

# **KÚTHIDRAULIKAI VIZSGÁLATOK ÉRTÉKELÉSE ÉS MODELLEZÉSEN ALAPULÓ ÉRTELMEZÉSE BUDAPEST TERÜLETÉN**

TDK Dolgozat  
Geológus szak



Készítette: Garamhegyi Tamás  
Témavezető: Mádlné Dr. Szőnyi Judit, egyetemi docens, ELTE TTK

Eötvös Loránd Tudományegyetem  
Földrajz- és Földtudományi Intézet  
Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék

Budapest,  
2012.12.03.

# 1 TARTALOMJEGYZÉK

|          |                                                                                              |           |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>TARTALOMJEGYZÉK .....</b>                                                                 | <b>2</b>  |
| <b>2</b> | <b>BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK .....</b>                                                         | <b>4</b>  |
| <b>3</b> | <b>A BUDAI TERMÁLKARSZT HIDROGEOLÓGIAI KÖRNYEZETI BEMUTATÁSA .....</b>                       | <b>5</b>  |
| 3.1      | TOPOGRÁFIA .....                                                                             | 5         |
| 3.2      | ÉGHAJLAT .....                                                                               | 6         |
| 3.3      | FÖLDTANI FELÉPÍTÉS ÉS SZERKEZETFEJLŐDÉS.....                                                 | 6         |
| 3.4      | HIDROGEOLÓGIAI VISZONYOK .....                                                               | 9         |
| <b>4</b> | <b>SZIVATTYÚTESZTEK ELMÉLETI HÁTTERE .....</b>                                               | <b>12</b> |
| 4.1      | DEFINIÍCIÓK, ALAPELVEK .....                                                                 | 12        |
| 4.1.1    | A szivattyúzás menete: .....                                                                 | 12        |
| 4.1.2    | Vízartó típusok szivattyúzási szempontból .....                                              | 13        |
| 4.1.3    | Nyitott vízartó típus:.....                                                                  | 13        |
| 4.1.4    | Ideálisan fedett vízartó típus .....                                                         | 14        |
| 4.1.5    | Részből-fedett vízartó típus .....                                                           | 15        |
| 4.1.6    | Részből-nyitott vízartó típus .....                                                          | 15        |
| 4.2      | KLASSZIKUS MÓDSZEREK, FEDETT VÍZARTÓK SZIVATTYÚPRÓBÁINAK KIÉRTÉKELÉSÉRE.....                 | 16        |
| 4.2.1    | Thiem módszer.....                                                                           | 16        |
| 4.2.2    | Theis analitikus megoldása, Cooper-Jacob módszer.....                                        | 17        |
| 4.2.3    | Eltérés az ideálisan fedett állapottól .....                                                 | 20        |
| 4.3      | ANOMÁLIÁK, KETTŐS POROZITÁSSAL RENDELKEZŐ RENDSZEREK ESETÉBEN FELMERÜLŐ PROBLÉMÁK .....      | 21        |
| 4.4      | VISUAL TWO-ZONE NUMERIKUS MODEL ELMÉLETI HÁTTERÉNEK RÖVID BEMUTATÁSA.....                    | 21        |
| 4.4.1    | Kettős porozitás kezelése.....                                                               | 24        |
| <b>5</b> | <b>VISSZATÖLTŐDÉSI PRÓBÁK FELÜLVIZSGÁLATA ÉS NUMERIKUS ÉRTÉKELÉSE – LOKÁLIS LÉPTÉK .....</b> | <b>26</b> |
| 5.1      | VISSZATÖLTŐDÉSI PRÓBÁK ANALITIKUS FELÜLVIZSGÁLATA .....                                      | 26        |
| 5.1.1    | Adatok eredete .....                                                                         | 26        |
| 5.1.2    | Az adatbázis ismertetése .....                                                               | 26        |
| 5.1.3    | Vízszintmérésen alapuló visszatöltődési adatsorok értékelése.....                            | 29        |
| 5.1.4    | A nyomásmérésen alapuló visszatöltődés adatsorok értelmezése .....                           | 33        |
| 5.1.5    | Vízszintmérésen és nyomásmérésen alapuló adatsorok értékelése .....                          | 35        |
| 5.1.6    | Visszatöltődési próbák felülvizsgálatából levonható következtetések .....                    | 38        |
| 5.2      | NUMERIKUS SZIMULÁCIÓS FELÜLVIZSGÁLAT .....                                                   | 39        |
| 5.2.1    | Szt. Gellért, Árpád IV. kút.....                                                             | 40        |
| 5.2.2    | Budai alsó rakpart, DM-5. kút.....                                                           | 42        |
| 5.2.3    | Erzsébet téri kút .....                                                                      | 44        |

