

Áteresztőképesség meghatározása és korrekciója tight és shale formációkból származó mintatestek esetén

GINOP-2.3.2-15-2016- 00010

Zárókonferencia

Remeczki Ferenc

Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet

Miskolci Egyetem

2021.10.25.

www.afki.hu

SZÉCHENYI 2020



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

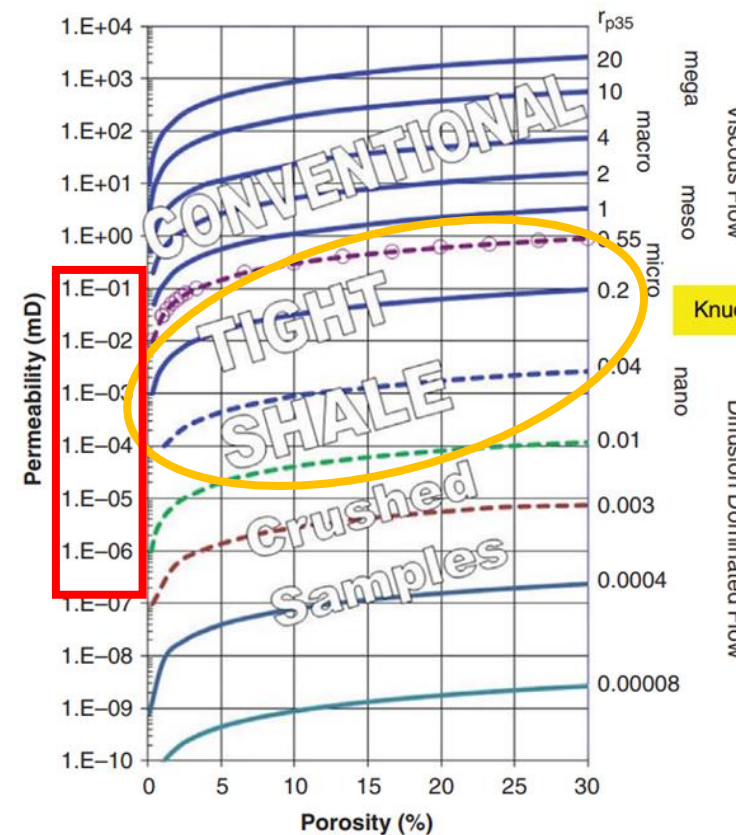
Európai Unió
Európai Regionális
Fejlesztési Alap



BEFECTETÉS A JÖVŐBE

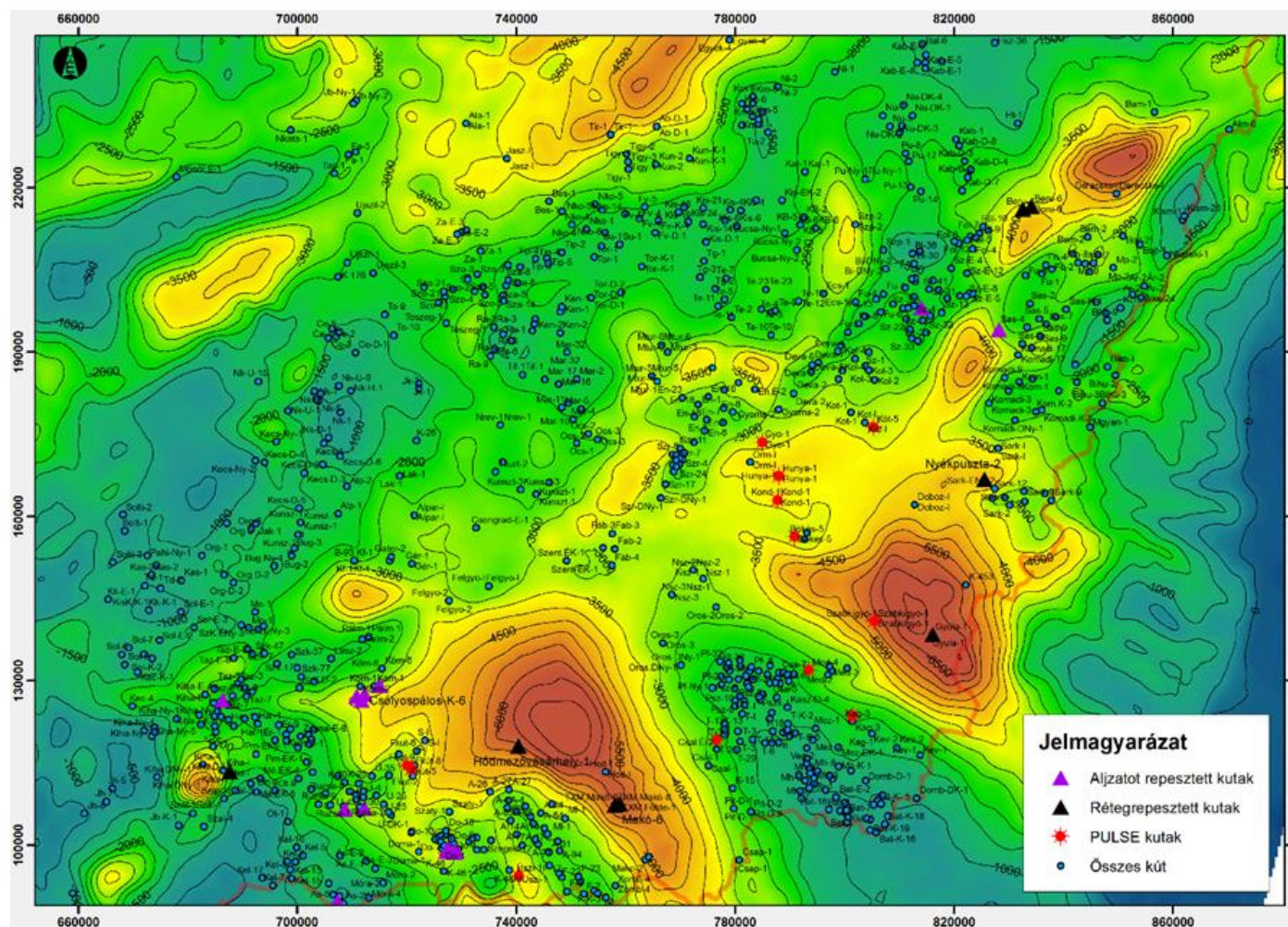
Nem-konvencionális tárolórendszerek

- Harmadlagos termelés technológia, HTHP környezet
- Jelentős kiterjedés – konvencionális csapdák nem jellemzőek
- Alacsony porozitás (tight < 10%; shale < 5%)
- Magas maradó víztelítettség (65 – 95%)
- 1 mDarcy alatti átteresztőképesség
- 1 μm alatti pórus-torok átmérő
- Magas kapilláris és küszöbnyomás értékek
- Alacsony kihozatali tényező



FORRÁS: R. Aguilera: Flow units: From conventional to tight-gas to shale-gas to tight-oil to shale-oil, SPE-165360 Reservoir Evaluation and engineering May (2014)

Nem-konvencionális tárolórendszerek



- Beru-1, -4, -6
- Békés-5
- Forráskút-5, -8
- Gyoma-1
- Hunya-1,
- Köröstarcsa-5,
- Szabadkígyós-1
- Újszentiván-1

