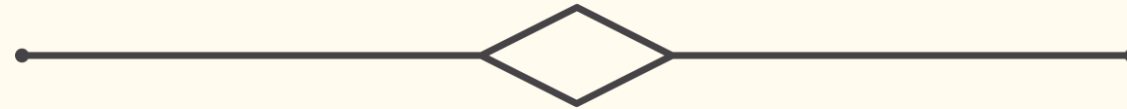


A rezervoár heterogenitás geotermikus visszasajtolásra gyakorolt hatásának kétdimenziós numerikus tanulmányozása



Nagy Bence

Földtudomány Bsc II.

Geofizikai és Ūrtudományi Tanszék

Témavezetők: *Molnár Bence, Markó Ábel*

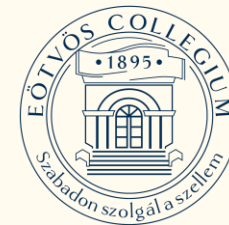
2024. 12. 09.

Geofizikus kari TDK



ELTE

EÖTVÖS JÓZSEF
COLLEGIUM



BOLYAI
Kollégium
1992

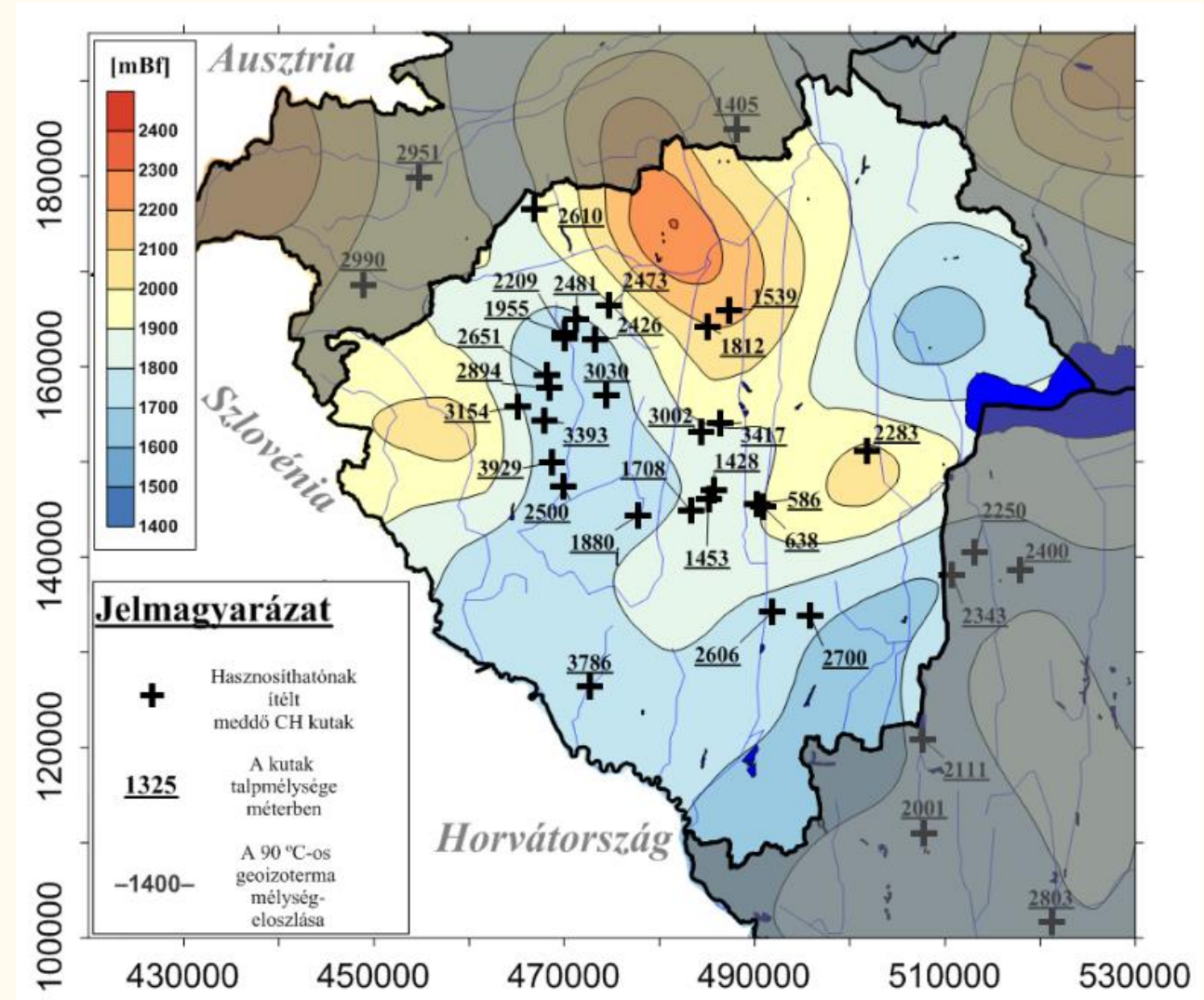
Áttekintés

- ◆ I. Problémafelvetés
- ◆ II. Módszertan
- ◆ III. Eredmények
- ◆ IV. Konklúzió

I. Problémafelvetés

1. Visszasajtolás

- Zalai mintaterület
- Elvékonyodott kéreg → kedvező geotermikus adottságok, 80-90 °C is, számos hasznosítás
- Sziliciklasztos Pannon üledék 1-2 km mélységig
- Sok termásvíz-kút, de nem elterjedt a visszasajtolás
- Felszínsüllyedés, kimerülés → fenntartható geotermia visszasajtolást igényel

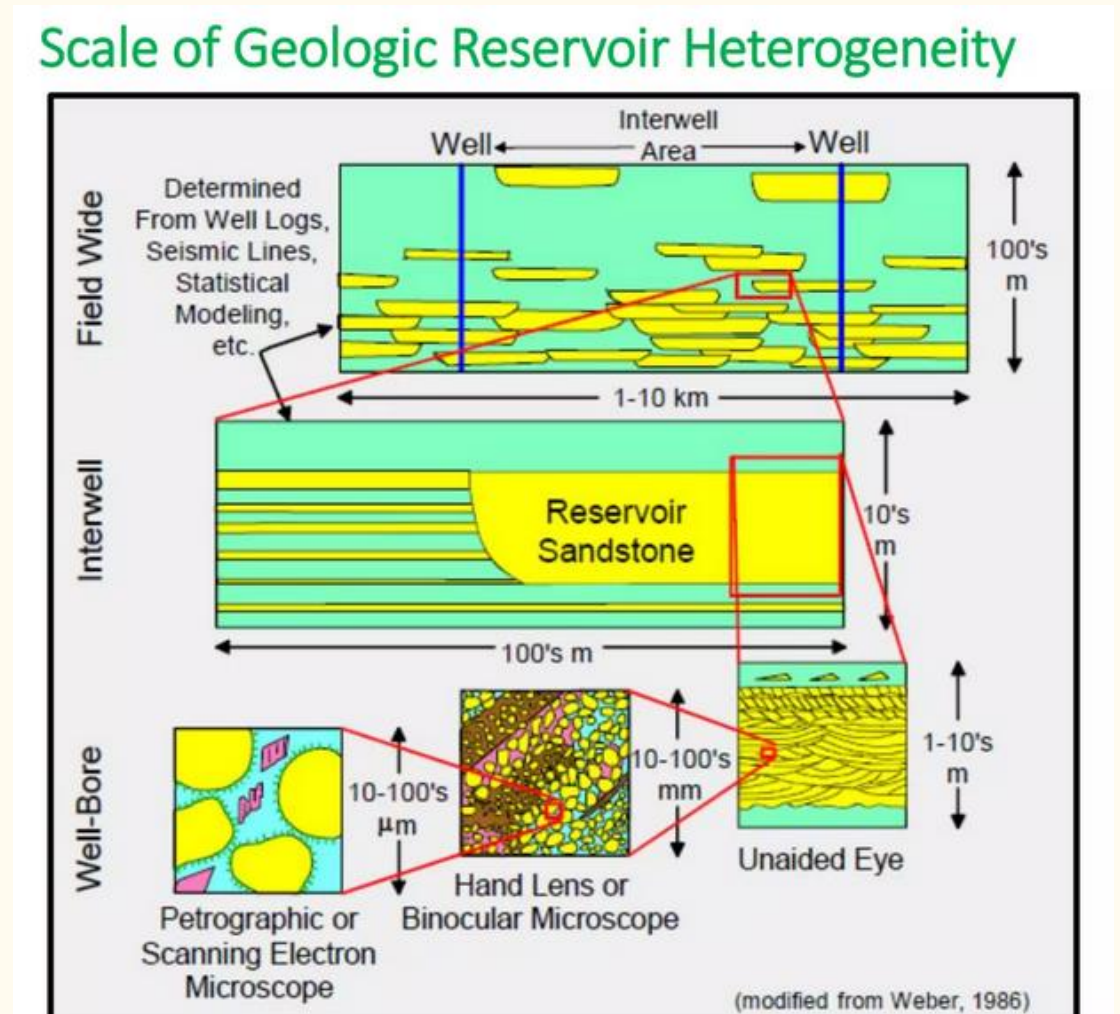


2. ábra: A 90 ° C-os geozoterma mélységtérképe (Nádor, 2019).

