelik. Ezért nagyon nehéz a különböző gazdasági feltételek között alkalmazott eljárásokkal egy egységes adatbázisba beépíteni és referenciaként felhasználni. Meg kell jegyezni, hogy Kínában sikerült a polimeres elárasztást nagy méretben sikeresen megvalósítani (Yuan Shiyi – Hang Dong 2004); ezeket az eredményeket a kritikus szakma türelmetlenül várja. Vélhetően a polimeres elárasztás ipari alkalmazását illetően áttörés született Kínában.

### 3. FÖLDGÁZTELEPEK KITERMELÉSI ELJÁRÁSAI ÉS AZOK HATÉKONYSÁGA

A 21. századot metánkorszaknak nevezik tekintettel arra, hogy ebben az évszázadban egyre nagyobb lesz a részaránya a földgáznak a természetes előfordulású szénhidrogének mint energiahordozók között. Kezdetben a földgáz a kőolaj

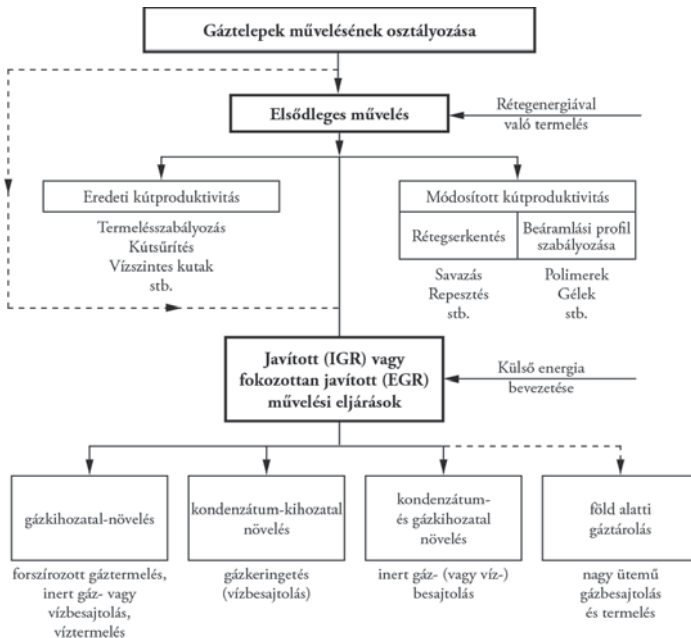
kellemetlen mellékterméke volt, és fáklyán elégették, mert a motorizáció alapjául a kőolaj szolgált. Az energiaigények rohamos növekedéséhez egyre inkább a földgázt mint energiaforrást vették, illetve veszik igénybe, mivel jó hatásfokkal elégethető, az égése automatizálható, a fosszilis tüzelőanyagok közül legkevésbé környezetszennyező, a vegyipar alapja, könnyen elektromos energiává alakítható stb. Mindehhez még azt is hozzá kell tenni, hogy a földgáz nagyságrendekkel nagyobb mozgékonyasága és kompresszibilitása miatt ugyanazt a hőegyenértéket tekintve sokkal kisebb ráfordítással ( $1/2-1/3$ ) termelhető ki, mint a kőolaj. Várhatóan 2020-ra a földgáztermelés kőolaj-egyenértékben meghaladja az olajtermelés mennyiségét.

### 3.1. Földgáztermelő eljárások osztályozása

A földgázkitermelő eljárások osztályozását a *II. ábra* szemlélteti (Pápay J. 1997). A földgáztelepeket aszerint osztályozzuk, hogy azok művelése a földtani adottságok adta természetes energiákkal vagy pedig valamilyen oknál fogva a tárolókba kívülről alkalmazott energia segítségével történik. A külső energia alkalmazása történhet földgázkihozatal és/vagy kondenzátumkihozatal növelése céljából. A külső energia felhasználásának egy speciális formája az energiahordozó tárolása, másképpen a föld alatti gáztárolás, amellyel itt nem foglalkozunk. A *7. és a II. ábra* összehasonlításából megállapítható, hogy a kőolaj-kitermelő eljárások a fluidumok eltérő fizikai, kémiai tulajdonságai miatt sokkal bonyolultabbak és így költségesebbek is.

