

CO₂ TÁROLÁSI POTENCIÁL KIÉRTÉKELÉSE CT MÉRÉSEK ALKALMAZÁSÁVAL

Tázlár mező (Magyarország) Integrált Értelmezése és Geomechanikai Modellezése

Tézisfüzet

Készítette:

Veres Gábor Pál
okleveles olajmérnök, közgazdász

Tudományos témavezető:

Dr. Szunyog István

Ipari témavezető:

Dr. Kelemen Béla

MIKOVINY SÁMUEL FÖLDTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA
Doktori Iskola vezetője: Prof. Dr. Szűcs Péter

Budapest, Magyarország
2025

1.) A kutatás tárgya és célja

A disszertáció célja, hogy a geológiai CO₂ tárolási folyamatokkal kapcsolatos meglévő kutatási ismereteket fejlessze tovább, különös figyelmet fordítva azokra a kimerült szénhidrogén gáztárolókra, amelyek bonyolult pórus szerkezettel és heterogén tulajdonságokkal rendelkeznek. A kutatás összekapcsolja a tudományos vizsgálatokat a gyakorlati mérnöki tapasztalatokkal, így elősegítve mind az elméleti ismeretek, mind a CO₂ tárolóba injektálásának és tárolásának technológiai fejlődését. A munka a CO₂ elárasztásának és tárolásának geológiai és műszaki aspektusaira összpontosít, kiemelten kezelve a tároló jellemzését, a tárolási mechanizmusokat és a megvalósíthatóságot. A kutatás jelentős mértékben járul hozzá a CO₂ megkötési és tárolási (CCS) ismeretekhez és a módszertani fejlesztésekhez.

Az orvosi CT-készülékek alkalmazása a tárolók részletes vizsgálatához egy új megközelítést kínál, amely költséghatékony és nagy felbontású elemzést tesz lehetővé a kőzetmintákon. A módszer lehetővé teszi a porozitás eloszlásának, a repedéshálózatnak és a szerkezeti adottságoknak (heterogenitásnak) az átfogó értékelését, ami nélkülözhetetlen a tárolási potenciál minél pontosabb felméréséhez.

A mikro CT (mCT) analízis összekapcsolása a szabályozott körülmények közötti elárasztási kísérletekkel egyedülálló lehetőségeket kínál a szén-dioxid tárolási folyamatainak megértéséhez. Az injektálási frontok és a telítettség változásainak nyomon követése alapvető betekintést nyújt a tárolási mechanizmusokba, egészen a pórusok szintjéig. Ez a tudás alapot ad a pontosabb elárasztási tervek és a tárolók hatékonyabb kezelésének kidolgozásához.

A többféle analitikai technikát ötvöző átfogó kísérleti program igazolta a jellemzési módszereket. A CT-képek, a laboratóriumi mérések és a mikroszkópos vizsgálatok együttes alkalmazása biztosítja a tároló tulajdonságainak és viselkedésének pontos megértését. Ez a többoldalú megközelítés új gyakorlatot alapoz meg a jövőbeni potenciális tárolók felméréséhez. A korszerű geomechanikai modellezés gyakorlati módszereket mutat be a tárolás biztonságának és a működési korlátoknak a felmérésére. A tároló szimuláció és a geomechanikai elemzés összekapcsolása átfogó képet ad az elárasztási lehetőségekről és a kapcsolódó kockázatokról. Ezek a tapasztalatok elengedhetetlenek a biztonságos és hosszú távú eredményes tárolás megértéséhez.

2.) Paraméterek, mérések, megállapítások

Annak érdekében, hogy a valóságban lejátszódó folyamatokat labor méretben tudjam szimulálni, illetve a feltételezett megvalósításhoz legjobban hasonló kondíciókat lehessen modellezni, az alábbi peremfeltételeket alkalmaztam:

