

A GEOTERMIKUS BERUHÁZÁSOK KOCKÁZATELEMZÉSI STRATÉGIÁJÁNAK HŐTRANSPORT-MODELLEZÉSEN ALAPULÓ FEJLESZTÉSE A BUDAI TERMÁLKARSZTON MINT MINTATERÜLETEN

KÉSZÍTETTE: TÓTHI TAMARA

GEOFIZIKUS MSC, II. ÉVFOLYAM, KUTATÓ GEOFIZIKUS SPECIALIZÁCIÓ

TÉMAVEZETŐK: DR. SZIJÁRTÓ MÁRK, MÁDLNÉ DR. SZŐNYI JUDIT



Geofizikai és Űrtudományi Tanszék
Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék
Tóth József és Erzsébet Hidrogeológia Professzúra



Geofizikus Tudományos Diákköri Konferencia, 2024.12.09.

A KOCKÁZATELEMZÉS JELENTŐSÉGE

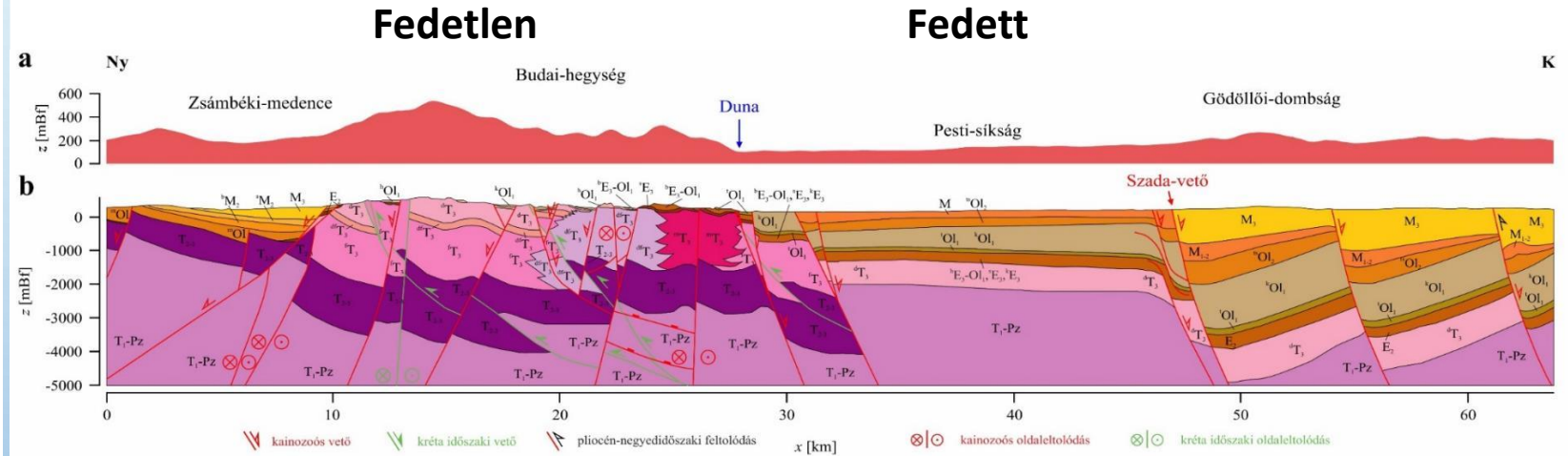
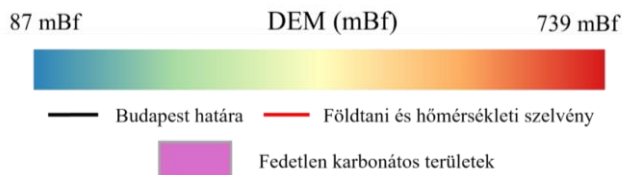
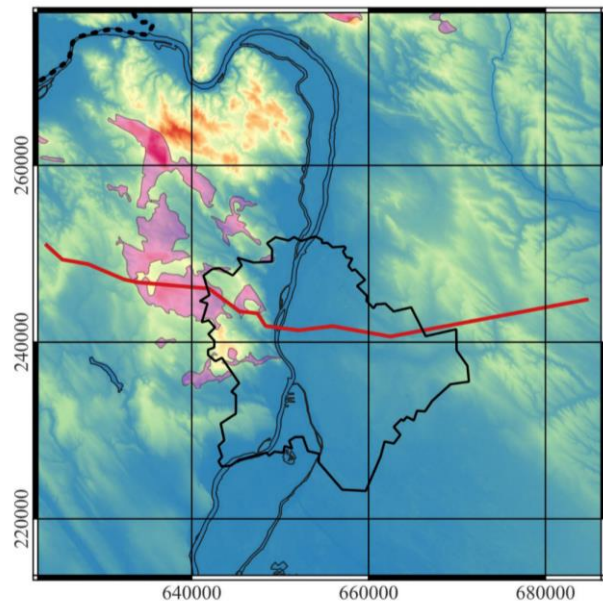
- Geotermikus beruházások részarányának növekedése
 - A megújuló jellegnek és a fenntarthatóságnak korlátai, feltételei vannak:
 - Túlzott fluidumtermelés → kompakció, talajsüllyedés
 - Visszasajtolás hiánya → erőforrás kimerülése
 - Magas költségű beruházások (mélygeotermia)
- Fenntarthatósági és gazdasági szempontból is fontos a kockázatok megfelelő értékelése egy döntéstámogató módszerrel
- Nemzetközi szinten számos országban kockázatelemzési módszertan kidolgozása a szénhidrogénipari minta alapján