|          |                                                                                                     |           |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.2.4    | <i>A numerikus modell alkalmazhatósága kettős porozitású rendszerben.....</i>                       | 46        |
| <b>6</b> | <b>PASKÁL-MALMI EGYMÁSRAHATÁS VIZSGÁLAT ANALITIKUS FELÜLVIZSGÁLATA – REGIONÁLIS LÉPTÉK.....</b>     | <b>48</b> |
| 6.1      | AZ 1966-OS ÖSSZEFÜGGÉSVIZSGÁLAT KÖRÜLMÉNYEI, FŐBB EREDMÉNYEK.....                                   | 48        |
| 6.1.1    | <i>Adatsorok használhatósága, problémák .....</i>                                                   | <i>50</i> |
| 6.2      | AZ ADATSOROK ANALITIKUS FELÜLVIZSGÁLATA, COOPER-JACOB FÉLE EGYENES ILLESZTÉS .....                  | 52        |
| 6.3      | NUMERIKUS SZIMULÁCIÓS FELÜLVIZSGÁLAT .....                                                          | 56        |
| 6.4      | KÖVETKEZTETÉSEK AZ INTERFERENCIA VIZSGÁLATTAL KAPCSOLATBAN .....                                    | 58        |
| <b>7</b> | <b>KÖVETKEZTETÉSEK.....</b>                                                                         | <b>59</b> |
| <b>8</b> | <b>ÖSSZEFOGLALÁS .....</b>                                                                          | <b>61</b> |
| <b>9</b> | <b>KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS .....</b>                                                                    | <b>63</b> |
|          | <b>IRODALOMJEGYZÉK .....</b>                                                                        | <b>64</b> |
|          | <b>ÁBRAJEGYZÉK.....</b>                                                                             | <b>68</b> |
|          | <b>MELLÉKLETEK.....</b>                                                                             | <b>70</b> |
| 1.       | MELLÉKLET: VISSZATÖLTŐDÉS IDŐSOROK .....                                                            | 70        |
| 2.       | MELLÉKLET: NUMERIKUS MODELLEZÉssel NYERT VISSZATÖLTŐDÉS ADATSOROK .....                             | 76        |
| 3.       | MELLÉKLET: A PASKÁL EGYMÁSRAHATÁS VIZSGÁLAT MEGFIGYELŐKÚTJAINAK VÍZSZINT IDŐSORAI .....             | 77        |
| 4.       | MELLÉKLET: PASKÁL MALMI ADATSOR ANALITIKUS KIÉRTÉKELÉSE.....                                        | 81        |
| 5.       | MELLÉKLET: AZ EGYMÁSRAHATÁS VIZSGÁLAT TERMELO ÉS MEGFIGYELŐ KÚTJAINAK EGYSZERŰSÍTETT RÉTEGSORA .... | 87        |

## 2 BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK

A Budapest területén termálkutakban végzett archív kúthidraulikai vizsgálatok azért nagy jelentőségűek, mert a belőlük kinyerhető hidraulikai (K, T, S) adatok bemenő adatként szolgálhatnak egy, a numerikus szimuláció alapját képező hidrosztratigráfiai modellbe. Munkám során a tanszéken folyó OTKA pályázathoz (NK 101356 témafelelős: Mádlné Szőnyi Judit) kapcsolódóan felkutattam és digitalizáltam a vízföldtani naplókban és dokumentációkból a Budapest területéről elérhető termálkutakban végzett vizsgálatok adatsorait. Dolgozatomban arra kerestem a választ, hogy ezek az archív adatsorok: i) alkalmazhatóak-e hidraulikai adatok kinyerésére és amennyiben igen, akkor ii) milyen léptékekben (pontosításon, formációs szinten); továbbá, hogy iii) a kettős porozitású triász képződmények heterogenitása mennyire írható le ezek alapján.

A megvizsgált kutak, mind repedéses, karsztosodó kőzetekre, triász dolomitra vagy az eocén mészkőre szűrőzöttek. Így az adatok értelmezésénél, de már a mérés kivitelezésénél is figyelembe kellene venni a kettős porozitást. Munkám első célját egy nagyszabású egymásrahatás vizsgálat újra értelmezése képezte, amelyet Paskál fürdő termálkútja létesítése után végeztek 1966-ban (BÖCKER, 1966). A Budapest különböző pontjain lévő megfigyelő kutak adatsorából egyértelműen bizonyították a kompresszorozott kút termelésének távolíthatóságát, azonban az adatsorban még rejlettek további lehetőségek. Az újraértelmezés során megkísértem meghatározni i) a depresszió időbeli terjedését, valamint ii) az egyes kutak leszívás idősorából a hidraulikus vezetőképesség adatokat.

Dolgozatom másik célkitűzését a kútlétesítéseknel kötelezően elvégzendő, a vízföldtani naplókban dokumentált visszatöltődés vagy nyomásemelkedés mérések összegyűjtése és belőlük hidraulikai paraméterek kinyerése képezte. A kiértékelésnél a klasszikus módszerek korlátozott alkalmazhatósága miatt numerikus módszerekhez nyúltem (Visual Two-Zone numerikus szivattyúteszt program; RATHOD & RUSHTON, 1991).