I. Problémafelvetés

2. Heterogenitás

- Kútpár összeköttetése, élettartama fontos
- Jelentős heterogenitás a víztartó permeabilitás eloszlásában → földtani kockázat
- Numerikus modell egy jó lehetőség a heterogenitás vizsgálatára

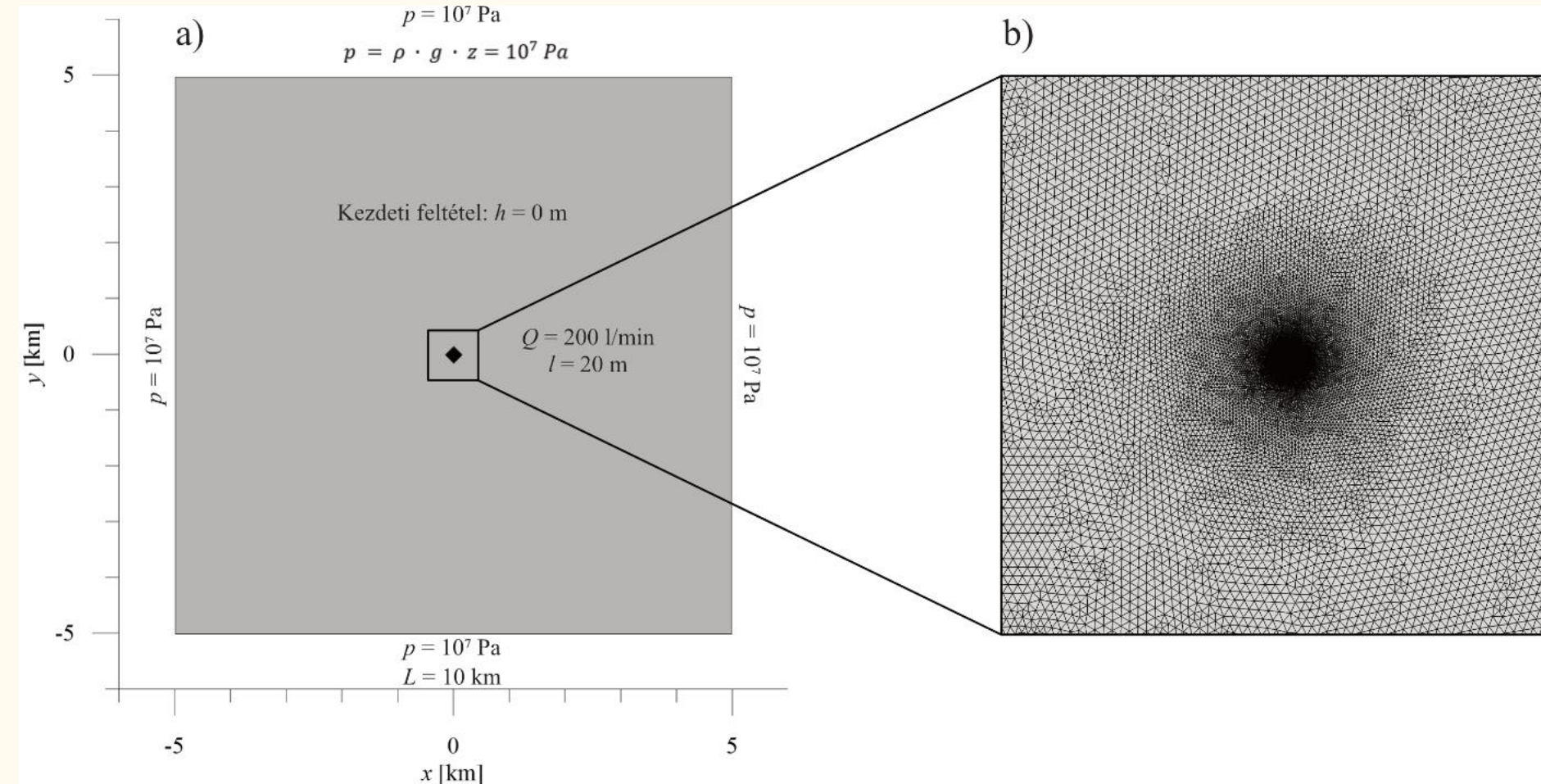


1. ábra: Rezervoár heterogenitás léptékei (Hassan, 2019).

II. Módszertan

1. Fizikai alapmodell

- COMSOL Multiphysics 5.3a Darcy-fluxus modul
- Végelemek módszer



- Kétdimenziós felülnézeti modell
- 10 km-es négyzet, 10 méteres háromszögrács, pontszerű kút
- 7 napos vizsgálati időtartam
- Határokon állandó nyomás

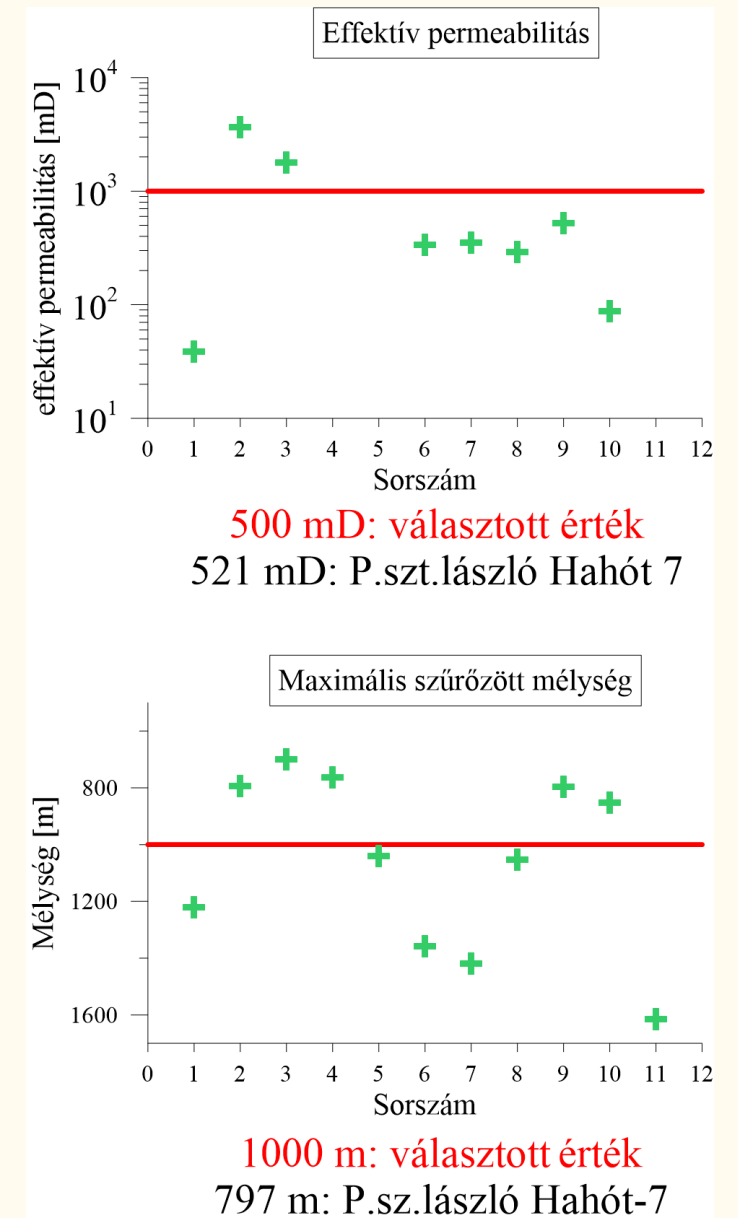
II. Módszertan

2. Paraméterek

- Szintetikus modell kezdeti paramétereit a 11 zalai vízföldtani napló alapján

Megnevezés	Jelölés	Érték	Mértékegység
A vizsgált réteg vastagsága	l	20	m
A vizsgált réteg mélysége	z	1000	mBf
Permeabilitás középértéke	k	500	mD
Visszasajtott vízmennyiség	Q	200	l/min

