Rezervoár heterogenitás hatásainak numerikus vizsgálata a visszasajtoló kutak nyomásviszonyai esetén

Nagy Bence
Földtudományi BSc III.
ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék

Geofizikus kari TDK
Ötletpályázat

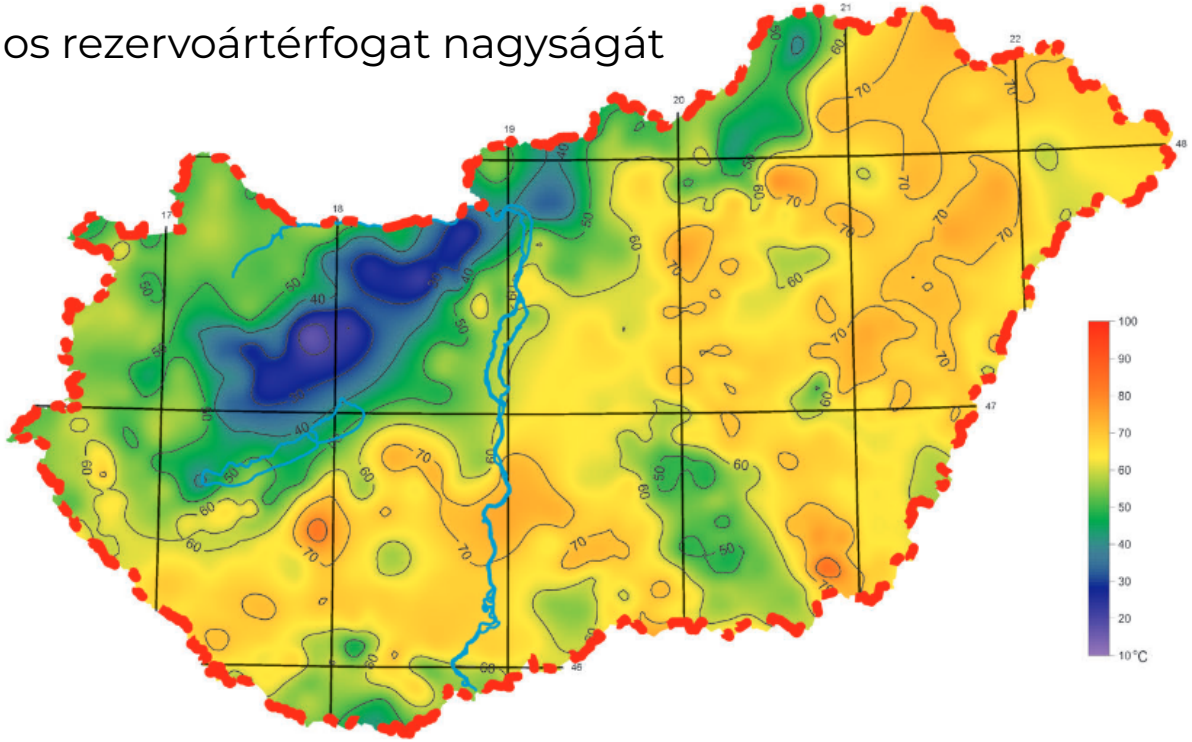
Témavezetők:
Molnár Bence, Markó Ábel, Galsa Attila

2025. 12. 04.