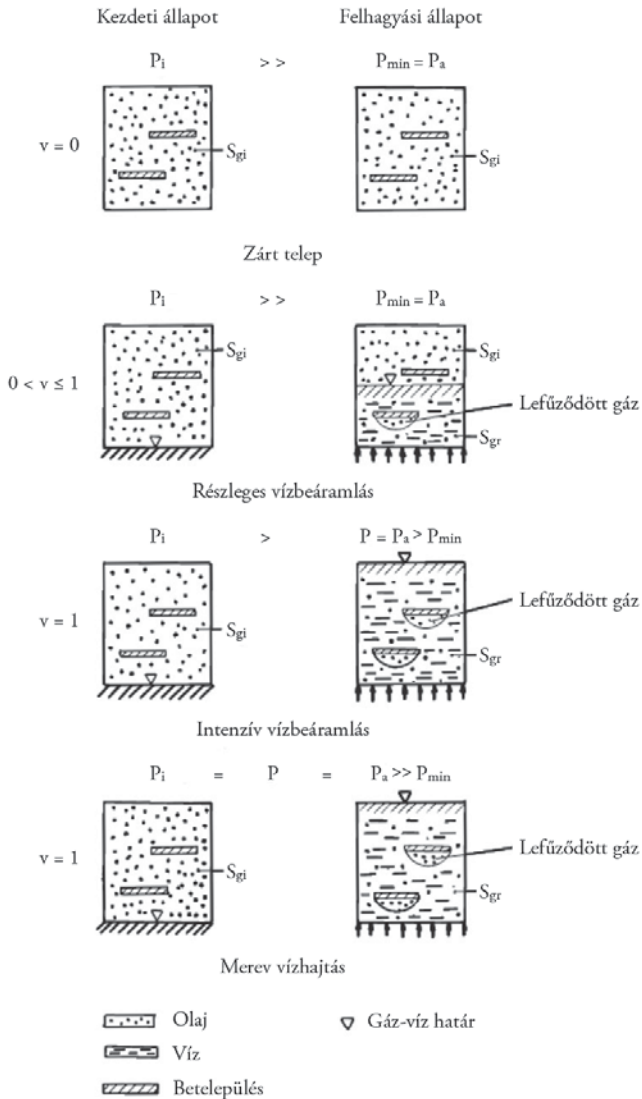
### 3.2. Művelési eljárások jellemzése

A művelési eljárások jellemzése és azok hatékonyságának növelése csak a telepek hidrodinamikai rendszerének és fázisviselkedésének alapján lehetséges. Pápay J. (1986, 1996, 1997, 1999) a földgáztelepeket a hidrodinamikai rendszer alapján a következőképpen csoportosította (*12. ábra*).



11. ábra. Gáztelepek művelésének osztályozása

- *Zárt telep:* a földgáztelep víztesttel nem rendelkezik.
- *Részleges víznyomású földgáztelep:* a földgáztelep korlátozott nagyságú víztesttel rendelkezik, amikor is a felhagyás végén a beáramló víz csak a telep egy részét árasztja el ( $v < 1$ ).
- *Intenzív víznyomású földgáztelep:* a földgáztelep már jelentős víztesttel rendelkezik, a felhagyás végén a telepet a víz teljes egészében elárasztja, de a felhagyási nyomás kisebb, mint a kezdeti nyomás ( $v = 1$ ).
- *Merev víznyomású földgáztelep:* a földgáztelep igen aktív aquiferrel rendelkezik, amikor is a telep vízzel történő elárasztása a kezdeti nyomáson történik ( $v = 1$ ).



12. ábra. Földgáztelepek típusai a hidrodinamikai rendszer szerint

A fázisviselkedés alapján a földgáztelepek jól ismert csoportosítása a következő:

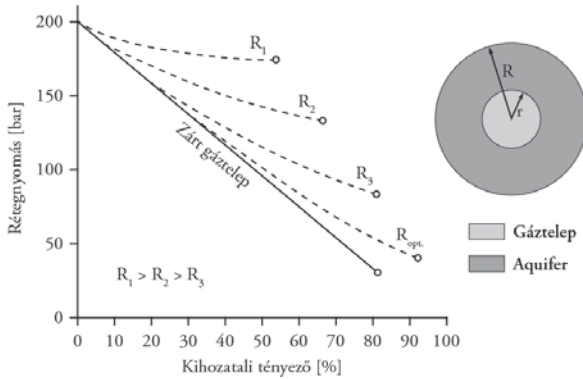
- *Száraz gázt tartalmazó földgáztelep:* a művelés alatti nyomás- (hőmérséklet-) csökkenés miatt a gázból sem a rétegben, sem a kútban, sem pedig az előkészítő egységben szénhidrogén-kondenzátum nem válik ki.
- *Nedves gázt tartalmazó földgáztelep:* nyomás- (hőmérséklet-) csökkenés miatt a kútban és a felszíni rendszeren megindul a szénhidrogén-kondenzátum kiválása.
- *Gázcsapadékot tartalmazó földgáztelep:* a földgáz-kondenzátum tartalma olyan nagy, hogy már a rétegben megkezdődik a kondenzátumkiválás a termelés okozta nyomáscsökkenés miatt, és ez már veszteséggént jelentkezik.

Hatékony művelési technológia megvalósításához mind a telepek hidrodinamikai, mind pedig a fázisviselkedését figyelembe kell venni. Ha a fázisemelkedés szempontjából csak azt tekintjük, hogy van-e a telepben kondenzáció, vagy nincs, akkor a művelési technológia szempontjából nyolc földgázteleptípust kell vizsgálni, és aszerint kell a technológiát kiválasztani és telepíteni.

