

## A prognosztikus szénhidrogénvagyon becslési bizonytalanságának és geológiai kockázatának elemzése

SZILÁGYI Imre

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék,  
H-1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C. E-mail: iszilagyi@outlook.com

### *Evaluation of the uncertainty and the geological risk in prognostic petroleum resource assessments*

#### Abstract

Prognostic petroleum resources are unexplored quantities of potential subsurface hydrocarbon accumulations. Play assessment is considered to be the up-to-date industry standard methodology of petroleum prognosis. It involves analyses of source rock development and maturation, hydrocarbon migration, development of recoverable reservoirs, efficient sealing and the formulation of traps. The analyses, with the consideration of several modifying factors, may result in the estimation of future recoverable quantities and the associated geological risks.

According to industrial guidelines and company practices the quantities are probability variables with log-normal distribution. Using Monte-Carlo simulation the P90, P50 and P10 volumes can be obtained while deterministic calculations give the Low, Best and High Estimates (LE, BE, HE). Guidelines suggest it is best to deal with the range of the uncertainty as it is defined by the P90/P10 or alternatively by the LE/HE values. Without challenging the viability of the approach the study proposes a consideration the measure of the uncertainty instead, numerically defined by the standard deviation relative to the mathematical Mean.

Geological risk is the complement of geological probability that provides the opportunity for a working petroleum system to be assessed in a given play segment. For the geological probability assessment of prognostic resources the study suggests implementing the Common Risk Segment (CRS) mapping methodology; this is commonly used by oil companies for the geological evaluation of the remaining hydrocarbon potentials in their study areas. For prognostic resources however the CRS probabilities may be multiplied by the chances of success of finding at least one drillable prospect. The total Probability of Success (PoS) then gives informations about the chance of future discoveries while the product of the Mean prognostic volume and the PoS gives the Mean Success Volume (MSV).

The prognostic petroleum resource assessment is the primary interest of government agencies which are in charge of exploration concession strategies and the supplying of inputs to long-term energy policies. The value of future concession areas can be determined based on the Mean of the prognostic recoverable volumes, the relative standard deviation describing the uncertainty and the Probability of (future exploration) Success. The prognostic MSV serves as the basis for the long-term forecasting of domestic production while the relative standard deviation makes possible for the risk analysis of energy policy scenarios.

*Keywords: petroleum prognosis, prognostic resources, play analysis, estimation uncertainty, geologic risk*

#### Összefoglalás

A még felfedezésre váró olaj és gáz felhalmozódásokban sejthető nyersanyagmennyiség a prognosztikus szénhidrogénvagyon. A szénhidrogénprognózis napjainkban elterjedt módszertana a play-analízis, amely az anyaközetek kifejlődésének és éretéstörténetének, a termeltethető tároló kialakulásának, valamint a záróképződmények és a csapdaszerkezetek létrejöttének a folyamatait írja le. Az elemzés eredményeképp, megfelelő korrekciók figyelembe vétele mellett megbecsülhető a még felfedezésre váró vagyon kitermelhetőnek tekinthető része, valamint a vagyon-mennyiség geológiai kockázata.

Mértékadó iparági útmutatók és a vállalati gyakorlat szerint a vagyon mennyisége log-normális eloszlással leírható valószínűségi változó. Probabilisztikus módszert (Monte-Carlo szimuláció) használva az eloszlás P90, P50 és P10 valószínűségi értékei, míg determinisztikusan a pesszimistán (LE), legnagyobb valószínűséggel (BE) és optimistán (HE) becsült értékek határozhatók meg. Az iparági útmutatók a vagyonbecslés bizonytalanságának szemléltetésére a bizonytalanság terjedelmének a P90/P10, illetve a LE/HE értékek rögzítésén keresztüli bemutatását ajánlják.

Tanulmányunkban — nem vonva kétségbe a terjedelem alkalmazásának szakszerűségét — felvetjük, hogy a bizonytalanság mértékének megragadására talán alkalmasabb és közérthetőbb lenne a mennyiségeloszlás matematikai középértékére (Mean) vonatkoztatott relatív szórás értéke.

A geológiai kockázat komplementere, a geológiai valószínűség megadja, hogy a play egy körülhatárolt szegmensében mekkora eséllyel számíthatunk arra, hogy a szénhidrogén-képződési folyamatok termeltethető mennyiségű vagyon felhalmozódásához vezettek. A prognosztikus vagyon geológiai valószínűségének becslésére az olajvállalatok gyakorlatában elterjedt „közös kockázati szegmens” (CRS) térképezés módszertanát ajánljuk. Az így kiszámolt geológiai valószínűséget a sikeres prospekt-lehatárolás esélyével megszorozva a prognosztikus vagyon felfedezésének a sikeresélyét (PoS) kapjuk, míg a vagyon matematikai várható értékének (Mean) és a felfedezési sikeresélynek a szorzata a kockázattal súlyozott várható értéket (MSV) adja meg.

A prognosztikus vagyonbecslés a kutatási koncessziós stratégia kialakításáért felelő és a hosszú távú energiapolitik elkészítéséhez adatokat szolgáltató állami (bányászati) intézményrendszer feladata és érdeke. A koncessziós kutatásra kijelölendő területek értékét a kitermelhetőnek vélt prognosztikus vagyon mennyisége (Mean), a becslési bizonytalanság mértékét leíró relatív szórás és a jövőbeni kutatási sikeresély (PoS) együttes elemzésével határozhatjuk meg. A prognosztikus, kutatási kockázattal súlyozott vagyon várható értéke (MSV) alapján tehetünk becslést a jövőbeni hazai termelésből származó szénhidrogénmennyiségre, míg a relatív szórás az energiapolitikai scenáriók kockázat-elemzéséhez és az érzékenységvizsgálatok elvégzéséhez nyit utat.

*Tárgyszavak: szénhidrogénprognózis, prognosztikus vagyon, play analízis, becslési bizonytalanság, geológiai kockázat*

„... már sokszor hittük azt, hogy elfogynak az olajkészletek,  
pedig csak a geológusok ötletei fogytak el ...”

Michel T. HALBOUTY

## Bevezetés

Az üzleti vállalkozásokként működő vállalatok tulajdonosaik elvárásainak megfelelően, folyamatosan és meghatározott szabályok szerint értékelik a tevékenységükkel együtt járó kockázatokat. A kockázateértékelés módszertanának támaszkodnia kell a vállalat által végzett tevékenységek szakmaspecifikus alapjaira. Az olajipar kutatással és termeléssel foglalkozó szegmensében (*upstream*) a talán legfontosabb üzleti kockázat az ásványvagyon mennyiségével és a mennyiség meglétének valószínűségével kapcsolatos. A kockázatelemzés szakmai alapját a szénhidrogénföldtan, a rezervoár-geológia és a geomatematika (geoprobabilisztika) szolgáltatják.

A kutatás alatt álló prospektív (*prospective*), a találat utáni értékelés alatt lévő (*contingent*), a termelésbe állítandó és állított (*undeveloped, developed*) vagyonok mennyisége szubjektív szakértői értékelés révén becsült adat, amely valószínűségi változóként ragadható meg. A mennyiségbecslések geológiai okokra visszavezethető bizonytalansága (*uncertainty*) kihat az üzleti kockázatra, hiszen — a témát egy kissé leegyszerűsítve, és a részletekbe itt és most szándékosan nem belemerülve — belátható, hogy minél nagyobb a bizonytalanság, annál nagyobb lehet a valószínűsége annak, hogy a kutatásba, mezőfejlesztésbe és termelésbe investált összegek nem fognak megtérülni. A prospektív és részben a találatot követő értékelés (*appraisal*) alatt álló ásványvagyon a mennyiségből eredő kockázatoságon kívül a geológiai kockázat (*geological risk*) is jellemzi, amelyet az említett vagyonok gazdaságossági vizsgálatában szintén figyelembe vesznek.

Közel sem ennyire letisztult a kép a prognosztikus szénhidrogénvagyon (*prognostic resource*) mennyiség becslési

bizonytalanságainak (kockázatoságának) és geológiai kockázatainak értékelésekor. Amennyiben elfogadjuk, hogy a prognózis készítésének időpontjában hatályos kutatási koncessziók szénhidrogénvagyon a prospektív vagyon kategóriába sorolandó, akkor kijelenthető, hogy a prognosztikus vagyonnal nem az olajvállalatok, hanem az állam gazdálkodik. Ebből következik, hogy a prognosztikus szénhidrogénvagyon — adott állapotában meglévő — értéke az államnál csapódik le. Bár az érték számszerű meghatározása — szemben a nem prognosztikus vagyonok vállalati értékének kiszámításával — számos nehézségbe ütközik, belátható, hogy a prognosztikus vagyon a becsült mennyiség várható értékével egyenesen, míg a becslési bizonytalanság nagyságrendjével és a vagyon meglétének geológiai kockázatával fordítottan arányos.