ELTE | EÖTVÖS JÓZSEF COLLEGIUM

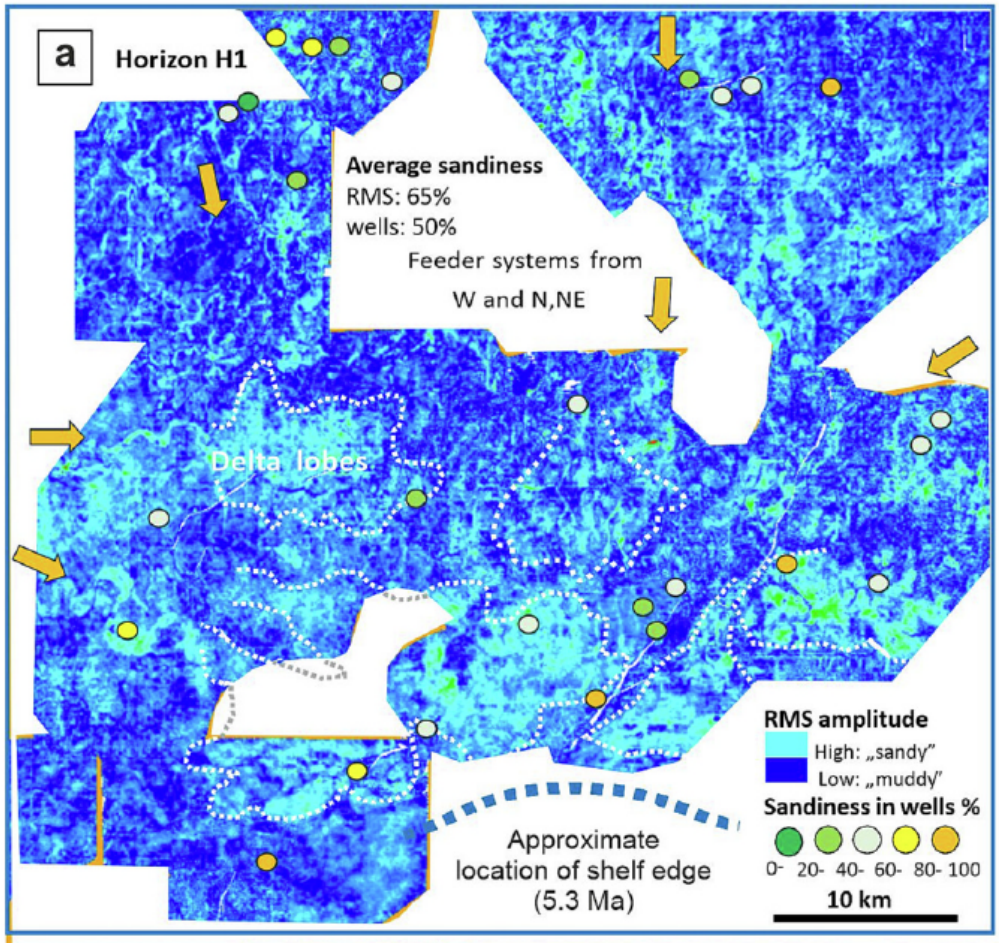
BOLYAI Kollégium 1992

- Magas geotermikus potenciál, számos projekt, de magas kockázat
- Visszasajtolás nehézségekkel terhelt, kútközeli mechanizmusok széleskörben kutatottak
  - pórustorkok eltömődése, ásványkiválások
- Rezeroár heterogenitása alulkutatott irány, befolyásolhatja
  - A jó permeabilitású testek konnektivitását
  - A hasznos rezervoártérfogat nagyságát



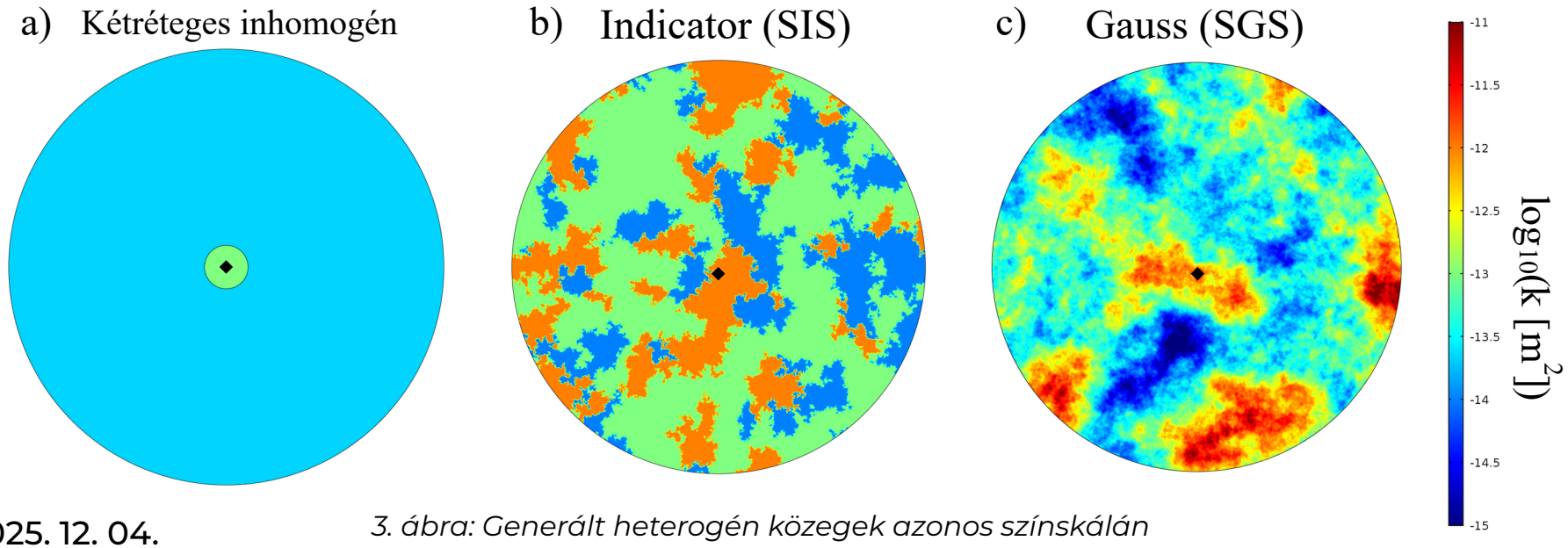
1. ábra: Hőmérséklet a felszín alatt 1 km mélyen.
(Lenkey et al. 2021)

- Jelen kutatásban
  - Törmelékes pannóniai rétegsorok
  - Permeabilitás laterális heterogenitása
  - Sztochasztikus heterogén közeg
  - Több geostatisztikai módszer
  - Numerikus modellezés a kútbeli nyomásviszonyok megismerésére