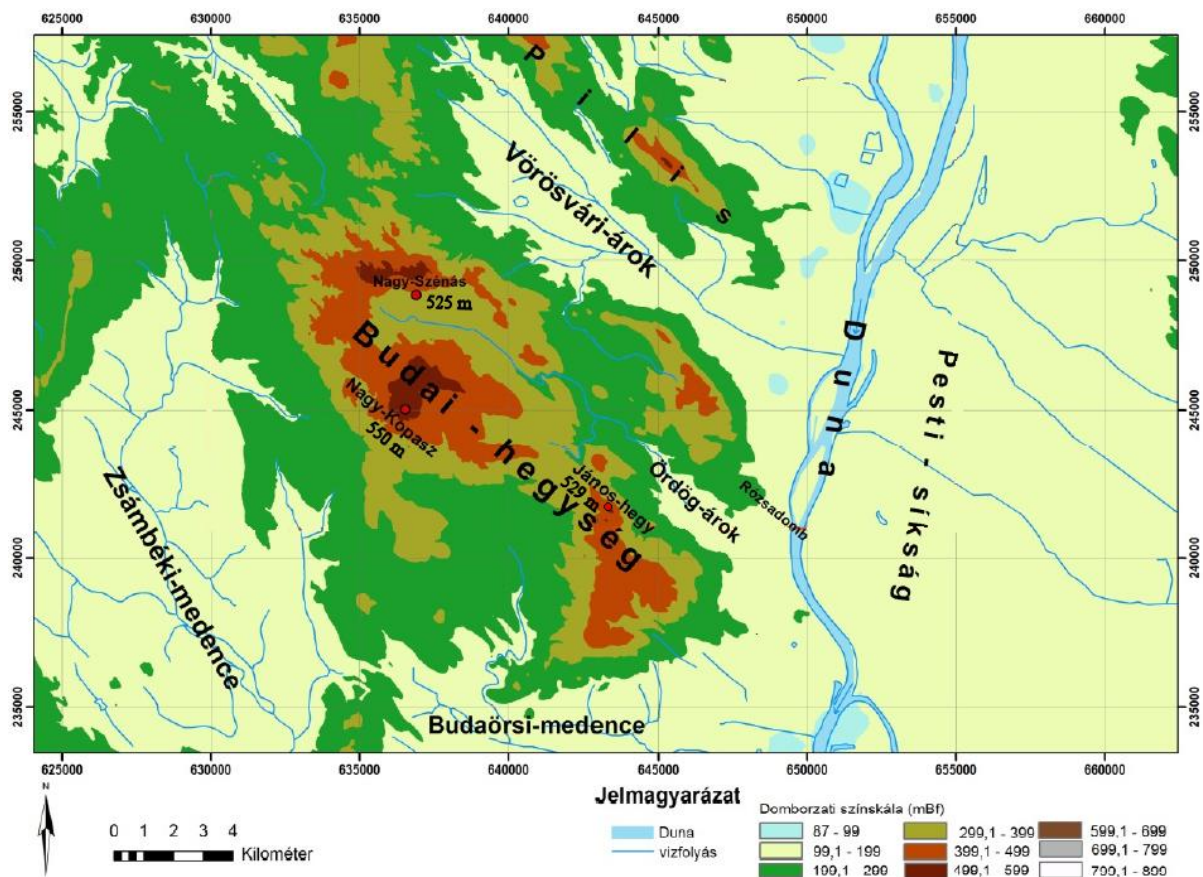
### 3 A BUDAI TERMÁLKARSZT HIDROGEOLÓGIAI KÖRNYEZETI BEMUTATÁSA

Dolgozatomban Budapest területére vonatkozó kúthidraulikai elemzéseket végzek, ezért a térséget a Budai Termáلكarszt hidrogeológiai környezeti jellemzésével mutatom be. A Budai- termáلكarszt a Dunántúli-középhegység főkarsztvíztároló rendszer része, azzal hidrodinamikai összefüggésben áll (MÁDLNÉ SZÖNYI, 1996). Ebben a regionális megcsapolódási zónában a kiemelt karbonátos egység és üledékes medence határán hipogén karsztrendszer alakult ki (ERŐSS ET AL. 2010; ERŐSS, 2010).

#### 3.1 Topográfia

A Budai Termáلكarszthoz földrajzilag a Budai-hegység, a Pilis, a Vác – Csővári rögök és a Pesti-síkság egy része tartozik. Ezek közül a legnagyobb területű a Budai-hegység, amely domborzatát és klímáját a <http://geo.science.unideb.hu/> oldalon található információk alapján foglalom össze röviden. A Budai- hegység Magyarország észak-déli középvonalában, a Duna jobb partján elterülő, 365 km<sup>2</sup> kiterjedésű, karsztos röghegység. Északnyugat- délkeleti irányú 500- 550 m magas sasbérce vonulatait árkos medencék különítik el egymástól.

Domborzatát tekintve ÉNy-i vége a legváltozatosabb. Peremein éles morfológiai töréssel alábukó, nagy kiemelt fennsíkszerű hátak és ezek között húzódó széles árkok, hegyközi medencék jellemzőek. Legmagasabb pontja az ÉNy-i területen emelkedő Nagy-Kopasz (550 m), ettől csak 21 m-el marad el a János-hegy (529 m). A hegység legalacsonyabb pontja a hegység délkeleti részén található tengerszint feletti magassága 107 m. A Pilis felől a Vörösvári-árok, déli irányból a Budaörsi-medence határolja. Nyugaton a Zsámbéki- medence választja el a Gerecsétől, keleten pedig a Pesti- síkság határolja. **(1. ábra)**



1. ábra: A Budai-hegység és környezete topográfiai viszonyai (Erhardt I., 2012)

### 3.2 Éghajlat

A hegység klimatikus viszonyai a helyi domborzati viszonyoktól függenek. Mérsékelt hűvös, mérsékelt nedves, enyhe télű, illetve hűvös, mérsékelt nedves, hideg télű éghajlati típusok váltakoznak a 300 m feletti területeken. A déli lejtők a mérsékelt meleg- száraz, enyhe télű típusba sorolhatók. A napsütéses órák száma 1950-2000 között alakul. A januári középhőmérséklet  $(-1,8) - (-3,1)^{\circ}\text{C}$ , a júliusi középhőmérséklet pedig  $19-21^{\circ}\text{C}$  közötti (400 m felett  $19^{\circ}\text{C}$  alatti). Az évi középhőmérséklet  $8,5 - 10^{\circ}\text{C}$ . Az uralkodó szélirány északnyugati és a csapadék 550 - 700 mm között alakul.