### **3.2.1. Természetes energiás kitermelési eljárások**

A természetes energiás művelési eljárások hatékonyságát meghatározza a gázteleppel hidrodinamikai kapcsolatban lévő aquifer nagysága (és intenzitása) (13. ábra). Megállapítható, hogy minél nagyobb nyomáson árasztja el a tárolót a víz, annál nagyobb a gázvesztés, mivel a nagy nyomáson lefűződött gáz normál térfogatra átszámolva nagyobb veszteséget jelent, mint a kis nyomáson lefűződött. Kőolajtelep esetén ennek fordítottja igaz: minél több víz áramlik a tárolóba, annál több olajat szorít ki. A 8. és a 13. ábra összehasonlításából megállapítható, hogy a földgáztelepek kitermelési hatékonysága jóval nagyobb, mint a kőolajtelepeké.





13. ábra. Végző kihozatali tényező – víztestméret összefüggése

A fentiek könnyen megérthetőek, ha a (6) összefüggést felírjuk a földgáztelepre a következők figyelembevételével:

- földgáz esetén  $M \ll 1$ , így  $\eta_D = \eta_M$ ,
- a földgáz teleptérfogati tényezője a gáztörvény segítségével analitikusan kifejezhető.

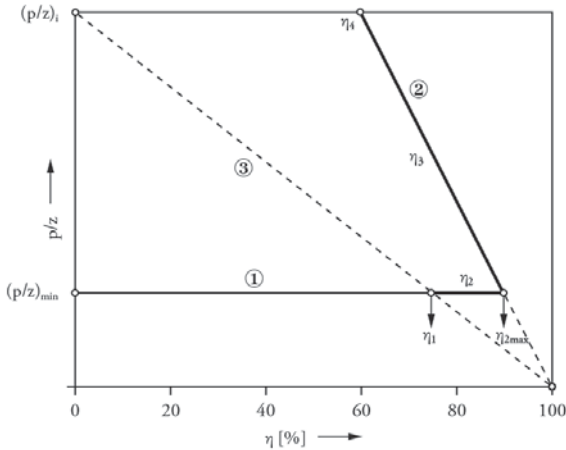
Ezekkel a megfontolásokkal Pápay J. (1986, 1996, 1997, 1999) a következő összefüggést vezette le:

$$\eta = 1 - (1 - \eta_w \eta_D v) \frac{Z_i p}{z p_i} \quad (9)$$

- ahol  $\eta$  – gázkihozatal,  
 $\eta_w$  – beáramlott víz térfogat-elárasztási hatásfoka,  
 $\eta_D = \eta_M = (S_{gi} - S_{gr}) / S_{gi}$ ,  
 $S_{gi}$  – kezdeti gáztelítettség,  
 $S_{gr}$  – maradék gáztelítettség,  
 $p_i$  – kezdeti rétegnyomás,

- $p$  – aktuális vagy felhagyási nyomás,
- $z_i$  – kezdeti nyomáson a gáz eltérési tényezője,
- $z$  – aktuális vagy felhagyási nyomáson a gáz eltérési tényezője,
- $v$  – vízelárasztás mértéke ( $0 \leq v \leq 1$ ).

A (9) összefüggés bármely hidrodinamikájú rendszerre megadja a kihozatali tényezőt (12. ábra). A földgáztelep művelése vagy azért fejeződik be, mert a rétegnomás minimálisra csökken, vagy pedig azért, mert teljesen elvizesedik. A (9) egyenlet alapján meghatározható a telepek hidrodinamikai rendszerétől függő kihozatali háromszög (14. ábra).



14. ábra. Végző kihozatal tényező „háromszög”

A földgáztermelés abbamarad, mivel a telepnomás minimális – 1. horizontális –, vagy teljesen elvizesedik – 2. ferde vonal. A 3. vonal jellemzi zárt telep esetén a kihozatal –  $p/z$  összefüggését. Az  $\eta_1$ ,  $\eta_{2max}$ ,  $\eta_4$  végpontok jelölik

a kihozatali háromszöget, ahol is:  $\eta_1$  zárt telep esetén a kihozatal,  $\eta_2$  részleges víznyomású telep ( $0 \leq v \leq 1$ ),  $\eta_3$  intenzív víznyomású telep,  $\eta_4$  a merev víznyomású telep kihozatala.

### 3.2.2. Külső energia felhasználásával (IGR, EGR) megvalósított művelési módszerek

Amennyiben a földgáztelep víznyomásos, akkor a rétegnyomás csökkentésével – lásd a (9) összefüggést vagy a 14. ábrát – a kihozatal nő. A rétegnyomás-csökkentést, amint a (10) egyenlet is mutatja (Pápay J. 1969–70, 1970, 1999, 2003), a beáramló víz kitermelésével és/vagy a gáztermelési ütem növelésével érhetjük el:

