

Szén-dioxid tárolással kapcsolatos „ásványvagyon” nyilvántartás nemzetközi rendszereinek áttekintése

FALUS György¹, SZAMOSFALVI Ágnes¹

¹Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, Geokémiai és Laboratóriumi Főosztály, Budapest, Stefánia út 14.

Overview of international systems for the registration of carbon dioxide geological storage potential

Abstract

The need to assess the potential of CO₂ storage complexes and their related respective storage capacities is quite a new area of study. Carbon capture and geological storage (CCS) has only recently been recognized as an efficient means of mitigating climate change. In Europe, with the exception of Norway, the significance of CCS activity only reached that critical level involving the demand for a standardized registry after 2007; furthermore, this task has been confronted by the institutions responsible for resource management. Since 2007, the capture and geological storage activity of carbon from industrial sources has developed dynamically on a worldwide scale. However, over the last 4–5 years Europe — which at one time led research in this field — has experienced a strong fallback in the spreading of CCS technologies. This is mostly related to economic problems in Europe and low carbon prices. Nevertheless, the rest of the World — e.g. the United States, Australia and China — has made notable technological progress with CCS. It is this uneven development of CCS that has led to significantly louder demand for a standardized registry indicating the potential storage on a global scale.

The demand has also motivated several organizations operating on an international level to develop registry systems for potential storage sites. These registry systems are quite similar to those which have been used for hydrocarbons for several decades now; this is due to the fact that most of the applied technology — as well as the potential storage sites themselves — are similar. However, there are still some specific characteristics of carbon storage that trammel the general use of some of the definitions applied to hydrocarbons. This paper deals with the presentation of some of the registry systems developed for carbon geological storage over recent decades. The present study focuses mainly on the most complex system proposed by the SPE (Society of Petroleum Engineers). The last part of the paper attempts to classify potential storage sites in Hungary, in line with the SPE system. (It should be noted that the United Nations Framework Classification — UNFC — has produced Draft Specifications for the Application of UNFC-2009 to Injection Projects for the Purpose of Geological Storage. However, owing to the fact that the content of this classification has not yet been finalized, it is not dealt with here.)

Keywords: Carbon Capture and Geological Storage; registry system, climate change

Összefoglalás

A szén-dioxid elhelyezéssel kapcsolatos „ásványvagyon”-nyilvántartási igények új keletűek, hiszen a szén-dioxid geológiai tárolásának ipari alkalmazása csak az elmúlt évtizedekben, a klímaváltozás elleni küzdelem egyik lehetséges eszközeként vált közismertté. Jelentősége, Norvégia kivételével Európában és a világban csak 2007 után nőtt meg olyan mértékben hogy az ásványvagyon-gazdálkodásért felelős intézményekben a potenciális tárolók standardizált nyilvántartásával kapcsolatos igény egyáltalán felmerüljön.

Az ipari tevékenységből származó szén-dioxid leválasztása és geológiai tárolása (Carbon capture and geological storage — CCS) egy dinamikus fejlődő iparág világszerte. Bár az elmúlt 4–5 évben a kezdeti éllavas Európában jelentősen visszaesett a CCS-technológia alkalmazásának elterjedése — amely elsősorban a gazdasági válsággal és az alacsony szén-dioxid árakkal függ össze — az Egyesült Államokban, Ausztráliában és Kínában robbanásszerű a technológia fejlődése. Éppen ennek a gyors változásnak köszönhetően jelentősen megnőtt az igény a potenciális tárolók, mint ásványvagyonelemek szabványosított nyilvántartására.