- a szén-dioxid közeg mind statikus, mind dinamikus elárasztás esetén szuperkritikus állapotban került beinjektálásra;
- a modell kialakításánál a MOL Nyrt. által használt, és az évtizedek alatt összegyűjtött terepi és labor adatokat is használtam;
- a telep művelésbe állításakor, illetve a termelés végén ismert nyomás és hőmérséklet értékek adták a szimulációk szélsőértékeit;
- a korábban a kutakból vett magmintákat meghatározott elvek szerint szelektáltam, és csak azokat használtam fel a kísérletek elvégzéséhez;
- a vizsgált magminták származási helye és számossága adottság volt;
- a rendelkezésre álló pénzügyi erőforrások behatárolták az elvégezhető vizsgálatok darabszámát;
- az így létrejött adatbázis háttér képezte kutatásom alapját;
- a modell további minták elemzésével és beillesztésével a jövőben pontosítható, kutatásaim során a vizsgálati elvek finomítását és az eredmények pontosítását tűztem ki célul.

1.) A statikus szén-dioxidos elárasztás és a statikus tartás mérési programját az alábbi paramétereknek megfelelően határoztam meg:

CO ₂ telítés	Időtartam (hét)	Hőmérséklet (°C)	Nyomás (barg)
CO ₂ telítés előtt	-	23	-
I. CO ₂ telítési ciklus	1	50	65
II. CO ₂ telítési ciklus	1	100	90
III. CO ₂ telítési ciklus	2	100	90
IV. CO ₂ telítési ciklus	1	135	90
V. CO ₂ telítési ciklus	1	135	90
VI. CO ₂ telítési ciklus	2	135	90

A telítési időtartamok, a hőmérséklet és nyomás értékek, a Miskolci Egyetem Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet erőforrásait és laboreszközeinek paramétereit (cella, CO₂ gázpalack, manométer) figyelembe véve kerültek meghatározásra. Az első telítési ciklus esetén fontosnak tartottam, hogy gáz halmazállapotban is történjen CO₂ telítés majd, a labor körülmények között maximálisan elérhető nyomás érték mellett (90 barg) több, a CO₂ kritikus pontja feletti hőmérséklet került meghatározásra.

Az alap közetparaméterek megmérése után a rendelkezésre álló 18 db magmintából, az az 5 db minta került kiválasztásra, amelynek porozitása és permeabilitása a legnagyobb volt, illetve szempont volt a kiválasztásnál a különböző tárolótérből és litológiából való származás is annak érdekében, hogy minél teljesebb körű információ álljon rendelkezésre a mérések után.

A szén-dioxidos kezelési kontaktidő elteltével a magok kikerültek a nyomástartó cellából, majd a közetmintákat szárítószekrényben tömegállandóságig történő szárítás után ismételt hélium porozitás és nitrogén permeabilitás mérések kerültek elvégzésre rajtuk. Ezt követően a magok visszakerültek a cellába és a következő elárasztási ciklus vette kezdetét. A hat mérési ciklus után, a CT-1/1 (kvarcos agyagpala), a CT-3/1 (konglomerátum), és a CT-8/1 (homokkő) minták esetén a kezdeti és végállapot között porozitás és permeabilitás növekedés volt megállapítható. Ezt a vékonycsiszolatos vizsgálatok is alátámasztották. A szén-dioxid Tázlár mező ezen mintáiban kioldódást indított meg, de kristályosodási/karbonátosodási folyamat nem volt megfigyelhető. A CT-10/1 (bioklasztos márga) és CT-11/1 (bioklasztos mészkő) esetén nem volt egyértelmű szabályszerűség megfigyelhető.

CT-10/1 minta esetén, a He porozitás mérések során, a porozitás mértékében, az I. telítési ciklus után növekedés mutatkozott, majd a II. és III. ciklus hatására csökkenés. A IV-V-VI. kezelést követően ismét egyértelmű növekedés jelentkezett. A mért nitrogén áteresztőképességek esetén kezdetben minimális csökkenés mutatkozott, majd a IV-V-VI. kezelést követően jelentkezett egyértelmű növekedés.

CT-11/1 minta esetén a He porozitás értékek alakulásában az I. és II. CO₂ elárasztás után növekedés mutatkozott, majd az ezeket követő ciklusok hatására csökkenés-stagnálás jelentkezett. A mért nitrogén áteresztőképességek esetén az I. és V. kezelés hatására csökkenés mutatkozott, a többi ciklus után kis növekedés volt jellemző.