Teljes szelvényű fúrómag és a minták kialakítása

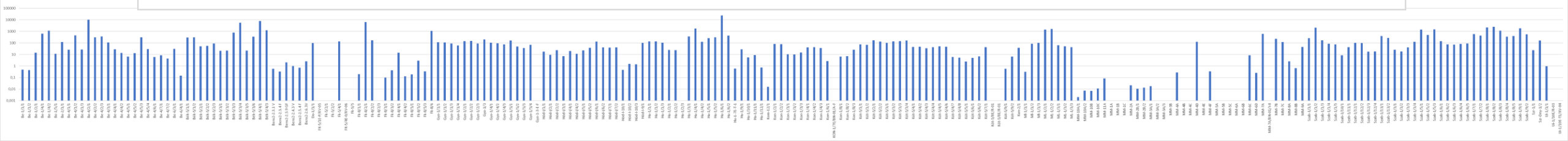
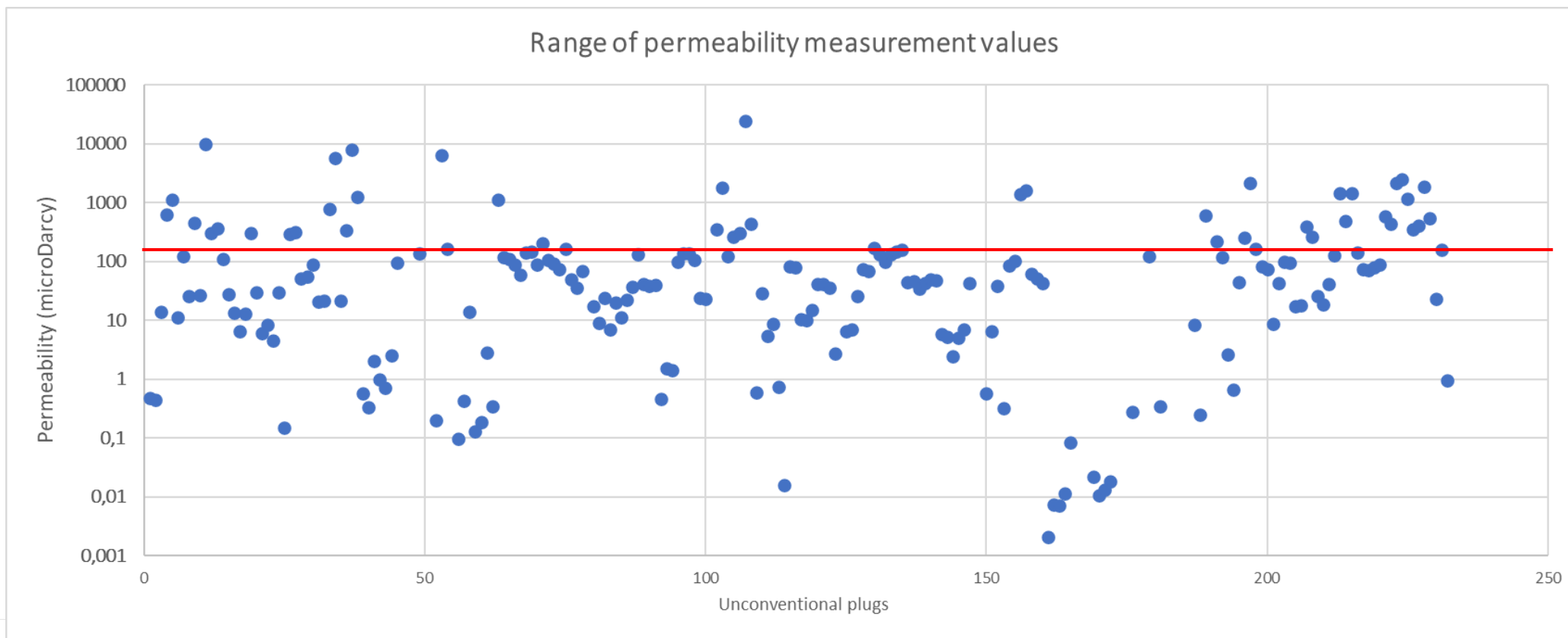


Eszközpark

A mérési protokoll ,permeabilitás vizsgálat' fázisához alkalmazott műszerek:

- Ultrapyc 1200eTM poroziméter
- PASCAL 140 és 440TM higanypenetrációs műszerek
- N₂ permeaméter
- NANO-KTM permeaméter

Áteresztőképesség értékek (1,5" mintadugón)



Megfogalmazott gondolatok

Az áteresztőképesség mérések mellett vizsgálni kell a **pórus-torok méret eloszlás** alapján a mintatestben kialakuló **áramlási rendszereket**.

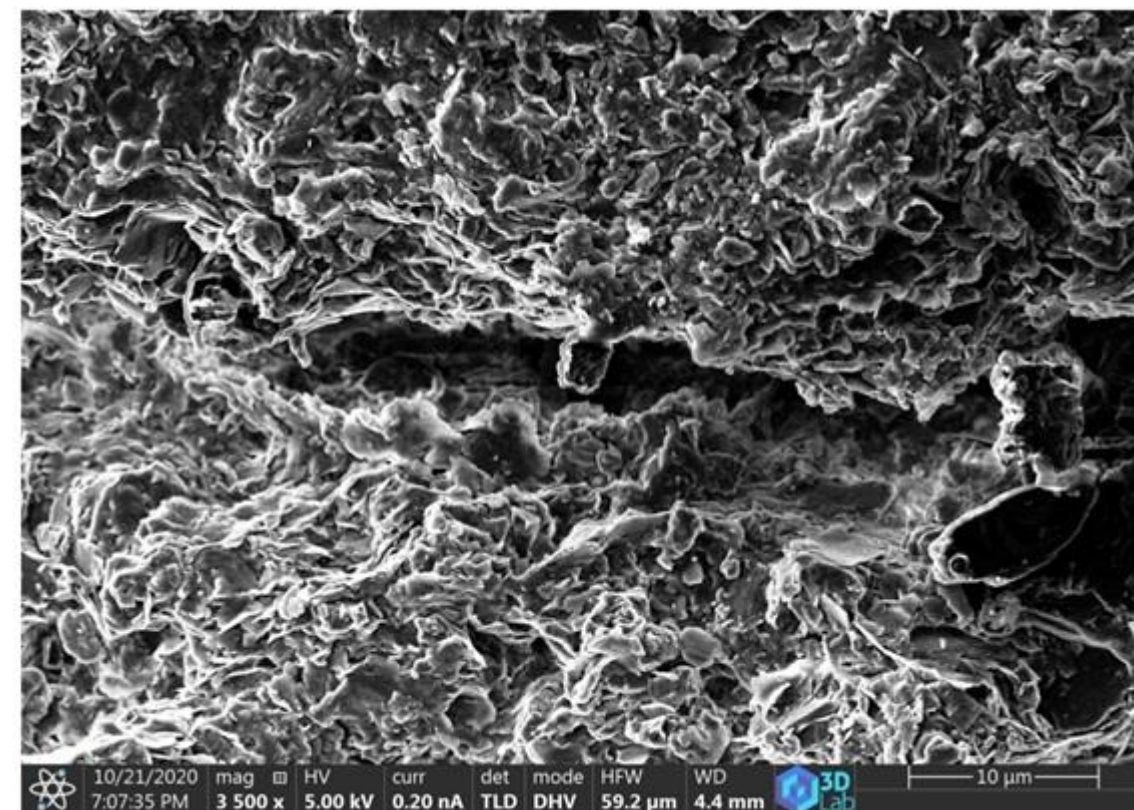
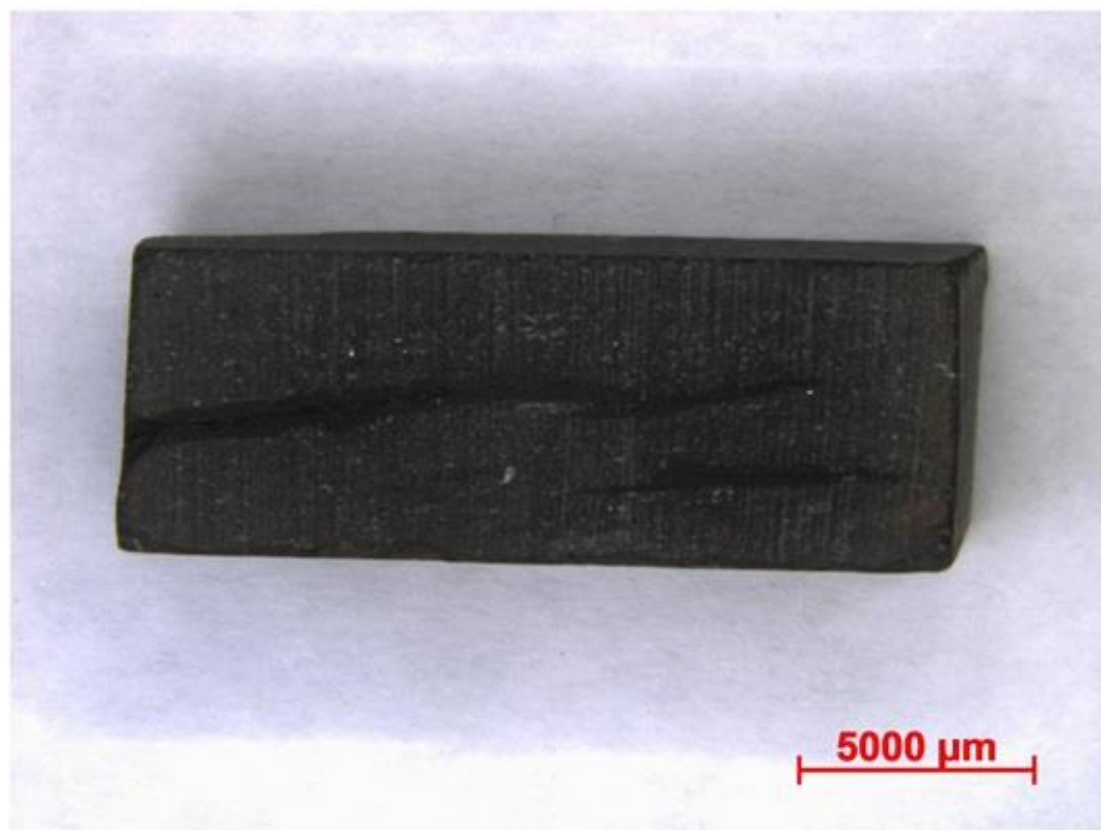
Amennyiben igazolódik, hogy az áramlási rendszer részben a Darcy áramlás érvényességén túl van, akkor **korrekciót kell alkalmazni**.