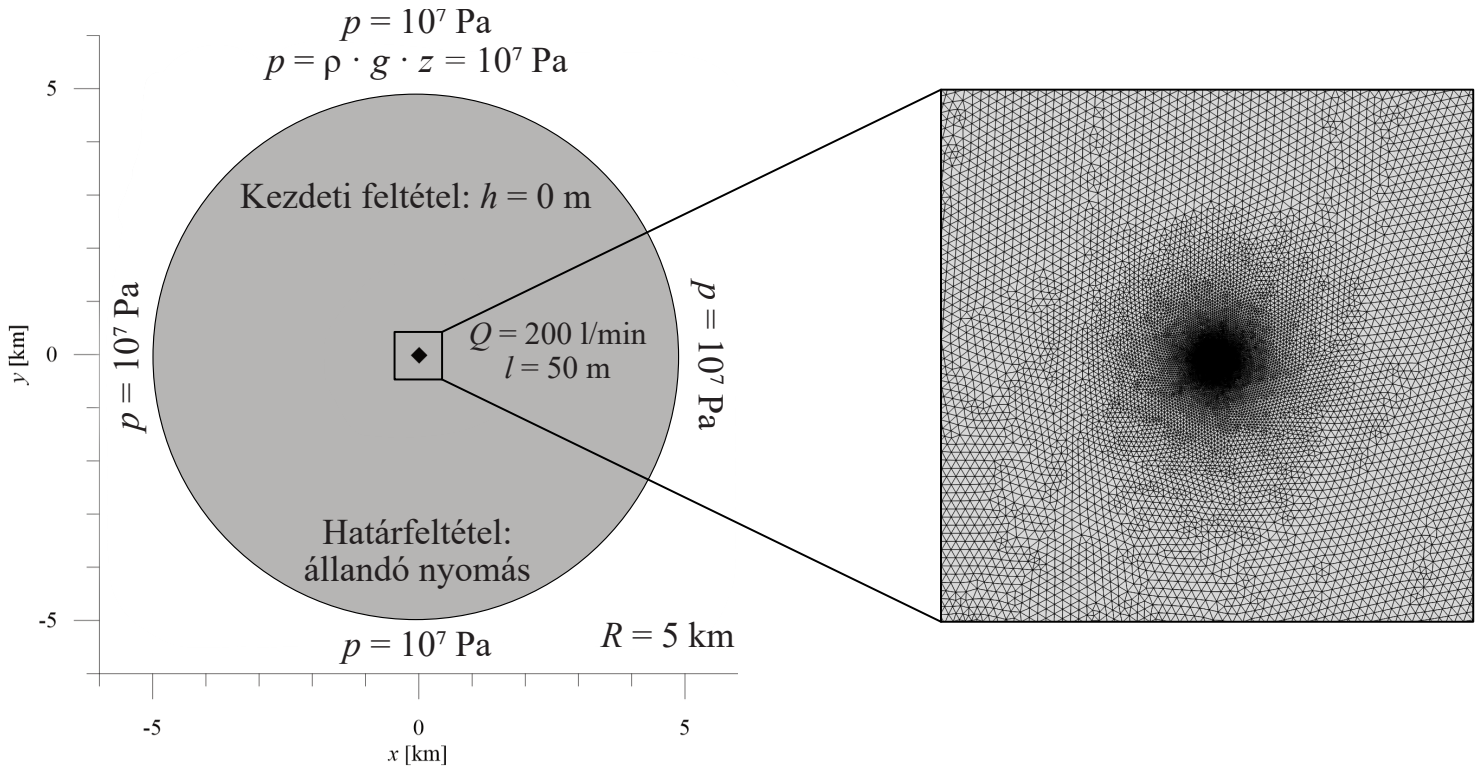
2. ábra: Szeizmikus amplitúdóanomália térkép, mely a közeg homoktartalmára utal (Ben Mahrez et al. 2023)

- Heterogenitás generálása SGeMS szoftverben
  - Sequential *Gauss* Simulation (SGS) – folytonos, normáleloszlású közeg
  - Sequential *Indicator* Simulation (SIS) – fáciesalapú közeg
- Normáleloszlás, azonos átlag (100 mD), szórásnégyzet (0.5)
  - Permeabilitás (*k*) eloszlása lognormális
  - Kút kezdeti feltétele k = 1000 mD, jó permeabilitású közeg
- Referenciaként homogén, kétréteges inhomogén esetek