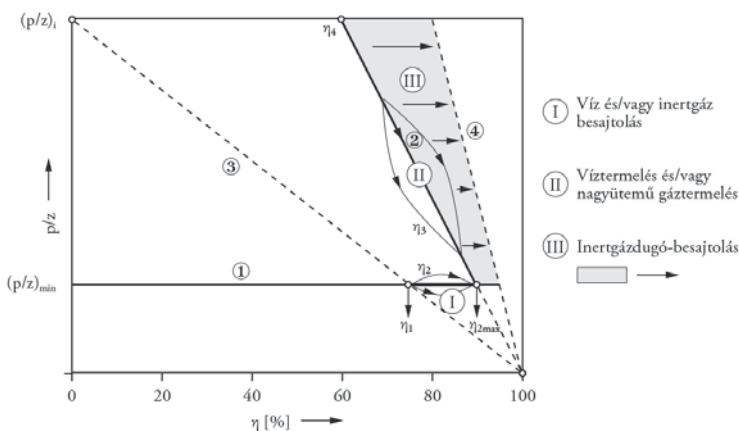
$$\frac{p}{z} = \frac{Q_i - \int q(\tau) d\tau}{V + W_p(\tau) - W_e(\tau)} \frac{p_0}{z_0} \frac{T}{T_0}, \quad (10)$$

- ahol:  $p$  – a rétegnyomás értéke  $\tau$  időpontban,  
 $z, z_0$  – eltérési tényező rétegműködésnél (aktuális rétegnyomáson), illetve referenciaállapotnál,  
 $T, T_0$  – réteghőmérséklet, illetve referencia-hőmérséklet,  
 $Q_i$  – kezdeti földtani gázvagyom,  
 $q(\tau)$  – gázkivétel üteme,  
 $V$  – gázos pórustérfogat,  
 $W_p(\tau)$  –  $\tau$  időpontig kitermelt víz kumulatív mennyisége,  
 $W_e(\tau)$  – aquiferből  $\tau$  időpontig beáramlott víz kumulatív mennyisége,  
 $\tau$  – termelési idő.

Amennyiben a gáztelep igen nagy, és intenzív víztesttel rendelkezik, akkor nagyon sok vizet kellene kiemelni ahhoz, hogy rétegnyomás-csökkentéssel mozgóképessé tegyük a lefűződött gázt, tehát az eljárás gazdaságtalan. Ha

a víztest kevésbé aktív, akkor a vízkiemelés alig ad többletgáztermelést. Tehát a közepesen intenzív aquiferrel rendelkező gáztelepek esetén alkalmazható a víztermeléssel történő kihozatalnövelés.

A megcsapolási ütem növelésének van műszaki és gazdasági korlátja. A műszaki korlátot a telep heterogenitása jelentheti, amíg a gazdasági korlátot a kiépítendő termelőkapacitás hatékony kihasználása jelenti. A 15. ábrán szemléltetjük a gázkihozatal-növelő eljárások megvalósítási realitásának sorolását a jelenlegi ismereteink szerint.



15. ábra. EGR–IGR módszerek

Amennyiben a telep zárt, vagy igen kevés víz áramlott be, akkor inertgáz-és/vagy vízbesajtolással a maradék gáz (összefüggő gázbuborék) 50–60%-a még kitermelhető, tehát a kihozatal tovább növelhető – I. Ha a telep közepesen intenzív aquiferrel rendelkezik, akkor vízkiemeléssel és/vagy intenzív gáztermeléssel (ha a kőzet homogén) a kihozatal tovább növelhető – II. Ha a telep művelése során a víz teljesen elárasztja a gáztelepet, különösen merev víznyo-

más esetén, akkor a beáramló víz elé inertgázdugó-besajtolás mint egy lehetséges technológia a gázkihozatal növelésére – III. A 4 ferde szaggatott vonal jelzi a hidrodinamikai rendszertől függő elméleti maximális kihozatalt.

Amennyiben a telep gázcsapadéktelep, és retrográd kondenzációra kell számítani, akkor ez nyomásfenntartásos műveléssel megakadályozható akár CH gáz (szárazgáz) vagy inert gáz, esetleg víz besajtolásával. Szárazgáz (kondenzátummentesített sajátgáz) besajtolása a kondenzátumkihozatalt, inert gáz besajtolása mind a gáz, mind a kondenzátumkihozatalának növelését eredményezi. A különböző eljárások hatásmechanizmusát a 8. táblázat foglalja össze.

8. táblázat. EGR/IGR földgázkitermelő eljárások mechanizmusa

Művelési eljárás		Nyomás-fenntartás	Nyomás-csökkentés	$S_{gr}$ csökkentése	Megjegyzés
1.	Gázkihozatal növelése			++	Inertgáz-besajtolás merev és intenzív vízbeáramlás esetén
			++		Nagy ütemű gáz- és/vagy víztermelés intenzív vízbeáramlás esetén
				++	Inertgáz- és/vagy vízbesajtolás zárt és/vagy részleges víznyomású gáztelep esetén
2.	Kondenzátumkihozatal növelése	++		(+)	Soványgáz- (vagy víz-) besajtolás
3.	Gáz- és kondenzátumkihozatal növelése	++		++	Inertgáz- (és/vagy víz-) besajtolás
4.	Föld alatti gáz tárolása	Megjegyzés: „energiatárolás” speciális formája			Nagy ütemű gáztermelés és besajtolás

### 3.3. A művelési eljárások alkalmazhatóságának műszaki és gazdasági feltételei

Amíg a kőolajtelepek esetén igen jó adatbázis áll a különböző művelési technológiák kvantitatív jellemzésére (Oil and Gas Journal, USA Department of Energy adatbázisa), addig ez a földgáztelepekre nem mondható el. Ettől függetlenül a földgáztelepekre megvalósított kihozatalnövelő eljárások kiértékelései, valamint az elméleti számítások alapján megbecsülhetők a várható eredmények.