Forrás: AI

MINTATERÜLET: BUDAI TERMÁLKARSZT

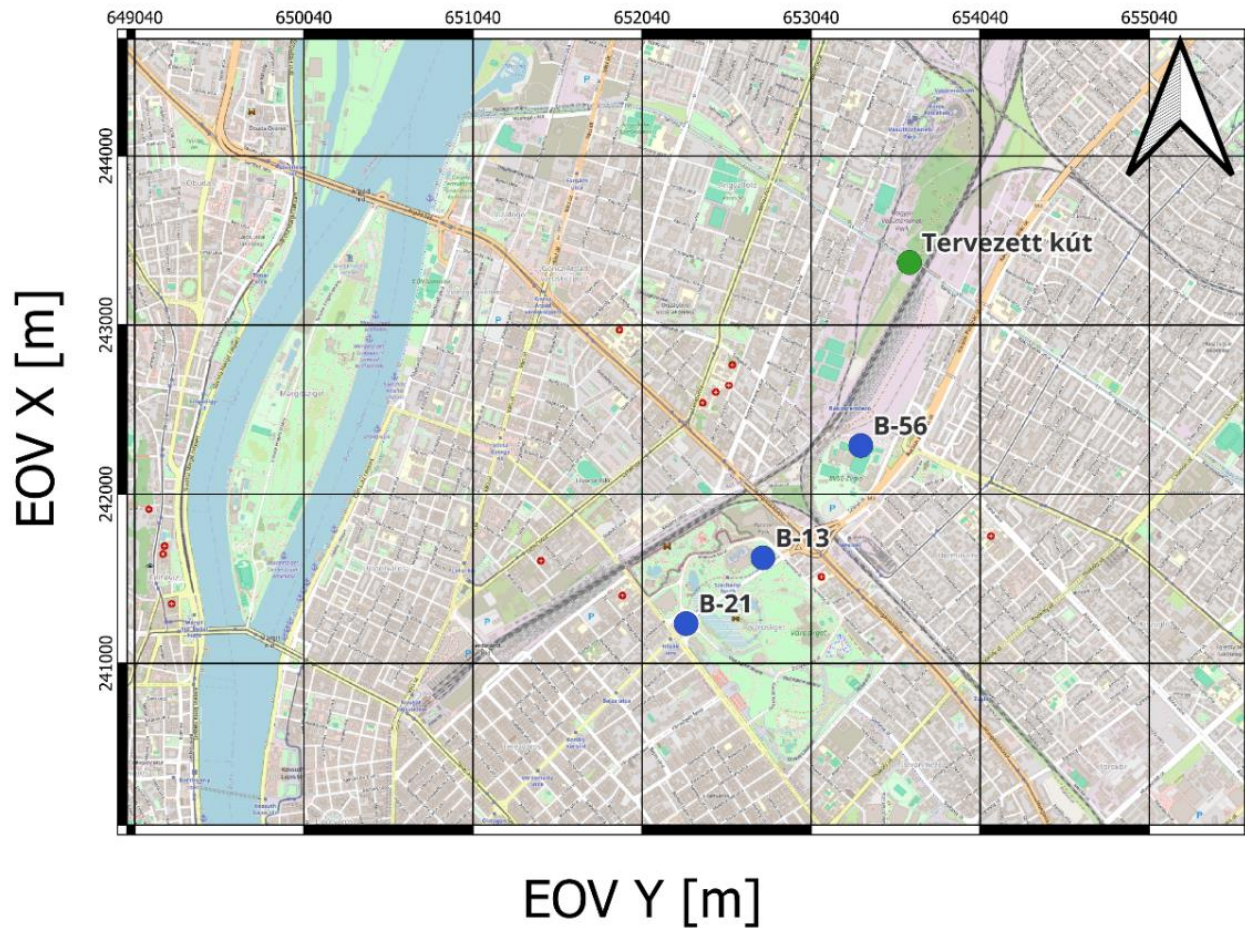
- Cél: a hazai kockázatelemzési módszertan tesztelése karbonátos víztartó rétegre
- Fedetlen budai és fedett pesti oldal



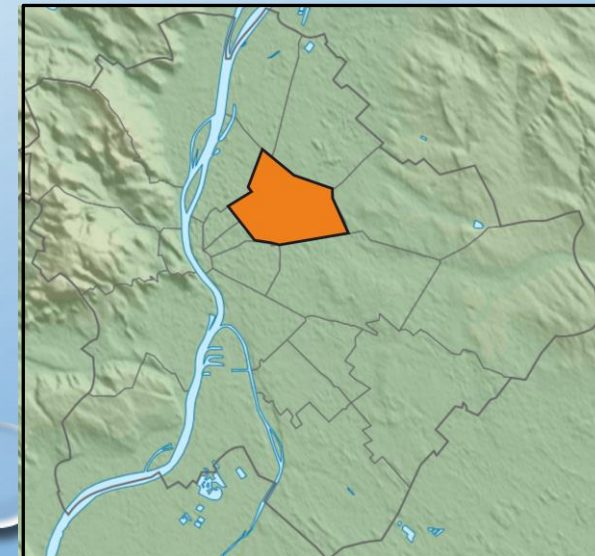
2.ábra: A Budai Termáلكarszt egy kelet-nyugat irányú keresztshelvénye (a) a topográfival (Sziártó et al, 2021) és (b) földtani értelmezéssel (Fodor, 2013)

1.ábra: A Budai Termáلكarszt

VÁLASZTOTT PROJEKTTERÜLET: ZUGLÓ



- Elemzés: egy adott pontra
- A tervezett termelőkút mélysége a terepszinttől számítva 1250 m (-1139 mBf) – Dachsteini Mkő F
- Cél: településfűtés
- Elvárt névleges kapacitás $2,5 \text{ MW}_h$



3.ábra: A projektterület három már létező termálkúttal (kék: B-21, B-13, B-56) és a tervezett kúttal (zöld)

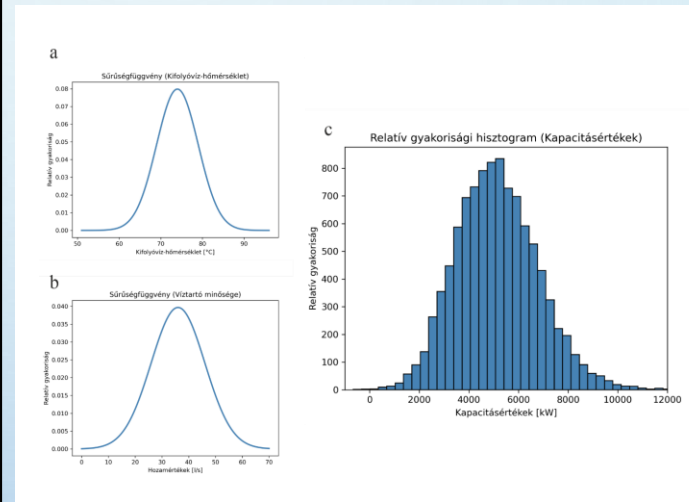
A KOCKÁZATELEMZÉS MAGYAR MÓDSZERTANA - WORKFLOW

1. Geológiai valószínűség (POS_G) becslése

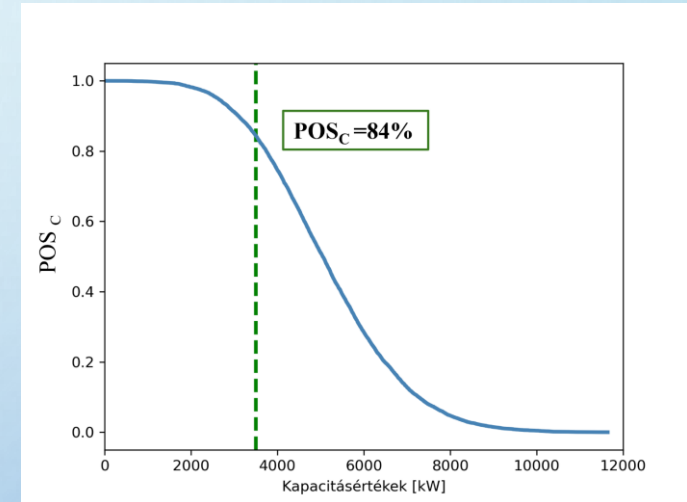
- Kockázati tényezők:
 - POS_{AP} = „Aquifer Presence (AP)”
 - POS_{AQ} = “Aquifer Quality (AQ)”
 - POS_{FQ} = “Fluid Quality (FQ)”
 - POS_T = “Temperature (T)”
 - POS_{RI} = “Reinjection (RI)”
- Feltételezés: függetlenség
- Feltételes valószínűségi módszer