2.) Meghatároztam egy dinamikus CO₂ elárasztásos mCT közetvizsgálat mérési programját. Céлом volt a kezdeti rezervoár állapotok és rétegfluidumok reprodukálása után a szénhidrogén letermelésének labor körülmények közötti modellezése, majd az aktuális telep állapotokról kezdődően a CO₂ besajtolásának modellezése, ahogyan azt a valóságban a telep méretében is tennénk. A kezdeti réteghőmérséklet 128°C volt, de a hőmérséklet elérésére mCT mérés közben nem volt lehetőség, a berendezés műszaki adottságai miatt. A szuperkritikus halmazállapotú CO₂ besajtolásához a 90°C is elegendő volt az elért nyomás lépcsőkön, amely lehetővé tette a valóságos telepi állapot

lemodellezését. A folyamatok közben bekövetkező áramlási képek, porozitás és permeabilitás értékek meghatározására a mCT, mint eszköz és technológia, lehetőséget teremtett az alábbi vizsgálati lépéseknek megfelelően:

- a.) Kezdeti állapot létrehozása: a minta vákuumban tartása, amíg a minta tömege állandósult.
- b.) A száraz minta vízzel elárasztása, ioncserélt vízzel szobahőmérsékleten. A besajtolt mennyiség 10 cm^3 , $0,8\text{ cm}^3$ számított pórustérfogat mellett.
- c.) A vízzel telített mintán mCT mérés elvégzése.
- d.) A teljes vízzel elárasztás érdekében, további 10 cm^3 ioncserélt víz besajtolása, 100 barg-ig tartó nyomásfokozás mellett.
- e.) A vízzel telített mintán mCT mérés elvégzése.
- f.) A nyomás fokozása a kezdeti rétegnyomás értékéig: 207 barg.
- g.) mCT mérés elvégzése.
- h.) Hőmérséklet emelése 90°C -ig.
- i.) mCT mérés elvégzése.
- j.) 207 barg nyomáson és 90°C hőmérsékleten első metán elárasztási ciklus. 10 cm^3 a besajtolt térfogat.
- k.) mCT mérés elvégzése.
- l.) 207 barg nyomáson és 90°C hőmérsékleten második metán elárasztási ciklus. 10 cm^3 a besajtolt térfogat.
- m.) mCT mérés elvégzése.
- n.) Aktuális rétegnyomás beállítása: 30 barg.
- o.) mCT mérés elvégzése.
- p.) Nyomás fokozása 100 barg-ig. 100 barg nyomáson és 90°C hőmérsékleten az első szén-dioxid elárasztási ciklus. 10 cm^3 a besajtolt térfogat.
- q.) mCT mérés elvégzése.
- r.) Nyomás fokozása 207 barg-ig. 207 barg nyomáson és 90°C hőmérsékleten második szén-dioxid elárasztási ciklus. 10 cm^3 a besajtolt térfogat.
- s.) mCT mérés elvégzése.

A vizsgálatok alapján az alábbi megállapításokat tettem:

3.) Micro CT mérés során a hengeres közettestet mérési szeletenként (a gép felbontásától függ a vastagsága) összeillesztve, minden mérési szeletre kiszámított átlag paraméterekkel lehetséges a mérés kiértékelése.

- 4.) A kalibrálások során megállapítható volt, hogy a mérési zaj nem befolyásolta az eredményeket.
- 5.) A mCT alkalmas a rétegekörülmények között megjelenő három különböző fluidum (víz, metán és a szuperkritikus CO₂) elkülönítésére sűrűség alapján. A vizsgálatok során a földgáz tiszta metánnal került helyettesítésre.
- 6.) A CO₂ besajtolás/metán kiszorítás folyamatában nem állt be állandósult állapot, nem ment végig a CO₂ a mintán, így relatív permabilitás megállapítására nem volt lehetőség. A 0,8 cm³ pórustérbe 10 cm³ CO₂ besajtolás történt. Ez a több mint tízszeres térfogati mennyiség előzetes becslésen alapult. Az elárasztás valós idejű követésére nem volt lehetőség, így csak a mérés kiértékelése során a kapott eredményekből állapítható meg az elárasztás mértéke utólagosan. A mérés megismétlése esetén a mérés időtartamát és/vagy a besajtott CO₂ arányát növelni kell. Az ismételt mérésekre nem állt rendelkezésre pénzügyi forrás.
- 7.) Mivel állandósult állapot nem következett be, a CO₂ nem járta át teljesen a pórusteret ezért új, in-situ, a szeletekre vonatkozó megállapításokkal lehetséges a permeabilitások kalkulációja. Adott porozitáshoz több permeabilitás érték is tud tartozni, azonban vannak olyan szeletek, amelyek ugyanúgy viselkednek. Az effektív térfogat különböző százalékainál (2, 12, 25, 100%) eltérő, új porozitás-permeabilitás összefüggések kerültek meghatározásra az alábbi táblázatnak megfelelően.