### 3.3 Földtani felépítés és szerkezetfejlődés

A területen a legidősebb, fúrások által feltárt kőzetek a triász idején lerakódott sekélytengeri karbonátos képződmények (HAAS ET AL., 1995). A mezozoós rétegsor alatt, azonban nagy valószínűséggel középhegységi kifejlődésű idősebb triász és perm rétegsorra is lehet számítani (WEIN, 1977). A ladinban és a karni kezdetén platform környezetben képződött a diplopórási dolomit, a Budaörsi Dolomit Formáció. A karnitól a kora-rhaetiig a kialakult intraplatform medencékben a Mátyáshegyi Formáció képződött (HAAS ET AL., 2000),

valamint ezzel részben összefogazódik a sekély self, ciklikus vízszint-ingadozással jellemezhető környezetében képződött késő-karni – kora-nori Fődolomit Formáció, amely nagy vastagságokat (1000-1500 métert) is elérhet. A hegység egyes területein megjelenik a dolomitra települő Dachsteini Mészke Formáció is (WEIN, 1977).

A jura és kréta üledékek teljes mértékben hiányoznak a területről. Ezt az üledékhézagot a felső-kréta – középső-eocén szárazulati esemény magyarázza, melyet szárazföldi mállási termékek, bauxitindikációk és a karbonátos kőzetek karsztosodása bizonyít (WEIN, 1977). Ezt követően a Dunántúli-középegység területén több ciklusú tengerelöntés következett be. A Budai- hegység ÉNy-i peremét csak a második transzgressziós hullám érte el a felső-lutetiai – bartoni során (BÁLDI ÉS BÁLDINÉ BEKE, 1986). Ekkor a felső-triász képződmények karsztos térszínére jelentős üledékhézaggal, agyaggal, dolomitbreccsával, valamint tarka agyaggal induló bázisképződmények rakódtak le. Feltehetőleg a hegység DK-i része ekkor még szárazulat volt (WEIN, 1977). Jelentősebb üledékképződés csak a késő-eocénben, a priabonai korszakban indult meg a DNy-i irányból érkező harmadik transzgressziós hullám hatására (WEIN, 1977; BÁLDI ÉS BÁLDINÉ BEKE, 1986), ami már a Budai-hegység teljes területét érintette. A transzgressziós rétegsor abráziós báziskonglomerátummal, breccsával indul. Erre a felső-eocén legjellegzetesebb képződménye a sekélytengeri, platform, szublitorális környezetben lerakódott Szépvölgyi Mészke települ. Ezt követően a gyors kimélyülés eredményeként képződött a Szépvölgyi Mészkeből fokozatos átmenettel kifejlődő, felső-priabonai – alsó-kiscelli Budai Márga (WEIN, 1977).

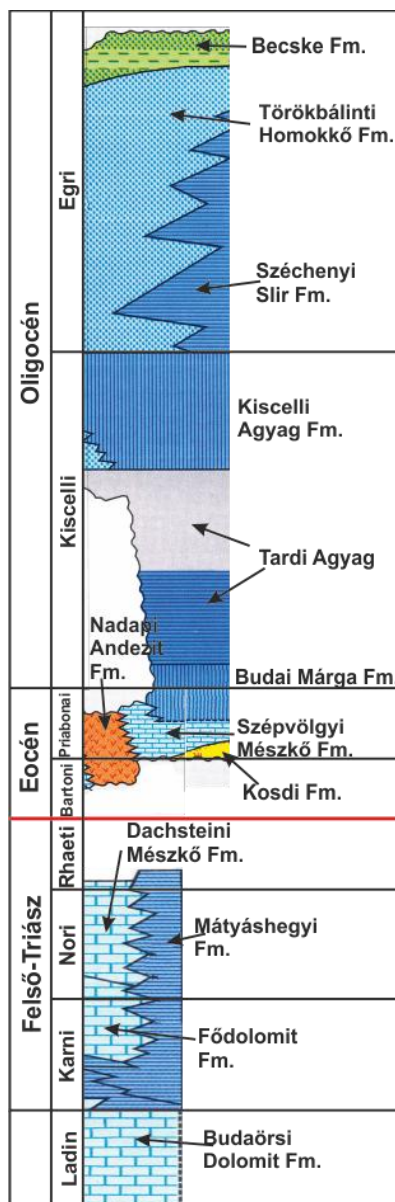
Az oligocén elejétől kezdve a Budai-hegység fejlődéstörténetében az ÉÉK-DDNy-i irányban húzódó ún. Budai-vonal meghatározó szerepet töltött be (FODOR ET AL., 1994). Ettől nyugatra a teljes Dunántúl kiemelkedett, itt a kora-oligocénben szárazföldi lepusztulás (infraoligocén denundáció) zajlott, tőle keletre pedig anoxikus környezetben a Tardi Agyag képződött, ami folyamatosan fejlődött ki az eocén-oligocén határt átfedő Budai Márgából. A késő-kiscelliben bekövetkező újabb tengerszint emelkedés már a Budai-vonalat is átlépte (TARI ET AL., 1993), amitől nyugatra a sekélytengeri Hárshegyi Homokkő, keletre pedig a mélyvízi Kiscelli Agyag rakódott le (NAGYMAROSY ÉS BÁLDINÉ BEKE, 1988). A Budai-hegység kiemelkedése következtében a késő-oligocéntól a Tardi Agyag és a Hárshegyi Homokkő nagy része, valamint a miocéntől kezdődően a Kiscelli Agyag fő tömege lepusztult. A késő-miocénben a Budai-hegység bizonyos részein édesvízi mészkő halmozódott fel az erodált triász és eocén felszíneken (MÜLLER ÉS MAGYAR 2008). A miocén legkésőbbi szakaszától kezdődően egészen a pliocénig tartó kompressziós tektonika jellemezte a Budai-

hegység területét, melynek következtében kiemelkedési és eróziós folyamatok zajlottak (SCHEUER ÉS SCHWEITZER, 1988).