A vizsgált magminták évtizedek óta a magraktárban voltak; megsérülhettek.

A mintakialakítás során keletkezhetnek **felületi sérülések (mikro-repedések)**, melyek jelentősen megnövelhetik a mért áteresztőképességet.

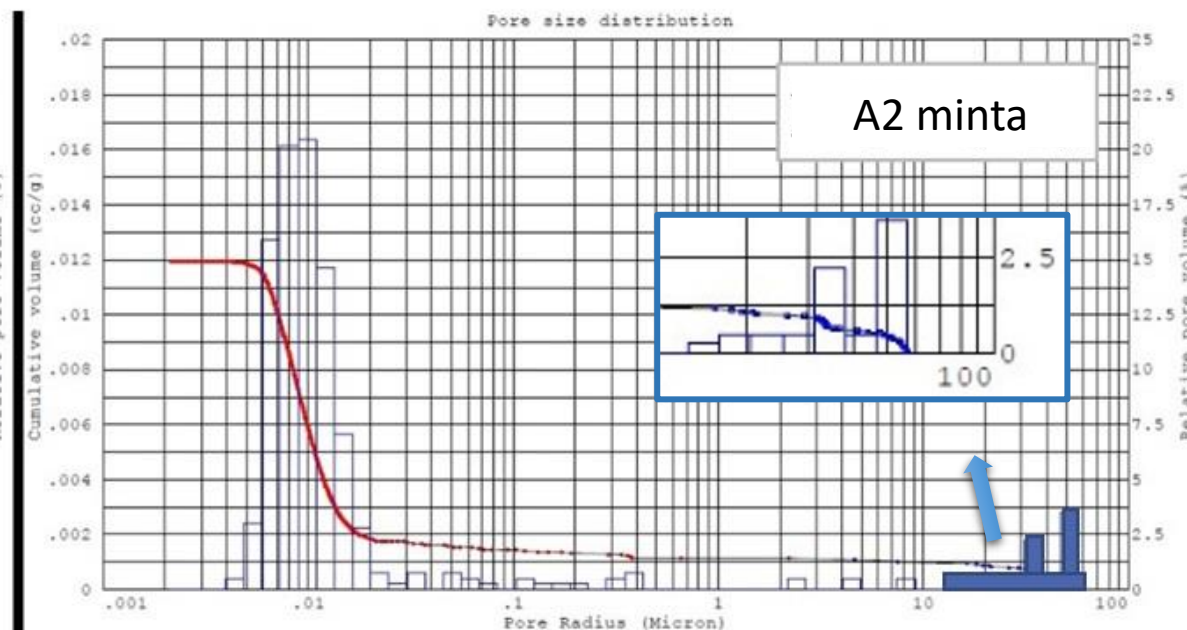
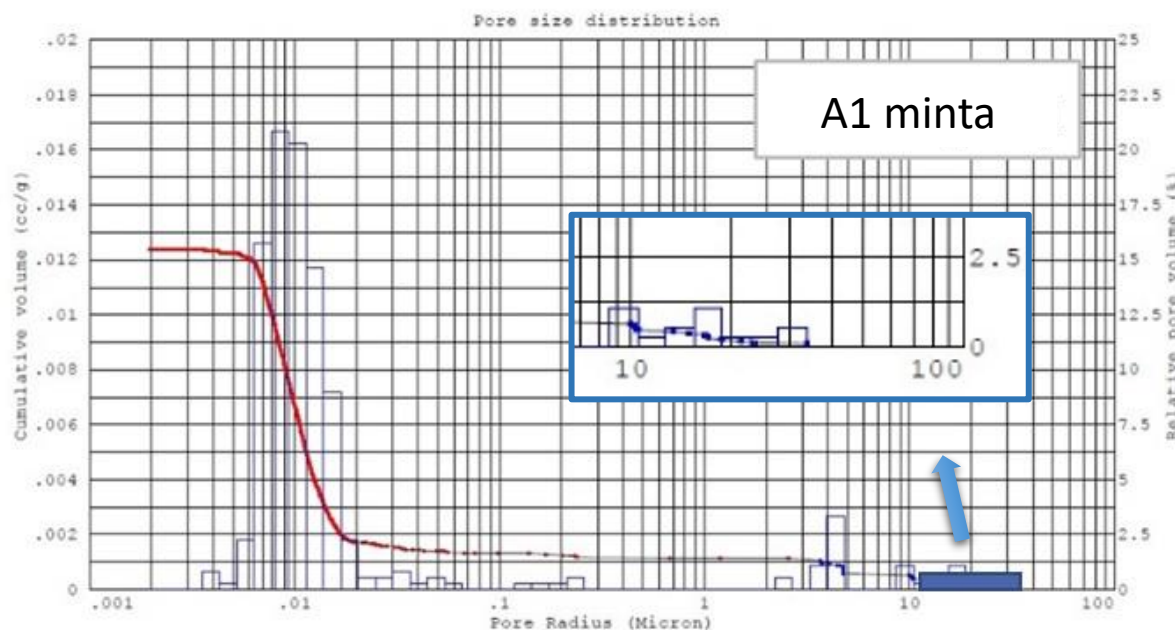
Mikro-repedések kialakulása a mintatest felületén

Számos esetben szemmel látható repedéseket lehetett megfigyelni a kialakított mintatesteken