Effektív térfogat	Porozitás-permeabilitás összefüggés
100%	$K = 23,291 \cdot e^{0,0994 \cdot \varphi}$
25%	$K = 6,8474 \cdot e^{0,1887 \cdot \varphi}$
12%	$K = 2,7628 \cdot e^{0,3329 \cdot \varphi}$
2%	$K = 0,3436 \cdot e^{1,3884 \cdot \varphi}$

e – Euler szám és φ - porozitás (%)

Tézis 1.) "Az aktív víztest jelenlétének vagy hiányának tisztázása"

Tázlár mező termelési múltját, réteg nyomásmérés adatait és a statikus PVT modelljét integrálva egy új, korábban még erre a mezőre nem használt szoftverbe (tNavigator) táplálva bebizonyosodott, hogy az eddigi feltételezésekkel ellentétben a mezőnek nincs aktív víztestje, nincs víz utánáramlás a telepben. Az adatok segítségével a kutakra külön, és mező szinten is nagy pontosságú múltillesztést sikerült létrehozni, a mezőt víztest nélkülüként feltételezve. Víztest feltételezése mellett, a szimulált adatok a mért adatokkal nagyon csekély mértékben korreláltak.

Az aktív víztest meglétének tisztázása kiemelten fontos a CO₂ tárolás szempontjából, hiszen a nagy mennyiségben jelen lévő rétegvíz befolyásolja a CO₂ áramlását, a szabad pórus térfogatot, várhatóan befolyásolja a beoldódást és a rétegnyomást, így a beinjektálható mennyiséget is.

Tézis 2.) "Új porozitás-permeabilitás összefüggés meghatározás"

8.) Az illesztett dinamikus modell (múlt illesztett, homogénnek feltételezve a tárolót, 30 mD permeabilitási értéket megadva, utóbbi kettő peremfeltétel a MOL Nyrt-ben használt és létrehozott statikus modellből következik) gyakorlatban használt (korábbi termelési felülvizsgálati tervekben is szerepel) porozitás-permeabilitás összefüggéséről:

$$K = e^{0,306 \cdot \varphi - 6,142}$$

bebizonyosodott, hogy nem használható a tároló jellemzésére az ismert terepi adatokat figyelembe véve.

9.) Az mCT-mérések alapján a számított összefüggések az elárasztott részből (495–700 szelet) származnak. A mért permeabilitás értékek a használhatatlanul magas tartományba esnek, ami azt jelenti, hogy a 100%, 25% és 12%-os tényleges (effektív) térfogattal jellemezhető részek jobb minőségű kőzetet jeleznek, vagy ezek a nagyobb porozitású szeletek valószínűleg harántolnak egy repedést, és alkalmazásuk teljesen szélsőséges (valószínűtlenül jó) képet festene a tárolóról. Arra a következtetésre jutottam, hogy ezeket nem használok az áteresztőképesség számítás alapjaként.

2% effektív térfogat esetén a porozitás – permeabilitás adatok ugyanabba a tartományba esnek, mint az eredetileg feltételezett 10 mD és 30 mD közötti legkisebb és legnagyobb áteresztőképesség értékek.