A prognosztikus szénhidrogénvagyon — amellet, hogy a fentiek értelmében állami vagyongazdálkodási elem — közép- és hosszú távú energiapolitikai stratégiák bemenő adata is lehet. A mennyiség várható értéke, annak becslési bizonytalansága és geológiai kockázata orientálhatja a gazdaságpolitikai döntéshozókat egy optimális „energia-mix” kialakításában, illetve a stratégiai verziók kockázatkezelési terveinek kidolgozásában.

Mind a szénhidrogén kutatási koncessziós, mind pedig az energiapolitikai stratégiák állami „tulajdonlása” azt sugallja, hogy a prognosztikus vagyon felmérése és értékelése állami feladat kell, hogy legyen. Mivel a feladat a szénhidrogénföldtan szakmai bázisán nyugszik, ezért azt hozzáértő, adekvát módszertannal rendelkező és megfelelő eszközzel felszerelt állami háttérintézményekre lehet bízni. Jelen tanulmányban — a teljesség igénye nélkül hivatkozva néhány mértékadó és publikus nemzetközi forrásmunkára — a prognosztikus szénhidrogénvagyon-becslés módszertanának elemzésére tesztek kísérletet, beemelve számos, az olajvállalati gyakorlatban a nem prognosztikus vagyonok vonatkozásában meghonosodott, de a prognosztikus vagyonok értékelésekor is felhasználható elemet. A tanulmány a hagyományos (konvencionális) szénhidrogén-

előfordulások prognózisára szorítkozik, fókuszában a vagyonbecslés bizonytalanságára és geológiai kockázatára.

### A prognosztikus szénhidrogénvagyon meghatározása

A prognosztizálás a prognosztikus vagyon becslésére, a szénhidrogénrendszer kialakulásának tér- és időbeni modellezésére irányuló folyamat, amely az anyakőzet keletkezésének, érésének és migrációjának, a tároló kialakulásának és a szénhidrogének csapdázódásának leírását foglalja magában. A prognózis ismeretességi szintjén a szénhidrogénrendszer alapegysége a *play*. A *play*-analízis folyamatalapú megközelítésben a *play*-szintű szénhidrogénrendszer létrejöttét kontrolláló tektono-sztratigráfiai eseménysort vizsgálja. Az elemzés során a potenciális anyakőzetek keletkezésére, termikus éretörténetére, a tárolókőzetek keletkezésére és a tárolókőzetekbe migráló szénhidrogének csapdázódására fókuszálunk.

Az anyakőzetek (*source rocks*) prognosztikus szempontú vizsgálata az ekként számba vett litosztratigráfiai egység (egységek) képződésére, süllyedés- és hő-történeti modellezésére (TISSOT & WELTE 1978) irányul. Az egységnyi térfogatra eső teljes szervesanyag-tartalom (*TOC*) és a képződésmények vastagságviszonyainak ismeretében, a süllyedéstörténeti modell figyelembe vétele mellett megbecsülhető az anyakőzet fajlagos generáló kapacitása (*expulsion capacity*), amelyből a kőzet elterjedésének ismeretében meghatározható az érés idején, az elsődleges migráció során kibocsátott szénhidrogén mennyisége.

Az anyakőzet vizsgálattal párhuzamosan elvégzendő feladat a *play* tároló kőzeteinek (*reservoir rocks*) leírása és térképezése (elterjedés- és vastagságtérképeinek megszerkesztése). Az anyakőzetek és a tároló kőzetek tér- és időbeli kapcsolatrendszerének elemzése, a migrációs utak (*migration pathways*) geológiai és hidrodinamikai modellezése révén megbecsülhető a tároló kőzetekbe potenciálisan eljutott és az anyakőzetből generálódott szénhidrogén-fluidum mennyiségek aránya, a *play* migrációs kapacitása (*migration capacity*).

Az elsődleges migráció során generált szénhidrogénmennyiséget a migrációs kapacitással megszorozva adódik a *play* tároló kőzeteibe eljutott mennyiség. Nyilvánvaló, hogy a tároló kőzetbe migráló szénhidrogén egy része a csapdázódási feltételek hiánya miatt a tároló kőzetből tovább is migrálhat. Minimális csapdázódási feltételként kell számba vennünk az impermeábilis záróképződmények (*seal rocks*) tároló kőzeteket fedő pozícióban való meglétét. Az ilyen helyzetű tárolókőzet-összletre egy átlagos effektív porozitásértéket becsülve megadható a szénhidrogén befogadására alkalmas hézagterefogat. Amennyiben a fedett helyzetű tároló teljes egészében csapdákban állna és a migráló szénhidrogén mennyisége és migrációs nyomása elegendő lenne a hézagterefogatban elhelyezkedő fosszilis rétegvíz teljes kiszorítására, a felhalmozódott földtani (*in-place*) szénhidrogénvagyont éppen az előbbi módon becsült

hézagterefogattal lenne egyenlő. Ezek a feltételek nyilvánvalóan egyetlen *play* esetében sem teljesülnek. A szénhidrogének kizárólag a *play* potenciális felhalmozódási zónáihoz köthető csapdákban halmozódhatnak fel, és a szénhidrogén fluidumok migrációból adódó felhajtóereje a csapdák jó része esetében nem elegendő nagyságú a csapda tárolókőzet-fogatában lévő víz teljes kiszorítására. A fázishatár pozíciója és a fázishatár fölötti szénhidrogén-telítettség mértéke a migrációs nyomás és a csapda tárolókőzetének kapilláris nyomásviszonyai függvényében alakul ki (BERG 1975).

A potenciálisan felhalmozódó földtani vagyon meghatározásához tehát becsülnünk kell a *play* csapdáinak számát, a csapdák átlagos méretét, a csapdák feltöltöttségének mértékét valamint tárolókőzeteinek átlagos effektív porozitását és a potenciális felhalmozódások szénhidrogén-telített fázisainak átlagos telítettségét. Az ilyen módon becsült szénhidrogén-mennyiségek összessége a *play* potenciális földtani vagyona. Értelemszerűen ennek a mennyiségnek a töredékének kell lennie annak, amennyit szénhidrogén-terefogatgenetikai és -migrációs alapon a *play* tárolókőzeteinek egészére meghatároztunk. A mennyiségek arányának — az arányszám terjedelmének — elfogadhatóságáról a *play* szénhidrogén-földtani modelljével alátámasztott szakértői megfontolások alapján, szubjektív módon dönthetünk.

A *play* potenciális földtani vagyontól a már felfedezett és aktuálisan kutatás alatt lévő előfordulások ismert, vagy ismertnek feltételezett kezdeti földtani vagyontól levonva adódik a prognosztikus földtani vagyon, azaz az a mennyiség, amelyet a jövőbeni kutatások során a koncessziókat majdan elnyerő vállalatok felfedezhetnek. Az aktuális prognosztikus vagyon meghatározásakor figyelemmel kell lenni arra, hogy a kutatás-termelési koncessziók aktuális tulajdonosai, az olajvállalatok egyrészt a kutatási-mezőfejlesztési programok előrehaladása, másrészt a termelésbe állított ásványvagyommennyiségek folyamatos revíziója miatt a kezdeti földtani vagyontól értékeiket időről időre megváltoztatják. A prognosztikus földtani vagyon mennyiségbecslését ezekhez a természetes változásokhoz kell igazítanunk. Komoly nehézséget okozhatnak ezen a téren a vállalatok vagyonbecslési módszertanának eltérései, valamint, hogy az aktuálisan koncessziós kutatás tárgyát képező földtani vagyontól az olajvállalatok — a mennyiségek üzleti titok volta, és befektetők érdekének védelme miatt — nem adhatnak tájékoztatást. Utóbbit illetően nincs más megoldás, mint hogy a kutatás alatt lévő földtani vagyont — mintegy a prognosztikus részeként — az állami prognosztizáló intézmény szakembereinek a kutatóvállalatoktól függetlenül is el kell végezniük, célszerűen a koncessziós területek lehatárolásakor, azok meghirdetése előtt.