1. táblázat: A numerikus modell választott paramétereit

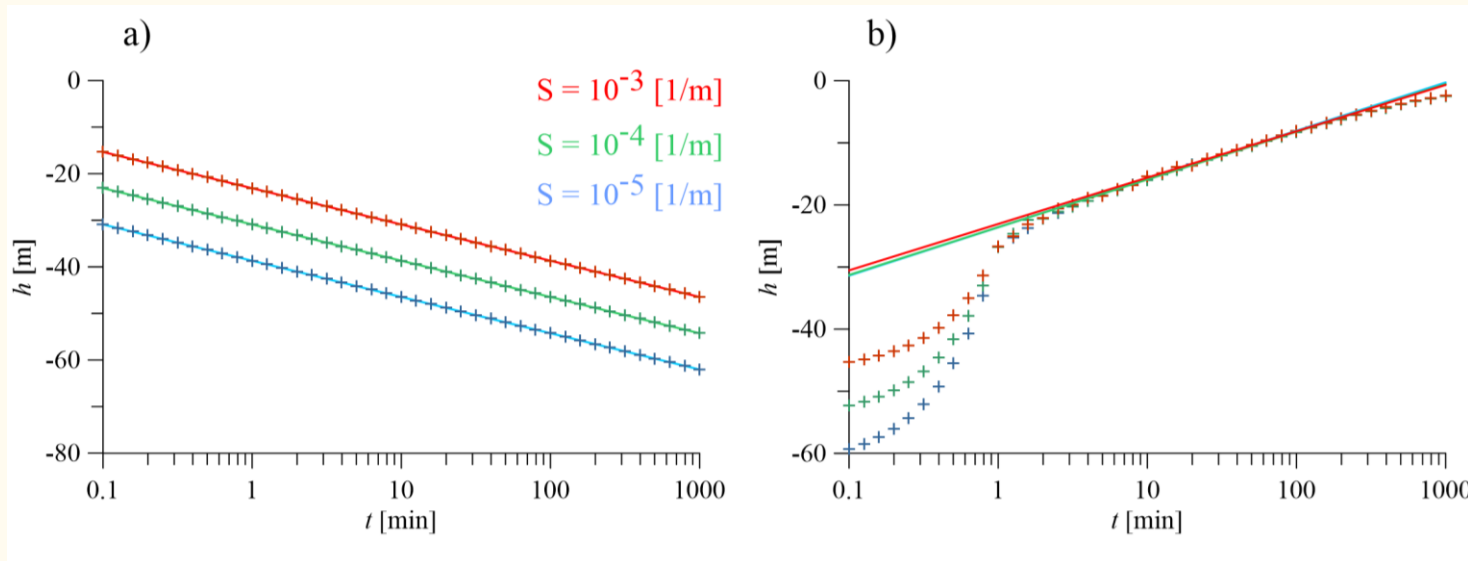


3. ábra: A víznaplók szűrőmélység és permeabilitás adatait a választott érték és a referenciakút feltüntetésével

II. Módszertan

3. Verifikáció

- Homogén közegben a modell működésének tesztelése
- Gyakorlatban visszatöltődésen, itt mindkét fázison



4. ábra: A Jacob-Cooper illesztett egyenesei ($t = 10$ min és 100 min közötti tartományra) eltérő tározási tényező esetén a) leszívási szakaszon b) visszatöltődési szakaszon

2024. 12. 11.

Jacob-Cooper módszer

$$T = \frac{\ln(10) Q}{4\pi\Delta s} \text{ [m}^2/\text{s]}$$

$$k = \frac{T\eta}{d\rho g} \text{ [m}^2\text{]}$$

a)	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}
S [1/m]	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}
k [m ²]	$1.0004 \cdot 10^{-12}$	$1.00003 \cdot 10^{-12}$	$1.0005 \cdot 10^{-12}$
k [mD]	1000.3882	1000.0263	1000.4907

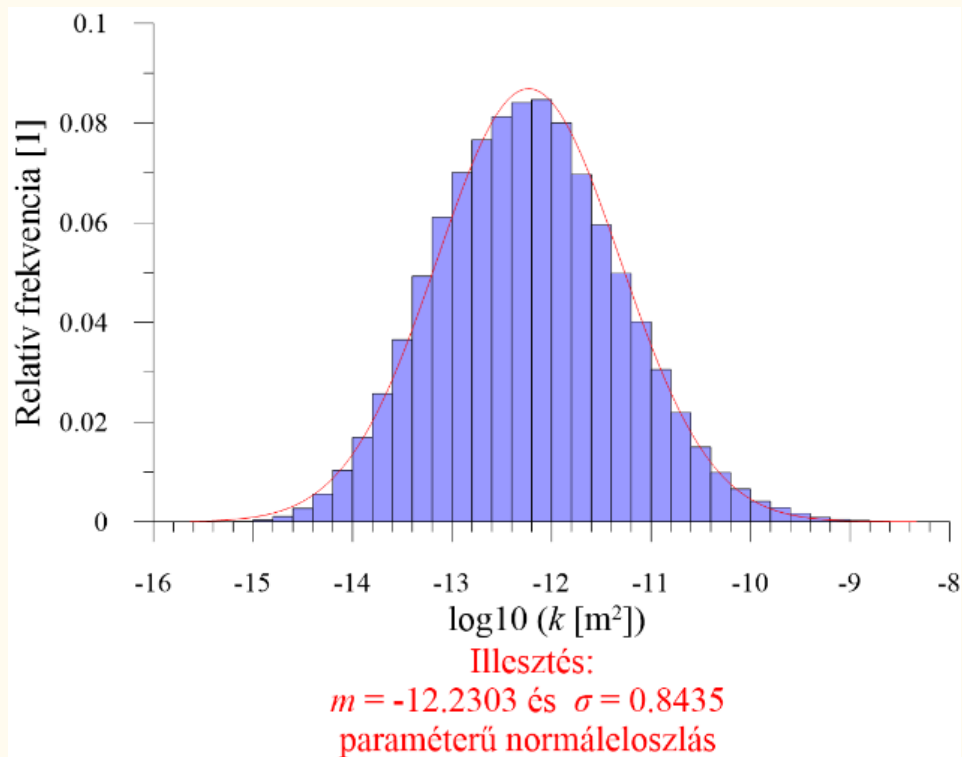
b)	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}
S [1/m]	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}
k [m ²]	$1.0428 \cdot 10^{-12}$	$1.0136 \cdot 10^{-12}$	$1.0014 \cdot 10^{-12}$
k [mD]	1042.7867	1013.5812	1001.4039

2. táblázat: A Jacob-Cooper teszt eredményei k (permeabilitás) = 1000 mD homogén közegben a) leszívási szakaszon b) visszatöltődési szakaszonon