A laposabb görbét leíró összefüggést használtam:

$$K = 0,3436 \cdot e^{1,3884 \varphi}$$

A számított áteresztőképesség-eloszlás a következő:

A kőzetmintából származtatott porozitás-permeabilitás összefüggés alkalmazása átlagosan kb. 14 mD értéket eredményez. Ez összehasonlítható a "elméleti" legkisebb átlagos 10 mD értékkel, ami arra utal, hogy az eredmények nem térnek el jelentősen a korábbi elképzelésről.

Tézis 3.) "A CT és mCT technológiák alkalmazásának újszerű megközelítése tároló méretű heterogenitás vizsgálathoz"

A mCT mérés során kapott porozitás-permeabilitás összefüggések közül a legkisebb permeabilitási értéket feltételező összefüggést a dinamikus modellbe betáplálva az jobb illeszkedést mutatott (14 mD). Tehát a mCT mérés során kapott, legkisebb (és egyben legrealisabb) permeabilitást feltételező porozitás-permeabilitás összefüggést használva, pontosabb múlt illesztést hozott a dinamikus modellezés. Ennek ellenére a mérés során használt minta nem tekinthető reprezentatívnak és a tároló sem homogénnek, azonban az bizonyítást nyert, hogy további, hasonló mérési program elvégzésével, a telepre vonatkoztatott porozitás-permeabilitás összefüggés jelentős mértékben pontosítható.

10.) Geomechanikai érzékenységi vizsgálatok is készültek. Mért közetfizikai paraméterek hiányában az irodalmi adatok felhasználásával több, a tároló és fedőkőzetre, illetve a felszínre tett megállapítás is tehető. A szimulációs program alábbi táblázatban összeállított futtatási peremfeltételeivel a következő adatokat kaptam:

		Perme- abilitás	Young modulus	Poisson szám	Belső súrlódási szög (theta)	Kohézió
1. Eset – min.	Rezervoár	30	300 000	0,17	0	6
	Fedőkőzet	0,00001	50 000	0,10	0	14
2. Eset – max.	Rezervoár	30	900 000	0,35	32	40
	Fedőkőzet	0,00001	300 000	0,10	14	40
3. Eset – min.	Rezervoár	10	300 000	0,17	0	6
	Fedőkőzet	0,00001	50 000	0,10	0	14
4. Eset – max.	Rezervoár	10	900 000	0,35	32	40
	Fedőkőzet	0,00001	300 000	0,10	14	40
5. Eset - kombinált 1	Rezervoár	30	300 000	0,17	32	40
	Fedőkőzet	0,00001	50 000	0,10	14	40
6. Eset - kombinált 2	Rezervoár	30	900 000	0,35	0	6
	Fedőkőzet	0,00001	300 000	0,10	0	14

A szimulációk során az alábbi peremfeltételek kerültek alkalmazásra:

- Kezdeti és aktuális rétegnyomás és hőmérsékletek
 - Kezdeti rétegnyomás, hőmérséklet: 207 barg; 128°C
 - Aktuális rétegnyomás, hőmérséklet: 30 barg; 128°C
- Maximálisan elérhető rétegnyomás a kezdeti rétegnyomás: 200 barg
- A besajtott CO₂ mennyisége 1,2 Mt/év (MOL Nyrt. által tervezett betárolási mennyiség)
- A fedőkőzet: márga

Tézis 4.) "Terepi adatokkal kalibrált geomechanikai modellek alkalmazása a tNavigator programban"

A fenti paraméterek változtatásával csak akkor történt tároló/kútkörzet/vagy fedőközet károsodás a CO₂ besajtolás során, ha a közet belső súrlódási szöge 0° lett volna, semmilyen más paraméter változtatás nem befolyásolta a réteg felrepedését. Irodalmi adatok alapján a tárolóra és a fedőközetre is különböző szélsőértékeket paraméterként megadva futtattam 6 különböző szimulációs esetet a fenti táblázatban foglaltak szerint.

11.) A hat szimulációból származó eredmények azt mutatták, hogy további szimulációkra van szükség a súrlódási szög különböző értékeinek a sérülésre gyakorolt hatásának vizsgálatára. Ennek megfelelően kiegészítő szimulációs forgatókönyvek sorozatát dolgoztuk ki. A tárolóréteg és a fedőréteg közötti súrlódási szög pontosabb meghatározásához egy intervallumfelezési módszert alkalmaztunk. Ez az ismétlődő (iteratív) eljárás lehetővé tette a szerkezeti károsodáshoz kapcsolódó kritikus súrlódási szög értékek pontosabb megközelítését.