A prognosztikus szintjén nehezen kezelhető kérdés a földtani vagyon felfedezés után kitermelhetőnek tekinthető részének (hazai nomenklátúra szerint az ipari vagyonnak) a meghatározása is. A nem prognosztikus, kiemelten a már megkutatott szénhidrogénvagyont esetében ipari vagyonnak az értékelés idején rendelkezésre álló, vagy különösebb kockázatok nélkül rendelkezésre állítható technológiával felszínre hozható mennyiséget értjük (SPE/WPC/SPEE 2007). A technológia természetesen a telep paramétereire

szabott. A play szintjén — még egy, a play-en belüli, viszonylag homogén geológiájú felhalmozódási zóna szintjén is — akár többféle teletípussal találkozhatunk, amelyekre relevánsan eltérő lehet az alkalmazandó kitermelési technológia, ebből következően az egységnyi földtani vagyonra eső kitermelhető mennyiség, a kizozatali tényező (*recovery factor*) is. Ezen felül a prognosztikus vagyonnál azt is figyelembe kell venni, hogy ezt a vagyont majd valamikor a jövőben fogják (esetleg) megtalálni, amikor a kitermelési technológiák minden bizonnyal egy, a vagyonértékelés idején nehezen becsülhető szintre fognak fejlődni. Az adódó dilemmákat a becslési részletezettségnek a prognózis szintjéhez illeszkedő beállításával és egyfajta becslési konzervatívizmus alkalmazásával kezelhetjük: a kizozatali tényezőket adjuk meg a vizsgált play-ekre prognosztizált teletípusokra vonatkozó, analógiák (ismert szénhidrogéntelepek) alapján becsült átlagértékeként oly módon, hogy eltekintünk a kitermelési technológiák jövőbeni fejlesztéséből adódó kizozatal-növekedéstől. Itt említjük meg, hogy a prognózis szintjén nem számolunk a majdani — opcionális — termelés-intenzifikációk és a másodlagos termelési eljárások kizozatalt növelő hatásaival sem. A play-szintű prognosztikus kitermelhető vagyon tehát a még fel nem fedezett felhalmozódások prognosztizált földtani vagyonainak és az aktuálisan alkalmazhatónak vélt termelési technológiák bázisán becsült „átlagos” kizozatali tényezőinek szorzatösszegeként adódik.

### A becslési bizonytalanságok és a geológiai kockázat

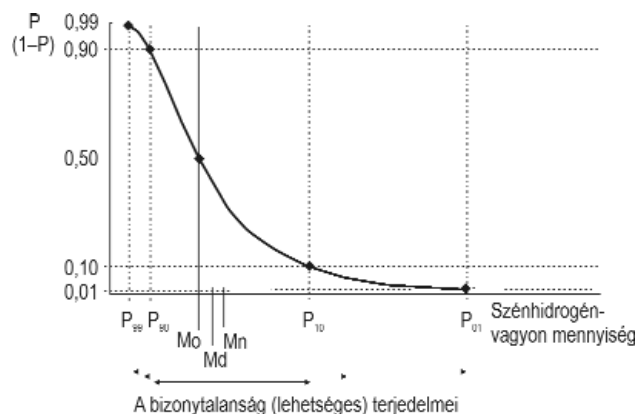
Az előző fejezetben leírtak során érzékeltettük, hogy a prognosztikus szénhidrogénvagyron mennyiségének becslése egyfelől bizonytalansággal terhelt, másfelől pedig, hogy a vagyon kockázatos geológiai és hidrodinamikai folyamatok kedvező kimenetei esetében „létezik”. A vagyonmennyiség, annak bizonytalanságát, valamint létezésének geológiai kockázatát a play szénhidrogén-földtani modelljének megalkotásakor felhasznált geológiai–geofizikai adatok mennyiségi, megbízhatósági és minőségi elemzése révén számszerűsíthetjük.

#### A vagyonmennyiség és a bizonytalanság számszerűsítése

A prognosztikus földtani- és kitermelhetőnek vélt szénhidrogénvagyron mennyisége, illetve a kiszámításához használt paraméterek szakértői becslések révén állnak elő. Mivel a becslések egy adott adatterjedelemben vonatkoznak, és a terjedelmeken belüli egyes értékek sztochasztikus szabályszerűségei szerint alakulnak, eltérő valószínűségeket jellemezhetők, ezért kijelenthető, hogy mind a vagyonbecslési paraméterek, mind pedig maguk a földtani és a kitermelhető vagyonmennyiségek valószínűségi változók. A becslések bizonytalansága az eloszlás valamely skálaparaméterével (terjedelem, variancia/szórás, közepes eltérés) adható meg. A

bizonytalanság (*uncertainty*) mértéke függ a becsléshez rendelkezésre álló adatok mennyiségétől, megbízhatóságától, és attól, hogy az adatok milyen erősséggel tekinthetők a play vizsgált becslési paramétere szempontjából analógiának.

A mérvadó szakirodalom szerint (pl. CAPEN 1984, CRONQUIST 2001, ROSE 2001, SWINKELS 2011) a földtani és kitermelhető szénhidrogénvagyronok, mint valószínűségi változók, log-normális eloszlással közelíthetők (1. ábra),



1. ábra. A kitermelhető szénhidrogénvagyron (komplementer) eloszlásfüggvénye

Figure 1. The (complementer) cumulative probability function of the recoverable petroleum resources

legyen szó akár egyetlen előfordulás kutatás alatt álló, vagy már megkutatott, akár egy play-en belüli trendhez kötött, potenciálisan megtalálható előfordulások vagyonáról. Az eloszlásfüggvények annyiban speciálisak, hogy a valószínűségi változónak egy diszkrét terjedelmet („minimum” — „maximum”) tulajdonítunk, azaz a függvények a terjedelem szélsőértékeinél levágottak. A megközelítések a szélsőértékekhez rendelt kumulatív valószínűségek tekintetében különböznek: egyesek úgy foglalnak állást, hogy a szélsőértékek valószínűségei a  $P(\text{MAX})=100\%$  és  $P(\text{MIN})=0\%$  értéket veszik fel, míg mások úgy tartják, hogy a szélsőérték valószínűségek a  $P(\text{MAX})=99\%$  illetve a  $P(\text{MIN})=1\%$  értékekkel egyenlők. Matematikailag a  $[P(\text{MAX})=99\%, P(\text{MIN})=1\%]$  tartomány felvétele korrektebb megoldásnak tűnik, míg a gyakorlati szempontok inkább a  $[P(\text{MAX})=100\%, P(\text{MIN})=0\%]$  tartomány alkalmazását indokolnák. A valószínűségi függvénytanban járatos olvasó kedvéért itt kell megjegyeznünk, hogy a szénhidrogének vagyonbecslésekor — értelmezhetőségi okokból — nem az eloszlásfüggvénynyel, hanem annak komplementerével dolgozunk (1. ábra).

Az ipari gyakorlatban a vagyonbecslés bizonytalanságának szemléltetésére a „bizonytalanság terjedelmét” (*range of the uncertainty*) használják olyan módon, hogy az 1. ábrán láthatóan megadják a terjedelem valamely középértékét [várható érték (Mn), módusz (Mo), medián (Md)] és egy-egy, páronként összetartozó szárnyhelyzeti értékét ( $P_{99}-P_1$ ,  $P_{95}-P_5$ ,  $P_{90}-P_{10}$ ).

Az Egyesült Államok Geológiai Szolgálat (United States Geological Survey, USGS) a múlt század nyolcvanas éveitől kezdve készíti és tesz közzé a konvencionális szénhidrogének

prognózisára vonatkozó ajánlásokat (*National Oil and Gas Assessment — NOGA Series*). A világ „nyugati feléhez” tartozó országok szénhidrogén prognózisai, kisebb finomításokkal és lokális, specifikus eltérésekkel, a USGS módszertanát követik. A vagyonmennyiség vonatkozásában is mérvadónak tekinthető leírás (SCHMOKER & KLETT 1999) becslési paraméterekként mindössze a prognosztizált előfordulások méretét és számát definiálja oly módon, hogy a probablisztikus becslés inputjaiként az adateloszlások mediánját ( $F_{50}$ ), minimumát ( $F_{100}$ ) és maximumát ( $F_0$ ) kell megadni. Arra nézve viszont nincs utalás, hogy az előfordulások méreteloszlását, illetve, hogy egy-egy prognosztizált előfordulás vagyoneeloszlását hogyan határozzuk meg. Emiatt meglehetősen sötétben kell, hogy tapogatózzunk akkor, amikor az egy-egy konkrét terület *NOGA Series* módszertanával elkészített prognózisában a különböző valószínűségi kategóriákra ( $P_{99}$ ,  $P_{95}$ ,  $P_{90}$ ,  $P_{50}$ ,  $P_{10}$ ,  $P_{05}$ ,  $P_{01}$ ) megadott mennyiségadatokat értékeljük.