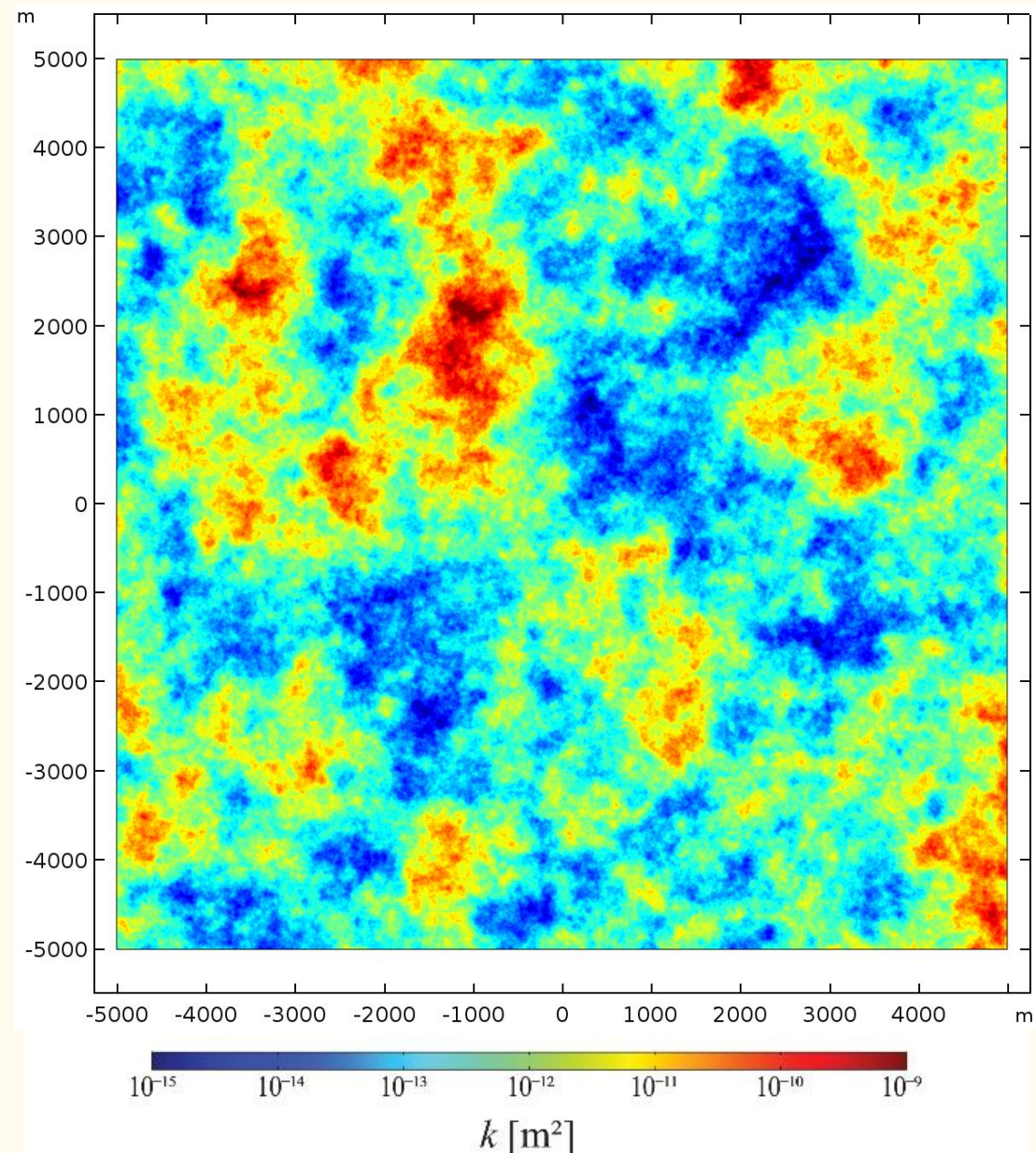
II. Módszertan

4. Heterogenitás generálása

- SGeMS geostatisztikai szoftver
- $k = 500$ mD középérték, k logaritmusosa jó közelítéssel normáeloszlás



5. ábra: A generált heterogenitás hisztogramja

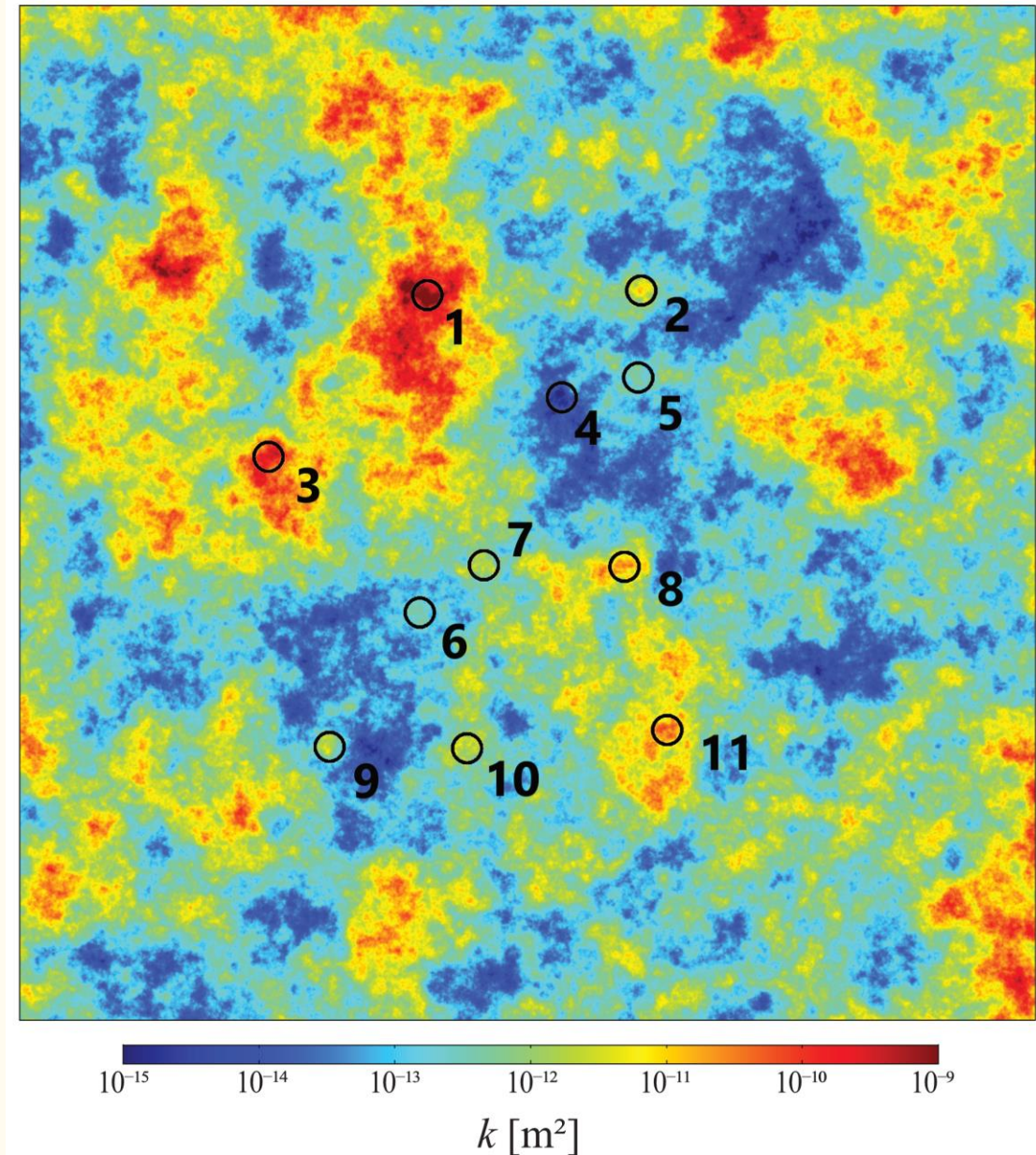


6. ábra: A generált heterogenitás ábrázolása

II. Módszertan

5. Kútpozíciók

- 11 kút + 1 homogén kontroll eset
- Kiugró értékek vizsgálata
- 1, 3, 4, 11 kutak
- hasonló permeabilitású, de eltérő kiterjedésű közegben elhelyezett kutak összehasonlítása
- 2 - 8, 5 - 6, 9 – 10 kutak

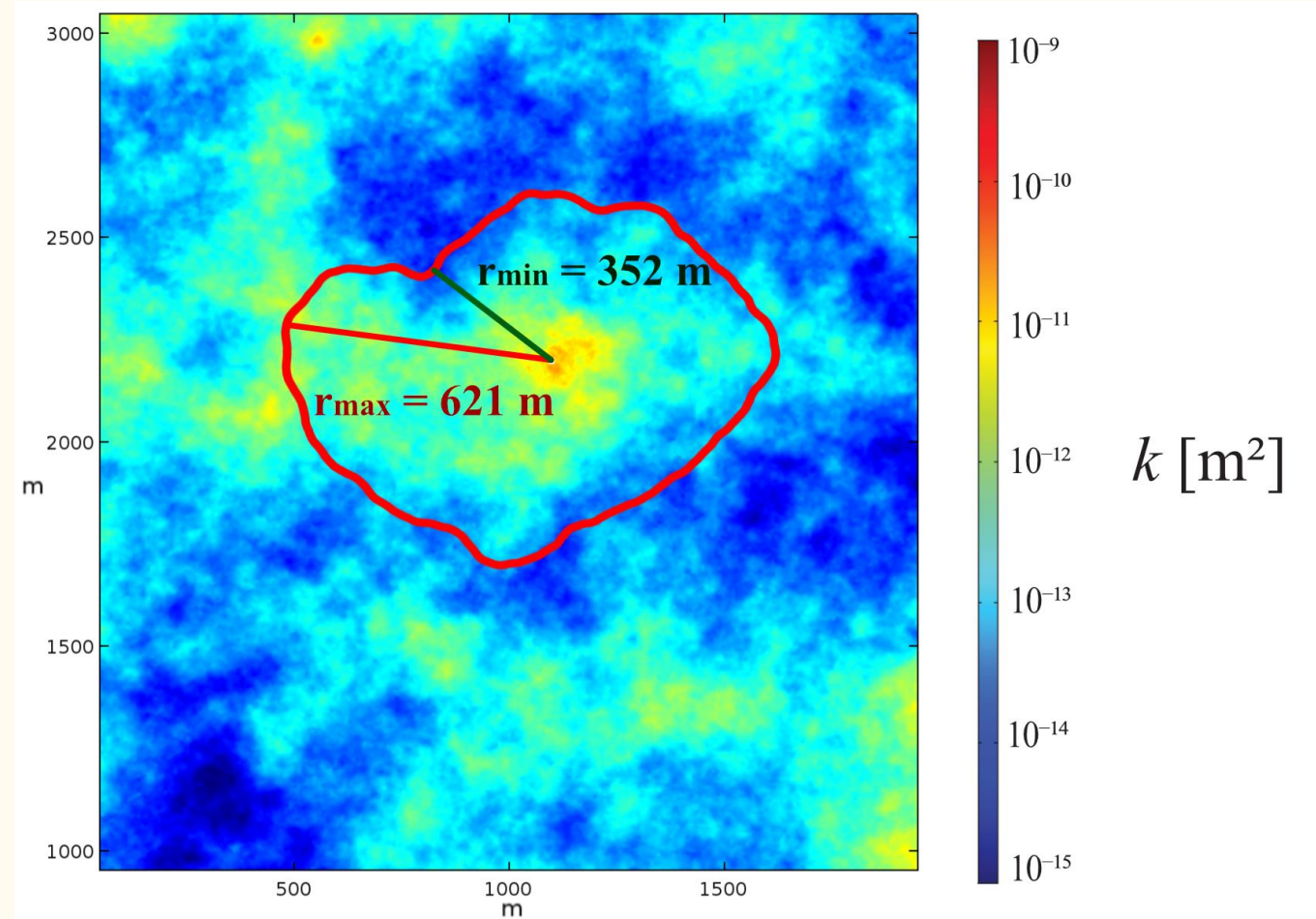


7. ábra: A választott kútpozíciók a heterogenitás térképén

II. Módszertan

6. Vizsgált tényezők

- h – hidraulikus emelkedési magasság
- q – Darcy-fluxus
- r_{\min} és r_{\max} – $h = 0,05$ m-es kontúr távolsága
- $q_{r(\min)}$ és $q_{r(\max)}$ – $q = 10^{-13}$ m/s kontúr távolsága