A pleisztocénben a Duna egykori erózióbázisán fakadó források kilépési pontjain megindult az édesvízi mészkövek képződése (SCHEUER ÉS SCHWEITZER, 1988). A Duna hordalékát képző kavics és homok megjelenése különböző teraszszintekhez kapcsolódik. A hegység többi területén, az édesvízi mészkövön kívül periglaciális körülmények közt képződött lösz, áthalmozott lösz, valamint hegységi lejtőtörmelék jellemző **(2. ábra)**

A hegység szerkezetére a vetős elemek kulisszás elrendeződése jellemző, melyek szerkezeti elemeit feltételezhetően négy tektonikai fázis hozta létre (FODOR ET AL., 1994). Az első tektonikai fázis (középső-késő kréta) során, ÉK-DNy-i kompresszió hatására a triász képződményekben enyhe redők, feltolódások alakultak ki. A második fázisban (késő-paleogén – kora-miocén) NyÉNy-KDK – ÉNy-DK-i kompresszió és rá merőleges tenzió uralkodott. A Dunánúli-középhegységi-egység a Déli és Északi-Alpok közötti korábbi helyéről keleti irányba történő kilökődése a középső-eocénben indult meg (KOVÁCS, 1992).

A harmadik, középső-miocén – pliocén fázisban a feszültségtér K-Ny – DK-ÉNy irányú extenziója, illetve ÉK-DNy-i kompressziója hatására a korábban létrejött vetők normál vetőkként felújultak, és további normál vetős szerkezetek is keletkeztek. A pleisztocén folyamán valószínűsíthető egy negyedik tektonikai fázis is. A domináns ÉNy-DK irányú normál vetők alapján ÉK-DNy-i extenzió (és esetleg egy rá merőleges kompresszió) lépett fel. A K-Ny-i vetődések valószínűleg gravitációs lezökkenésként értelmezhetőek. Ez a fejlődési szakasz határozza meg a mai morfológiát és a táj arculatát. A vetőkkel határolt blokkok lépcsős bezökkenésével, a Budai-hegységtől keleti irányban a triász képződményeket, egyre nagyobb mélységben találjuk meg (KLEB ET AL., 1993).



2. ábra: A Budai-hegység és környezete általánosított rétegsora az oligocénnel bezárólag (CSÁSZÁR et al., 1997, alapján)

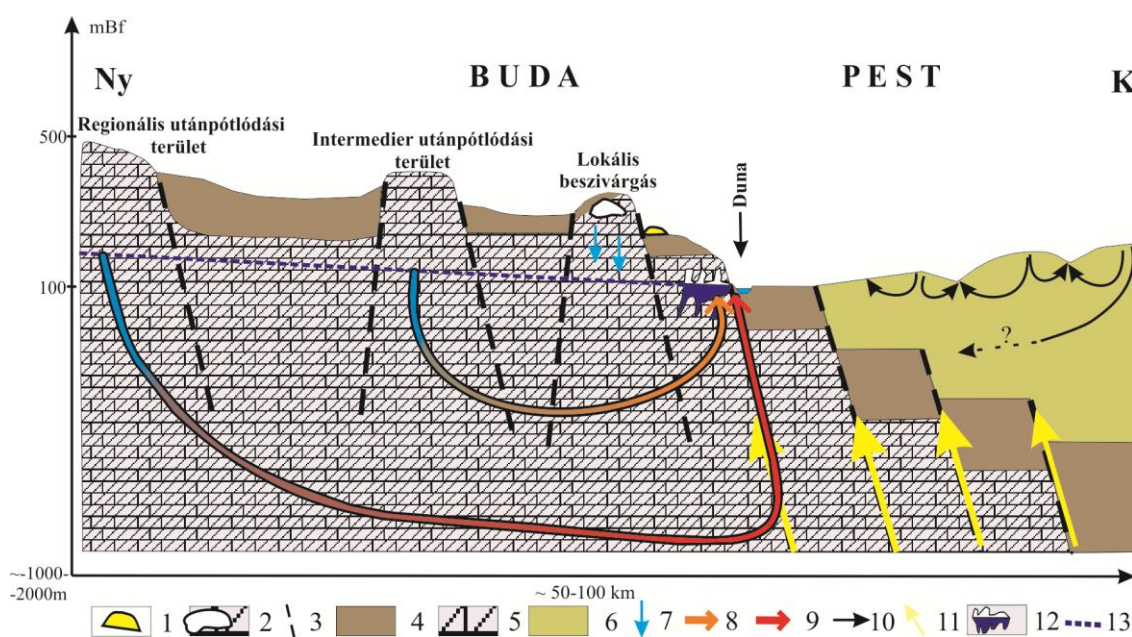
### 3.4 Hidrogeológiai viszonyok

A Budai Termálkarszt beszivárgási területe földrajzilag pontosan nem ismert (ALFÖLDI ET AL., 2007). Az egységek lehatárolására domborzati értékelés alapján MÁDLNÉ SZÖNYI ET AL. (in MINDSZENTY ET. AL. 1999) tettek először kísérletet. A langyos források feltehetőleg a Budai-hegység és a Pilis karsztos felszínén keresztül beszivárgott csapadékvízből, míg a termálvizek a Dunántúli-középhegységben található utánpótlódási területről táplálkoznak (ALFÖLDI ET AL., 1968). A Budai- termálkarszt beszivárgási területe a Dunántúli-középhegység mintegy 15%-a lehet, valamint a Dunától keletre található mezozóos karbonátos kibúvások is szintén ennek a részét képezhetik (LORBERER, 1986).