$$POS_G = POS_{AP} \cdot POS_{AQ} \cdot POS_{FQ} \cdot POS_T \cdot POS_{RI}$$

2. Kívánt kapacitás elérési valószínűségének (POS_C) becslése



4.ábra: A Monte Carlo-szimuláció



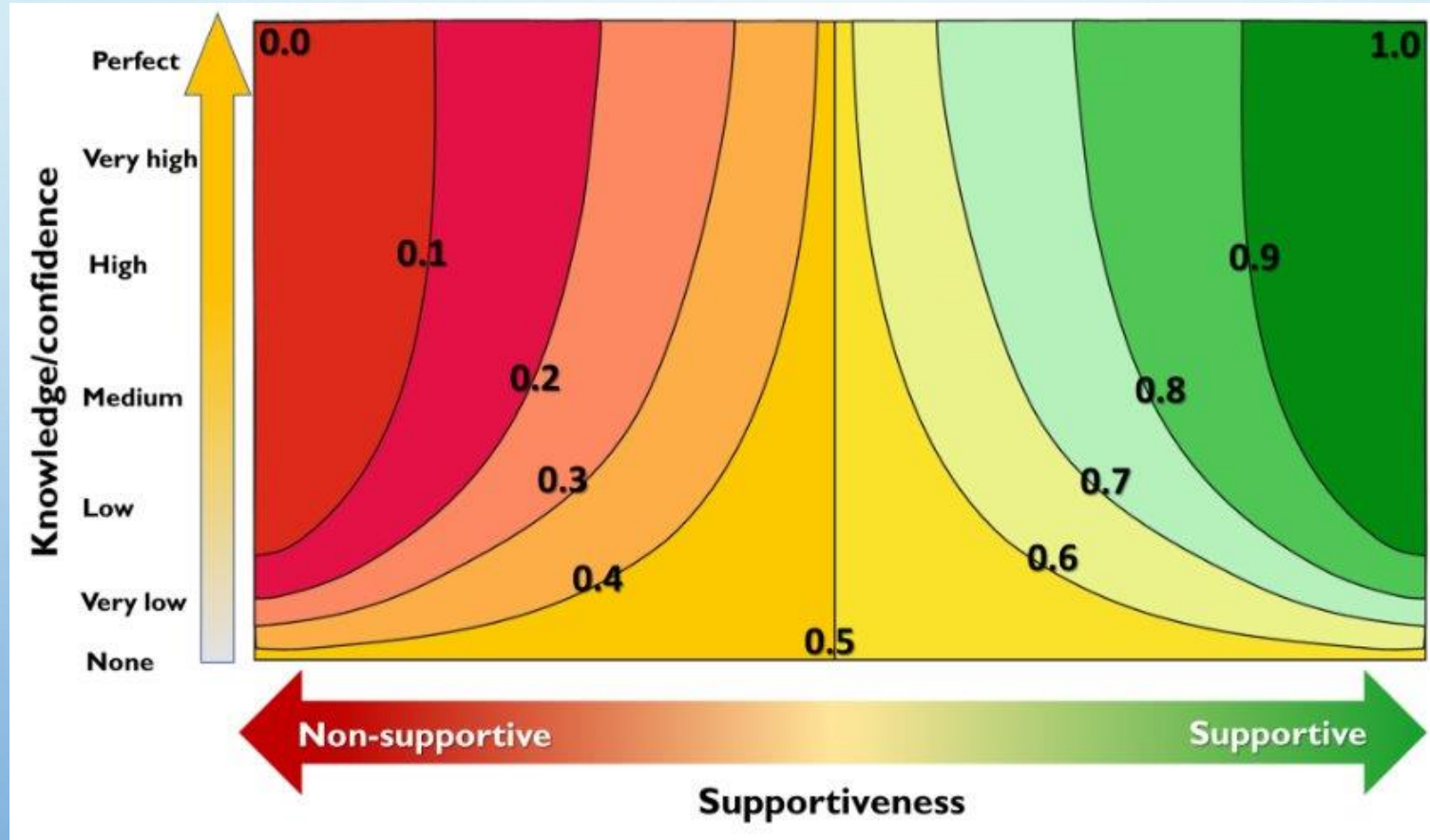
5.ábra: A POS_C (C) függvény

3. A projektsiker valószínűségének (POS_P) becslése

$$POS_P = POS_G \cdot POS_C$$

A KOCKÁZATELEMZÉS MAGYAR MÓDSZERTANA

- A kvantitatív értékelés korlátozottsága → kvalitatív módszer



6.ábra: A kvalitatív kockázatértékelést támogató diagram (Markó et al, 2024 in press)

A MAGYAR ÉS NÉMET MÓDSZERTANOK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

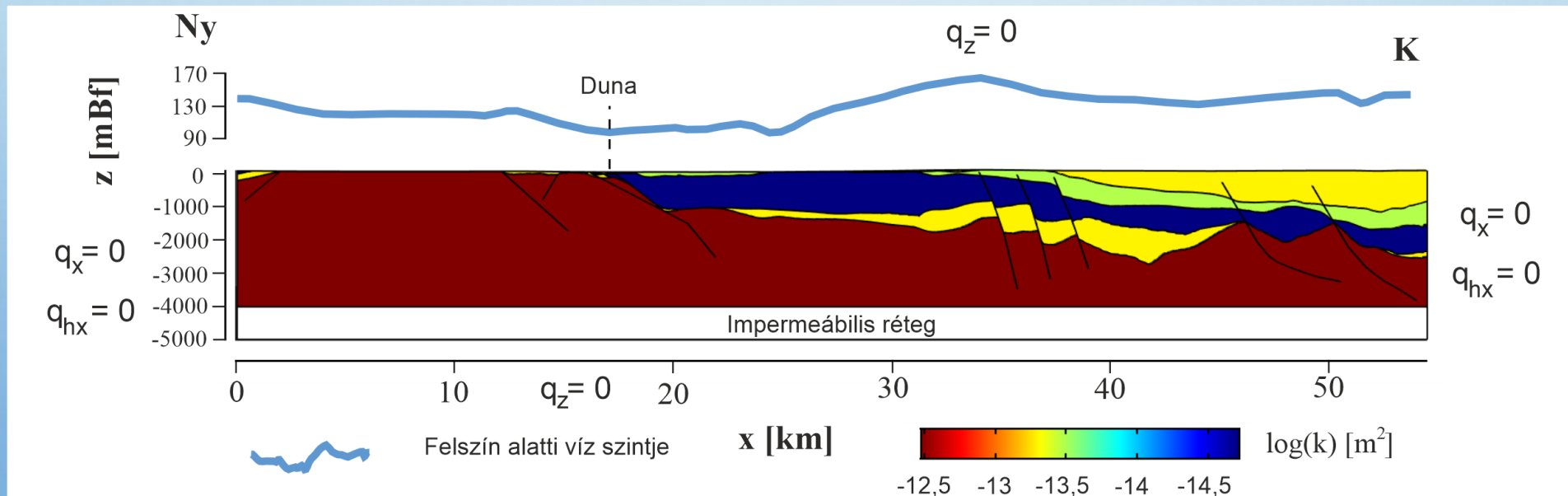
Magyar módszertan	Német módszertan*
1. $POS_G = POS_{AP} \cdot POS_{AQ} \cdot POS_{FQ} \cdot POS_T \cdot POS_{RI}$	1. $POS_{Geol} = POS_{AqEx} \cdot POS_{AqQual} \cdot POS_{Chem} \cdot POS_{Comm}$
2. Monte Carlo-szimuláció + eloszlások (T és AQ)	2. Monte Carlo-szimuláció + eloszlások (T és AQ)
-	$POS_t = POS_{Geol} \cdot POS_o$
3. $POS_P = POS_G \cdot POS_C$	3. $POS_{Total} = POS_t \cdot POS_{W(t)}$
Kvalitatív értékelés - diagram	Kvalitatív értékelés - diagram