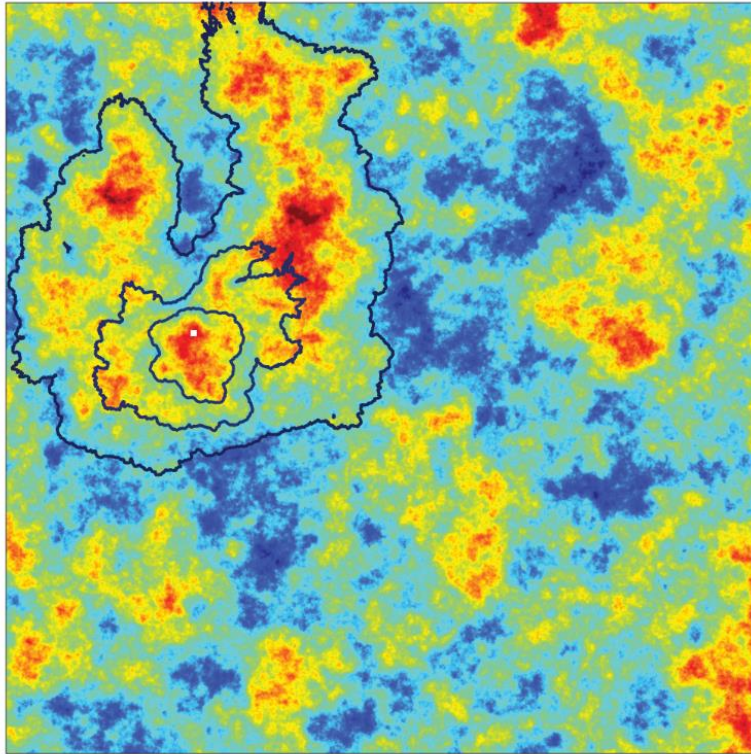
8. ábra: r_{\min} és r_{\max} paraméterek szemléltetése a 2. kút példáján

III. Eredmények

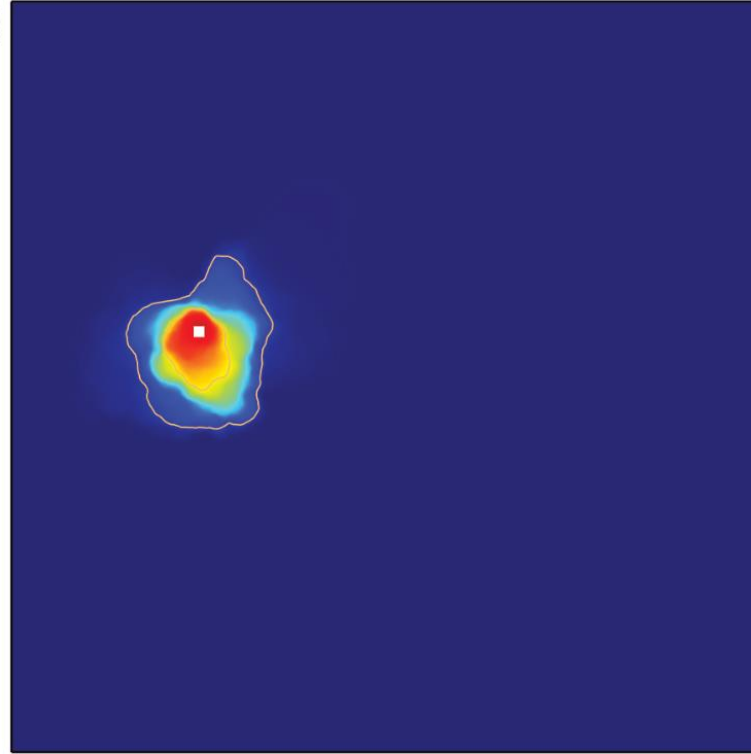
1. Kvalitatív

3-as kút

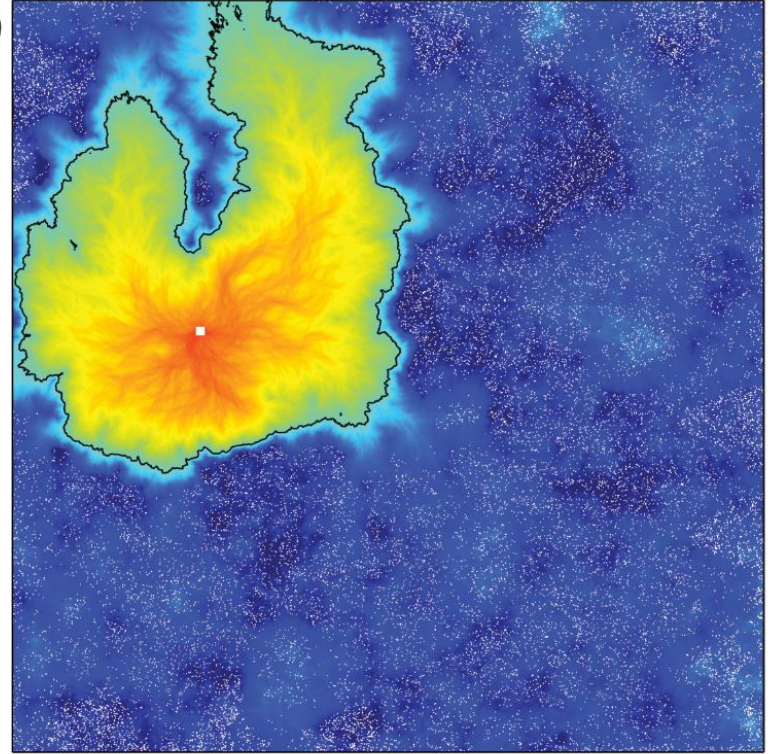
a)



b)



c)



10^{-15} 10^{-14} 10^{-13} 10^{-12} 10^{-11} 10^{-10} 10^{-9}
 k [m²]

0 0.2 0.4 0.6
 h [m]

10^{-20} 10^{-15} 10^{-10} 10^{-5}
 q [m/s]

9. ábra: 3-as kútra vonatkozó eredmények térképi szemléltetése

a) $t = 100, 1000, 10000$ min-hez tartozó $q = 10^{-13}$ m/s kontúrvonalak a permeabilitás térképén

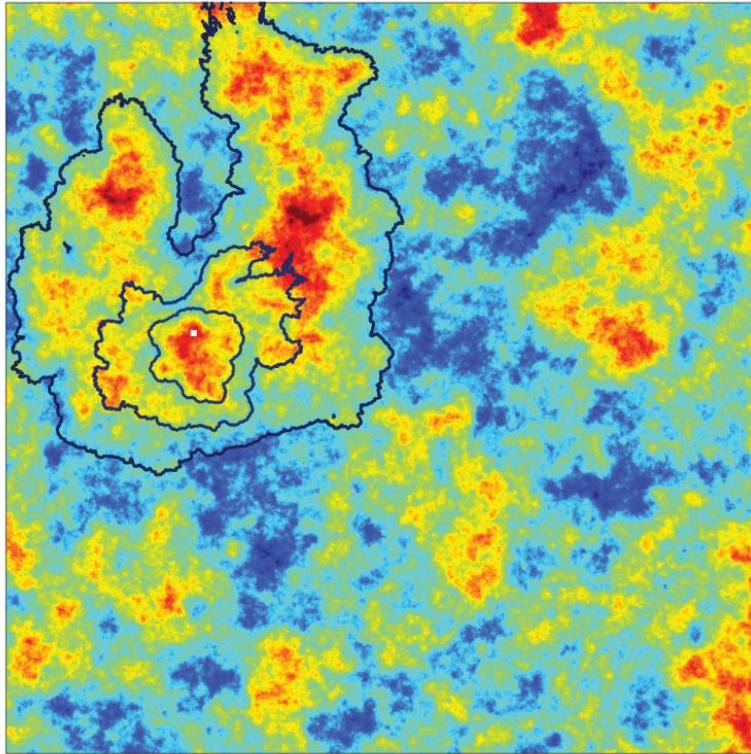
b) h eloszlása $h = 0,05$ m-es kontúrvonallal c) q eloszlása $q = 10^{-13}$ m/s kontúrvonallal