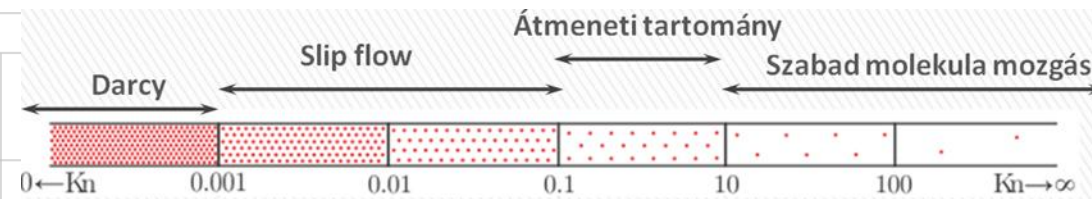
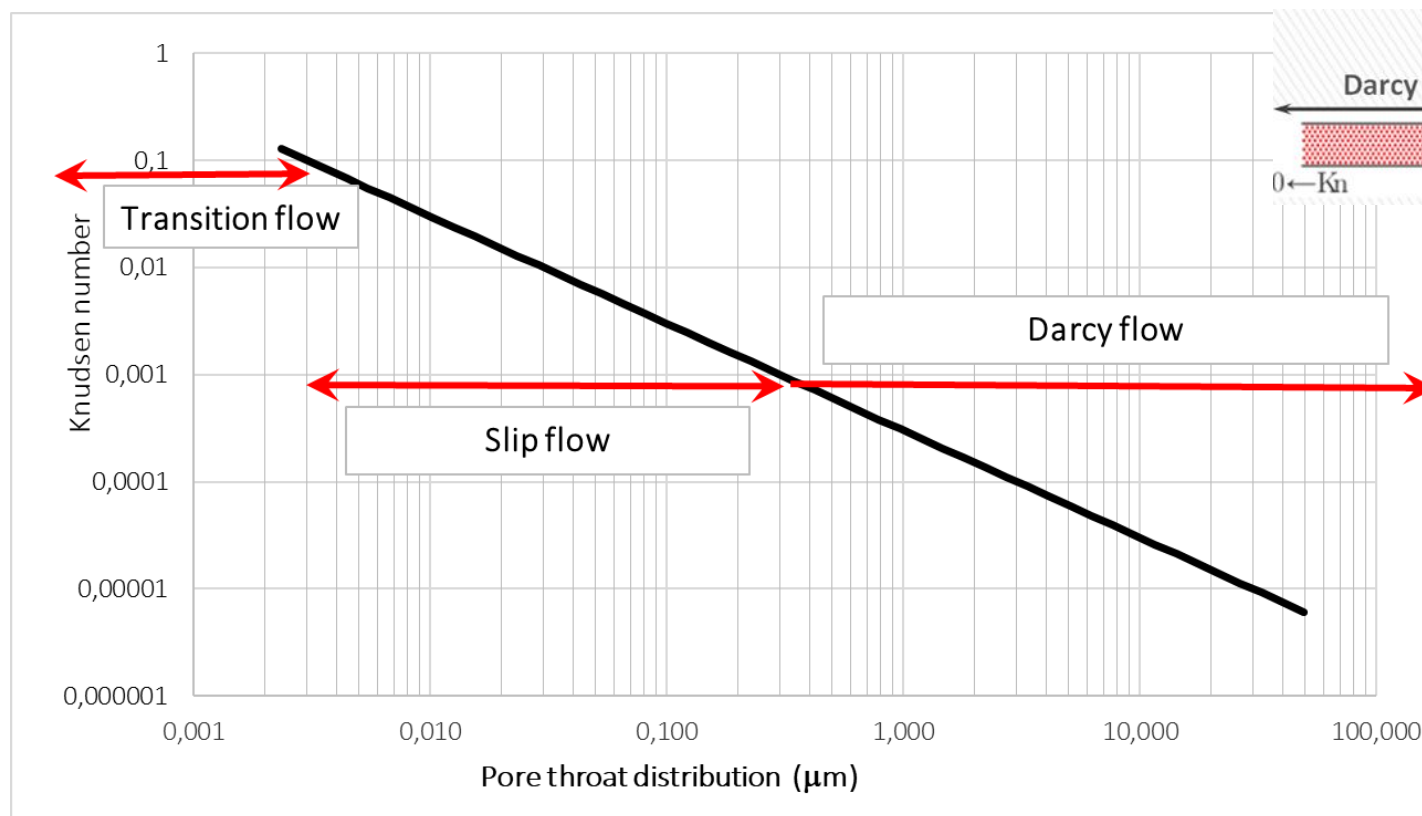


Mikro-repedések kialakulása a mintatest felületén

A higany penetrációs eredmények meglepő különbségeket mutattak a **10 mikron** feletti tartományokban.



Áramlási rendszerek (laboratóriumi körülmények között)



$$K_n = \frac{\lambda}{d} \quad \lambda = \frac{k_B T}{\sqrt{2} \pi \delta^2 p}$$

- λ : a gáz közepes szabad úthossza (m)
- d : a póruscsatorna átlagos átmérője (m)
- k_B : a Boltzman állandó (1.3805 10⁻²³ J/K)
- T : a hőmérséklet (K)
- p : a nyomás (Pa)
- δ : az ütközési átmérő (m)

Modellminta „kialakítása”

A Javadpour és társai elméleti modellje alapján elkészíthető az úgynevezett modellminta:

- amely a higany penetrációval mért pórustorok méret-tartomány eloszlás alapján,
- eltérő átmérőjű csövekből épül fel

Alapbeállításban a 'laboratóriumi' körülmények (p , Δp , T) a 'szimulációs mérésben' alkalmazott gáz (nitrogén), valamint a minták hossza megegyeznek a Nano-K permeaméter mérési körülményeivel.

A modell minta pórustere teljesen száraz, extrahált (minta a Nano-K eszköz esetén)

Feltételezi, hogy a pórustér (micro és nano pórusok) jellege megengedi a pórustér változatlan mértékű figyelembe vételét csövecskék formájában.



Modellminta elméleti alapjai

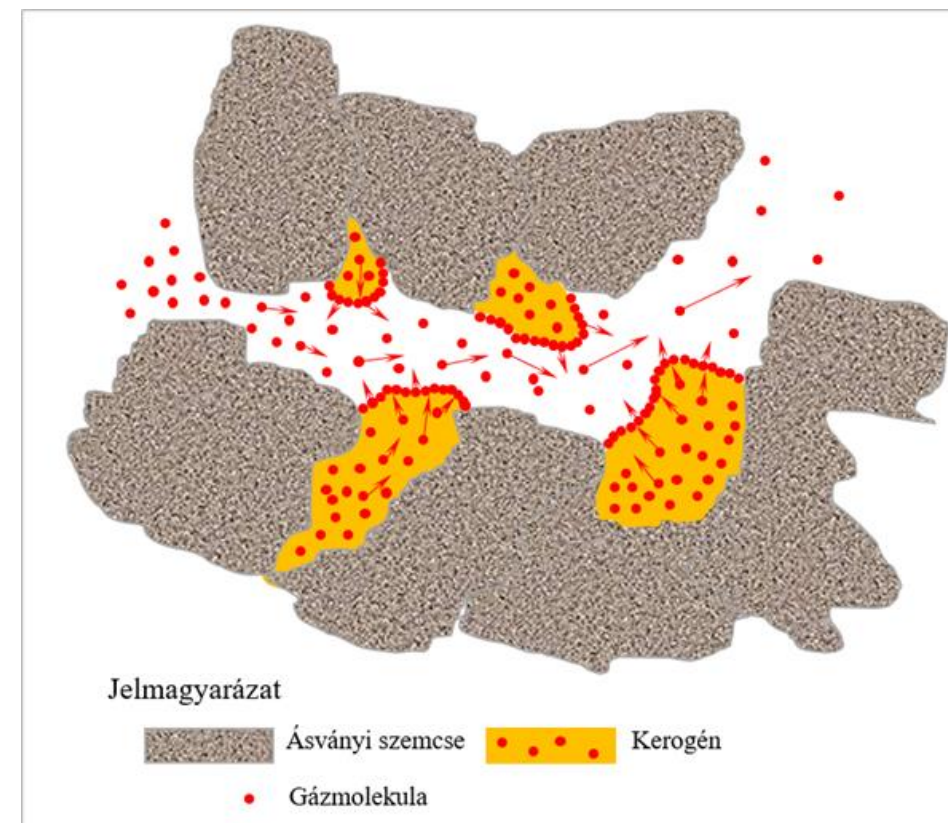
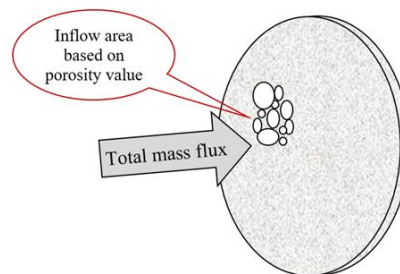
A pórusokban kialakuló áramlás teljes tömegáram fluxusa (J) a nyomáskülönbség vezérelte tömegáram (advekciónak) fluxusának (J_a) és a Knudsen típusú diffúzió (J_D) fluxusának összege.