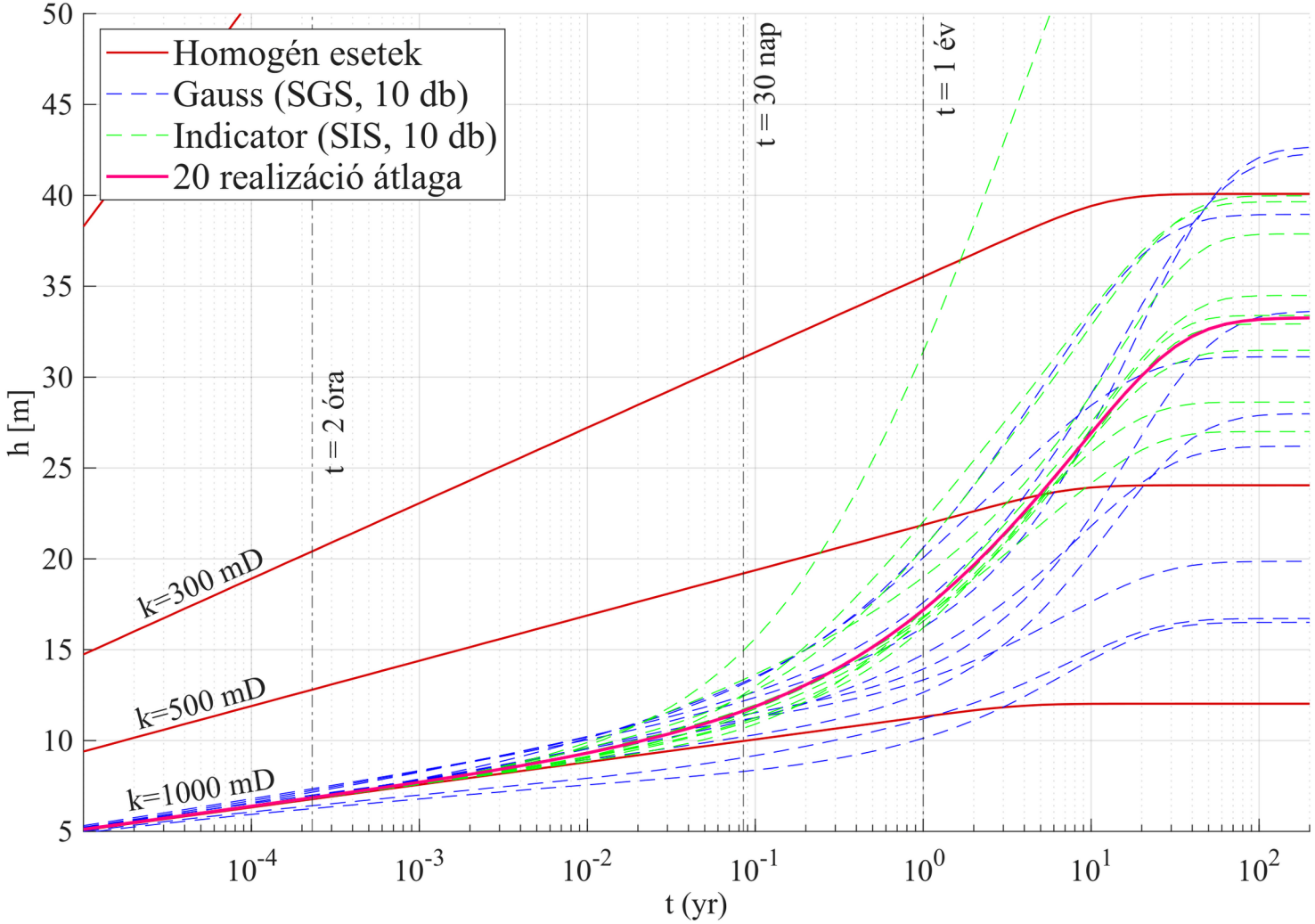
3. ábra: Generált heterogén közegek azonos színskálán

- Fizikai alapmodell COMSOL Multiphysics 5.3a használatával
- 2D, felülnézeti modell, R = 5 km kör alak
- Kezdeti és határfeltétel: h = 0 m, nincs kezdeti áramlás
- t = 1000 év időtartam
- Centrális visszasajtoló kút, realizációkhoz különböző közeg használata



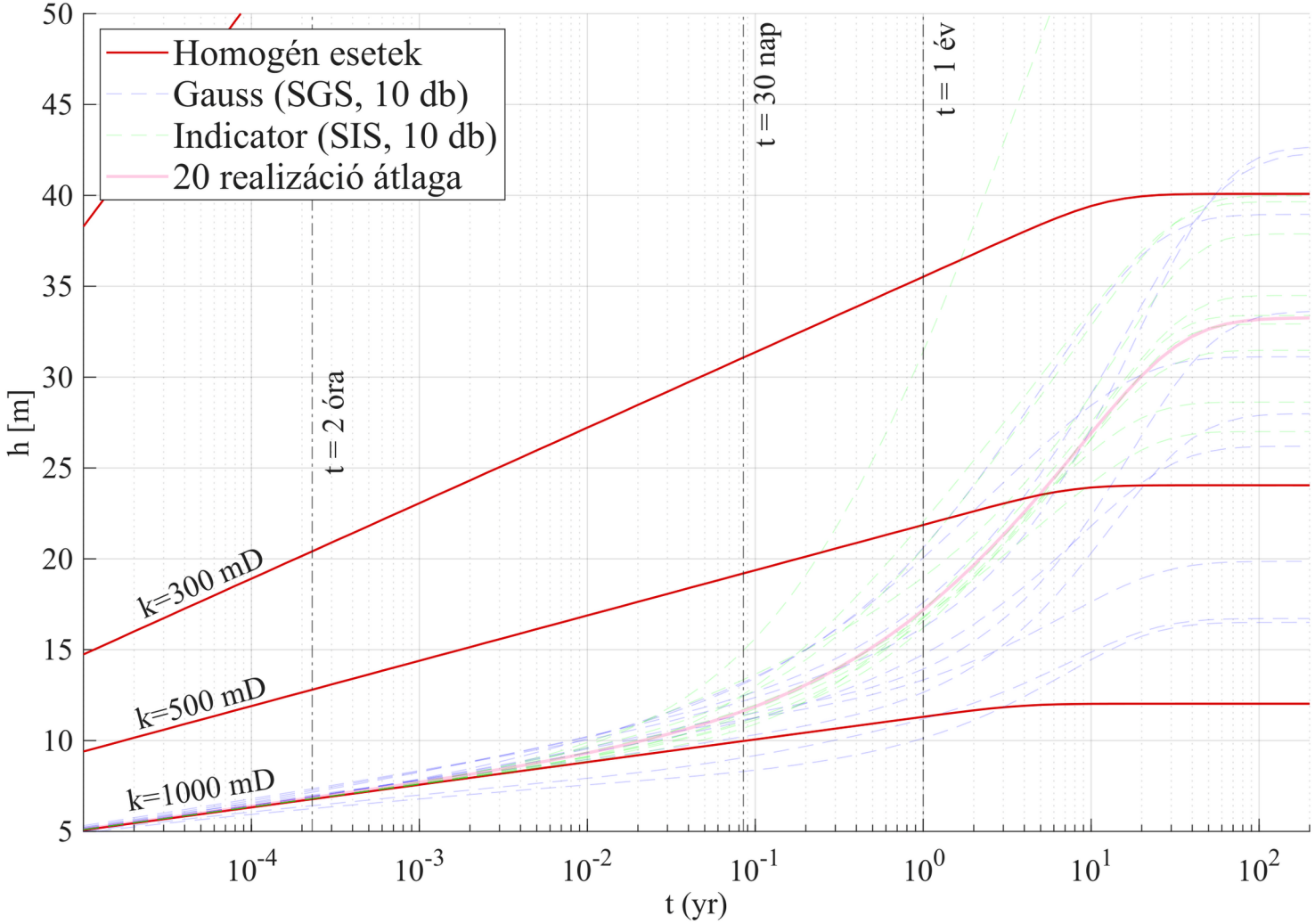
4. ábra: A COMSOL-ban használt fizikai alapmodell felépítése, triangluláris rácsháló kivágattal