Magyarországon a nyolcvanas évek végén, az Országos Kőolaj- és Gázipari Tröszt megbízásából annak leányvállalata, a Kőolajkutató Vállalat készítette olyan előrejelzést, amelyben a hazai szénhidrogén-prognózisok történetében először alkalmazták — a „hagyományos” eljárások mellett, illetve azokkal „vegyítve” — a play-analízis módszerét is (BALLA, BARDÓCZ 1988). A USGS-től az OKGT-USGS együttműködés keretében megkapott statisztikai feldolgozó program (FASP) segítségével a vagyonszámítási paraméterek (terület, vastagság, porozitás, CH-telítettség, mélység, szerkezetek száma)  $F_{100}$ ,  $F_{95}$ ,  $F_{75}$ ,  $F_{50}$ ,  $F_{25}$ ,  $F_5$  és  $F_0$  becslült fraktilisait inputként megadva határozták meg a prognosztikus földtani vagyon  $P_{95}$ ,  $P_{50}$  és  $P_5$  valószínűségi értékeit. A majd egy évtizeddel később készült országos prognózis (JUHÁSZ & KUMMER 1997) során új mennyiségi becslés nem készült, mivel a prognózismunkát megrendelő (Magyar Bányászati Hivatal és az Ipari, Kereskedelmi és Idegenforgalmi Minisztérium) „nem kívánták számszerűsíteni a még felfedezésre váró földtani vagyont”. (Itt kell megjegyeznünk, hogy tudomásunk szerint a Magyar Földtani és Geofizikai Intézet 2013-ban készített egy, a vagyonmennyiségek becslését is tartalmazó szénhidrogénprognózist, azonban ez a munka „Zárolt” minősítése miatt kutatások céljából jelenleg nem hozzáférhető.)

A vagyonbecslés bizonytalanságának érdekes és rendkívül tanulságos értékelésével találkozhatunk az orosz prognózisok gyakorlatában (SANDVIK & ZAKHAROV 1996, POROSKUN et al. 2004). Az orosz rendszerben a „D” kategóriába sorolják a prognosztikus szénhidrogénvagyonot, megkülönböztetve azon „trendek” (értsd play-ek) mennyiségeit, amelyekben már fedeztek fel gazdaságilag hasznosítható előfordulást ( $D_1$  kategória), illetve azokat, amelyekben felfedezés még nem történt ( $D_2$  kategória). Bár a becslések bizonytalanságának számszerűsítésére egyáltalán nem tesznek kísérletet, mégis arra kell, hogy következtessünk, hogy a vagyonmennyiségek  $D_1$  és  $D_2$  kategóriákba való besorolása éppen a bizonytalanság mértékének nagyságrendi különbségén alapul. Nyilvánvalóan kisebb ugyanis a becslés bizonytalansága a már igazolt play-ek vagyonainak, mint azokénak, amelyeknél a play-koncepciót felfedezések még nem támasztják alá.

A prognosztikus szénhidrogénvagyon becslési bizonytalanságának (*uncertainty*) értékelésére egy olyan módszertant javasolunk, amely a „nyugati” és az „orosz rendszer” megközelítéseit szintetizálja. A módszertant megalapozó javaslatunk szerint a „bizonytalanság terjedelme” (*range of uncertainty*) helyett vizsgáljuk a „bizonytalanság mértékét” (*measure of uncertainty*). Ez utóbbit a prognosztikus vagyon, mint valószínűségi változó valamely skálaparaméterével ragadhatjuk meg. A rendelkezésre álló lehetőségek közül célszerűnek látszik a matematikai statisztikában kevésbé jártas szakemberek számára is könnyen értelmezhető szórás kiválasztása (hangsúlyozzuk, hogy szórásnév itt nem empirikus adatok „ingadozásának” mértékéről beszélünk, hanem a probablisztikus becslések Monte-Carlo szimulációjával előállított „elméleti” eloszlás szórásáról). Ugyancsak praktikus szemléleti okok miatt még inkább célravezetőnek tűnik egy olyan mutató megadása, amely a szórás relatív módon, az adekvát középértékre vonatkoztatva adja meg. A szórás esetében az adekvát középérték az eloszlás matematikai várható értéke (*mean*). Javaslatunk tehát az, hogy a szénhidrogén play-hez rendelt földtani és kitermelhetőnek tekinthető prognosztikus vagyonok elemzéseknél figyelembe veendő értéke a *várható érték* legyen, míg a becslés bizonytalansága mértékének (*measure of uncertainty*) a jellemzésére vezessük be a várható értékre vonatkozó *relatív szórás*t. A prognózisban részt vevő play-eket ilyen módon a relatív szórás alapján sorolhatjuk különböző „bizonytalansági” kategóriákba.

A relatív szórás nagyságrendjét a vagyonszámítási tényezők (anya- és tárolókőzet térfogatok, az anyakőzet kibocsátási kapacitása, migrációs és feltöltődési kapacitások, a play-szintű átlagos effektív porozitás és víztelítettség, átlagos csapdatérfogatok, csapdák száma, play-szintű kihozatali tényező) becslési bizonytalanságai fogják meghatározni. Minél több és minél megbízhatóbb adat áll rendelkezésre egy-egy tényező becslésekor, annál szűkebbek lesznek a becslési terjedelmek, következésképp annál kisebb lesz a prognosztikus vagyon eloszlás relatív szórása. Feltételezve, hogy azon play-ek esetében, amelyek vonatkozásában felfedezéseink is vannak, a kutatási adatok számossága is nagyobb, a becslések bizonytalanságának nagyságrendje, így a relatív szórás is kisebb lesz. (Az elmondottak egy adott, konkrét play-re vonatkoznak. Azonos ismeretességi szintű, de különböző típusú kőzetekből — pl. különböző fáciesű, kőzettani kifejlődésű tárolókőzetű — felépített play-ek esetében a relatív szórások között akár nagyságrendi különbségek is lehetnek.)

A vagyon várható értéke és relatív szórása a probablisztikus módszertannal történő becslések esetében egyszerűen meghatározható. Tudjuk azonban, hogy vagyonbecslések determinisztikus módszerrel is készülhetnek, sőt, a még fel nem fedezett szénhidrogén-felhalmozódások prospektív vagyonai esetében ez utóbbi módszer a gyakoribb. Az ipari gyakorlatot leíró *PRMS* ajánlás (SENTURK 2011) szerint a volumetrikus determinisztikus becslés úgy történik, hogy az értékelő minden egyes vagyonszámítási tényezőre tesz egy „pesszimista”, egy „legvalószínűbb” és egy „optimista” becslést, majd az összetartozó értékeket figyelembe véve

kiszámítja a vagyon pesszimista („*low estimate*”), legvalószínűbb („*best estimate*”) és optimista („*high estimate*”) értékét. Ilyen módon eljárva azonban a determinisztikus és a probabilisztikus becslések eredményei nem lesznek összevethetőek, mivel nem tudjuk, hogy a determinisztikus kategóriákba sorolt vagyonértékekhez a probabilisztikus eloszlás mely valószínűség-értékei tartoznak. A determinisztikus és a probabilisztikus becslések eredményei egyenértékűvé tehetőek, ha a pesszimista, legvalószínűbb és optimista értékek helyett inkább a minimális, a várható, és a maximális értékeket becsüljük. A minimális értékekből („minimális” az adott vagyonszámítási tényező azon értéke, amelynél az a kitermelhető vagyon megléte szempontjából — *ceteris paribus* — kisebb nem lehet) számított vagyon jól megfeleltethető a probabilisztikus  $P_{99}$  értéknek. Ugyanígy a maximális értékekből számított vagyon mennyiség jól közelíti a probabilisztikus  $P_1$  mennyiséget.