Schafer P. S. – Hower T. – Owens R. W. (1993) II gázmező termelése alapján egy korrelációs diagramot közöl arra vonatkoztatva, hogy víztermeléssel és/vagy intenzív csapolással mekkora a várható többletkihozatal. A diagramot táblázatos formában közöljük (9. táblázat).

9. táblázat. Intenzív víznyomású földgáztelepek átlagos kihozatalnövelésének a lehetősége

Aquifer intenzitása [%]	Többletkihozatal [%]	Megjegyzés
0	0	Gyenge intenzív vízajtás Átlagos többletkihozatal: 3%
10	3 ± 5	
20	5 ± 1	
30	7 ± 1	
40	8 ± 2	Közepesen intenzív vízajtás Átlagos többletkihozatal: 9%
50	9 ± 2	
60	9 ± 2	
70	9 ± 2	
80	7 ± 1	Erősen intenzív vízajtás Átlagos többletkihozatal: 6%
90	4 ± 1	
100	0	

Pápay J. (1999) elméleti számításokkal megbecsülte, hogy víztermeléssel  $1 \text{ m}^3$  víz kitermelése esetén  $6\text{--}20 \text{ m}^3$  a kitermelhető gáz mennyisége. Ha a telep zárt, akkor a telepnyomástól függően  $1 \text{ m}^3$  víz besajtolása esetén  $15\text{--}30 \text{ m}^3$  a többletgáz mennyisége. Inertgáz-besajtolással  $1 \text{ m}^3$  inert gázzal kb.  $0,5\text{--}1 \text{ m}^3$  jó fűtőértékű gázt termeltethetünk. A gázcsapadék veszteségének megakadályozására alkalmazott nyomásfenntartásos technológia feltételeinek meghatározása sokkal bonyolultabb.

Tájékoztató adatként az eddig megvalósított technológiák és elméleti számítások alapján Pápay J. (1999) a gáz kondenzátumtartalmának alapján a technológia realizálásának feltételeit a 10. táblázat szerinti tartományban jelölte ki. Amennyiben a technológia off-shore-on (tengeri mező) valósul meg, a kondenzátumtartalom intervallumhatárai a 10. táblázatban jelölt értékekhez képest megkétszereződhetnek.

10. táblázat. Gázkeringetési technológia realitása

Eljárás megvalósításának realitása	A gáz kondenzátumtartalma [g/m <sup>3</sup> ]
Gazdaságtalan	<100
Gazdaságosság kérdéses	100–400
Gazdaságos	>400

## 4. A MŰVELÉSI ELJÁRÁSOK PERSPEKTÍVÁJA

Az ismert (igazolt) készletek a jelenlegi termelés és fogyasztás mellett kőolaj esetén 40, a földgáz esetén pedig 60 évig elegendőek, ez pedig az emberiség történetét tekintve nem hosszú időszak. A jelenleg gazdaságosan alkalmazható

eljárásokkal átlagosan figyelembe véve az eljárások hatékonyságát és részarányát a termelésben a kőolajvagyon (OOIP) 35%-át, a földgázvagyon (OGIP) 80–85%-át tudják kitermelni.

Már régóta megkongatták a vészharangot a készletek végeessége miatt. Az elmúlt 50 év adatai alapján (Fischer P. A. 2004) látható az, hogy a készletek nagyságának növekedési üteme ez idáig mindig meghaladta a kitermelés növekedésének az ütemét. A készletellátottság növekedésének több lehetősége van:

- Új geológiai szerkezetek felkutatása általában az eddigiéktől kedvezőtlenebb geológiai, éghajlati és terepviszonyok mellett (litológiai csapdák felkutatása még mindig problematikus).
- Nem konvencionális körülmények között felhalmozódott szénhidrogének kitermelése; gondoljunk az olajhomokra jelenleg kidolgozott SAGD- (steam assisted gravity drainage – gravitációs lecsapolás gőzelárasztással) technológiára, amelyet Kanadában alkalmaznak; ezzel a megoldással Kanada Szaúd-Arábia után a második lett a világon készletellátottság tekintetében (Moritis G. 2004). Másik lehetőség a nem konvencionális földgázfelhalmozások (pl. USA) termelésbe állítása.
- Technológiai fejlesztések segítségével a kutatási és mezőfejlesztési költségek 1/3-ra csökkentek, és az egy kútra eső vagyon hatszorosára nőtt (Felber B. J. 2003; Stosur G. J. 2003).
- A meglévő művelési technológiák továbbfejlesztése (Hanzlik E. J. – Mims D. J. – Felber B. J. 2003).
- A szakemberek integrált együttműködése (hatékony reservoir management).
- A fogyasztási szerkezet átalakítása, energiatakarékos technológiák alkalmazása (nem lehet cél bármely energiaigény kielégítése) stb.