$$J = D_K \frac{M}{RT} \frac{\Delta p}{L} + F \frac{\rho_{avg} r^2}{8\mu} \frac{\Delta p}{L} = \left(\frac{2r}{3} \frac{M}{RT} \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} + F \frac{\rho_{avg} r^2}{8\mu} \right) \frac{\Delta p}{L}$$

$$\frac{k_{app}}{k_D} = \frac{2\mu M}{3 \times 10^3 RT \rho_{avg}} \left(\frac{8RT}{\pi M} \right)^{0.5} \frac{8}{r} + \left\{ 1 + \left(\frac{8\pi RT}{M} \right)^{0.5} \frac{\mu}{p_{avg} r} \left(\frac{2}{\alpha} - 1 \right) \right\}$$

Minden pórus torok átmérőhöz meghatározásra kerül:

- Knudsen szám (K_n),
- Knudsen féle diffúziós állandó (D_K),
- siklási paraméter (F),
- teljes tömegáram fluxus (J),
- térfogatáram (q),
- látszólagos permeabilitás (k_{app})



Modellmintatest alkalmazásának tapasztalatai

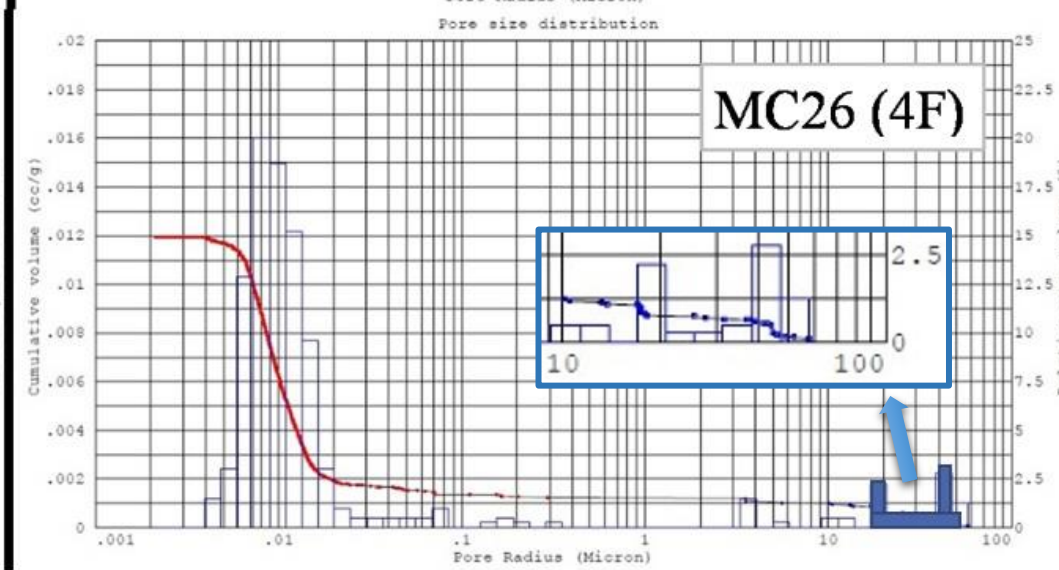
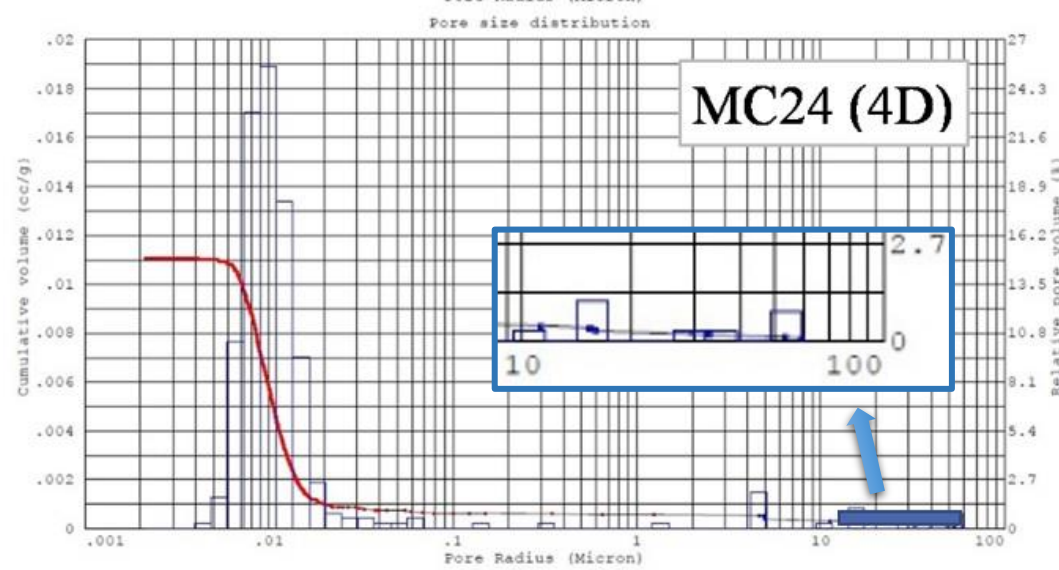
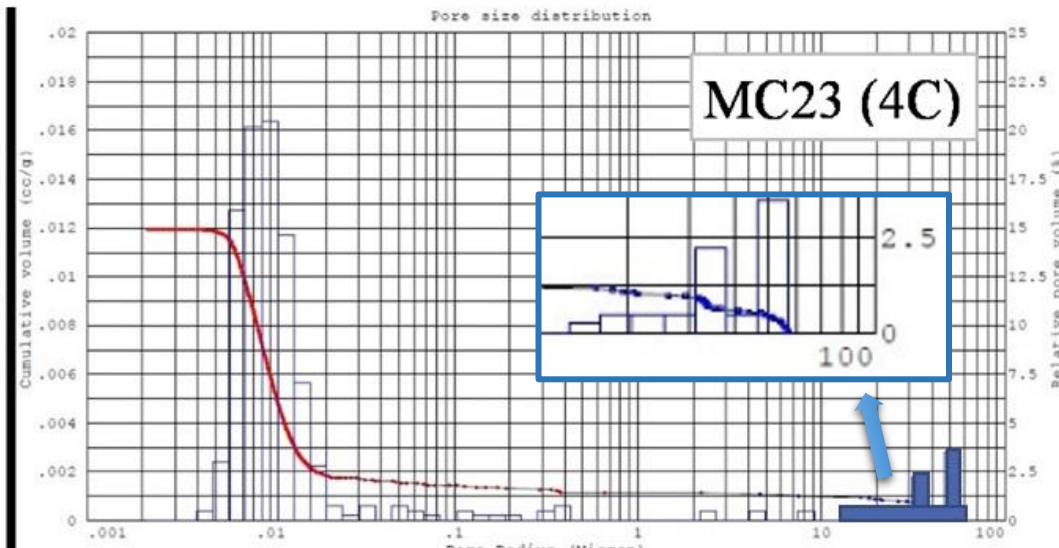
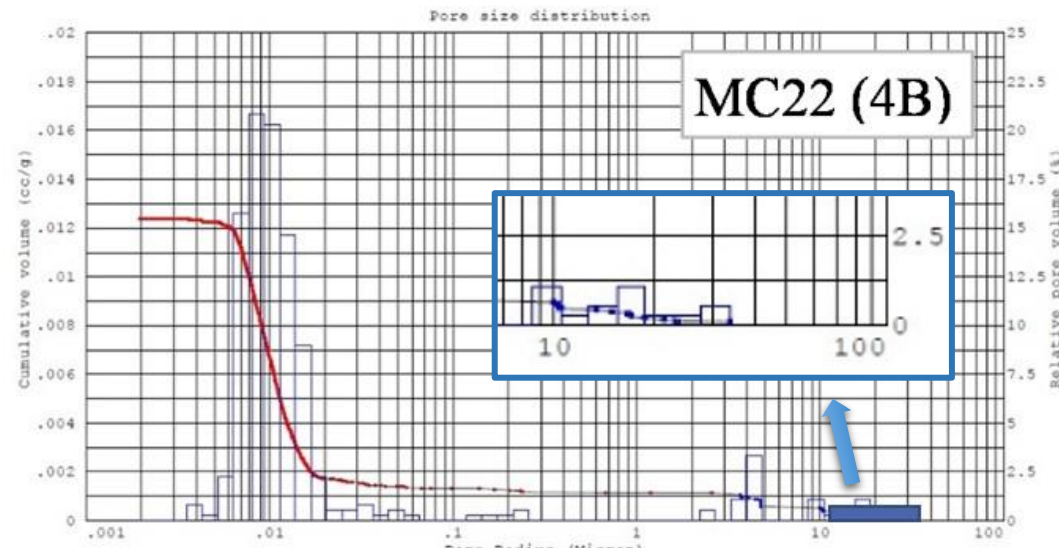
A pórus-torok méret eloszlás és a modell mintatestek vizsgálat alapján megállapítható, hogy

- mikro-repedések jelennek meg a minta felületén,
- melyek feltehetően a minta kialakítása során keletkeznek,
- bizonyos mintákon ezek az eltérések nem mutatkoznak, ott az áteresztőképesség értékek jóval alacsonyabbak.