Ezt az igényt felismerve számos nemzetközi és nemzeti szervezet készített a potenciális szén-dioxid-tárolók nyilvántartásával kapcsolatos javaslatot. Ezek a nyilvántartási rendszerek — a technológia és a földtani közeg hasonlósága, illetve azonossága miatt — nagyban építenek a már évtizedek óta alkalmazott — elsősorban szénhidrogénekre kidolgozott — nyilvántartási rendszerekre. Sok fogalom azonban, a szén-dioxid geológiai tárolásának sajátosságai miatt nem,

vagy csak nehezen alkalmazható. A következőkben bemutatjuk az elmúlt években kidolgozott nyilvántartási rendszereket, különös hangsúlyt fektetve a jelenlegi legmodernebb, legátfogóbb, az SPE (Society of Petroleum Engineers) által kidolgozott nyilvántartási rendszerre. Végezetül megvizsgáljuk, hogy a hazai potenciális szén-dioxid-tárolók besorolható-e az SPE által javasolt rendszerbe. Megjegyzendő, hogy 2015-ben az Ásványvagyon Osztályozás Szakértői Csoportjának (UNFC-United Nations Framework Classification) megjelent egy javaslatcsomagja a „felszín alatti besajtolási projektek” osztályozására (Draft Specifications for the Application of UNFC-2009 to Injection Projects for the Purpose of Geological Storage), azonban a javaslat véglegesítése még nem zárult le, ezért jelen publikációban nem kerül bemutatásra.

Tárgyszavak: szén-dioxid leválasztás és geológiai tárolás, nyilvántartási rendszer, klímaváltozás

Bevezető

Az ipari tevékenységből származó szén-dioxid leválasztása és geológiai tárolása (Carbon capture and geological storage — CCS) a klímaváltozás elleni küzdelem egyik fontos eleme lehet. Ennek megfelelően az elmúlt évtizedben, eleinte főként Európában, majd később világszerte, jelentősen megnőtt az igény a felszín alatti tárolási potenciál megismerése iránt. A leművelt kőolaj- és földgázrezervoárok, sós vizes víztárolók, bányászatra alkalmatlan szénrétegek potenciális tároló objektumokként való azonosítása már a CCS-technológia fejlődésének korai szakaszában megtörtént. Az adott földtani alakulatokban az alább felsorolt csapdázódási folyamatok révén tárolódhat a besajtolt szén-dioxid BENTHAM & KIRBY (2005) szerint:

- Fizikai csapdázódás szerkezeti és sztratigráfiai csapdákban.
- Pórusvízben való oldódás.
- Geokémiai reakciókhoz kötődő ásványos csapdázódás.
- Kapilláris csapdázódás.
- Szerves anyag felszínén való megkötődés.

A felsorolt folyamatok közül a szerkezeti és sztratigráfiai csapdákban történő fizikai csapdázódás szerepe a legfontosabb, legalábbis a tárolási folyamat elején. Az idő előrehaladtával a szabad fázisban lévő szén-dioxid mennyisége a pórusvízbe való beoldódással és a geokémiai reakciókkal csökken. Mindkét folyamat a szén-dioxid akár geológiai értelemben is hosszú távú és biztonságos felszín alatti tárolását biztosítja.

Fluidumok föld alá sajtólása és tárolása egy jól ismert és régóta alkalmazott technológia. Bár az erre alkalmas geológiai formációkba történő besajtolás bevett gyakorlat mind a földgáztárolás, mind a növelt hatékonyságú szénhidrogén-kitermelés (Enhanced Oil Recovery — EOR) mind a víz-visszasajtolást végző iparágakban, a vagyonelemek osztályozása szinte kizárólag a föld alól kitermelhető nyersanyagok, energiahordozók tekintetében került alkalmazásra.

Létező javaslatok CO₂ tárolás osztályozási rendszerére

A fluidumok és szilárd anyagok bányászatával foglalkozó iparágak számára hasznosnak bizonyult egy általánosan elfogadott osztályozási rendszer bevezetése és alkalmazása, amely lehetővé teszi, hogy a vagyonelemek a földtani, földrajzi és jogszabályi különbözőségeik ellenére jól összevethet-

tők legyenek. A szénhidrogénbányászat számára legáltalánosabban elfogadott PRMS rendszer tulajdonképpen sok vonatkozásában alkalmazható lenne a potenciális geológiai CO₂-tárolók osztályozására, ugyanakkor több korlátja is van a rendszer változatlan átemelésének.