Ugyanakkor tudjuk, hogy a vagyonszámítási tényezők mindegyike véletlenszerű, sztochasztikus természeti geológiai és hidrodinamikai folyamatok eredményezte, véges várható értékű és varianciájú valószínűségi változók összegződésekképp alakul ki. Így, a központi határeloszlás tételét alkalmazva, joggal tételezhetjük fel, hogy a vagyonszámítási tényezők, mint valószínűségi változók, mind normális eloszlással közelíthetők. Ennek implicit következménye, hogy a tényezők „legvalószínűbb” értékei egyben a Gauss-eloszlások várható értékei is. Ekkor viszont a várható értékekre vonatkozó azon valószínűség számítási tétel értelmében, mely szerint a valószínűségi változók szorzatának várható értéke a változók várható értékek szorzatával egyenlő, arra a következtetésre kell, hogy jussunk, hogy a vagyonszámítási tényezők legvalószínűbbre becsült, egyben várható értékeiből valójában nem a (log-normális eloszlású) vagyonszámítás legvalószínűbb, hanem annak a *várható értékét* tudjuk kiszámolni. A becslés bizonytalanságát kifejező *relatív szórás* pedig a minimális, a maximális és a várható érték ismeretében, az alábbi képlet segítségével, elfogadható pontossággal közelíthetően számítható:

$$RSTD(\xi) \approx \frac{\sqrt{a \times MAX^2(\xi) - (1-a) \times MIN^2(\xi)}}{Mean(\xi)}$$

ahol  $\xi$  log-normális eloszlású valószínűségi változó (esetünkben a prognosztikus kitermelhetőnek tekinthető vagyon),  $a$   $\xi$  terjedelme nagyságrendjétől függő, empirikus együttható (a prognosztikus vagyonra, mint valószínűségi változóra a  $\approx 0,35-0,45$ ).

Ilyen módon a probabilisztikus és determinisztikus becslések a prognosztikus kitermelhető szénhidrogénvagyonokra a megközelítően ugyanazt a *várható értéket* adják, míg a becslés bizonytalanságát mindkét módszerrel a közelítően azonos értékű *relatív szórás* fogja jellemezni.

### A geológiai valószínűség becslése

A *play* anyakőzetének keletkezése és érése, a tárolókőzetek kialakulása, valamint a szénhidrogének csapdázódása — azon területrészek kivételével, ahol termelésbe állítható, vagy már termelésbe is állított ásványvagyonszámítások fordulnak elő — nem tekinthető biztosan (100% valószínűség mellett) kedvező kimeneteleket produkáló valószínűségi eseményeknek. Ebből következik, hogy a prognosztikus kitermelhető vagyon a *play* egészében, vagy egy tetszőleges szegmensében csak egy bizonyos *geológiai valószínűség* mellett tekinthető létezőnek.

Amennyiben a szénhidrogén-prognózis részeként a vagyon „létezésének” valószínűségét (illetve annak komplementerét, a vagyon „nem létezésének” kockázatát) is értékelni szeretnénk, meg kell becsülnünk a *play*-hez köthető geológiai valószínűséget. A prognózisszintű geológiai valószínűségbecslés mind a *USGS NOGA*, mind pedig a hazai, 1989. január 1-i állapotra készült országos prognózis (BALLA & BARDÓCZ 1988) módszertanában is megjelenik. Előbbi szerint (SCHMOKER & KLETT 1999) meg kell becsülni annak a valószínűségét, hogy az értékelés alatt álló területen legalább egy minimális méretű, még fel nem fedezett szénhidrogéntelep meglétéhez megtörtént-e a szénhidrogének feltöltődése (*charge*), kifejlődtek-e a *play* felépítésében részt vevő (anya, tároló és záró) kőzetek (*rocks*) és végül, hogy kedvezően alakult-e a szénhidrogének keletkezésének, migrációjának és csapdázódásának időzítése (*timing*). Mivel az ajánlás nem fűz magyarázatot a valószínűségi komponensek ekként való definiálásához, ezért azzal vitatkozni sem tudunk. Az utóbbi prognózis (BALLA & BARDÓCZ 1988) geológiai valószínűség-komponensként a szénhidrogének keletkezését, migrációját, csapdázódását és a tárolókőzetek ragadja meg.

Ez a megközelítés már nagyon hasonlít az amerikai–nyugat-európai olajvállalatok ipari gyakorlatára, amelyet potenciális kutatási területeik értékelésekor alkalmaznak. Eszerint a *play*-szintű geológiai valószínűség (ROSE 2001) komponensei a szénhidrogének megfelelő mennyiségű és minőségű anyakőzetekből való *feltöltöttsége* (*charge*), a termeltetésre alkalmasnak tekintett fluidum-tárolók (*reservoir*) kialakulása, és az impermeabilisnek vélt zárókőzettel fedett szerkezetekben történő *csapdázódás* (*entrapment*). A feltöltöttség, a tároló és a csapdázódás már valóban a *play* információs függetlenségben lévő, a *play*-analízis során egyértelműen értékelhető komponensei (az OKGT módszertanától ez annyiban különbözik, hogy az ott külön komponensként figyelembe vett CH-generációt és migrációt a *feltöltődés* komponensben vonja össze).

Az összesített geológiai valószínűség számítását, és térbeli változásának bemutatását az ugyancsak az ipari gyakorlatból átvett „egyesített kockázati szegmens” (*Common Risk Segment, CRS*) térképezés módszerével (GRANT et al. 1996) végezhetjük el. Ennek első lépéseként meg kell szerkesztenünk a *play*-komponensek maximális elterjedési térképeit. A feltöltöttségi térkép (*charge map*) a *play* anyakőzeteiből származtatott szénhidrogének lehetséges migrációs, míg a tároló térkép (*reservoir map*) a feltehetően termeltetésre alkalmas paraméterekkel (térfogat, porozitás, permeabilitás) rendelkező tárolókőzet elterjedési területét ábrázolja. Itt kell megjegyeznünk, hogy a feltöltöttség

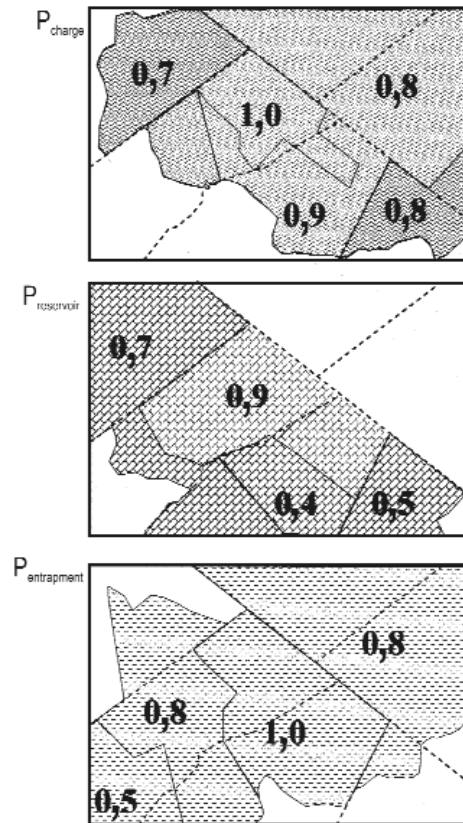
határa csak abban az esetben esik egybe az érett anyakőzet elterjedési határával, ha azt feltételezzük, hogy a szénhidrogén fluidumok az elsődleges migrációt követően egyből a tárolókőzetként figyelembe vehető litológiai egységbe jutnak. Amennyiben a szénhidrogén-generáló és -tároló közegek között migrációs közegként egy harmadik formáció „közvetít”, úgy a feltöltöttségi térkép nem az anyakőzet, hanem a potenciális migrációs közeg elterjedését mutatja. Végül megszerkesztjük a play csapdázódási (*entrapment*) térképét is, amelyen azokat a területeket határoljuk le, ahol geológiai megfontolások alapján esélyt látunk olyan, eddig feltáratlan csapdászervek múltbéli kialakulására, ahol a potenciális csapdákat magában foglaló felhalmozódási zónákat impermeábilis, regionális elterjedésű zárókőzetek fedik.

A térképek szerkesztésénél figyelemmel kell lenni arra, hogy csak azon területeket határoljuk le, amelyekre a *play* szénhidrogén rendszerének működése időben és térben értelmezhető. A *play*-komponens térképek tehát nem feltétlenül azonosak az egyes litosztratigráfiai egységek elterjedési-térképeivel. Ugyancsak megjegyzendő, hogy a *play*-komponensek között nem mindig van (sőt, többnyire nincs) egy-egyértelmű megfeleltetés (azaz például a *play* fluiduma akár több anyakőzetből is keletkezhetett, vagy a tárolókőzetet — pl. litológiai átmenettel — többféle zárókőzet is fedheti). Mivel a prognosztikus vagy a tárolókőzetben halmozódik fel, ezért a *play* definíciójakor a tárolókőzet azonosságát kell szem előtt tartanunk.

A geológiai kockázattérkékelés második lépéseként becsülnünk kell a *play*-re vonatkozó geológiai valószínűség térbeli eloszlását, azaz minden egyes *play*-komponens térképen el kell különítenünk azokat a szegmenseket, amelyek eltérő geológiai valószínűséggel jellemezhetők (2. ábra).