12.) Végül az utolsó szimulációs eset a Tázlár formáció kőzettípusára (litológiájára) vonatkozó, szakirodalomban fellelhető legjellemzőbb átlagos értékeket tartalmazta. Ez valós összehasonlítási alapot biztosított a rendszer mechanikai viselkedésének értékeléséhez tipikus földtani körülmények között. Megerősítve: a formáció töréséhez más paraméterek változtatása nem vezetett.

13.) A felszíni deformáció szimulációs eredményei alapján megállapítható, hogy a felszín a termelés kezdete óta helyenként több mint 20 mm-t süllyedt az ismert termelési és nyomásadatok figyelembevételével. Az előre jelzett 1,2 Mt/év besajtolási ütem és a maximum 207 barg rétegnyomás megengedése mellett ezek a felszíni deformációk eltűnnek, felveszik a termelés előtti állapotot.

14.) Abban az esetben, ha az injektálás során megengedhető rétegnyomás maximumát a kezdeti rétegnyomás kétszereséig növeljük (~400 barg), minden esetben felhasad a tároló és károsodnak a kútkörzetek.

Tézis 5.) „A biztonságos CO₂ elárasztás paraméterinek becslése”

10 mD és 30 mD permeabilitást feltételezve is készült szimuláció a besajtolásra. A modell futtatások fő következtetése, hogy az eredmény nem függ az áteresztőképességtől. Az átlagos áteresztőképesség használata homogénné teszi a modellt, ami nem írja le megfelelően a tárolót. Az egyetlen különbség, amelyet a minimális és maximális permeabilitás használata okoz, az a maximális rétegnyomás elérésének időtartama. 10 mD átlagos permeabilitás esetén a maximális 207 barg rétegnyomás kb. 75 év alatt áll be, 30 mD átlagos permeabilitás esetén 25 év után.

15.) A teljes beinjektálható mennyiség némileg eltér a szimuláció eredménye értelmében. 10 mD átlag permeabilitást feltételezve a maximális közeli rétegnyomást kb. 35 év alatt eléri a tároló. Az azt követő 40 évben minimális lesz a beáramlás mértéke, amíg eléri a maximális rétegnyomást. Az alacsony permeabilitás és relatív nyomáskülönbség a 207 barg-ben maximalizált lyuktalpi nyomás miatt alakul ki. Ezzel szemben 30 mD átlagos permeabilitást feltételezve 25 év után éri el a tároló a maximálisan megengedett rétegnyomást, ez alatt az idő alatt közel 10%-kal több a teljes besajtott CO₂ mennyiség, mint a korábbi esetben. A laboratóriumi kísérletekhez használt minták száma gyakran korlátozott, ezért nem feltétlenül mutatják be a terepi viszonyok sokféleségét teljes mértékben. Amikor a kísérleti eredményeket a gyakorlatban is szeretnénk alkalmazni, gondosan mérlegelni kell, hogy a laboratóriumi és a terepi körülmények közötti különbségek hogyan befolyásolják azokat. Ha többféle mintát is megvizsgálunk, azzal pontosabb képet kaphatunk egy adott terület tárolási lehetőségeiről.

A magyarországi tárolóközeinkkel kapcsolatban még kevés a megbízható adatunk a kőzetek mechanikai tulajdonságairól, ezért a szakirodalomból és más, hasonló területekről kell tájékozódunk. Ha közvetlenül meg tudnánk mérni a legfontosabb mechanikai jellemzőket, azzal pontosabb modelleket készíthetnénk, és kisebb lenne a kockázatbecslés bizonytalansága. Különösen fontos a fedőréteg alapos vizsgálata, hiszen az biztosítja a tárolás biztonságát.