1.táblázat: A magyar és a német módszertan összehasonlítása

- Elemzés a magyar útmutatás szerint
- 1 kivétel: POS_T

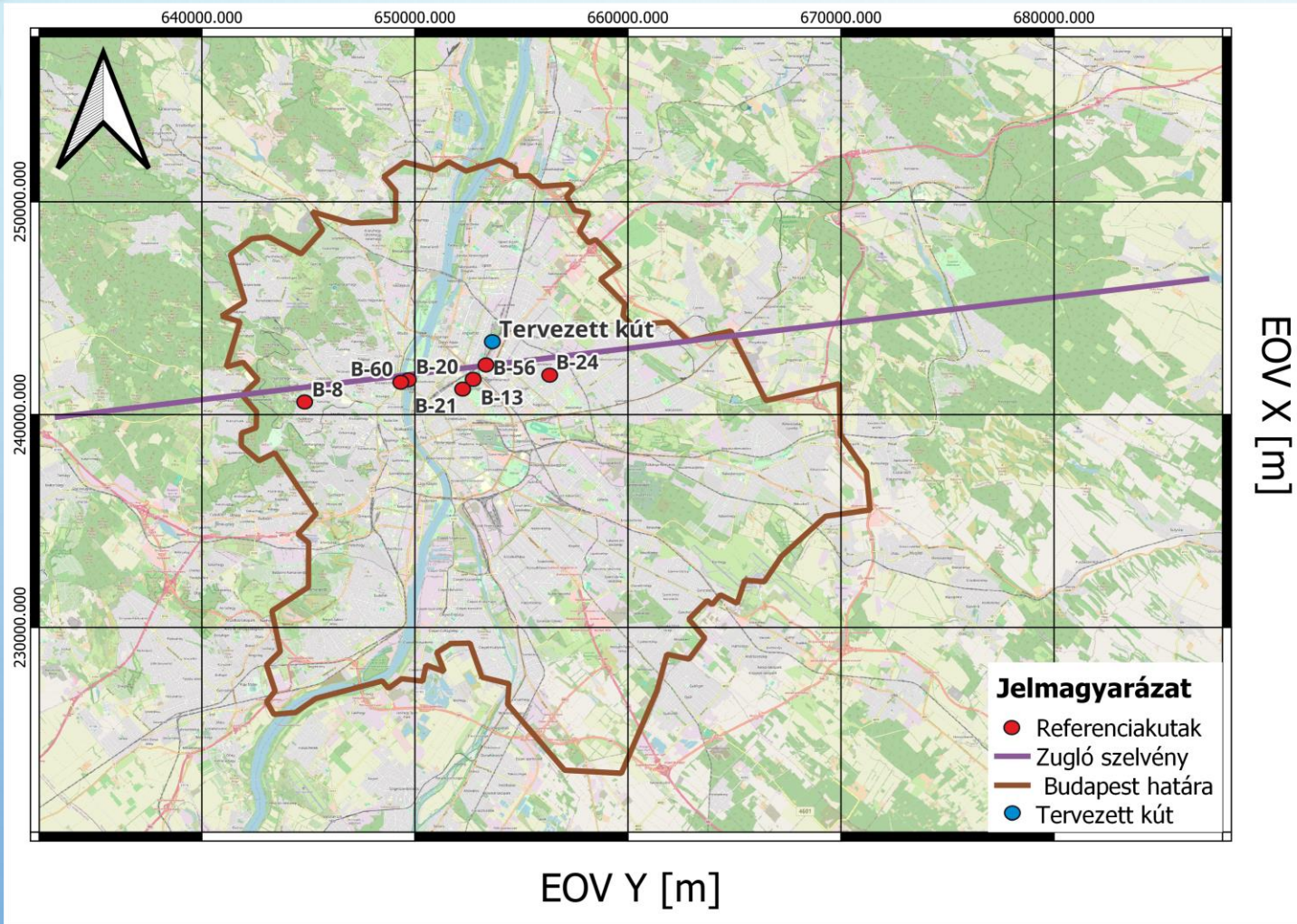
HŐTRANSPORT-MODELLEZÉS MÓDSZERTANA

- Geometria: földtani felületek: Prekainozoós, Prekiscelli-Tardi, Preneogén, Prepannon, Prekvarter (SZTFH,2024)
- Advektív hőtranszport; termikus felhajtóerő hatásával – egyelőre – nem számoltam
- COMSOL Multiphysics – végelelemes módszer
- Hőtani és hidraulikai paraméterek: Szijártó et al, 2021



7. ábra: A modell geometriai felépítése, a rétegek permeabilitása (logaritmikus skálán), a vízáramlásra és a hőtranszport-folyamatokra vonatkozó határfeltételekkel