A művelés hatékonyságnövelésének a jelentősége óriási, hiszen 1% kihozatalnövelés kőolaj-egyenértékben 6 milliárd m<sup>3</sup> kőolajat tartalmazó telep felfedezésének megfelelő a világ jelenleg ismert szénhidrogénvagyonát figyelembe véve. Ez a szám egyértelműen igazolja azt, hogy a legolcsóbb az értelmező-elemző munka a készletek növelése során kialakult „versenyfutásban”.

Mindezek a lehetőségek végül is azt eredményezik, hogy a természetes előfordulású szénhidrogének a 21. század közepéig minden bizonnyal az energiaellátás alapját jelentik, és szerepük a század végéig sem lesz elhanyagolható mértékű.

Az alábbiakban az előzőekben részletesen megvizsgált művelési technológiák alapján kísérletet teszünk annak elemzésére, külön-külön a kőolajra és a földgázra vonatkoztatva, hogy az egyes művelési technológiáknak mi a részaránya a készletellátottságban.

#### 4.1. Kőolajtelepek művelési módszereinek várható szerepe a készletellátottságban

Erre vonatkoztatva nincs egységes álláspont, a legszélsőségesebb nézetek nyilvánulnak meg. Egyik ilyen képtelen állítás például az, hogy ez idáig a kőolaj 1/3-át termelték ki, a maradék 2/3 megfelelő művelési technológiával hozzáférhető, a másik talán az, hogy 40 év múlva befejeződik a kőolaj termelése.

Az előzőekben tárgyaltak alapján egyértelműen látható, hogy a kőolaj ki-termelésének megvannak a geológiai, áramlástani, besajtott fluidum- és kőzet-, besajtott és kitermelt fluidumkompatibilitási korlátai és végül a gazdaságossági feltételei. Stosur G. J. (2003) előrejelezte mind az USA-ra, mind pedig a világra vonatkoztatva 2050-ig az egyes művelési eljárások részvételi arányát a kőolaj-termelésben (*II. táblázat*).

11. táblázat. A tényleges és a tervezett művelési eljárások az USA-ban és a világon

	USA maximum*						VILÁG maximum* EIA			
	1970		2000		2020		2037		2050	
	USA	VI-LÁG	USA	VI-LÁG	USA	VI-LÁG	USA	VI-LÁG	USA	VI-LÁG
Elsődleges	53	nincs adat	37	56	32	48	27	43	20	35
Másodlagos	45	nincs adat	51	40	54	44	57	47	62	51
Harmadlagos (EOR)	<2	nincs adat	12	<4	14 EIA	8	16	10	18	14

\* Maximális olajtermelés

Látható, hogy a klasszikus művelési módszerek szerepe a továbbiakban is domináló. Legkisebb, de el nem hanyagolható mértékű az EOR-eljárásokkal kitermelhető olaj mennyisége. Az utóbbi esetben várhatóan a gázos módszerek adják a legtöbb olajtermelést, majd ezt követően a termikus és végül a kémiai eljárások.

Mivel a klasszikus művelési módszerek legkevésbé érzékenyek a korlátozó feltételekre, ezért még a jövőben is a legáltalánosabban alkalmazzák. A kémiai eljárások ígérnek (speciális esetekben) a legnagyobb termelési potenciált, de az ipari bevezetés elterjedése késik (talán kivétel a kínai polimeres elárasztás). A rangsортól függetlenül minden egyes telepet külön-külön meg kell vizsgálni a szóba jöhető művelési technológia szempontjából.

## 4.2. Földgáztelepek művelési módszereinek várható szerepe a készletellátottságban

Mivel a földgáz viszkozitása nagyságrendekkel kisebb, a kompresszibilitása nagyságrendekkel nagyobb, mint a kőolajé, ezért a földgáz kitermelésének a hatékonysága jóval nagyobb. Ez azt jelenti, hogy a földgáztelepek leművelése természetes energiával is általában jó hatásfokú. A művelési hatékonyságnövelésének a lehetőségeit a (9) és a (10) egyenletek, valamint a 15. ábra egyértelműen szemlélteti.

Sajnálatos módon a földgáztelepek művelésével kapcsolatosan olyan adatbázissal, mint a kőolajtelepekre (Oil and Gas Journal vagy DOE of USA) nem rendelkezünk, de nem is szükséges ahhoz, hogy megbecsüljük azt, hogy az egyes művelési módszereknek mi lesz a részvételi aránya a termelésben.