Az egyik fő akadály az, hogy a vagyonelemek osztályozásának egyik fő szempontja a gazdaságosság és a profittermelő képesség. A CCS-ipar azonban egy fiatal iparág, melynek pénzügyi szabályozó rendszere még sok országban most van kialakítás alatt. Komoly akadályt jelent, hogy a földtani vagyon esetében olyan vagyonelemekkel is számol a rendszer, amelyek léteznek, de azokat még nem fedezték fel. A szén-dioxid geológiai tárolása szempontjából célszerűbbnek látszik inkább nem jellemzett (uncharacterized) vagyonelemeket elkülöníteni. Végül maga az a tény, hogy nem kitermelhető vagyonelemről, hanem a besajtolás számára elérhető betárolási térfogatról (kapacitásról) beszélünk, szintén nehezíti a PRMS rendszer változatlan átvételét.

A földtani célobjektumok és az alkalmazott technológiák hasonlósága, illetve azonossága miatt nem meglepő, hogy a szén-dioxid geológiai tárolásban jelenleg alkalmazott osztályozási rendszerek fogalomrendszere a szénhidrogéniparból származik. Az alábbiakban két elfogadott és létező osztályozási rendszert mutatunk be, amelyeket tekintélyes nemzetközi szervezetek (CSLF — Carbon Sequestration Leadership Forum és a CO₂CRC — Cooperative Research Center for Greenhouse Gas Technologies) javasoltak a CO₂-tárolóhelyek osztályozására.

A CSLF-rendszer

A potenciális szén-dioxid-tárolók nyilvántartásában komoly hagyományai vannak a CSLF által 2007-ben összeállított műszaki–gazdaságossági osztályozási piramis alkalmazásának. Maga a piramis (1. ábra) egy képi ábrázolása annak a megismerési folyamatnak, amikor a durva tárolókapacitás-becsléstől egy-egy projekt eljut a részletes, helyspecifikus rezervoár-jellemzésig. A piramis minden egyes szegmense a CO₂-tárolás valamilyen szempontok szerinti további szűkítését jelenti (földtani, műszaki, társadalmi stb. szempontok alapján).

Elvi tároló kapacitás (theoretical storage capacity) alatt az osztályozási rendszer a tárolásra alkalmas formáció teljes pórustérfogatát érti a formáció teljes vastagságában és kiterjedésében. Ez azt jelenti, hogy az elvi tárolókapacitás egy jelentős túlbecslés, amely sem a műszaki/földtani sem a



1. ábra. Földtani/műszaki-gazdaságossági osztályozási piramis (CSLF 2007 alapján)

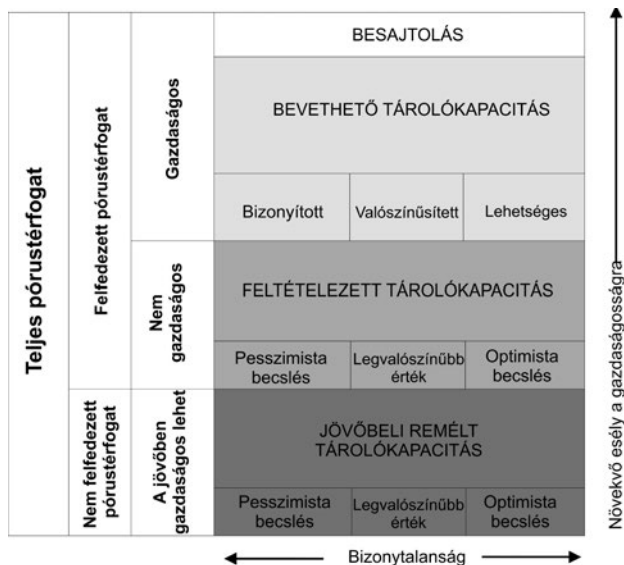
Figure 1. Geological/technological-economic classification pyramid (based on CSLF 2007)