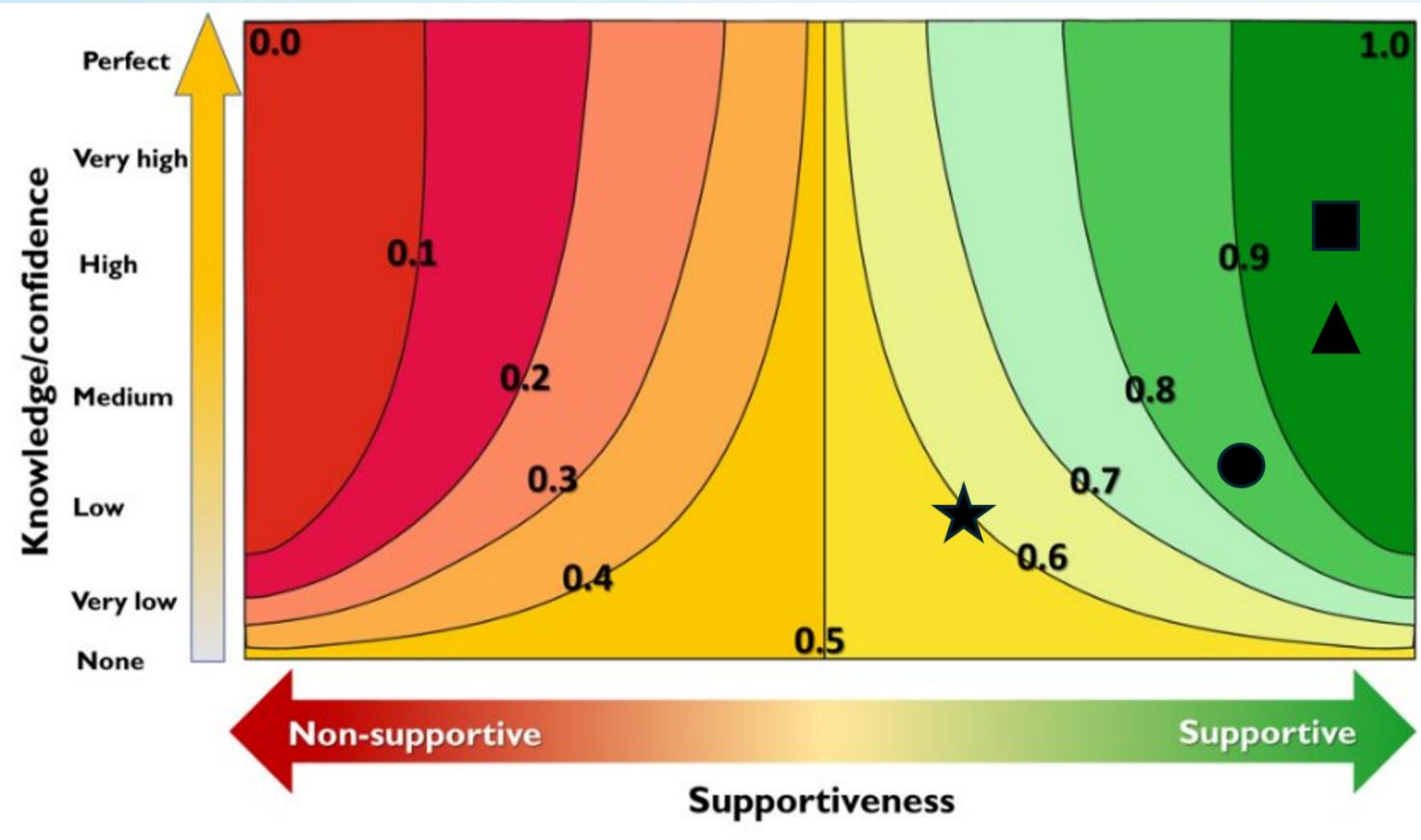
HŐTRANSPORT-MODELLEZÉS MÓDSZERTANA



- Kalibráció: 7 kútban mért hőmérsékleti adatok alapján, permeabilitás változtatásával
- 41 modelleredmény
 - 1 konduktív
 - 24 változat – 1 réteg k változtatása
 - 16 változat – több réteg k változtatása

8. ábra: A 2D szelvény nyomvonala, a kalibrációhoz használt kutak a tervezett kút helyzetével

EREDMÉNYEK – POS_G (1.)



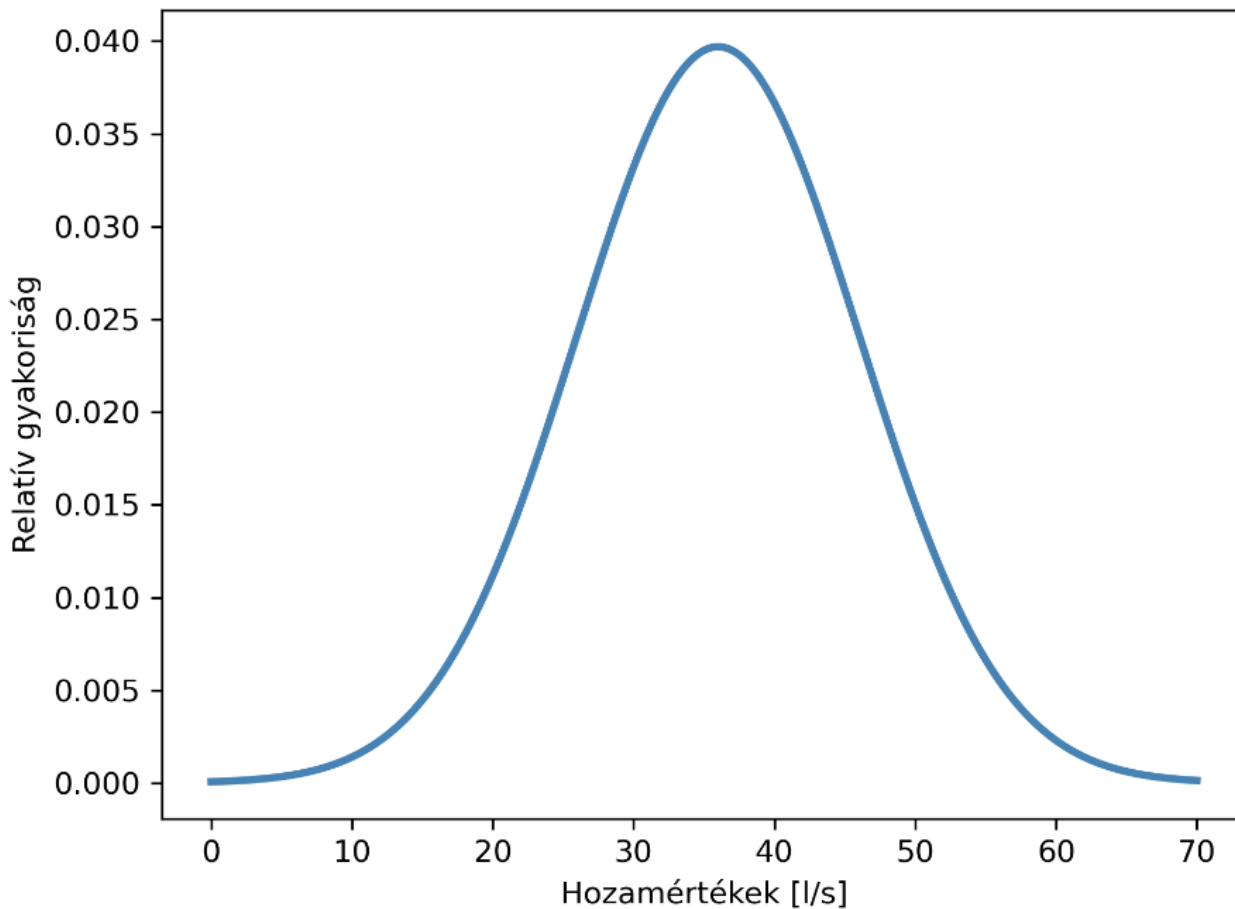
■ POS_{AP} ▲ POS_{AQ} ● POS_{FQ} ★ POS_{RI}

- $POS_{AP} = 95\%$
 - $POS_{AQ} = 85\%$
 - $POS_{FQ} = 95\%$
 - $POS_{RI} = 60\%$
 - $POS_G = 95\% \cdot 85\% \cdot 95\% \cdot 60\% = 46\%$
- **Geológiai valószínűség**
- Rendelkezésre álló földtani adatok alapján

9. ábra: A geológiai valószínűség kiszámításához szükséges POS paraméterek összefoglaló ábrája

EREDMÉNYEK - POS_C - HOZAMELOSZLÁS (2.)

Sűrűségfüggvény (Vízartó minősége)



- B-13 és B-56 kutak adatai alapján
- Kevés adat, karsztos vízartó → a sziliciklasztos vízartókra kidolgozott hidraulikai összefüggések nem használhatók