A modell minta esetén a „csövecskék” térfogatáramait a mintában jelen lévő mennyiségi arányukkal súlyozva szemléletes ábrázolás adható.

Megmutatja, hogy a 10 mikron feletti tartományba eső „csövecskék” a repedések leképezései nagyságrendekkel nagyobb áteresztőképességgel rendelkeznek mint a kőzetmátrix.

Mérésnél ezeken a repedéseken jelentős áramlás valósul meg, így nem a kőzetre jellemző értéket mérünk.



Hiányos/hibás mérési eredmények helyettesítése/korrekciója

A Nano-K™ műszer által használt nitrogén gáz rendkívül gyorsan áramlik át a minták kialakításakor keletkező mikro-repedéseken

Megoldás: Pórus-torok méret eloszlás a higany besajtolásos mérésből



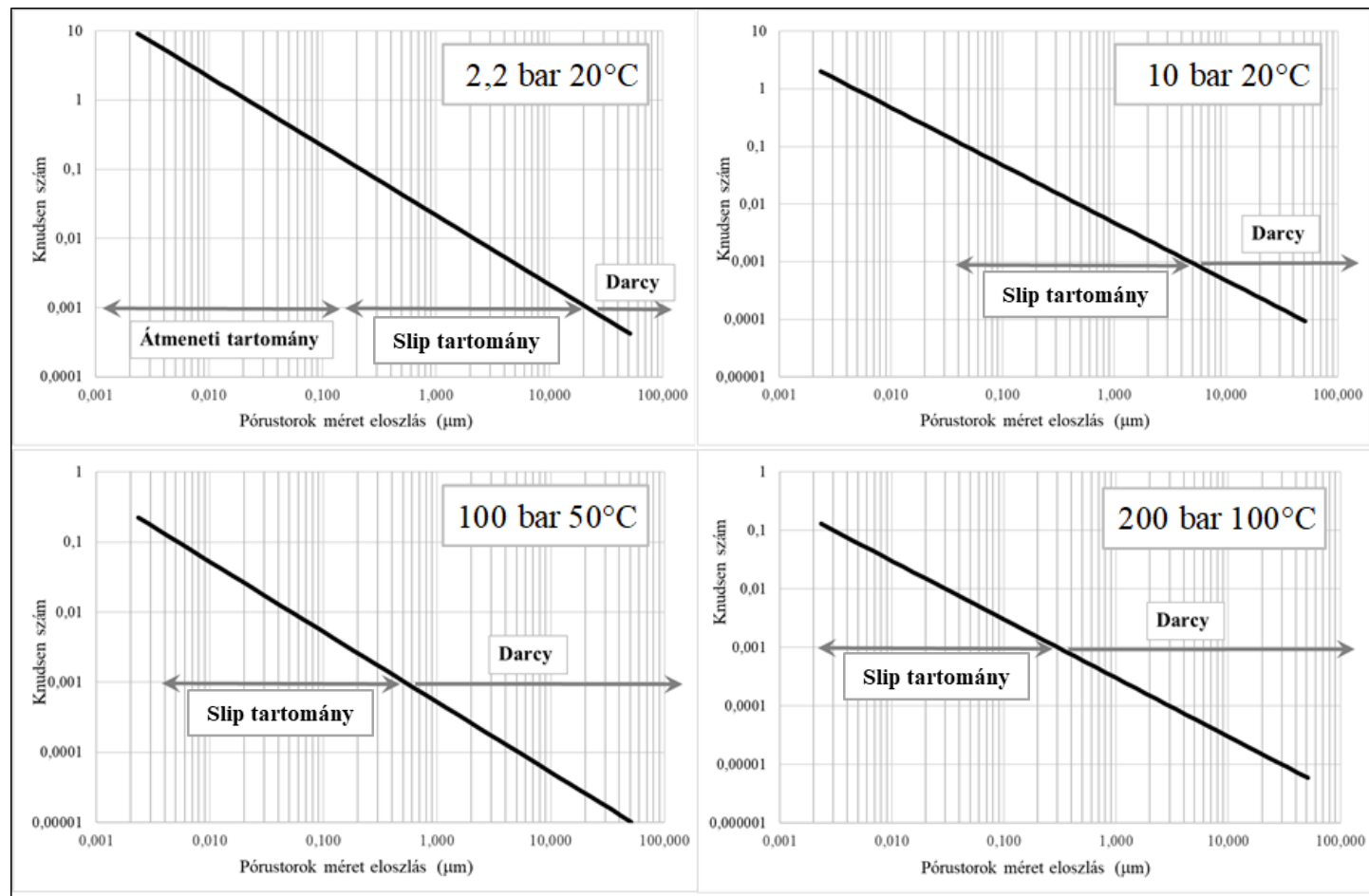
Javadpour csőrendszer modell alkalmazása a térfogatáramok számítására



Minta azonosító	Számított térfogatáram (cm ³ /s)	Mért térfogatáram (cm ³ /s)	Áteresztőképesség N ₂ permeaméterrel mérve (μD)	Áteresztőképesség Nano-K™ műszerrel mérve (μD)
MC 22	0.0000603			→ Mérhetetlen
MC 23	0.0000718			→ Mérhetetlen
MC 24	0.0000355		X*10 ⁺²	
MC 26	0.0000731	0.000146937		Y*10 ⁻¹ → Kezdeti érték

3 nagyságrend különbség!

A modell minta „csövecskéiben” kialakuló áramlások

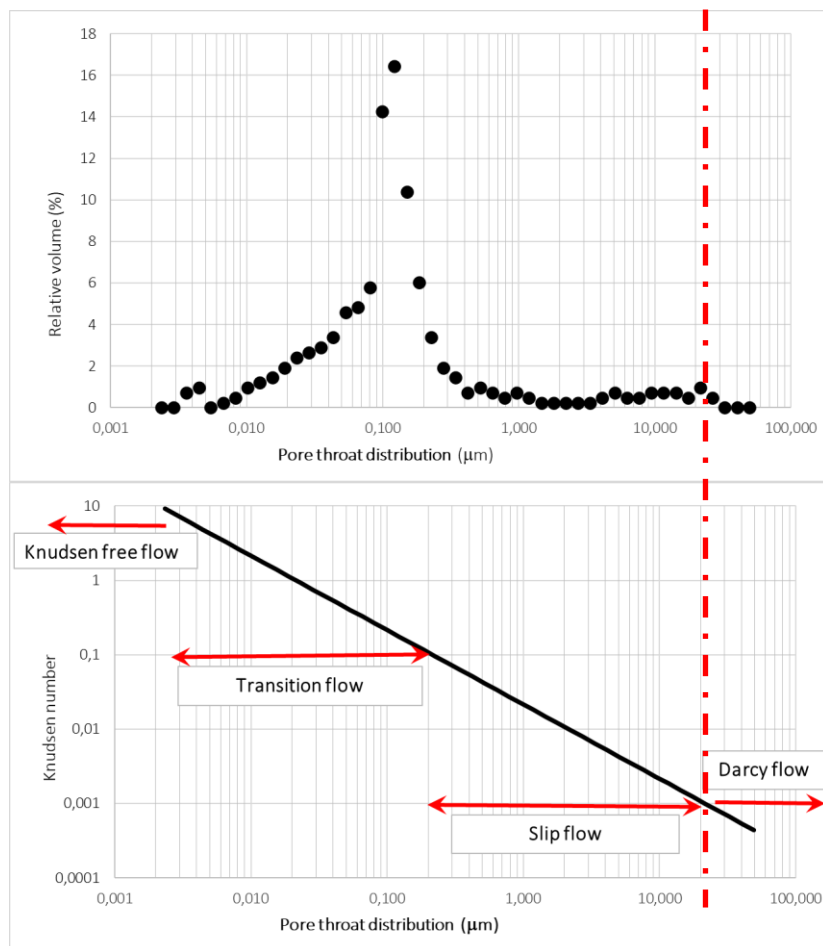


Javadpour és társai módszere alapján meghatározásra kerültek a különböző pórus-torok átmérőkhöz tartozó Knudsen számok ill. a modell mintatest pórustorok átmérőkhöz tartozó áramlási tartományok.