gazdaságossági szempontokat nem veszi figyelembe. Az effektív tárolókapacitást (effective storage capacity) egy ún. kapacitási koefficiens alkalmazásával lehet előállítani az elvi tárolókapacitásból. A kapacitási koefficiens különböző műszaki/földtani paraméterek figyelembevételével jön létre, és megadja az elvi tárolókapacitásnak azon részét, amely műszaki/földtani szempontból a tárolás számára elérhető földtani vagyont, illetve kapacitást. A piramison a további felfelé mozgás gazdaságossági, jogi és szabályozási szempontok figyelembe vételével történik a gyakorlati tárolókapacitás (practical storage capacity) elérésére. Végül a kibocsátó helyek és kibocsátott mennyiségek, illetve a gyakorlati tárolókapacitások összepárosításával, megfeleltetésével juthatunk el a megfeleltetett tárolókapacitásokhoz (matched storage capacity). A CSLF által javasolt osztályozási rendszer megkülönböztet a kapacitásbecslés megkívánt részletessége alapján 5 kategóriát, amelyek az általános, országos felméréstől a helyspecifikus kapacitászámításig meghatározzák a becsléshez szükséges minimális adatszükségletet.

A CO2CRC-rendszer

Hasonlóan a CSLF rendszeréhez, a CO2CRC által javasolt osztályozási rendszer (2. ábra) is a PRMS által bevezetett formát követi. Azaz a „bruttó” térfogatokból (teljes tárolókapacitás) kiindulva, műszaki/földtani, gazdaságossági szempontokat figyelembe véve szűkíti le a tárolókapacitás kategóriáit. A CSLF-rendszerrel jobban alkalmazható a tárolókapacitások osztályozására mivel olyan vagyont kategóriát is megkülönböztet, amely reménybeli, illetve még nem felfedezett.

A CO2CRC rendszerben a teljes tárolókapacitáson (teljes pórustérfogat — *total pore volume*) belül megkülönböztetünk felfedezett (pl. jól jellemzett előfordulások) és még nem felfedezett (pl. feltételezések szerint a jövőben felfedezés után rendelkezésre álló) pórustérfogatokat. A felfedezett pórustérfogat tovább bontható operatív (működőképes) (*operational storage capacity*) és feltételezett (*contingent storage*



2. ábra. A CO2CRC osztályozási rendszere (CO2CRC 2008 alapján)

Figure 2. Classification system of CO2CRC (based on CO2CRC 2008)

capacity) tárolókapacitás-elemekre. Ez az elkülönítés megfeleltethető a PRMS rendszer szerinti készlet és reménybeli vagyont fogalmának. A logikai összefüggések egyértelműek ugyan, de a CO2CRC által javasolt rendszer mégsem határoz meg közvetlen kapcsolódásokat a legáltalánosabban elfogadott SPE rendszer készlet, illetve vagyont fogalmaival.

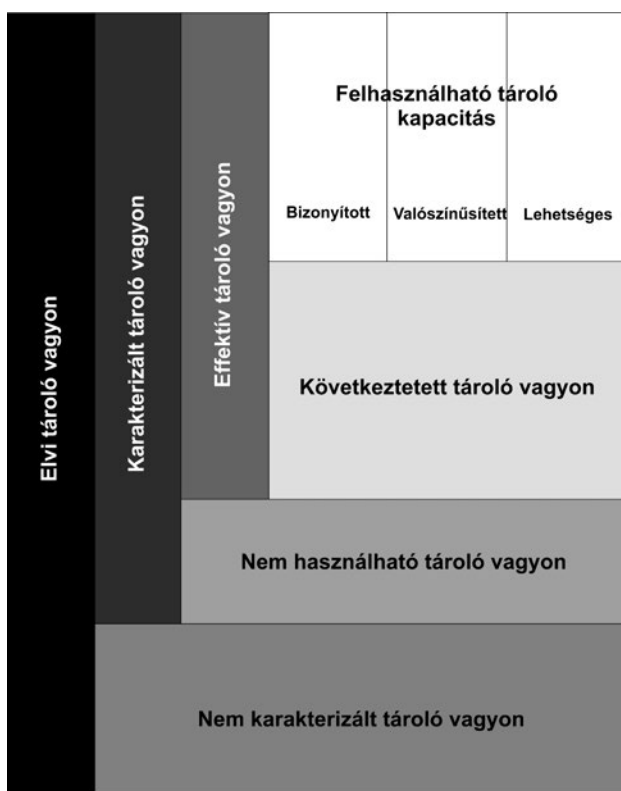
A korábbi javaslatokat is integráló, általunk legalkalmasabbnak tartott SPE osztályozási rendszer