III. Eredmények

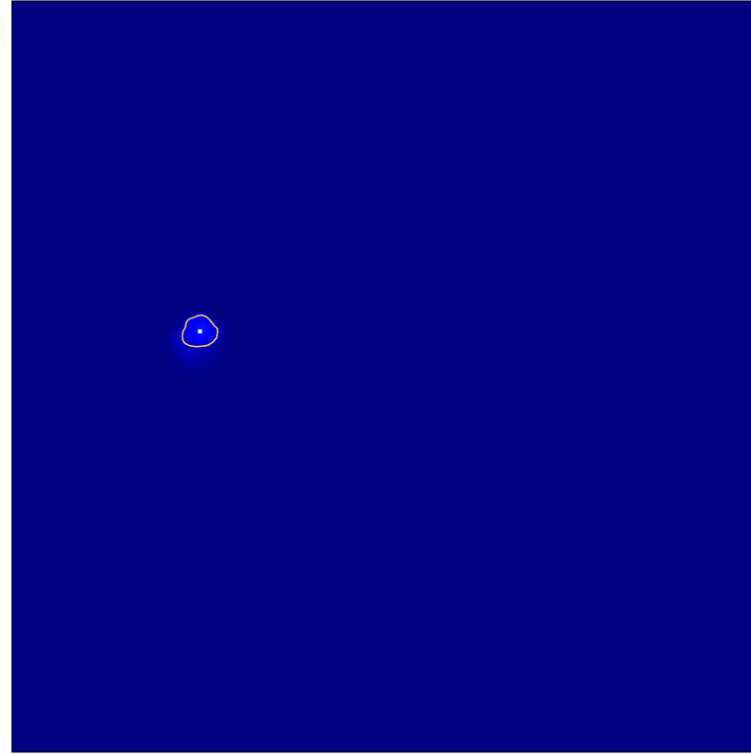
1. Kvalitatív

3-as kút

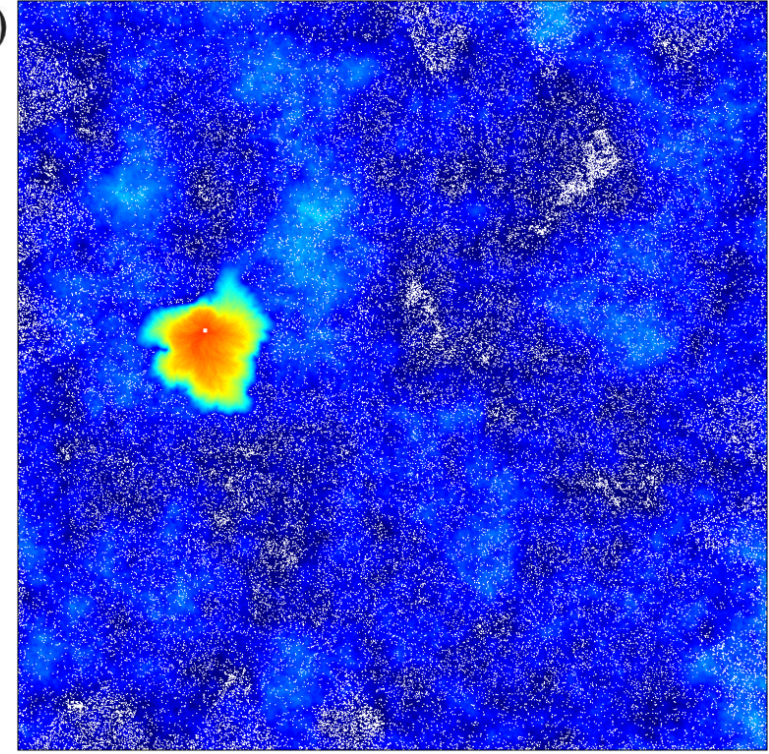
a)



b)



c)



9. ábra: 3-as kútra vonatkozó eredmények térképi szemléltetése

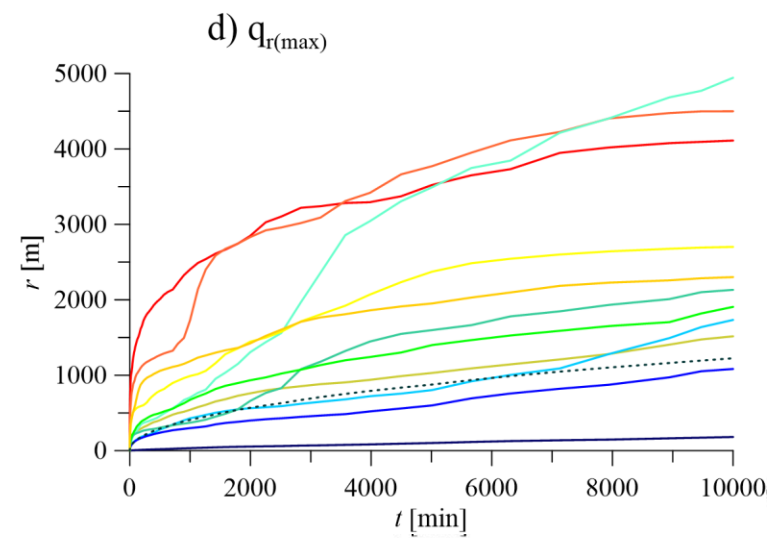
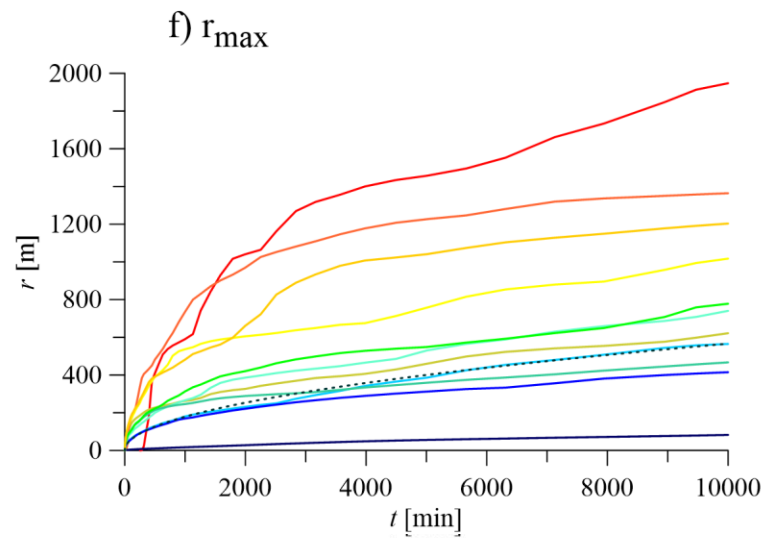
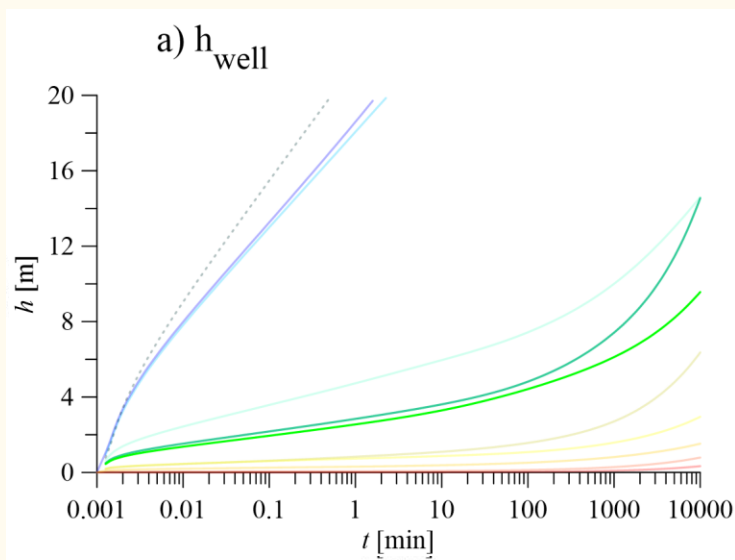
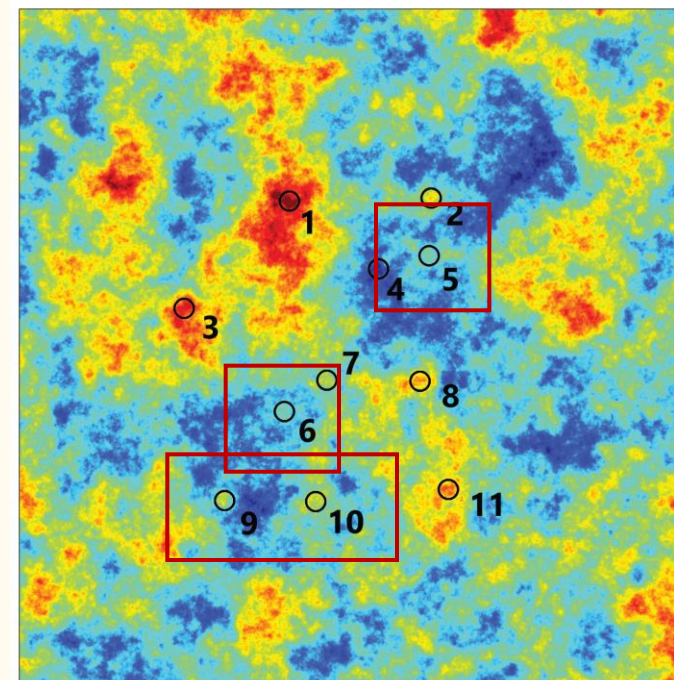
a) $t = 100, 1000, 10000$ min-hez tartozó $q = 10^{-13}$ m/s kontúrvonalak a permeabilitás térképén