A klasszikus földgáztelepek művelésénél várhatóan továbbra is domináló a természetes energiával történő művelés kb. 90–95%-ban, amíg az energiabevitellel történő leművelés (EGR, IOR) részaránya hosszú távon sem fogja meghaladni az 5–10%-ot.

## 4.3. A kitermelés várható hatékonysága

Ha a különböző művelési eljárások részarányát az előzőek szerint a termelésben elfogadjuk, akkor várhatóan 50 év időtávlatban:

- a kőolajtelepek átlagos kitermelési tényezője a jelenlegi 35%-ról 40%-ra emelkedik, ha ezen felül egyes eljárások hatékonyságát kutató, elemző és értelmező munkával 5%-kal emelik, akkor sem fogja elérni az 50%-os átlagos kitermelési tényezőt;
- a földgáztelepek kitermelési hatékonysága számottevően nem emelkedik, továbbra is domináló lesz a természetes energiával történő művelés.

# ÖSSZEFOGLALÁS

- a) A kőolaj- és földgáztelepek különböző művelési eljárásainak hatásmechanizmusa egységes elméleti alapon levezethető, és hatékonysága reálisan értékelhető.
- b) Az adott kitermelési eljárás hatékony realizálása csak a művelési módszerek szinergiájának meghatározásával lehetséges, megértve a technológia általános és specifikus tulajdonságait.
- c) A klasszikus szénhidrogéntelegek művelését tekintve készletutánpótlásban meghatározó szerepe lesz továbbra is:
  - az új földtani szerkezetek felkutatásának,
  - a klasszikus művelési eljárások hatékony alkalmazásának,
  - EOR-, EGR/IGR módszerek fejlesztésének,
  - elemző és értelmező, valamint kutatómunkának,
  - energiatakarékos fogyasztói szerkezet kialakításának.
- d) A kőolajtelepek leművelése esetén a termelésben az egyes művelési eljárások részvételi aránya 50 éves távlatban várhatóan a következő: klasszikus víz- és gázbesajtolás: 50%, természetes energiával történő művelés: 35% és az EOR-eljárások részaránya: 15%.
- e) A földgáztelepek kitermelése esetén ebben az időtávlatban a természetes energiával történő termelés továbbra is domináló kb. 90–95%-ban, a külső energiával történő művelés részaránya pedig várhatóan 5–10%.

# IRODALOM

- Bíró, Z. – Pápay, J. – Gombos, Z.: Practical Results of CO<sub>2</sub> Flooding in Hungary. *Kőolaj és Földgáz*, 1999, 65–71.
- Brock, W. R. – Bryan, L. A.: Summary Results of CO<sub>2</sub> EOR Field Tests 1972–1987. *SPE* 18977, 1989.
- Chang, H. L.: Polymer Flooding Technology – Yesterday, Today and Tomorrow. *JPT*, 1978, 1123–1128.
- Chu, C.: A Study of Fire-flood Field Projects. *JPT*, 1977, 111–120.
- Chu, C.: State of the Art of Review of Steam flood Field Projects. *JPT*, 1982, 19–36.
- Chu, C. – Crawford, P. B.: *Improved Oil Recovery (In Situ Combustion)*. Interstate Oil Compact Commission, Oklahoma City, Oklahoma, 1983.
- Chu, C.: State of the Art of Review of Steam flood Field Projects. *JPT*, 1985, 1887–1902.
- Chu, C.: *Petroleum Engineering Handbook*. Editor in Chief: Bradley H.B., SPE Series, Richardson, TX., USA, 1987.
- Farouq, A. S. M. – Meldau, R. F.: Current Steam Flood Technology. *JPT*, 1979, 1332–1342.
- Felber, B. J.: *Selected U.S. Department of Energy's EOR Technology Applications*. SPE International Improved Oil Recovery Conference, SPE 84904, Kuala Lumpur, Malaysia, 20–21 October, 2003.
- Fischer, P. A.: Editorial Comment. *World Oil*. 2004, 7; 17.
- Hanzlik, E. J. – Mims, D. S.: *Forty Years of Steam Injection in California – The Evolution of Heat Management*. SPE International Improved Oil Recovery Conference, SPE 84848, Kuala Lumpur, Malaysia, 20–21 October, 2003.
- Holm, L. W.: Status of Micellar-Polymer Field Tests – Another View. *Petroleum Engineer International*, 1980, 110–116.
- Lake, L. W. – Pope G. A.: Status of Micellar-Polymer Field Tests. *Petroleum Engineer International*, 1979, 38–60.
- Mayer, E. H. – Berg, R. L. – Carmichael, J. D. – Weibrandt, R. M.: Alkaline Injection for Enhanced Oil Recovery. A Status Report. *JPT*, 1983, 209–221.
- Moore, T. F. – Slobod, R. L.: The Effect of Viscosity and Capillarity on the Displacement of Oil by Water. *Prod. Monthly*, 1956, 20–30.
- Moritis, G.: Oil Sands Boom. Oil Sands Drive Canada's Oil Production Growth. *Oil and Gas Journal*, 2004, 15; 43–52.
- Needham, R. B. – Doe, P. H.: Polymer Flooding Review. *JPT*, 1987, 1503–1507.
- Oil and Gas Journal: EOR Continues to Unlock Oil Resources. 2004, 45–64.
- Oil and Gas Journal: EOR Increases 24% World Wide, Claims 10% of U.S. Production. 1992, 51–79.
- Pápay, J.: How does Cushion Gas Determine Technological, Technical, Economical Parameters of Underground Gas Storage. *Scuole Enrico Mattei (Final Work for Post Graduate Diploma)*, Milano, 1970.