Ezzel ellentétben a Budai Termálkarszt megcsapolódási területe a szökevényforrásoktól eltekintve egyértelműen kijelölhető. A karsztrendszer regionális erózióbázisa a Duna. A megcsapolódás jellegzetessége, hogy erősen koncentrált, mivel tektonikai vonalakhoz kapcsolódik és magas hőáram kíséri. A termálkarszt-rendszer természetes megcsapolódási területét Duna jobb partján az ún. Budai-forrásvonal jelöli ki. Az itt található források területi eloszlásában egyértelmű tendencia figyelhető meg: északon csak langyos források, a *Rózsadomb előterében* egymás mellett langyos és hévforrások, míg délen, a Gellért-hegy környezetében főként hévforrások találhatók (ALFÖLDI ET AL., 1968). LORBERER (2002) szerint a források területi, valamint a kifolyó víz hőmérsékletbeli elkülönülésének oka a források utánpótlódási területének eltérő kifejlődése, valamint a felszín alatti áramlás pályák különbözősége. Ezt a természetes megcsapolódási helyzetet ma már számos üzemelő kút jelentősen befolyásolja (TAKÁCS, 2009).

Az összefüggő karsztrendszer gondolatát ZSIGMONDY (1878) említi elsőként. Számos neves szerző (SCHAFARZIK, (1928); VENDEL ÉS KISHÁZI, (1964); KOVÁCS ÉS MÜLLER, (1980); LEÉL-ÖSSY, (1995); ALFÖLDI, (1981); MÁDLNÉ SZÖNYI, (1996); LORBERER, (2002); ERŐSS ET AL, (2010); és ERŐSS, (2010)) kutatása révén alakulhatott ki a jelenleg is elfogadott elméleti modell a területről (3. ábra).

A Budai oldal nyílt- és a Pesti oldal fedett karsztjának kapcsolatát sokan feltételezték, de az első bizonyítékot a kettő összefüggésére BÖCKER szolgáltatta 1966-ban, a Paskál termálkút létesítése kapcsán végrehajtott nagyszabású egymásrahatás vizsgálatával.



**3. ábra: A Budai Termálkarszt áramlási rendszereinek általános modellje (módosítva ERŐSS ET AL. 2008 IN GOLDSCHIEDER ET AL. 2010)**

A vízmozgási pályákat a szerkezetföldtani tulajdonságok módosítják (LORBERER, 2002). A karsztvizek áramlását az utánpótlódási és megcsapolódási területek közti gravitációs szintkülönbségére, valamint a két terület vizei közti sűrűség különbségre vezetik vissza (ALFÖLDI, 1981).

ERŐSS és MUNKATÁRSAI (2010) és ERŐSS (2010) átfogó hidrogeológiai vizsgálataik során egy új modellt állítottak fel, melyben a medencekomponens is megjelenik a csapadékvíz beszivárgás mellett. Továbbá a Budai- Termálkarszt területére érvényes korábbi áramlási modellt két alrendszerre osztották és külön-külön modellt állítottak fel a rózsadombi és Gellért-hegyi megcsapolódási zónára.

## 4 SZIVATTYÚTESZTEK ELMÉLETI HÁTTERE

A kúthidraulikai vizsgálatokat azért végezzük, hogy a rendszer hidraulikai peremétereiről és viselkedéséről információt nyerjünk. Ezek a módszerek többnyire a kutak szivattyúzásán alapulnak. A vizsgálat során a kútban mérhető paraméterekből meghatározható a hidraulikus vezetőképesség (K), a vízáadó fajlagos tározása (S), valamint a kútból maximálisan termelhető vízmennyiség (JUHÁSZ, 2002).

### 4.1 Definíciók, alapelvek

A szivattyútesztek alapelveit KRUSEMAN és RIDDER (1990) összefoglaló munkája alapján mutatom be. A kiegészítő szakirodalmi forrásokra külön hivatkozom.

A kút tesztek elvi alapja, hogy vizsgált kútból lehetőleg konstans hozammal és meghatározott ideig vizet szivattyúznak. Ennek a vízszintre gyakorolt hatását a kútban valamint ettől meghatározott távolságban elhelyezett megfigyelőkutakban mérjük. A termelés hatására egy időben és térben változó méretű depresszió jön létre a vízszintben/potenciometrikus felszínben, ennek nyomon követésére van szükség a szivattyúzott kútból, sugárirányban elhelyezett megfigyelő kutakra. A depressziós tér változásának kifejezésére a leszívást használjuk.