Az új osztályozási rendszer legfőbb célja, hogy egyértelműen elkülönüljön a vagyont és készlet fogalma a széndioxid tárolási potenciál tekintetében. Ebben a legnagyobb kihívást az jelenti, hogy a szénhidrogén-vagyonelemek osztályozásakor alkalmazott gazdaságossági szempontok a CO₂-elhelyezés szempontjából egyelőre nem relevánsak.

A javasolt rendszer az Egyesült Államok Energetikai Minisztériumának 2008-as javaslatát (DOE 2008) követi a vagyont és kapacitás definíciója tekintetében. Ugyanakkor, sok elemében hasonlít a CSLF által alkalmazott módszerre is, amely az elvi tárolókapacitás további szűkítésekor fizikai, műszaki/földtani és gazdasági szempontok figyelembe vételével szűkíti a vagyont mértékét.

Az SPE osztályozási rendszere az elvi tároló vagyont (*theoretical storage resource*), karakterizált (*characterized*), effektív (*effective*), használatra alkalmatlan (*unusable*) és nem karakterizált (*uncharacterized*) vagyont-elemekre osztja fel. Ezen túlmenően átmenetet biztosít a vagyont fogalmából a kapacitás felé, mégpedig úgy, hogy definiálja a feltételezett (*contingent*) tároló vagyont valamint a felhasználható (*practical*) tárolókapacitást (3. ábra).

Az elvi tároló vagyont alatt az osztályozási rendszer a potenciális tároló formációt teljes pórustérfogatát érti, amely az adott formáció alapvető tulajdonságainak figyelembe-



3. ábra. Az SPE osztályozási rendszere (GORECKI et al. 2009 alapján)
 Figure 3. Classification system of the SPE (based on GORECKI et al. 2009)

vételével kerül meghatározásra. Az általános tárolási feltételeken kívül (minimum 800 m, maximum 3000 m-es mélység) semmi egyéb korlátozó tényezőt nem veszünk figyelembe, így ez a térfogat az elméleti maximális vagyon értékét adja meg. Az elvi tároló vagyont tovább oszthatjuk karakterizált és nem karakterizált elemekre, amely a meghatározó formáció-jellemzők, valamint a formáció változékonyságának ismeretét feltételezik. Az osztályozás következő eleme, hogy a karakterizált tároló vagyon tovább szűkíthető nem használható, illetve effektív tárolóvagyon-elemekre. Ez utóbbi kategória esetében a műszaki/földtani korlátokat is figyelembe vesszük. Az SPE osztályozási rendszer által meghatározott effektív tároló vagyon megegyezik a CSLF-rendszer effektív kapacitásával, de fontos különbség, hogy az SPE rendszerében vagyonként van számon tartva, hiszen nincs hozzárendelve gazdaságossági megfontolás. A nem használható tároló vagyon műszaki/földtani szempontok alapján alkalmatlan tárolásra.