→ részben kvalitatív megközelítés

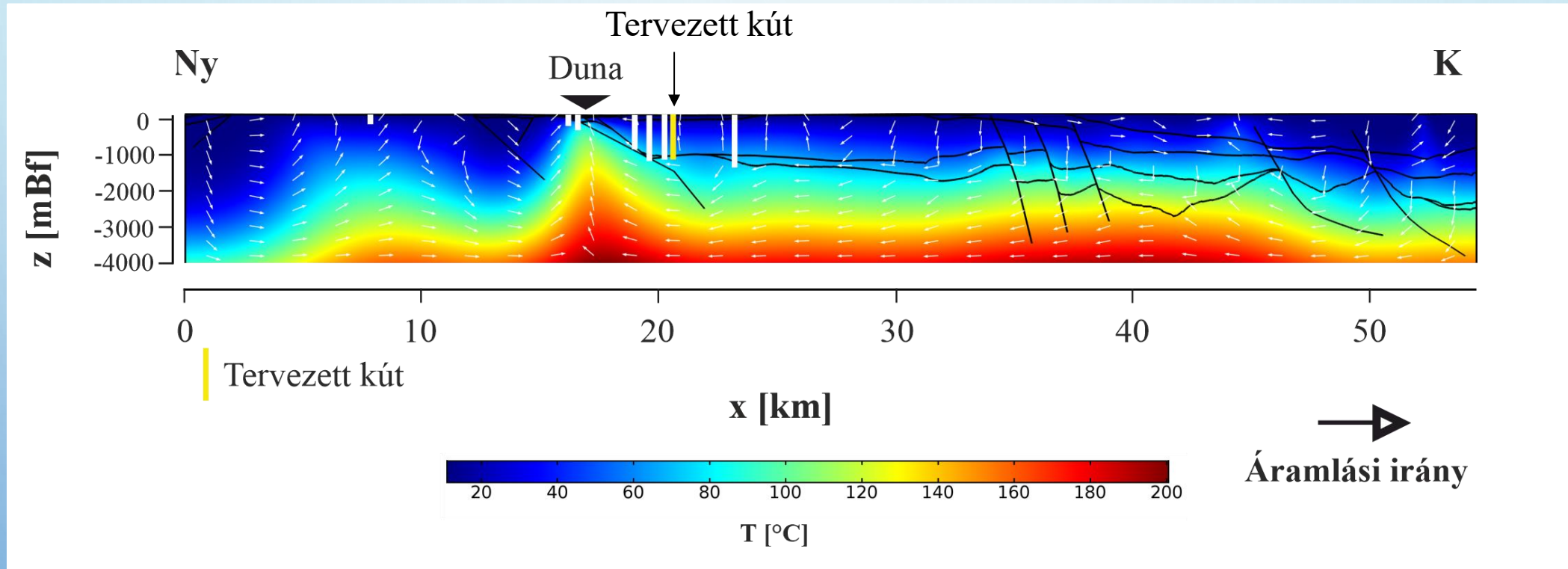
← Becsült hozameloszlás:

- Várható érték = 36 l/s
- Szórás = 10 l/s

10. ábra: A hozameloszlás sűrűségfüggvénye a tervezett kútra

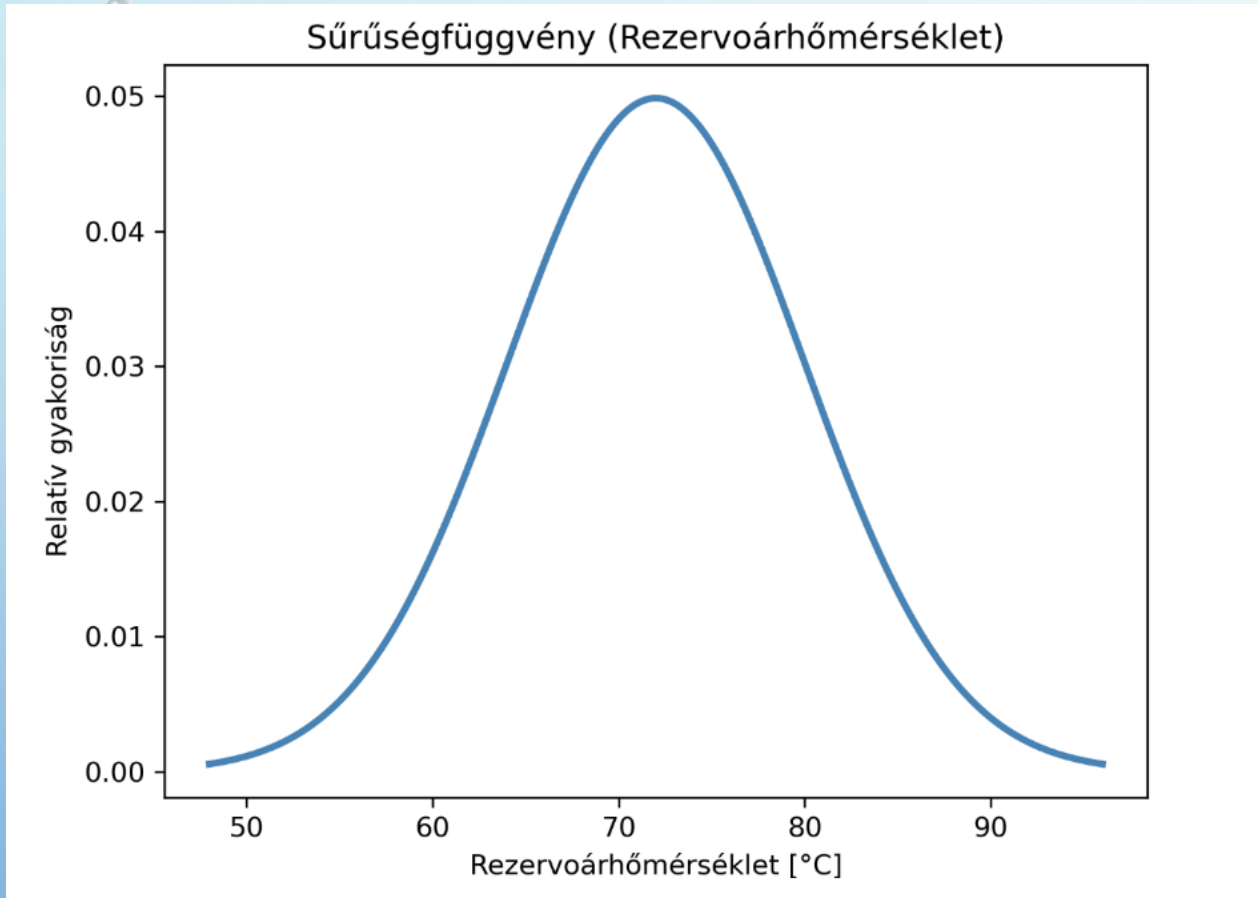
EREDMÉNYEK - POS_C – HŐMÉRSÉKLETELOSZLÁS (2.)

- T a tervezett kút (sárga) tervezett mélységében = 72,2 °C



11.ábra: A legjobbnak minősített modellre vonatkozó hőmérsékleti szelvény

EREDMÉNYEK - POS_C – HŐMÉRSÉKLETELOSZLÁS (2.)