- Pápay J.: Párnagáz szerepe a földalatti gáztárolásban. *OGIL Műszaki Tudományos Közleményei*, 1970, 183–190.
- Pápay, J.: Additional Recovery of Gas Reservoir. *Kőolaj és Földgáz*, 1986, 283–287.
- Pápay, J.: *Classification of Gas reservoirs*. OMBKE Technical Conference of Petroleum Engineers, Tihany, Hungary, 1996. September 25–28.
- Pápay, J.: Engineering Aspects of Underground Gas Storage. *Kőolaj és Földgáz*, 1996, 285–291.
- Pápay, J.: Gas Recovery and the Hydrodynamical System of a Gas Reservoir. *Kőolaj és Földgáz*, 1997, 97–100.
- Pápay, J.: *Improved Natural Gas Recovery*. International Energy Agency Collaborative Project on Enhanced Oil Recovery August 31–Sept 3, 1997, Copenhagen, Denmark.
- Pápay, J.: *Improved Recovery of Conventional Natural Gas Reservoirs*. Progress in Mining and Oilfield Chemistry, Vol. 1. Editor in Chief: I. Lakatos, Budapest, 1999, Akadémiai Kiadó.
- Pápay, J.: *Improved Recovery of Conventional Natural Gas*. Part I. and II. Erdöl, Erdgas, Kohle, 1999, 302–308; 353–355.
- Pápay, J.: *Development of Petroleum Reservoirs*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 2003.
- Pápay, J.: *Estimation of Residual Saturation in Special Cases*. 25<sup>th</sup> Annual Workshop & Symposium IEA Collaborative Project on EOR, 2004 September 5–8, Stavanger, Norway.
- Randall, T. A.: Simplistic Evaluation of over 30 Years Horizontal Hydrocarbon Solvent Performance in Alberta. *J.Ca.P.T.* 1993, 19–23.
- Schafer, P. S.–Hower, T.–Owens, R. W.: *Managing Water Drive Gas reservoirs*. Gas Research Institute, 1993.
- Simandoux, P.–Chapton, D.–Valentin, E.: Managing the Cost of Enhanced Oil Recovery 1990 *Revue de L'Institut Francais du Petrole*, Janvier-Février Vol. 45, No. 1, 131–139.
- Stalkup Jr., F. I.: Miscible Displacement. *SPE-Series*, New York–Dallas, 1984.
- Stosur G. J. EOR: *Past, Present and What the Next 25 Years May Bring*. SPE. International Improved Oil Recovery Conference 20–21 October, 2003, Kuala Lumpur. Malaysia. SPE 84864.
- Taber, J. J.–Martin, F. D.–Seright, R. S.: EOR Screening Revisited. Part 1., Part 2. *SPE*, 1997, 189–498, 199–205.
- Turta, A. T.–Singhal, A. K.: Reservoir Engineering Aspects of Light-oil Recovery by Air Injection. *SPE Reservoir Evaluation and Engineering*, 2001, 336–344.
- Yuan, Shiyi, Han, Dong: *Field Test Performance of Polymer Flooding in China 2004*. 25<sup>th</sup>. Annual Workshop & Symposium Collaborative Project on Enhanced Oil Recovery International Energy Agency. September 5–8, 2004, Stavanger, Norway.
- Welge H. J.: A Simplified Method for Computing Oil Recovery by Gas and Water Drive. *Trans. AIME*, Vol. 195, 1952, 91–98.

Erdy János  
Bochtovich Ruffözse

Wenzel Gusztáv

Jábiar Gabon

Nagy János

Terintetes Nagygyűlés! Arany János

Minia felemelő szabályainak 32. §-a egy szót:  
Mindem sijnomon választott tag, a külső kövétel  
lével, osztályába tartozó dolgotat felolvasásával,  
vagy személyes meg nem jelenhetős esetén beüldé  
sével, legfeljebb egy év alatt sörét foglat; külsőben meg  
választása meg nem működően:

Tehetnek esetek, melyekben kivált vidéken la  
kolé gátolhatna a határidőt megtartani: de hallga  
tag elvérsni e szabály meg nem tartatását, amlyet  
tesz, mint összes szabályzatunkat erőltetve terintetes  
át sörétséglen. Indítványba hozatik tehát, hogy egyelőre a  
határidőt s sörétfoglatás által meg nem  
határoztassék, az 186