A hosszú távú tárolási folyamatok előrejelzése viszonylag rövid távú kísérletekre épül, amelyek nem biztos, hogy minden lényeges szempontot figyelembe vesznek. Ahhoz, hogy megbízhatóan tudjuk becsülni a tárolás hosszú távú biztonságát több, hosszabb ideig tartó kísérletre és terepi megfigyelésre van szükség. Azt is meg kell vizsgálnunk, hogy a kőzetek és a CO₂ között milyen kémiai reakciók zajlanak le, és hogy ezek hogyan befolyásolják az ásványi anyagok megkötési képességét.

6. Tézis: „A Tázlár mező tárolótulajdonságainak szimuláción alapuló értékei”

A dinamikus szimulációval megbízható adatokat kapunk a Tázlár mező tárolójának jellemzőiről, amelyek alapot adnak a későbbi gazdaságossági számításokhoz.

A kalkulált teljes beinjektált CO ₂ mennyiség 25 év után	@10 mD	@30 mD
Teljes beinjektált CO ₂ térfogat	3,08 milliárd m ³	3,36 milliárd m ³
Teljes beinjektált CO ₂ tömeg	6,31 Mt	6,89 Mt

Kezdeti földtani vagyon	3,02 milliárd m ³
Pórus térfogat @ Rezervoár körülmények között	21,20 Mm ³
A teljes gáztermelés térfogata	2 557,78 Mm ³

Az összetett elemzés alapján a CO₂ tárolási kapacitása körülbelül 7 millió tonna (3,36 milliárd köbméter), ahol kezdetben a szerkezeti adottságok és a visszamaradó CO₂ megkötése a legfontosabb, majd idővel egyre nagyobb szerepet játszik a CO₂ oldódása és az ásványi anyagokba való beépülése.

A tárolói körülmények között a CO₂ kritikus pontjához tartozó nyomása és hőmérséklete felett a CO₂ szuperkritikus folyadékként viselkedik, amelynek a sűrűsége gyakran 2-3-szorosa a metánénak ugyanazon a nyomáson. Ez azt jelenti, hogy ugyanabban a térben több CO₂-molekulát tudunk tárolni, mint metánt.

Ez a kutatás szilárd alapot teremt ahhoz, hogy a CO₂-tárolás Magyarországon és más, hasonló földtani adottságokkal rendelkező területeken is megvalósulhasson. A jellemzési módszerek fejlesztése, a kísérleti eredmények igazolása és a pilot projektek felgyorsíthatják ennek a kulcsfontosságú klímavédelmi technológiának az elterjedését.

Publikációk

1. Veres, Gábor Pál; Földes, Tamás; Szunyog, István: Assessment of core samples through the analysis of CT measurements and its implications for CO₂ sequestration potential in a Hungarian depleted oil field; RESULTS IN ENGINEERING 24 Paper: 103241, 14 p. (2024); Scientific Journal subject: Scopus - Engineering (miscellaneous) Rank: D1
2. Veres, Gábor Pál: Supercritical CO₂ injection in moderate-tight hydrocarbon reservoirs, a preliminary case study; SCIENTIA ET SECURITAS 3: 3 pp. 176-184., 9 p. (2022) Regionális Tudományok Bizottsága HASSELIX RTB [1901-] D hazai
3. Veres, Gábor Pál: Magyarország energiastratégiája a klímasemlegesség tükrében; MULTIDISZCIPLINÁRIS TUDOMÁNYOK: A MISKOLCI EGYETEM KÖZLEMÉNYE 11: 1 pp. 69-75., 7 p. (2021)
4. Veres, Gábor Pál; Tihanyi, László; Szunyog, István: Végfelhasználói gázár változása nyolc EU tagországban 2010 - 2019 között; ENERGIAGAZDÁLKODÁS 62. évf. 2-3. szám pp. 30-34., 5 p. (2021)
5. Veres, Gábor Pál; Vadászi, Mariann: Az ipari szén-dioxid-leválasztás eljárásainak összehasonlító elemzése; MAGYAR ENERGETIKA 28: 4 pp. 26-30., 5 p. (2021)
6. Veres, Gábor Pál; Tóth, Anikó Nóra PhD: Current Situation and Potential of Miskolc District Heating; Euroheat and Power (English Edition) 22698: 4 pp. 38-42., 5 p. (2021) Scientific Journal subject: Scopus - Energy Engineering and Power Technology Rank: Q4