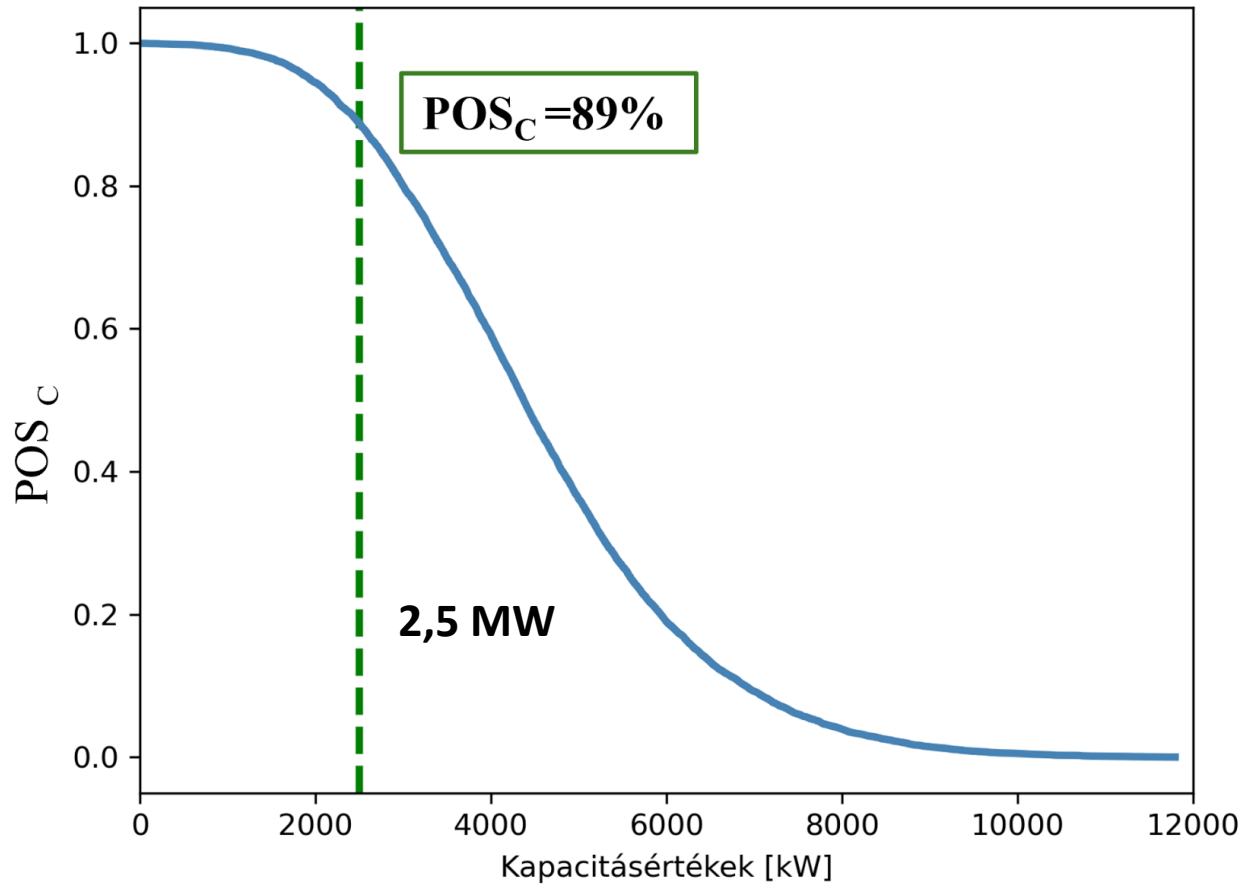


- Hőmérséklet-eloszlás
 - Várható érték = 72 °C
 - Szórás = 8 °C
- A „legjobb” 16 modell eredményeire alapozva.
- Kifolyóvíz-hőmérséklet várható értéke=70 °C
 - Liebe-formula (1977):

$$T_{kifolyó} = T_z - 5 \cdot z_f \cdot I^{-0,71}$$

12. ábra: A rezervoárhőmérséklet becsült sűrűségfüggvénye

EREDMÉNYEK – POS_P (3.)

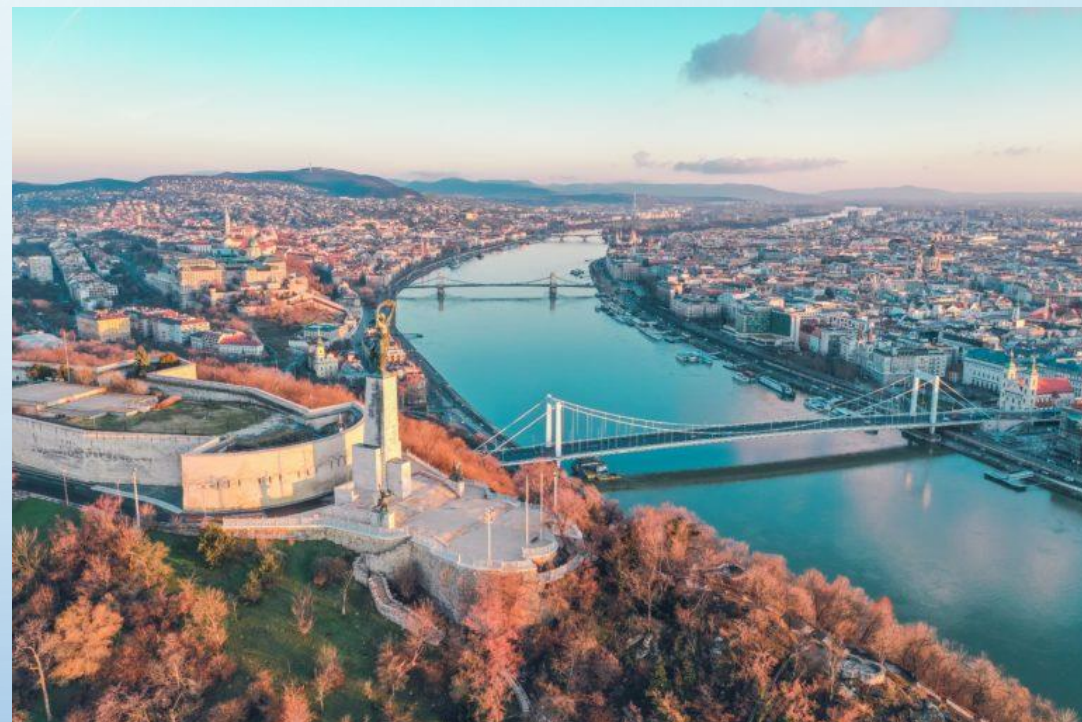


- $POS_P = 46\% \cdot 89\% = 41\%$
- Projektsiker valószínűsége
- A projektek sorba állíthatóak

13. ábra: A kapacitásértékek eloszlásfüggvénye a Monte Carlo-szimuláció eredményeként

KÖVETKEZTETÉSEK, DISZKUSSZIÓ

- Nehézségek, akadályok:
 - Kevés adat → korlátozott statisztikai számítások
 - Modellfeltételek sokszor nem adottak, komplex geometria, áramlási szerkezet
- Fejlesztési irányok:
 - Hozam esetében lognormális eloszlás alkalmazása
 - Hőmérsékletmodellezés: termikus felhajtóerő hatásának vizsgálata
 - Hozambecslés kvantitatívabb módon – módszerek fejlesztése karbonátos víztartókra



<https://blueungarischegruppe.com/budapest/>

A kutatás a Kulturális és Innovációs minisztérium EKÖP-24 kódszámú egyetemi kiválósági ösztöndíj programjának a nemzeti kutatási, fejlesztési és innovációs alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült. A szerződés száma: ELTE/15380/1(2024)