Látható, hogy nem a Darcy áramlás a jellemző.

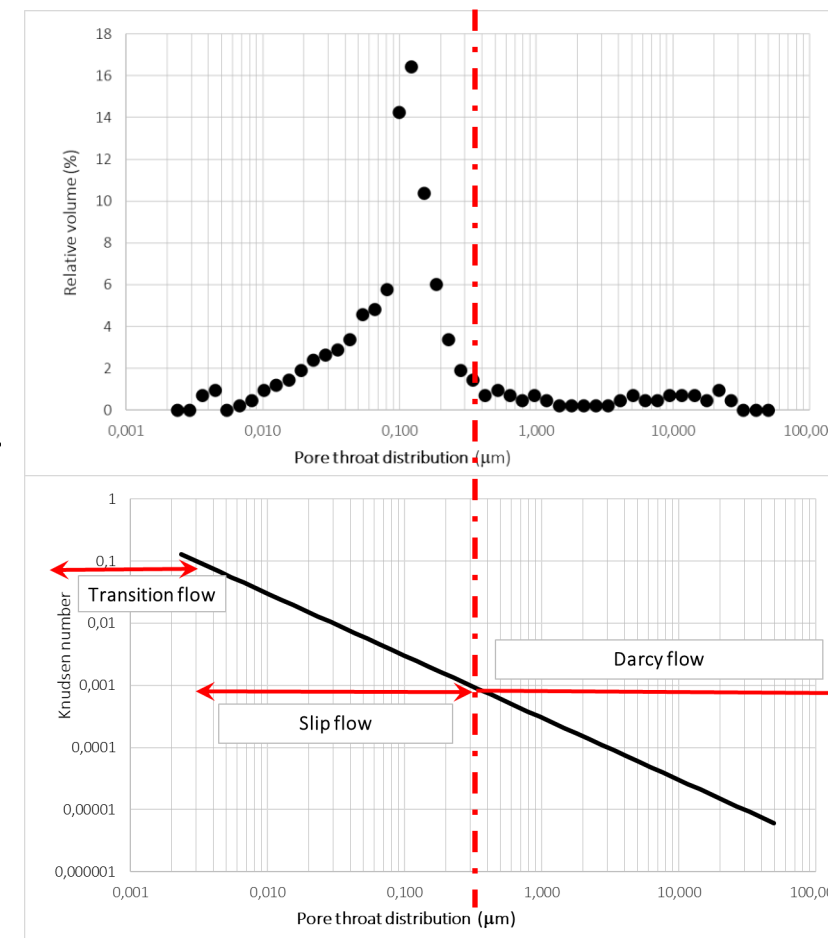
Megfigyelhető azonban a laboratóriumi- és réteg körülmények közötti jelentős különbség.

A modell minta „csövecskéiben” kialakuló áramlások

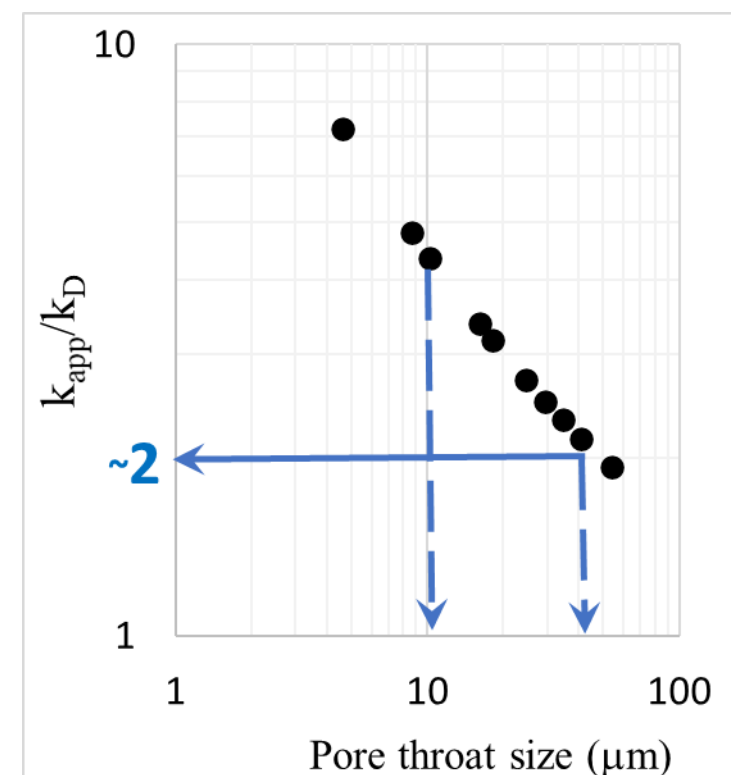
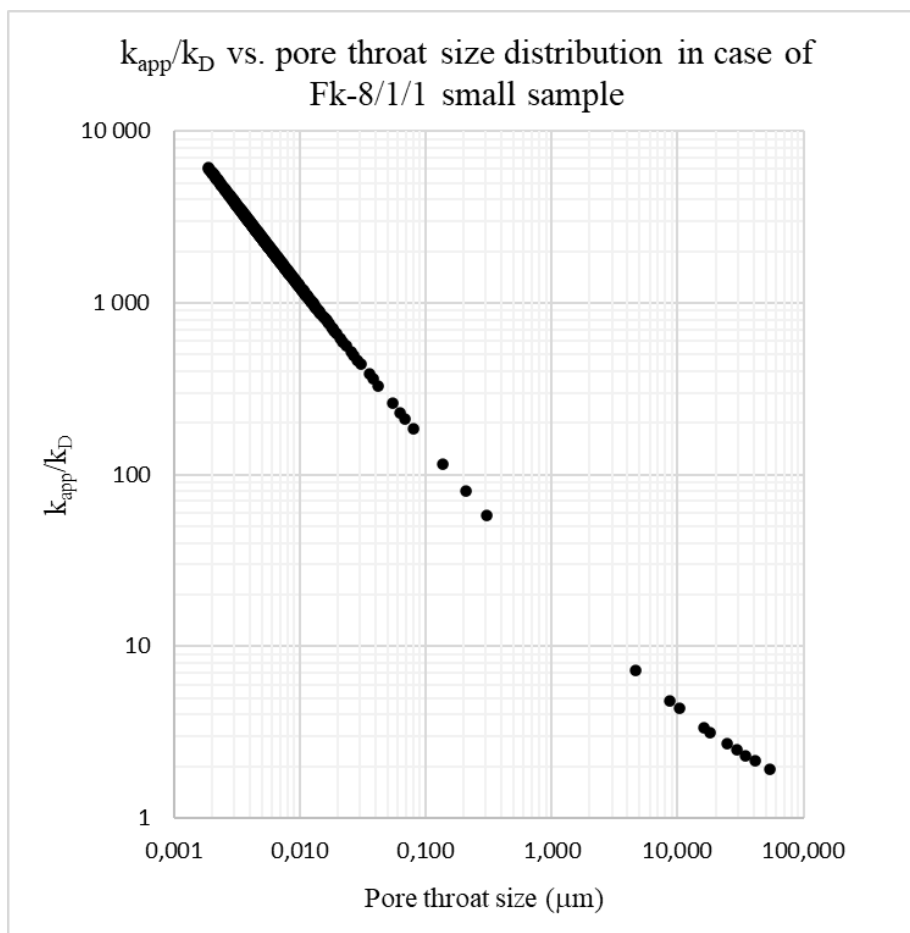