- Előzetes eredmény 20 realizáció értelmezéséből
- 10 – 10 Gauss és Indicator módszerrel



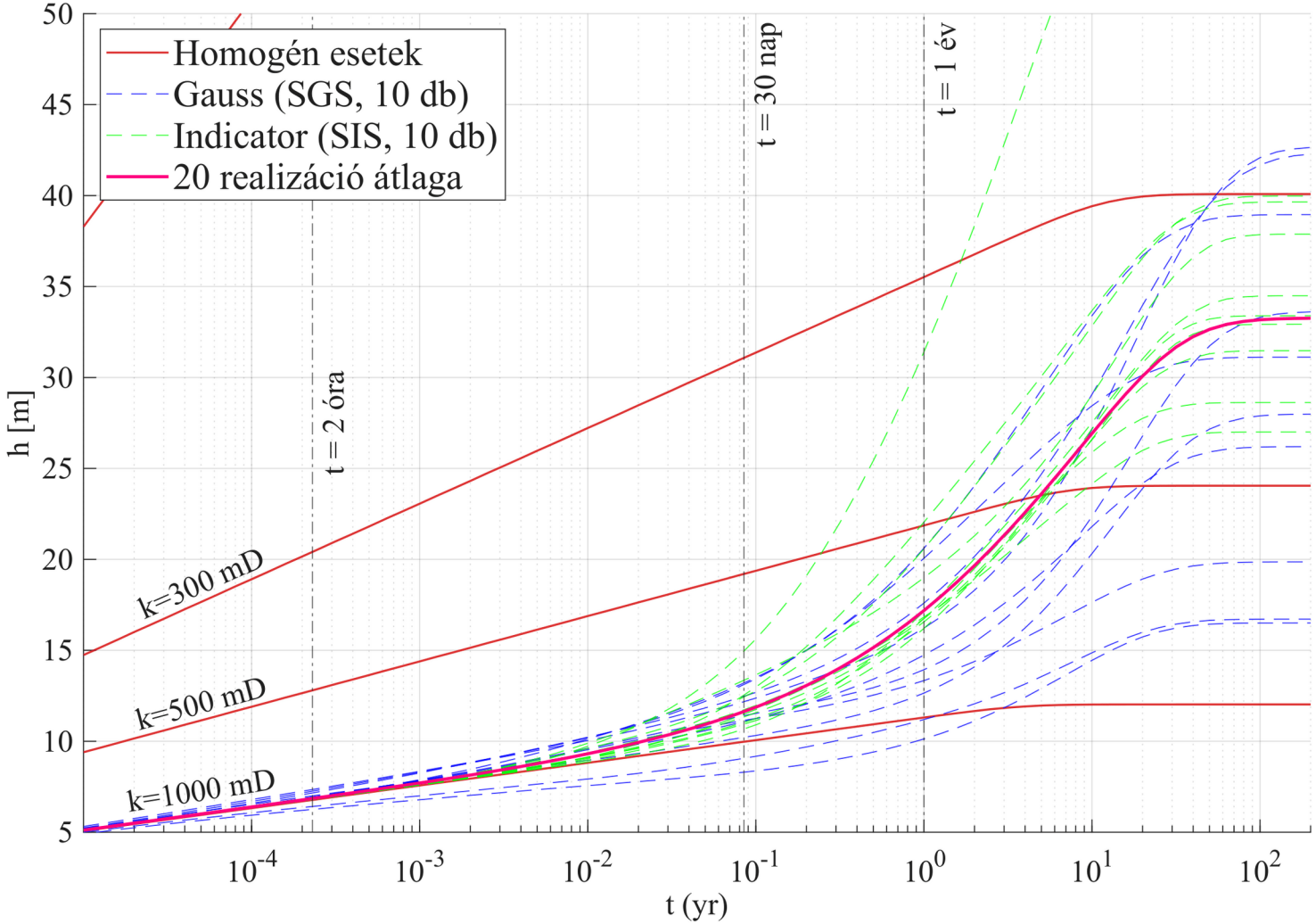
5. ábra: Homogén esetek, inhomogén kétréteges eset, SGS és SIS módszerrel generált heterogén közegek szimulációinak, és a heterogén esetek átlagának h *(HEM) görbéi.*