b) h eloszlása $h = 0,05$ m-es kontúrvonallal c) q eloszlása $q = 10^{-13}$ m/s kontúrvonallal

III. Eredmények

2. Kvantitatív összegzés

kút 1	kút 5	kút 9
kút 2	kút 6	kút 10
kút 3	kút 7	kút 11
kút 4	kút 8	homogén

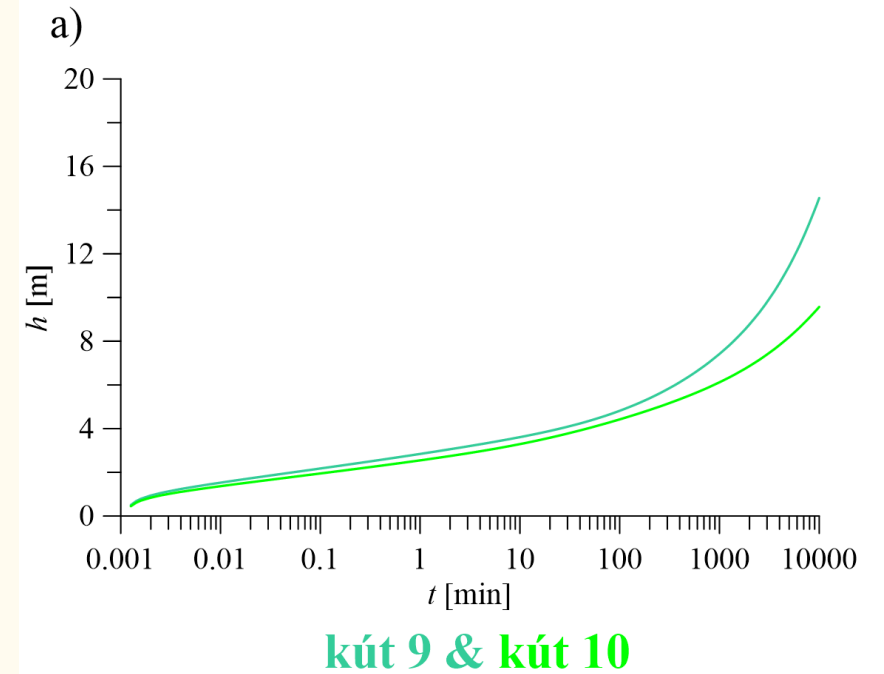
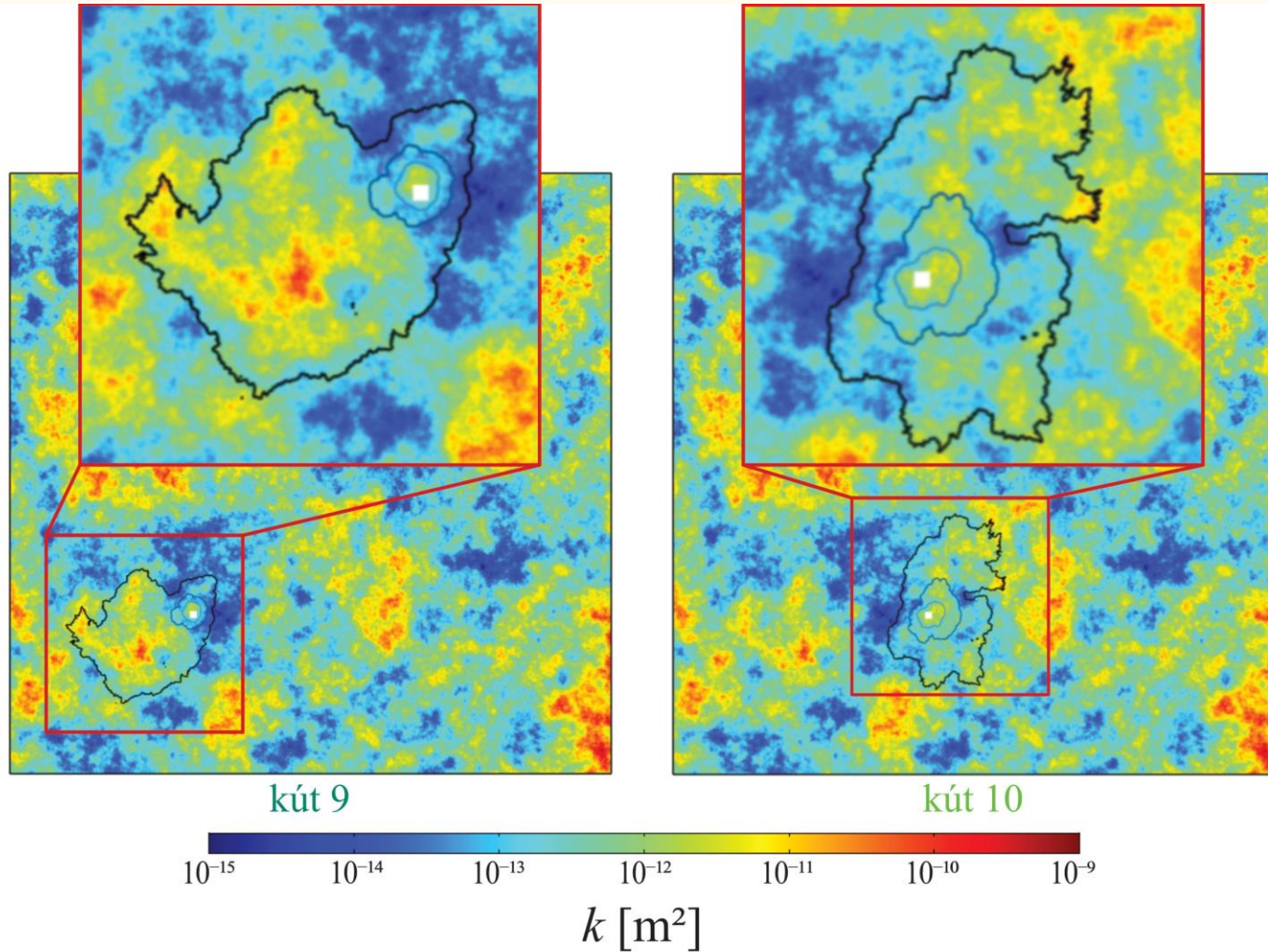


10. ábra: A kutak egyesített eredményei

a) A kútban fellépő h (hidraulikus emelkedési magasság), b) $h = 0,05$ m kontúrvonal maximális távolsága a kúttól c) $q = 10^{-13}$ m/s kontúrvonal maximális távolsága a kúttól
2024. 12. 11.