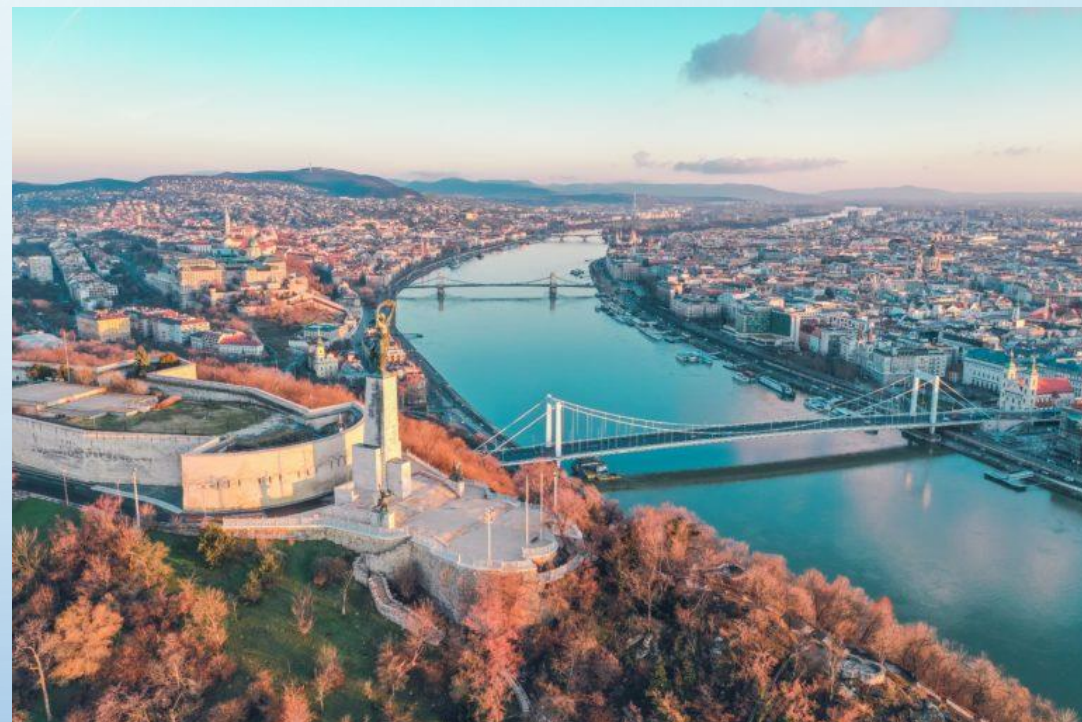


IRODALOM

- BVEG – DGMK (2024): Geologische Risikobewertung Tiefengeothermischer Projekte. Stand: 03/2024. Federal Natural Gas Association, Petroleum and Geoenergy e. V. <https://dgmk.De/en/news/draft-of-the-new-guideline-for-geological-risk-assessment-of-deep-geothermal-projects-published/> [letöltve: 2024.11.13.]
- Fodor, L. (2013). A Budai-hegység felépítését szemléltető K-Ny irányú szelvények. In: Mindszenty A. (ed.) Budapest: földtani értékek és az ember – városgeológiai tanulmányok. Budapest: Eötvös Loránd University Press, pp. 20.
- Gálfi J. és Liebe P. 1977: Magyarország geotermikus hőmérséklettérképei a vízfeltáró fúrások alapján. Kutatási Jelentés, VITUKI adattár, Budapest
- Markó, Á., Tóthi, T., Szilágyi I., Mádl-Szőnyi, J. (2024 in press): Geological risk analysis of geothermal developments – case study of the hypogene Buda Thermal Karst. In: Eurokarst - Advances in Karst hydrogeology. s.l.:Springer.
- Szijártó, M., Galsa, A., Tóth, Á., & Mádl-Szőnyi, J. (2021). Numerical analysis of the potential for mixed thermal convection in the Buda Thermal Karst, Hungary. Journal of Hydrology: Regional Studies, 34, 100783, pp.2.
- Szilágyi I. (2023). Geotermikus geológiai kockázatok elemzése és számszerűsítése. Hogyan és miért?, SZTFH, Geotermikus előadói nap Budapest. 2023. 09. 07.

KÖVETKEZTETÉSEK, DISZKUSSZIÓ

- Nehézségek, akadályok:
 - Kevés adat → korlátozott statisztikai számítások
 - Modellfeltételek sokszor nem adottak, komplex geometria, áramlási szerkezet
- Fejlesztési irányok:
 - Hozam esetében lognormális eloszlás alkalmazása
 - Hőmérsékletmodellezés: termikus felhajtóerő hatásának vizsgálata
 - Hozambecslés kvantitatívabb módon – módszerek fejlesztése karbonátos víztartókra

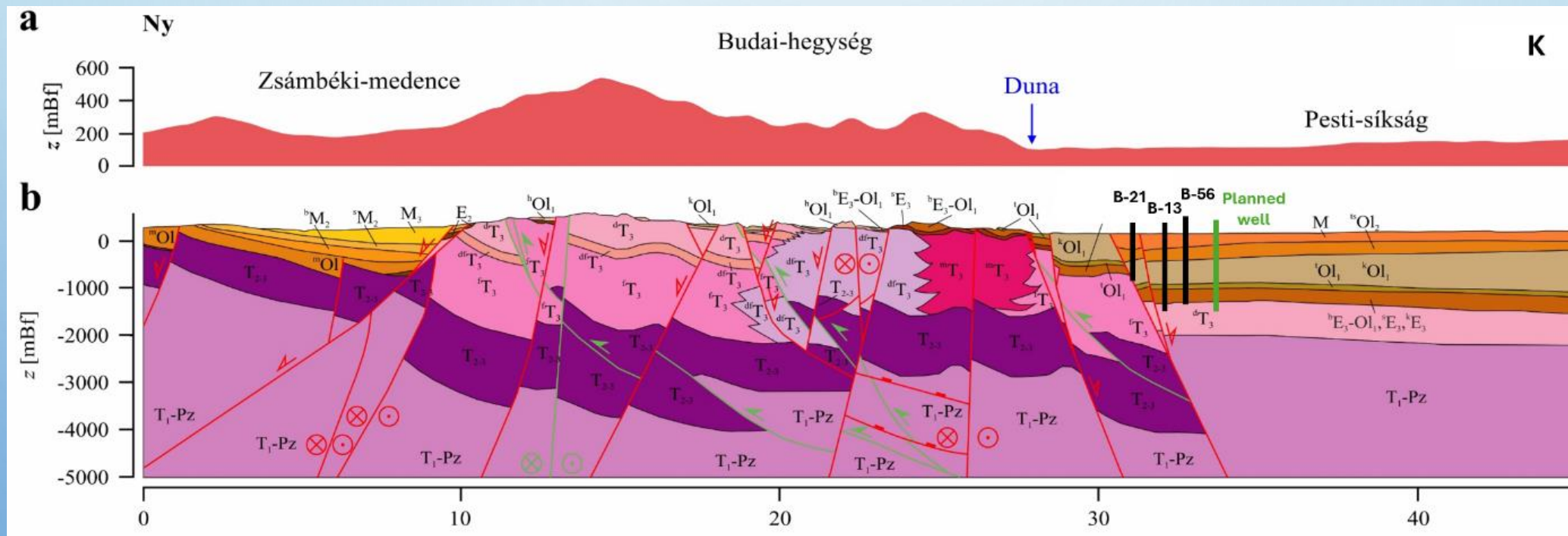


<https://blueungarischegruppe.com/budapest/>

Köszönöm szépen a figyelmet!

EREDMÉNYEK

- $POS_{AP} = 95\%$
 - Dachsteini Mész-kő Formáció
 - Kvalitatív értékelés alapján



EREDMÉNYEK

- $POS_{FQ} = 95\%$
 - TDS átlaga = 1196 mg/l, szórása 214,6 mg/l (környező pesti kutak) → alacsony oldottanyag-tartalom
 - CH-jelenlét valószínűsége kicsi
- $POS_{RI} = 60\%$
 - Kvalitatív értékelés
 - Kevés az információ az üregek eloszlásáról és a repedéshálózatról