- **Homogén eseteknél** konstant meredekség, majd stacioner
- Irányadóak a heterogén esetek értelmezéséhez



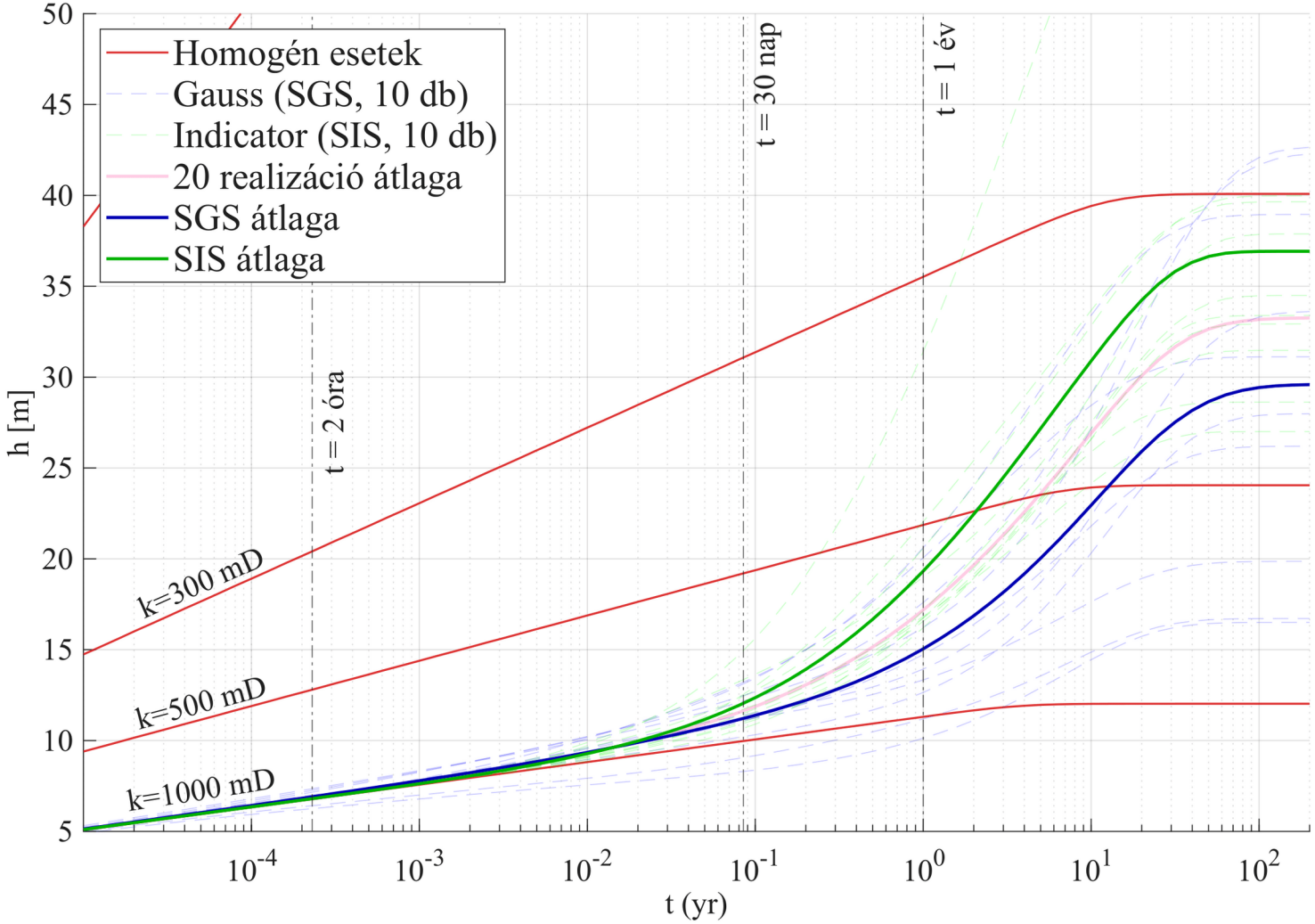
5. ábra: Homogén esetek, inhomogén kétréteges eset, SGS és SIS módszerrel generált heterogén közegek szimulációinak, és a heterogén esetek átlagának h *(HEM) görbéi.*

- **Heterogén esetek** egy ideig k = 1000 mD esetre illeszkednek
- Meredekségnövekedés pár hét után → észlelési idő hosszú
- Átlagos nyomásemelkedés k = 1000 mD-hoz képest 1 év után 50%, stacioner állapotban 175%.
- Esetek nagy része k = 300 és 500 mD esetre illeszkednek