III. Eredmények

3. 9-10-es kutak összehasonlítása

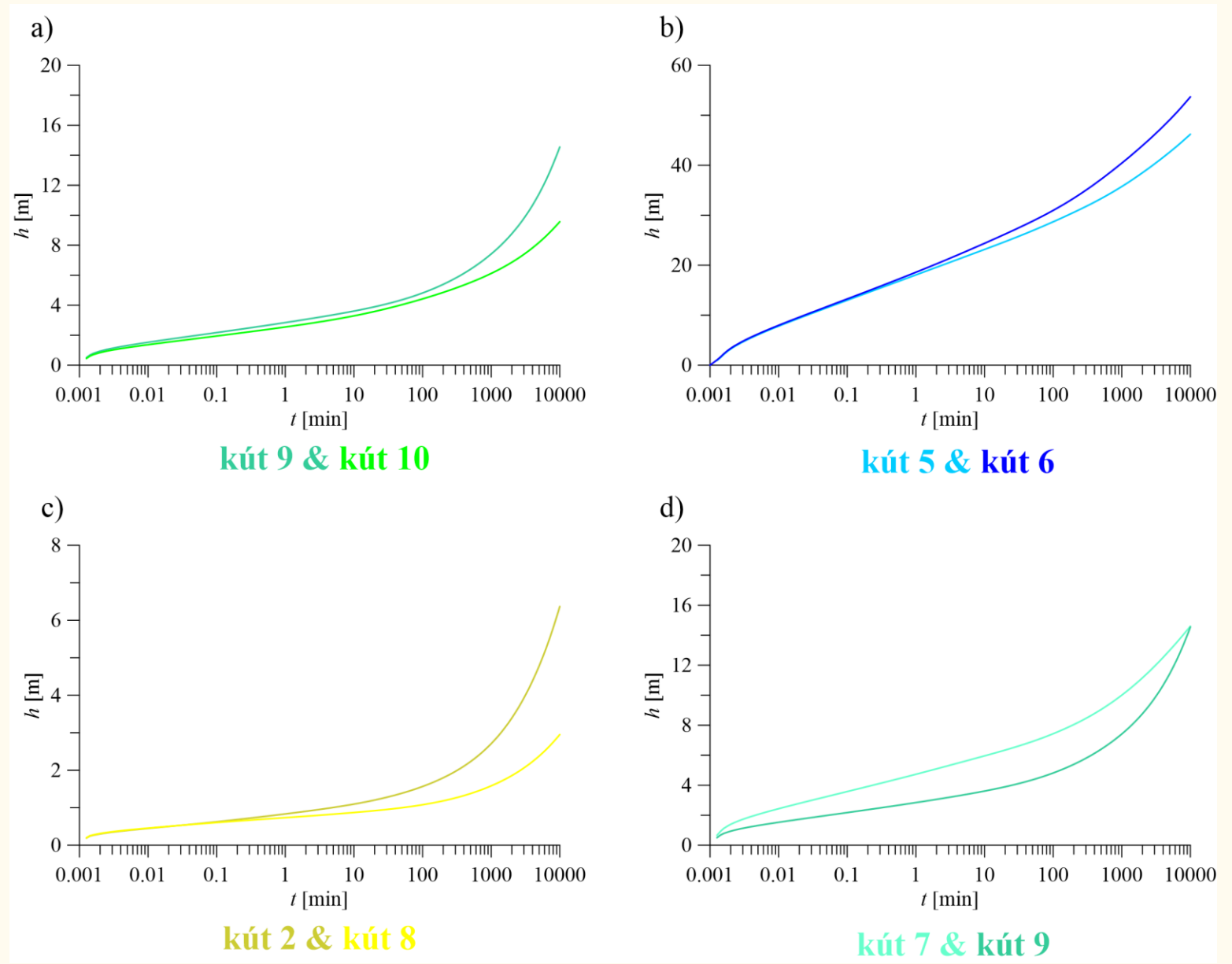


12. ábra: A 9 és 10-es kutak h (hidraulikus emelkedési magasság) értékei

III. Eredmények

4. Megfigyelt h eltérés

- $t = 1 - 100 - 10000$ min
- **9 – 10:**
11% → 9% → 45%
- **6 – 5:**
3% → 8% → 16%
- **2 – 8:**
13% → 45% → 115%
- **7 – 9:**
66% → 54% → 0.3%



13. ábra: 4 megfigyelt kútpár h (hidraulikus emelkedési magasság) értékei

IV. Konklúzió

- Jelentős változások h értékében, ahogy a hatás elérte a jó permeabilitású közeg határát
- Erősen függ a jó permeabilitású közeg kiterjedésétől, akár 50% eltérés
- A hatás észlelési ideje akár hosszabb lehet egy átlagos kúttesztől
- Magas szintű heterogenitás nagy kockázat a projektek számára → víztartó heterogenitás előzetes felmérése fontos

Jövő célok, limitációk

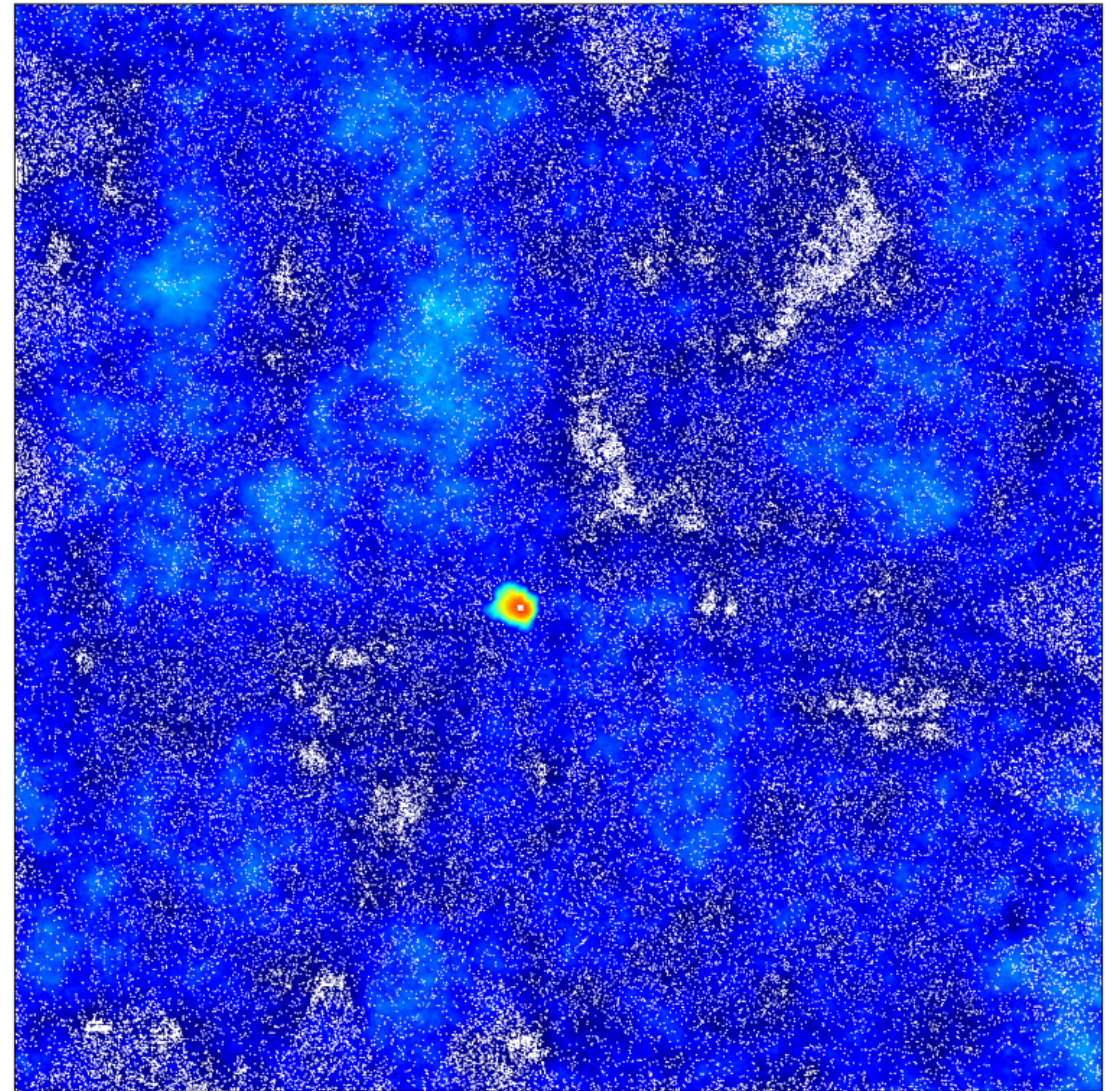
- Modell időbeli bővítése, sűrítése
- Verifikáció háromdimenzióban
- Más eloszlású, geometriájú heterogenitásokkal vizsgálni, valós szeizmikus amplitúdótérképen modellezni
- Termelő – visszasajtoló kútpárok, kútmezők modellezése

V. Konklúzió

- Jelentős változások h értékében, ahogy a hatás elérte a heterogenitást
- Erősen függ a jobb permeabilitású közeg kiterjedésétől, akár 50% eltérés
- A hatás észlelési ideje akár hosszabb lehet egy átlagos kútteszttől
- Magas szintű heterogenitás nagy kockázat a projektek számára, előzetes felmérés, modellezés fontos

Jövő célok, limitációk

- Modell időbeli bővítése, sűrítése
- Verifikáció háromdimenzióban
- Más eloszlású, geometriájú heterogenitásokkal vizsgálni, valós amplitúdótérképen modellezni
- Kútpárok, kútmezők modellezése



14. ábra: 7-es kút időbeli q (Darcy-fluxus) animációja

Köszönöm a figyelmet!