2,2 bar
20 °C

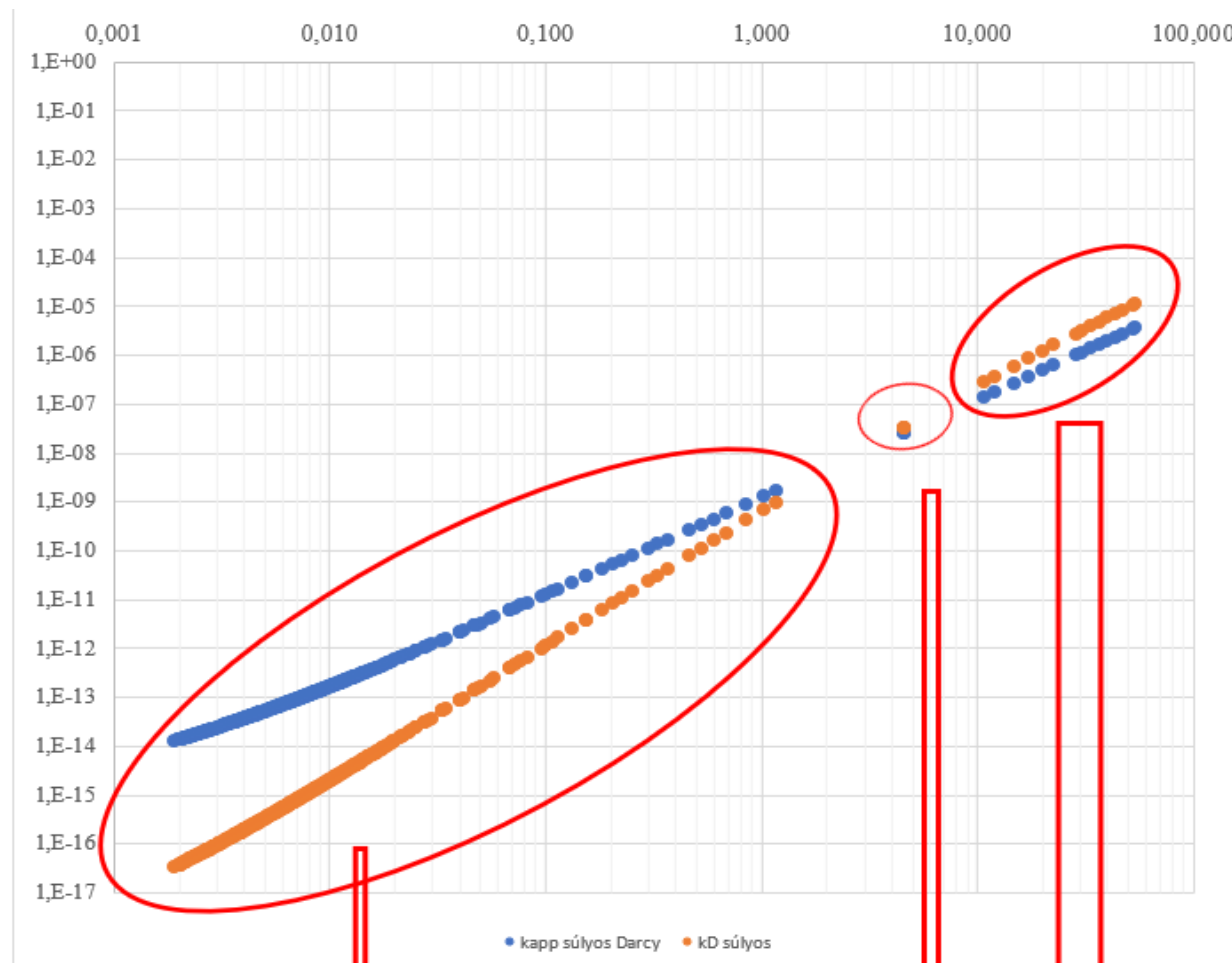
200 bar
100 °C



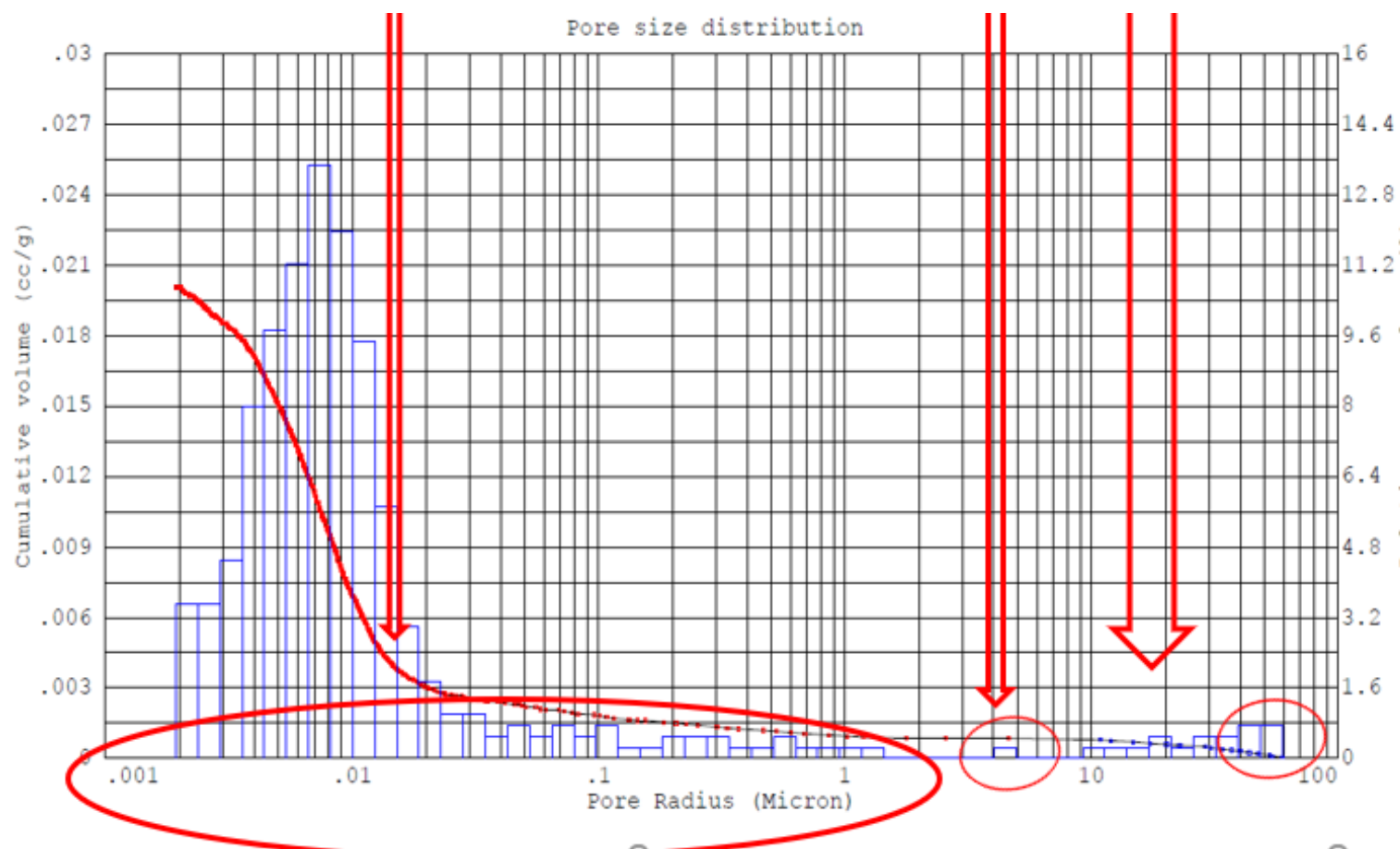
k_{app} és k_D kapcsolata a modell mintában



k_{app} és k_D kapcsolata a modell mintában



k_{app} és k_D kapcsolata a modell mintában



Köszönetnyilvánítás

A kutatómunka a Miskolci Egyetemen működő Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet GINOP-2.3.2-15-2016-00010 jelű „Földi energiaforrások hasznosításához kapcsolódó hatékonyság növelő mérnöki eljárások fejlesztése” projektjének részeként – a Széchenyi 2020 program keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Strukturális és Beruházási Alapok társfinanszírozásával valósul meg.

Köszönöm megtisztelő figyelmüket!