**leszívás ( $s_t$ ):** a szivattyúzás során a vízszint vagy a potenciometrikus szint csökkenésének kifejezésére használják, a nyugalmi és az éppen aktuális vízszint közötti különbségből adódik:

$$s_t = h_0 - h_t \quad [L]$$

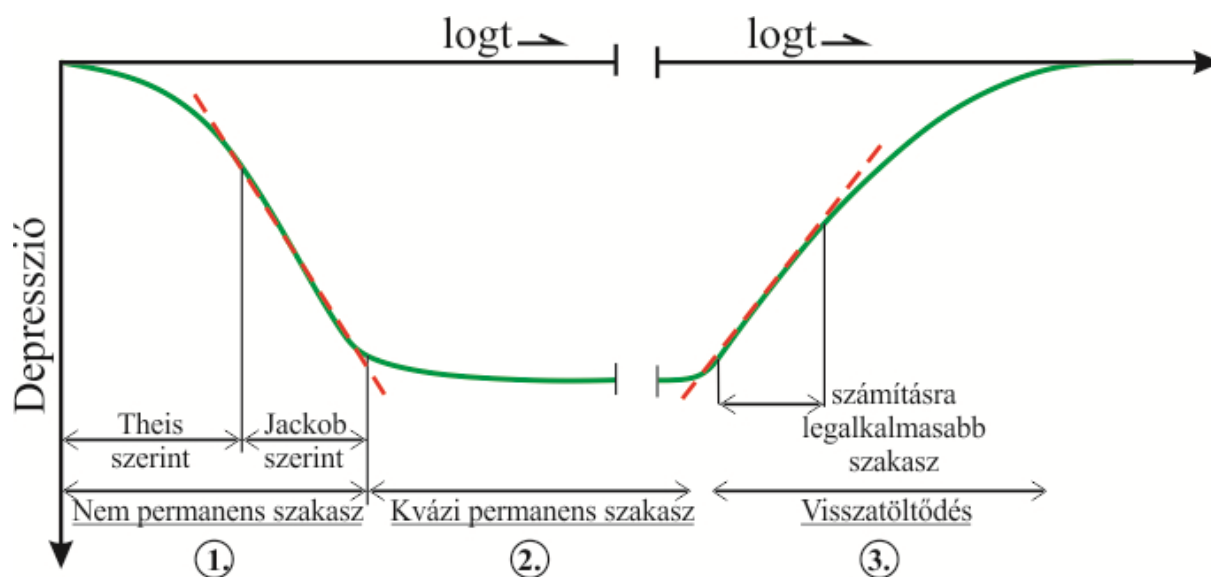
, ahol  $s_t$  valamely  $t$  időpontban mért leszívás,  $h_0$  a nyugalmi vízszint,  $h_t$  pedig  $t$  időpillanatban mért hidraulikus emelkedési magasság.

#### 4.1.1 A szivattyúzás menete:

A kút kiképzése miatt (csövezés, kavicsolás, cementpalást stb.) a közvetlen környezetében a természetes állapot megváltozik, a hidraulikus vezetőképesség lecsökken, ezért a termelés megindulásával nem indul meg azonnal a vízáadó pórusteréből a vízáramlás a kút felé. A szivattyú először a kútban lévő vizet termeli ki, majd aztán indul meg – kisebb időközesséssel – a víz beáramlása a kútba. A kútsőben áramló víz a turbulencia miatt energia veszteséget szenved, ami a kútban mért nyugalmi vízszint csökkenését eredményezi a rétegben megfigyelhető értékhez képest. Ezt a jelenséget **vízszál szakadásnak (well loss)** nevezzük, amely a leszívás görbén jelentkezik (JUHÁSZ, 1976).

A következő szakaszban (**4. ábra**) a leszívás folyamatosan növekszik az idővel, a depressziós tér terjed állandó szivattyúzási hozam mellett (**Nem permanens szakasz**). Amikor a vízszintsüllyedés megáll, beáll az egyensúly. A termelés ütemével lépést tud tartani a pórustérből odaáramló vízmennyiség (**kvázi permanens szakasz**) (JUHÁSZ, 1976).

Igen informatív a szivattyúzás leállítása után a visszatöltődés mérése (**nem permanens visszatöltődés**), mivel ebben az esetben sokkal kevesebb a zavaró tényező (pl. a szivattyúzás okozta turbulencia), így a kapott visszatöltődési görbe egyenletesebb, jobban tükrözi a vízádo tulajdonságait (JUHÁSZ, 1976).



**4. ábra: A szivattyúzás jellegzetes fázisai (JUHÁSZ, 1976)**

A vizsgálat elvégzése után a mért leszívásokat az idő vagy a távolság függvényében ábrázolják, így áll elő az idő-leszívás, távolság-leszívás grafikon. Ezen görbék alakja függ a rendszer hidraulikus tulajdonságaitól (JUHÁSZ, 1976).