Gazdaságossági szempontok figyelembe vételével — további szűkítésként — következtetett tároló vagyon és felhasználható tárolókapacitás elemeket különíthetünk el. A tároló vagyon akkor válik tárolókapacitássá az osztályozási rendszer szerint, ha a besajtolás gazdaságossága adott. Fontos, hogy az osztályozási rendszerben elkülönítjük a jelen időben már gazdaságos besajtolásra alkalmas tárolót (felhasználható tárolókapacitás) a csak a jövőben gazdaságossá váló térfogatoktól (következtetett tároló vagyon). A felhasználható tárolókapacitást tovább oszthatjuk bizonyított, valószínűsített és lehetséges kategóriára. Ez utóbbi

bontás inkább statisztikai kategóriákat, mintsem determinisztikus mennyiségeket jelent.

Hazai szén-dioxid tároló potenciál osztályozási lehetőségei

A tárolási lehetőségek felmérése hazánkban Uniós, később K+F, jelenleg pedig állami feladatként zajlik. A kezdeti időszak megalapozó, az elvi tárolókapacitás meghatározását célzó felméréseket követően, elsősorban műszaki/földtani szempontokat figyelembe véve, de bizonyos gazdaságossági aspektusok szem előtt tartásával végeztünk további kutatásokat.

A vizsgálatok célcsoportjai a leművelt, illetve a művelés végső stádiumában lévő szénhidrogén-előfordulások, illetve a regionális kiterjedésű sós vizes víztartók voltak. A szénhidrogén-előfordulások közül, a műszaki/földtani, biztonsági és termelési szempontokat figyelembe véve 13 terület részletes vizsgálatát végeztük el. A vizsgálatok alapján a kérdéses előfordulások *effektív tároló vagyona* közel 100 millió tonna szén-dioxid. A tároló vagyon eloszlása nem egységes. A legnagyobb előfordulás több mint 20 millió tonna szén-dioxid befogadására lehet alkalmas, míg a legkisebb potenciális tárolóban mindössze kb. 3 millió tonna tárolható, számításaink alapján.

A sós vizes víztartók esetében, figyelembe véve a földtani adottságokat, mint pl. a záróközet regionális jelenléte, megfelelő mélység valamint a konkurens használatból eredő esetleges érdeklődések minimalizálását, az alsó-pannoniai Szolnoki Formáció részletesebb vizsgálatát végeztük el. Számításaink alapján a Szolnoki Formáció CO₂-tároló képessége meghaladja az 1000 millió tonnát, azonban az alacsony fokú ismertség miatt ez a mennyiség a *karakterizált tároló vagyon* kategóriába sorolható.

Ezek alapján kijelenthető, hogy a jelenlegi eredmények a létező, illetve az SPE által 2009-ben javasolt osztályozási rendszerbe egyértelműen besorolhatók. Általánosságban elmondható, hogy kutatásaink során eljutottunk a karakterizált, illetve effektív tároló vagyon meghatározottsági szintjéig. Ásványvagyon-gazdálkodási témakörben a jelenleg meghatározott tárolóvagyon-elemek osztályozási kategóriákba sorolását tekintjük egyik jövőbeli feladatunknak, a UNFC közeljövőben elkészülő osztályozási rendszerének figyelembe vételével.

Köszönetnyilvánítás

Köszönjük a bírálóknak, SÓREG Vikornak és KUBUS Péternek az értékes és alapos munkáját, amely hozzájárult a cikk szakmai színvonalának növeléséhez. Köszönöm a Magyar Földtani és Geofizikai Intézetnek és munkatársainak a projekt végrehajtása során nyújtott segítséget. Köszönöm továbbá KATONA Gáborral, VATAI Józseffel, LESTÁK Ferencsel, KOVÁCS Gáborral, LIVÓ Lászlóval és SZANYI Jánossal folytatott szakmai konzultációk lehetőségét. A munka az OTKA (K 115927) társfinanszírozásában készült el.