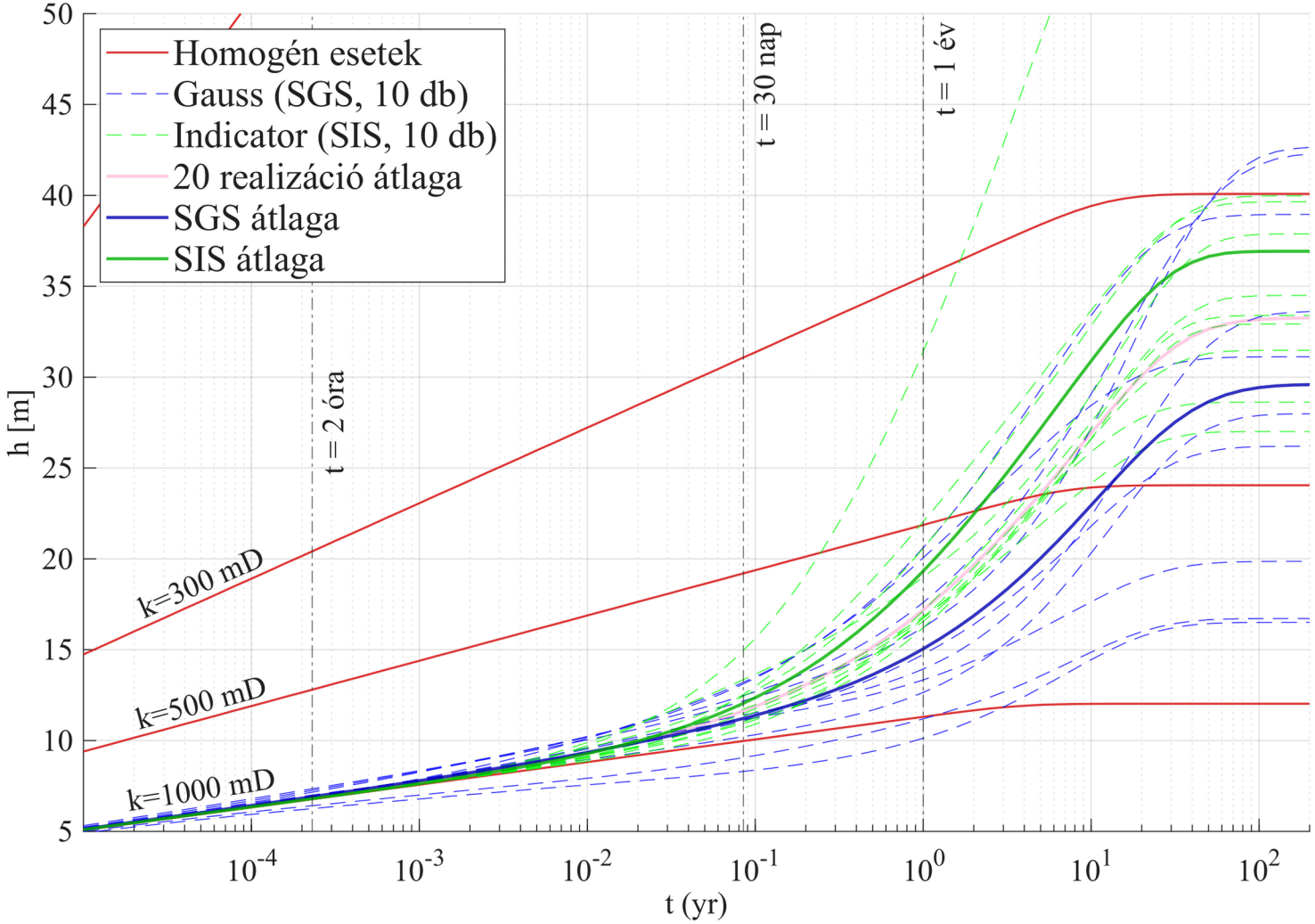
5. ábra: Homogén esetek, inhomogén kétréteges eset, SGS és SIS módszerrel generált heterogén közegek szimulációinak, és a heterogén esetek átlagának h *(HEM) görbéi.*

- **SGS és SIS különvett átlaga** hasonló alak, de 20%-kal nagyobb az Indicator (SIS)



5. ábra: Homogén esetek, inhomogén kétréteges eset, SGS és SIS módszerrel generált heterogén közegek szimulációinak, és a heterogén esetek átlagának h *(HEM) görbéi.*

- **SGS és SIS különvett átlaga** hasonló alak, de 20%-kal nagyobb az Indicator (SIS)
- Kiugró esetek okozhatják, mely SIS esetén pozitív, SGS esetén negatív
- További realizációk feltételezhetően csökkentenék az eltérést



5. ábra: Homogén esetek, inhomogén kétréteges eset, SGS és SIS módszerrel generált heterogén közegek szimulációinak, és a heterogén esetek átlagának h *(HEM) görbéi.*

- **Take Home Message**
  - A rezervoár laterális heterogenitásának hatása jelentős
  - A hatás átlagos érzékelési ideje több hét, mely meghaladja a szokványos kúttesztek időtartamát
  - A heterogenitás jelentős kockázat projektek számára, kutatása fontos, melyre jó lehetőség a numerikus modellezés
- **Célkitűzés**
  - 30-30 realizáció elvégzése a statisztikailag robusztus eredmény elérése érdekében
  - Távolhatás időbeli terjedésének számszerűsítése
  - Effektív permeabilitás számítása közegekre
  - Publikáció a következő félévben pl. Magyar Geofizika c. folyóiratba

- **Take Home Message**
  - A rezervoár laterális heterogenitásának hatása jelentős
  - A hatás átlagos érzékelési ideje több hét, mely meghaladja a szokványos kúttesztek időtartamát
  - A heterogenitás jelentős kockázat projektek számára, kutatása fontos, melyre jó lehetőség a numerikus modellezés
- **Célkitűzés**
  - 30-30 realizáció elvégzése a statisztikailag robusztus eredmény elérése érdekében
  - Távolhatás időbeli terjedésének számszerűsítése
  - Effektív permeabilitás számítása közegekre
  - Publikáció a következő félévben pl. Magyar Geofizika c. folyóiratba

Köszönöm a figyelmet!