A *play*-szintű geológiai valószínűség számszerűsítések az olajipari gyakorlatban a prospektusok geológiai kockázattérkékelése esetében kialakult módszertant (OTIS & SCHNEIDERMAN 1997, ROSE 2001) alkalmazzuk. Eszerint a rendelkezésre álló geológiai, geofizikai adatok elégségeségét és megbízhatóságát, valamint bizonyító vagy cáfoló jellegét értékelve teszünk becslést az adott *play*-komponens (feltöltöttség, tároló-elterjedés, vagy csapdázódás) meglétének valószínűségére. Az adatok elégtelen mennyisége, vagy megbízhatatlansága esetén az adott komponens geológiai valószínűség értéke 0,50. Ha az adatok inkább bizonyítják az adott komponens meglétét, akkor a valószínűséget a 0,51–0,99 tartományban adhatjuk meg, míg ha az adatok inkább cáfoló jellegűek, akkor a geológiai valószínűség 0,01 és 0,49 közé kell, hogy essen. A komponens biztos létezésének valószínűsége 1, míg biztosan kizáró adat esetében a geológiai valószínűség 0 (utóbbi nyilvánvalóan az adott komponens elterjedésén kívül eső területet jellemzi). A geológiai valószínűség a komponens létezésének vagy nem létezésének binomiális eloszlása miatt egy diszkrét érték, amely a *play* szénhidrogén földtani modelljének értelmezésére alapuló szubjektív szakértői becslés révén adható meg.

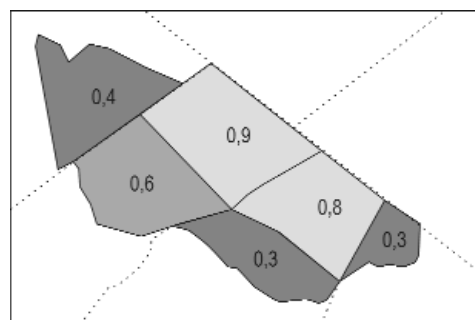
Mivel az anyakőzet érése és a migráció által meghatározott feltöltöttséget, a termeltetésre alkalmasnak ítélt tároló-



2. ábra. A *play*-komponensek geológiai valószínűség szegmenstérképei

Figure 2. Geological probability segment maps of play components

kőzetek és az impermeábilisnek vélt zárókőzettel fedett csapdázódási zónák meglétét a *play* szénhidrogén-rendszerre egymástól független komponenseinek tekintjük, ezért az egyes komponensvalószínűség-értékek szorzataként előállíthatjuk a vizsgált *play*-szegmens geológiai valószínűségét. A geológiai valószínűséget 1-re kiegészítő érték a *geológiai kockázat*, azaz annak a valószínűsége, hogy a *play* vizsgált szegmensében nem számíthatunk kitermelhető mennyiségű szénhidrogén-előfordulására. Ilyen módon, a *play*-szegmenseket térképen ábrázolva (3. ábra) bemutatjuk a geológiai valószínűség térbeli eloszlását. (Tetten érhető itt egy szemantikai probléma: az angolszász szak-



3. ábra. A *play* „egyesített” kockázati szegmenstérképe

Figure 3. Common risk segment map of the play

zsargon „egyesített kockázati szegmenstérkép”-ként említi a valójában az „egyesített” valószínűségeket bemutató térképet...)

A play-szegmens egyesített geológiai valószínűsége azonban még nem informál arról, hogy a *play* területén a jövőben koncessziót elnyerő vállalat vajon mekkora eséllyel fog fúrásos kutatásra érdemes potenciális előfordulást azonosítani. Emiatt, ha azt szeretnénk bemutatni, hogy a prognosztikus vagyon mekkora eséllyel válik a prognózis időhorizontján prospektívvé, akkor javasolnunk kell egy újabb, nem a *play* geológiai modelljéből levezethető, hanem inkább technikai jellegű valószínűség komponens, a prospekt lehatárolás sikerességének bevezetését. Ez a „prospekt lehatárolási” sikeressélyneg nevezhető valószínűség azt kell, hogy megadja, hogy az adott szegmensben belül mekkora valószínűséggel fogunk (legalább) egy, a későbbiekben megfúrható prospektet lehatárolni. A *play*-szegmens valószínűséget ezzel a — szubjektíven becsülhető — „prospekt lehatárolási” sikeressélyneg összeszorozva kapjuk meg a prognosztikus vagyon felfedezésének a sikeressélyneg (*Probability of Success, PoS*) — az adott szegmensre vonatkozóan, amelynek térbeli eloszlását a 4. ábrán szemléltetjük.



4. ábra. A *play*-szegmensekre becsült prospekt lehatárolási valószínűségek és a kutatási sikeressélyneg

Figure 4. Estimated prospect mapping probabilities and the probabilities of exploration success

### Korlátok és kritikák

A prognosztikus vagyonbecslést számos olyan — nem feltétlenül a vagyonbecslési bizonytalanság- és geológiai kockázatelemzés módszertanára, sokkal inkább a prognózis egészére vonatkozó — kritika éri, amelyekkel éppen a mód-

szertan korlátai miatt nem könnyű vitába szállni. A szakmai szempontból talán leginkább indokolt bírálat az, hogy a prognózis nem veszi figyelembe a jövőben kidolgozásra kerülő, vagy éppen a prognózis készítése idején kidolgozás alatt álló *play*-konceptiókat, valamint a kutatási technológiák előbbivel szoros kölcsönhatásban lévő, ma még ismeretlen irányú fejlődését, azaz a geológusok, geofizikusok és rezervoármérnökök kreativitását és intuitivitását. A *USGS NOGA-Series* módszertani leírásában (SCHMOKER & KLETT 1999) hozzávetőlegesen 30 évre teszik a technológiai korlátok (*technological barriers*) felszabadulásának ciklusidejét, ilyen módon indokolva az aktuális időpontra vonatkozó prognózis megfelelőségét. Nem vitatkozva a megközelítés helyességével, inkább úgy foglalnunk állást, hogy a becsült vagyonmennyiség adott időpontra vonatkozó várható értékét egyfajta konzervatív módon megadott minimumként kell kezelnünk, amelynél a potenciálisan megkutatható mennyiség — nehezen számszerűsíthető módon — csak több lehet.

A másik — ugyancsak jogosnak tartható — kritika a becslési kultúrák különbözőségének következményeire mutat rá. Például, egy *play*-szegmens tárolókőzetének átlagos porozitás-terjedelmét, vagy egy *play*-komponens geológiai valószínűségét a prognózis készítésére „hivatalból” felkért, állami alkalmazásban álló szakemberektől biztosan másként fogja megítélni, mint ahogyan azt egy-egy olajvállalat specialistaí tennék, ráadásul az olajvállalatok becslései is jócskán eltérhetnek egymástól. A megoldás az lenne, hogy a prognózist kivitelezők tudásszintje, technológiai háttere és szakma-kulturális képzettsége az olajvállalatok „átlagos” szintjét közelítené. Amennyiben ez a feltétel — itt nem részletezendő okok miatt — nem teljesül, akkor el kell fogadnunk, hogy a prognosztikus vagyon várható értékét, a becslések bizonytalanságát (relatív szórását) és geológiai kockázatát jellemző adatokat alul- vagy felülbecslésként kell értékelnünk.

Harmadszor, a prognózis nem vehet figyelembe gazdasági, pontosabban gazdaságossági kritériumokat. A vagyon pénzügyi értékelésének kritériumrendszere (olaj- és gázár, költségszintek, a vállalati tőkeköltség bizonyos elemei, stb.), a prognózist „befogadó” nemzetgazdaság ciklusai és az olajvállalatok jövőt illetően eltérő várakozásai modellezhetetlen körülményeket teremtenek arra, hogy megbecsüljük a prognosztikus kitermelhető vagyon készletként számba vehető hányadát (azaz azt a mennyiséget, amelyet a vállalatok majd ténylegesen termelésbe fognak állítani). Ismét csak a *USGS NOGA Series* megfogalmazására (SCHMOKER & KLETT 1999) hivatkozva mindössze annyit állíthatunk, hogy becsléseink olyan prognosztikus kitermelhető vagyonmennyiségekre vonatkoznak, amelyeknek (valamekkora) esélye van arra, hogy a vállalatok ezeket — készletként — majd ki is fogják termelni.