Irodalom — References

- ASK, K., BENTHAM, M., CALUYONG, S., FRAILEY, S., HALLAND, E., HEIDUNG, W. & HUBBIG, M. 2015: Draft Specifications for the Application of UNFC-2009 to Injection Projects for the Purpose of Geological Storage. — http://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/egrc/egrc6_apr2015/ECE.ENERGY.GE.3.2015.4_e.pdf
- BENTHAM, M. & KIRBY, G. A. 2005: CO₂ storage in saline aquifers. — In: LE THIEZ, P. (ed.): CO₂ capture and geological storage: state-of-the-art = Capture et stockage géologique du CO₂: état de l'art. Paris, France, Editions Technip, 559–567.
- CO2CRC, 2008: *Storage Capacity Estimation, Site Selection and Characterisation for CO₂ Storage Projects*. Cooperative Research Centre for Greenhouse Gas Technologies, Canberra. — CO2CRC Report No. RPT08-1001. 52 p.
- CSLF, 2007: Estimation of CO₂ Storage Capacity in Geological Media (Phase 2). — In: BACHU, S., BONIJOLY, D., BRADSHAW, J., BURRUSS, R. C., CHRISTENSEN, N. P., HOLLOWAY, S. & MATHIASSEN, O. M. (eds): *Carbon Sequestration Leadership Forum*. p. 43.
- DOE (Department of Energy), 2008: “*Carbon Sequestration Atlas of the United States and Canada*”, Second Edition. — http://www.precaution.org/lib/carbon_sequestration_atlas.070601.pdf
- GORECKI, C. D., HOLUBNYAK, Y. I., AYASH, S. C., BREMER, J. M., SORENSEN, J. A., STEADMAN, E. N. & HARJU, J. A. 2009: A new classification system for evaluating CO₂ storage resource/capacity estimates. — SPE International Conference on CO₂ Capture, Storage, and Utilization, November 2–4, 2009, San Diego, California USA, SPE 126421.
- Kézirat beérkezett: 2015. 09. 28.

Fogalomtár

- Effektív szén-dioxid-tároló vagyón** (*Effective Storage Resource*): A karakterizált tároló vagyón azon része, mely műszaki/földtani szempontok alapján tárolásra alkalmas. Figyelembe veszi továbbá a konkurens használatból, lakott, vagy védett területek (térfogatok), egyéb műszaki tulajdonságokból adódó korlátozásokat.
- Elvi szén-dioxid-tároló vagyón** (*Theoretical Storage Resource*): A potenciális tároló formáció teljes pórustérfogata, amely az adott formációt jellemző elméleti paraméterek figyelembevételével kerül meghatározásra. Ez a térfogat az elméleti maximális vagyón értékét adja meg. Ugyanakkor, a tároló térfogat becslésekor csak a szén-dioxid tárolásának általánosan elfogadott feltételei vannak figyelembe véve, azaz 1000–3000 m közötti mélységtartomány.
- Karakterizált szén-dioxid-tároló vagyón** (*Characterized Storage Resource*): Az elvi tároló vagyón része. A vagyont meghatározó formációjellemzők, valamint a formáció változékonysága, földtani környezete ismert.
- Következtetett szén-dioxid-tároló vagyón** (*Contingent Storage Resource*): Az effektív tároló vagyón azon része, amelybe a besajtolás jogi, műszaki és földtani feltételei adottak és a tárolás fajlagos költsége egyértelműen meghatározható, de az adott piaci feltételek mellett még nem gazdaságos.
- Nem használható szén-dioxid-tároló vagyón** (*Unusable Storage Resource*): A karakterizált tároló vagyón azon része, amely földtani szempontok alapján a tárolásra alkalmatlan, azaz hiányzik a regionálisan kiterjedt kis permeabilitású záró kőzet, esetleg sűrű nyitott törésrendszerek harántolják. Egyúttal megjelenhetnek már olyan nem földtani kizáró szempontok, amelyek korlátozzák a pórustérfogat használatát (konkurens használat, lakott, vagy védett területek [térfogatok], egyéb műszaki tulajdonságok).
- Nem karakterizált szén-dioxid-tároló vagyón** (*Uncharacterized Storage Resource*): Az elvi tároló vagyón része. A formációt jellemző elméleti paramétereken kívül más tulajdonság, úgy mint a formáció változékonysága, valamint a fedőkőzet léte vizsgálatok hiányában nem ismert.