Hivatkozások, ábrák

- 1. ábra

- Lenkey, L., Mihályka, J., & Paróczi, P. (2021). *Review of geothermal conditions of Hungary*. Földtani Közlöny, 151(1), 65. https://doi.org/10.23928/foldt.kozl.2021.151.1.65

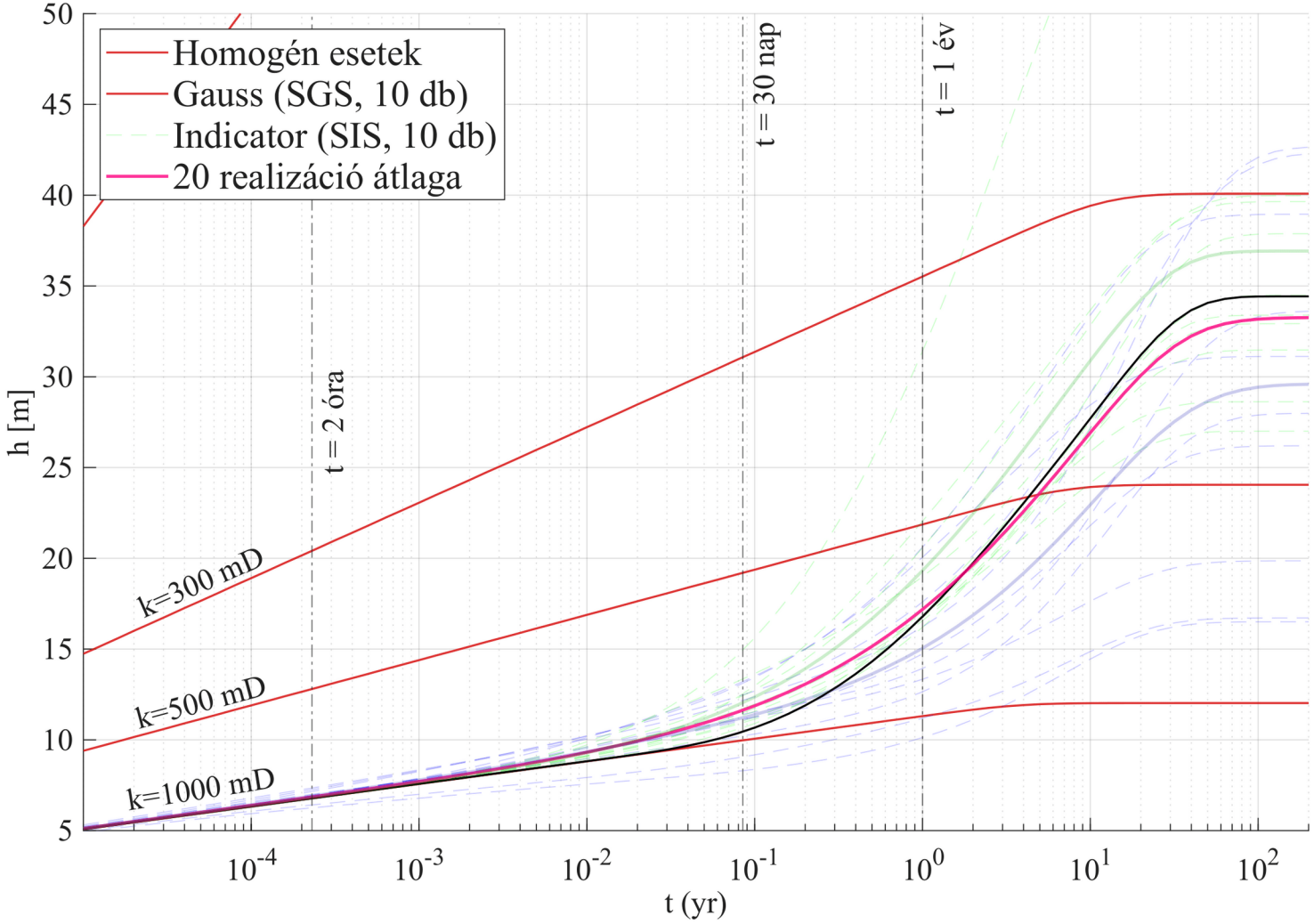
- 2. ábra

- Ben Mahrez, H., Márton, P., Márton, B., Mádl Szőnyi, J., Kovács, J., & Sztanó, O. (2023). *Hydrostratigraphic decomposition of fluvio-deltaic sediments inferred from seismic geomorphology and geophysical well logs in the Pannonian Basin, Hungary*. Global and Planetary Change, 230, 104285. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2023.104285

- *A 3. – 5. ábrák saját készítésűek.*

Tartalékdia I.

- Kétréteges inhomogén eset jól illeszkedik a 20 eset átlagára



Tartalékdia II.

- Variancia eleinte a Gaussnál, majd az Indikátornál nagyobb, váltás 3 hónap körül
- Stacioner állapotban szinte egyenlő