Negyedszer, figyelembe kell vennünk, hogy a *play* becsült prognosztikus vagyona, vagy annak egy körülhatárolható része már a prognózis készítésekor sem hozzáférhető, mert a kutathatóságnak felszíni (pl. természetvédelmi) korlátai vannak. A prognózis hozzávetőlegesen 30 éves



időtávját figyelembe vétele ajánló USGS ajánlás azt javasolja, hogy a *play* prognosztikus vagyont a geológiai kockázaton felül jellemezzük még a „hozzáférés kockázataival” (*access risk*) is, amely a közel 30 éves távon értelmezhető hozzáférhetőség valószínűségének a komplementere.

A becsült prognosztikus vagyont „felhasználási” lehetőségeit a fenti korlátok tudomásul vétele mellett kell számba vennünk.

### Felhasználási lehetőségek

A prognosztikus vagyont becslési bizonytalanságait és geológiai kockázatait (valószínűségeit) egyaránt magában foglaló értékelését a kutatási koncessziós stratégia kialakításában és — további megfontolások beépítése mellett — a hosszú távú energiaprognózisok készítésekor használhatjuk fel.

#### Prognózis alapú koncessziós stratégia

A kutatási koncesszióra meghirdetendő területek kijelölésének és lehatárolásának sokféle szempontja lehet, de az ásványvagyon-gazdálkodás értékképzésének a fenntarthatóságára odafigyelő nemzetgazdaságokban a szempontok között kiemelkedő szerepet kell, hogy kapjon a bizonytalanság (*uncertainty*) és a geológiai kockázat (*geological risk*) is. Az olajvállalatok szénhidrogén-kutatási programjainak előrehaladása során — az információk szénhidrogén-földtani modellekbe való beépítése miatt — mind a bizonytalanság, mind pedig a geológiai kockázat folyamatosan csökken. Ebből levezethetően a koncessziókat meghirdetendő államnak ügyelnie kell arra, hogy egy adott időpontban a kijelölt koncessziós területek a *play*-szintű bizonytalanságok és geológiai kockázatok nagyságrendjei szempontjából kiegyensúlyozottak legyenek. (Azaz, nagyjából hasonló számosságú legyen az egyazon időben koncessziós kutatás alatt lévő nagy, közepes és alacsony bizonytalansággal és geológiai kockázattal jellemezhető terület.) A prognosztikus vagyongazdálkodással megbízott állami szervezet a mindenkori „egyensúly” fennállásáról úgy gondoskodhat, hogy a koncessziós szerződésekben érvényesített elvonások (koncessziós díj, bányajáradék, termeléselvonás stb.) mértékét hozzáigazítja a saját maga által becsült *play*-szintű bizonytalansághoz és geológiai kockázathoz. Minél nagyobb a bizonytalanság és a geológiai kockázat, annál kisebb mértékű kell, hogy legyen az elvonás mértéke annak érdekében, hogy a pályázó vállalatok az aktuálisan bizonytalanabb és (geológiai szempontból) kockázatosabb *play*-ek kutatására is motiváltak legyenek. Az elvonások mértéke, természetesen a prognosztikus vagyont nagyságrendjéhez is igazodhat (nagyobb prognosztikus vagyont tartozhat magasabb elvonási ráta — ez az adott állam fiskális preferenciáitól függhet).

A fentiek szerint leírt módon az „értékképzési egyensúlyt” szem előtt tartó koncessziós stratégia alapja az, hogy a prognosztikus ásványvagyon — esetünkben a prognosztikus kiter-

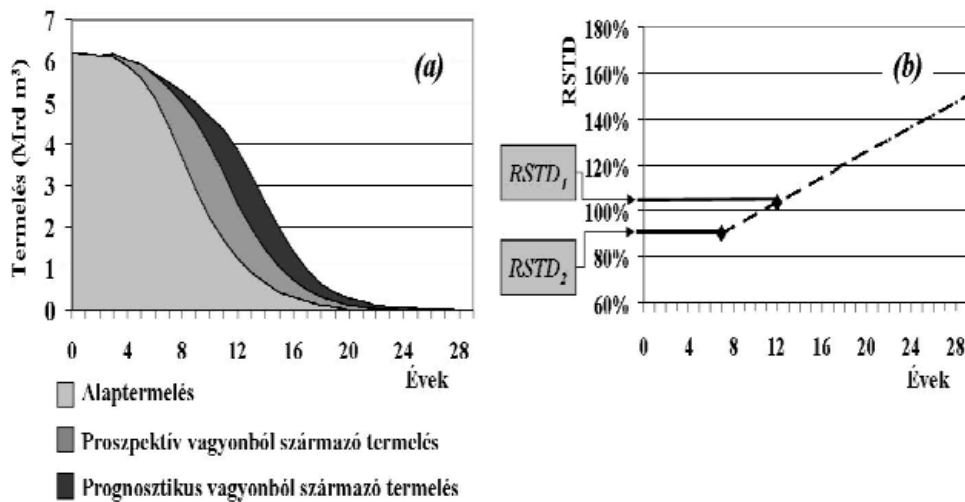
melhető szénhidrogénvagyon — nyilvántartásában nemcsak a vagyont mennyiségét, hanem annak becslési bizonytalanságát és geológiai kockázatát is szerepeltetjük. Másfelől, indokoltnak tűnik, hogy a *play*-ekhez rendelt vagyont a mennyiség, a bizonytalanság és a geológiai kockázat nagyságrendjei szerint osztályokba soroljuk. Az osztályozás módszertanul az ilyen jellegű problémák megoldására egyéb területeken alkalmazott modern statisztikai eljárás, a *klaszterezés* javasolható. Annak típusát, algoritmusát, valamint a klaszterek számát szakmai megfontolások alapján adhatjuk meg. Az osztályozás három dimenziójaként a *play*-szegmensekhez rendelt prognosztikus vagyontmennyiség becsült, illetve a becslések alapján számított középértékét (*Mean*), a becslési bizonytalanság mértékét jellemző relatív szórását (*RSTD*), valamint a geológiai valószínűség-értékekből levezetett kutatási sikeresélyt (*PoS*) vehetjük számba.

#### Hosszú távú energiastratégia

Egy szénhidrogén ásványkincsel rendelkező nemzetgazdaság esetében kulcskérdésként kezelhető, hogy a gazdaság energiafelhasználásában mekkora lesz a jövőben a hazai források részesedése. A rövidtávra (1–4 évre) szóló előrejelzések nyilvánvalóan a már termeltetés alatt álló, illetve termelésbe állításra kész „ipari” ásványvagyon-mennyiségekből származó termelést vehetik figyelembe. Középtávon (5–8 év) számíthatunk a hatályos kutatási koncessziók alatt álló területek prospektív vagyontának majdani termelésére. Az aktuálisan prognosztikusként számba vett kitermelhető vagyont termelésbe állítására hosszabb távon (≈8 évtől kezdődően) kerülhet sor. (Az időtávok ciklusa természetesen lehet rövidebb és hosszabb is — ez az előfordulások geo-műszaki adottságaitól, a makrogazdasági körülményektől és a koncessziós jogi szabályozás hatékonyságától függ.)

A prognosztikus vagyontból származtatható termelés modelljének elkészítéséhez rögzítenünk kell az előrejelzés peremfeltételeit. A legfontosabb peremfeltételek a vagyont megkutatásának és termelésbe állításának ütemezése és a majdani termelés időfüggvénye. Bemenő mennyiség-adatként a prognosztizált kitermelhető vagyontmennyiség középértékének (*Mean*) a kutatási sikereséllyel (*PoS*) és a hozzáférési valószínűséggel (*access probability*) súlyozott értékét (*Mean Success Volume, MSV*) vegyük figyelembe. Az előrejelzésbe (5. ábra, a) ilyen módon építjük be a geológiai és a vagyonthoz való hozzáférési kockázatokat.

Az előrejelzés természetesen számos bizonytalansággal terhelt. Ne feledjük, hogy a fent említett, és terjedelmi okokból nem is említett peremfeltételek mindegyike becslés, a maga várható értékével (az előrejelzés peremfeltételeiként ezek megadására törekedünk) és szórásával. Tanulmányunkban kizárólag a prognosztikus ásványvagyonbecslés — relatív szórással kifejezett — bizonytalanságának az előrejelzésre gyakorolt hatásával foglalkozunk. Itt abból indulunk ki, hogy a kutatási folyamat előrehaladása során a vagyontbecslés bizonytalansága csökken. Emiatt az aktuálisan prognosztikusként kezelt vagyont legkevésbé bizonytalan (legkisebb relatív szórású) részhalmaza kerül legko-



5. ábra. A valószínűségekkel súlyozott prognosztikus vagyon (MSV) termelésbe állításának és termelésének előrejelzése (a), valamint a prognosztikus termelés bizonytalanságának növekedése (b) a prognózis időtávján

Figure 5. Forecast of the development and production of the probability weighted Mean Success Volumes of prognostic resources (a) and the increase of the uncertainty of prognostic resources' production (b) over the time span of the prognosis

rábban termelésbe állításra. A részalmazba sorolt *play*-szegmensek varianciáinak (szórásnégyzeteinek) összegéből négyzetgyököt vonva kapjuk meg a halmaz összesített szórását, amelyet a szegmensekre becslült vagyon várható értékeivel osztva a halmaz összesített relatív szórásához jutunk (5. ábra, b;  $RSTD_1$ ). Ugyanezt a számítást a legnagyobb bizonytalanságú — ebből következően legtávolabbi időpontban termelésbe állítható prognosztikus vagyonnal rendelkező szegmensek halmazára is elvégezhetjük (5. ábra, b;  $RSTD_2$ ). Az eredményül kapott relatív szórásadatok segítségével közelíthető a prognosztikus vagyonbecslés bizonytalanságának a jövőbeni szénhidrogén-termelésre vonatkozó bizonytalanság növekedése (5. ábra, b).

Probabilisztikus alapokon nyugvó előrejelzést az összes változó értéktartományát, várható értékét és relatív szórását inputként kezelve, Monte-Carlo szimuláció segítségével készíthetünk. A prognosztikus szénhidrogénvagyon termelés-előrejelzése és az előrejelzés bizonytalansága a hosszú távú energiastratégiák kidolgozásának, a stratégiai szcenáriók modellezésének és a nemzetgazdasági kockázatok számszerűsítésének fontos bemenő adatai lehetnek. Az 5. ábra a részén nem véletlenül ábrázoltunk egy olyan szituációt, ahol az „alaptermelés”, azaz a prognózis készítésekor (a „0”-dik évben) már termelésbe állított készletek „elfogyása” egy belátható időn belül viszonylag jól előre jelezhető. Prognózist pontosan ekkor érdemes készíteni, abból a célból, hogy lássuk: a még felfedezésre váró ásványvagyon a „hazai” termelés végét milyen mértékben képes időben kitolni.

### Következtetések

A jövőben felfedezésre váró, prognosztikus földtani és kitermelhetőnek tekintett szénhidrogénvagyon becslését a vagyon felhalmozódásához vezető geológiai és hidrodinamikai folyamatok modellezésére alapozva végezhetjük el. A

prognózis napjainkban elfogadott alapegysége a szénhidrogén *play*, amely egy adott litosztratigráfiai egységhez köthető felhalmozódások esetében az anyaközetek kifejlődését és érését, a szénhidrogének migrációját, a tároló- és záróközetek, valamint a csapdák kialakulását foglalja magában.

A becslült prognosztikus vagyon log-normális eloszlású valószínűségi változóként ragadható meg, amelynek jellemző középértéke (helyparamétere) a matematikai várható érték. A becslés a vagyonszámítási paraméterek geológiai és rezervoargeológiai okokra visszavezethető határozatlansága miatt bizonytalansággal terhelt. A bizonytalanság ipari gyakorlat által javasolt terjedelmének figyelembe vétele helyett inkább a bizonytalanság mértékét javasoljuk megadni, amelyet a várható értékre vonatkoztatott relatív szórás segítségével számszerűsíthetünk.

A prognosztikus vagyon karakterisztikus jellemzője a geológiai valószínűség (vagy annak komplementere, a geológiai kockázat), amely megmutatja, hogy a *play* jellemző szénhidrogén-földtani folyamatai (feltöltődés, tárolóközet kifejlődés és a csapdázódás) mekkora eséllyel vezettek a *play*-hez köthetően legalább egy várhatóan kitermelhető szénhidrogén-mennyiséget tartalmazó felhalmozódásához. A *play*-szintű geológiai valószínűség térbeli eloszlását az olajvállalatok ipari gyakorlatából átvett „egyesített kockázati szegmens” (*Common Risk Segment, CRS*) térképezés módszerével mutathatjuk be. A geológiai valószínűséget a „prospekt lehatárolási” sikereséllyel szorozva kapjuk meg a prognosztikus vagyon felfedezésének a siker-*valószínűségét (Probability of Success, PoS)*.

A prognózis eredményei a szénhidrogén kutatási koncessziós területek értékelésekor és a hosszú távú energiastratégiák kialakításkor használhatók fel. Az előrejelzést természetesen mindenkor annak tudatában kell kezelnünk, hogy egyáltalán nem biztos, hogy „a készletek fogynak el” hamarosan. Könnyen lehet, hogy „csak a geológusok fogytak ki az ötletekből...”

## Irodalom—References

- BALLA K. & BARDÓCZ B. (OKGT) 1988: Magyarország kőolaj- és földgázprognózisa az 1989. január 1-i állapotra. — *Kézirat*, Magyar Állami Földtani, Geofizikai és Bányászati Adattár, 504–531.
- BERG, R. R. 1975: Capillary pressures in stratigraphic traps. — *AAPG Bulletin* **59/6**, 939–956.
- CAPEN, E. C. 1984: Why lognormal? — In: CAPEN, E. C., MEGILL, R. E. & ROSE, P. R. (eds): *Course Notes for AAPG School „Managing and Evaluating Petroleum Risk*. AAPG Education Department, Tulsa, Oklahoma, p. 350.
- CRONQUIST, C. 2001: Estimation and Classification of Reserves of Crude Oil, Natural Gas, and Condensate. — In: LAKE L. W. (ed.): *Petroleum Engineering Handbook, Chap 22*. Richardson, Texas: SPE, 134–156.
- GRANT, S., MILTON, N. & THOMPSON, M. 1996: Play Fairway Analysis and Risk Mapping: An Example Using the Middle Jurassic Brent Group in the Northern North Sea. — *Norwegian Petroleum Society Special Publications* **6**, 167–181.
- JUHÁSZ E. & KUMMER I. (szerk.) 1997: Magyarország szénhidrogén potenciálja az 1995. december 31-i állapotra. — *Kézirat*, Magyar Állami Földtani, Geofizikai és Bányászati Adattár, 1–5.
- OTIS, R. M. & SCHNEIDERMAN, N. 1997: A Process for Evaluating Exploration Prospects. — *AAPG Bulletin* **81/7**, 1087–1109.
- POROSKUN, V. I., KHITROV, A. M., ZABORIN, O. V., ZYKIN, M. Y., HEIBERG, S. & SONDENA E. 2004: Reserves/Resource Classification Schemes Used In Russia and Western Countries: A Review and Comparison. — *Journal of Petroleum Geology* **27/1**, 85–94.
- ROSE, P. R. 2001: Risk Analyses and Management of Petroleum Exploration Ventures. — *AAPG Methods in Exploration* **12**, 9, 31–34, 80–82.
- SANDVIK, K. O. & ZAKHAROV, E. V. 1996: The Russian Method for Prediction of Hydrocarbon Resources of Continental Shelves, With Examples from the Barents Sea. — In: DORÉ, A. G. & SINDINGANSEN, R. (ed.): *Quantification and Prediction of Hydrocarbon Resources*. 115–122.
- SCHMOKER, J. W. & KLETT, T. R. 1999: U.S. Geological Survey Assessment Model for Undiscovered Conventional Oil, Gas, and NGL Resources — The Seventh Approximation. — *U.S. Geological Survey Bulletin* **2165**, 6 p.
- SENTURK, Y. 2011: Assessment of Petroleum Resources Using Deterministic Procedures. In Guidelines for Application of the Petroleum Resources Management System, SPE/AAPG/WPC/SPEE/SEG 2011, Chapter 4., 35–77.
- SPE/AAPG/WPC/SPEE 2007: Petroleum Resources Management System. — Society of Petroleum Engineers, [http://www.spe.org/industry/docs/Petroleum\\_Resources\\_Management\\_System\\_2007.pdf](http://www.spe.org/industry/docs/Petroleum_Resources_Management_System_2007.pdf), 47 p.
- SWINKELS, W. 2011: Probabilistic Reserves Estimation. In Guidelines for Application of the Petroleum Resources Management System. — In: SPE/AAPG/WPC/SPEE/SEG 2011, Chapter 5., 78–92.
- TISSOT, B. P. & WELTE, D. H. 1978: *Petroleum Formation and Occurrence. A new Approach to Oil and Gas Exploration*. — Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 538 p.
- Kézirat beérkezett: 2014. 03. 11.