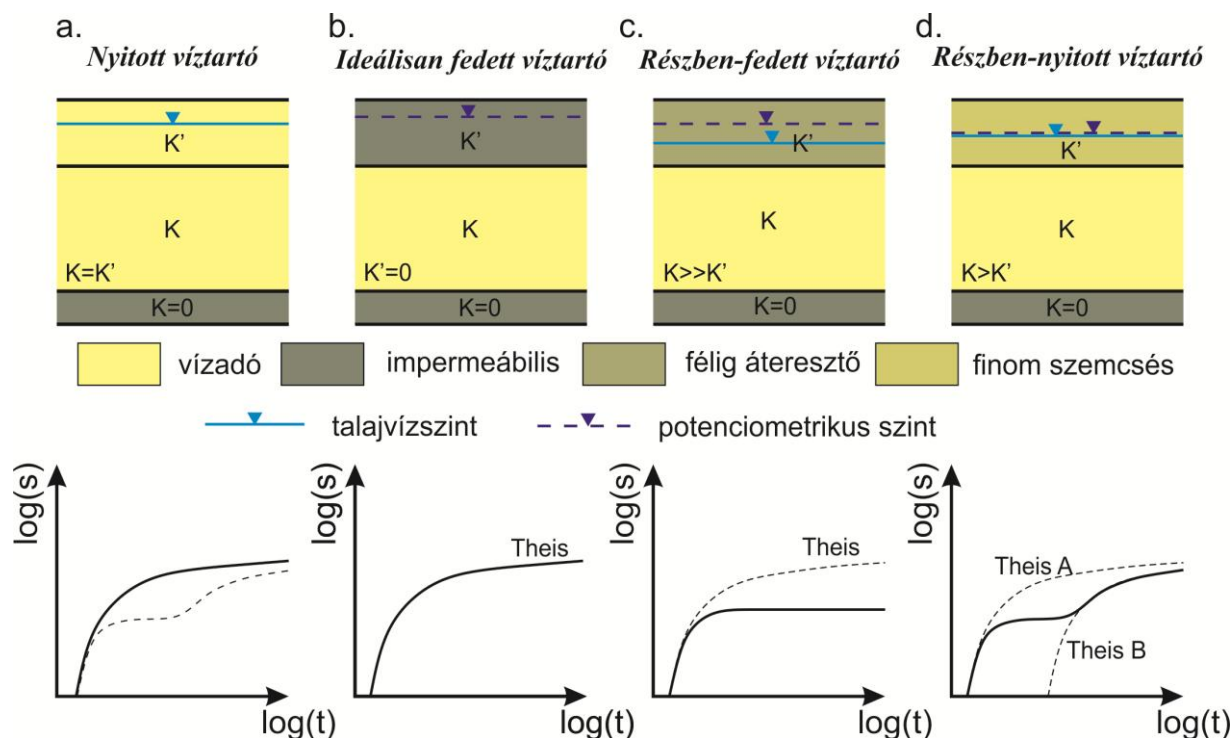
#### **4.1.2 Vízartó típusok szivattyúzási szempontból**

Négyféle alap vízartó típus különíthető el a rétegek hidraulikus vezetőképesség kontrasztja alapján (**5. ábra**). Ezekben a modellekben két réteg és egy alsó impermeábilis határréteg szerepel, amelyekről általánosságban elmondható, hogy vízszintes, homogén, izotróp és végtelen kiterjedésűek, a szivattyúzás során pedig a vízádo réteget termelik.

#### **4.1.3 Nyitott vízartó típus:**

Ebben az esetben a modellben szereplő két réteg hidraulikus vezetőképessége egyenlő, azaz vízádonak minősül. Így ezek egy réteggént kezelhetők. Ez az egységes rendszer csak részben van kitöltve vízzel, a talajvízszintre atmoszférikus nyomás hat. A szivattyúzás során a

pórusokból felszabaduló víz mennyiségét a specifikus hozam, más néven az effektív porozitás befolyásolja (5. ábra/a.).



5. ábra: Vízadó típusok (KRUSEMAN & RIDDER, 1990 alapján)

A víz felszabadulása a pórustér víztelenedését eredményezi. Mivel a modell nem feltételez külső utánpótlást így a leszívás az időben folyamatosan növekszik, bár csökkenő mértékben (nem permanens állapot).

A finom szemcsés, fedetlen víztartók esetében gyakorta megfigyelhető a **késleltetett hozam (delayed yield)** jelensége. Ez azt jelenti, hogy a szivattyúzás hatására vízszint lecsökken de, a pórusokból a gravitációs leürülés nem azonnali, kisebb időkésséssel követi, így az idő-leszívás görbében törés jelentkezik (az ábrán szaggatott vonallal jelölve).

#### 4.1.4 Ideálisan fedett víztartó típus

Olyan víztartó típus, ahol a vízvezető réteg teljesen víztelített, a fedő réteg azonban a víz számára áthatolhatatlan, impermeábilis. A hidraulikus vezetőképességben itt a legnagyobb a kontraszt. A szivattyúzás alatt sem a fedő, sem az alsó impermeábilis rétegből nem származik víz. Ilyen víztartók a természetben nem léteznek, mivel abszolút vízzáró közeg nincs (NEUMANN & WITHERSPOON, 1968). Ugyanakkor a matematikai megközelítés szempontjából elengedhetetlen ennek a szélső típusnak a feltételezése. Ebben az esetben, tekintettel a fedett leszorított helyzetre, már potenciometrikus szintről beszélünk. A víz felszabadulását a víztartóból a fajlagos tározás határozza meg (5. ábra/b.), ez a víz és a közetváz rugalmas

tulajdonságai miatt következik be, ebből következően nincs víztelenedés sem a telített közegben.

Fedett víztartókra definiálható a **transzmisszivitás ( $T$ )**, illetve a **tározás ( $S$ )**, amely a vízáadó réteg vastagságának ( $d$ ) és a réteg hidraulikus vezetőképességének ( $K$ ), illetve fajlagos tározásának szorzatával adható meg

$$T = K \times d \quad \left[ \frac{L^2}{T} \right]$$

$$S = S_0 \times d \quad [-]$$

Az idő-leszívás görbén látható, hogy a leszívás nő az idő függvényében, mivel nincs utánpótlás (nem permanens állapot).

#### 4.1.5 Részben-fedett víztartó típus

A részben fedett, vagy szivárgó (leaky) víztartó a szivattyúzás folyamán a fedő ideálisan nem vízrekesztő rétegen keresztül is kap vizet. A permeabilitás kontraszt itt már kisebb, mint az előző esetben, a fedő rétegben kialakulhat talajvízszint, de ez nem esik egybe az alsó, vízáadó réteg potenciometrikus felszínével (**5. ábra/c.**).

A fedő rétegből érkezik a víz, a benne tárolt víz átszivárgásával. Ezt az átszivárgást, a szivattyúteszt során létrejövő depressziós tér által előidézett hidraulikus gradiens értékek indukálják. A leszívás görbe láthatóan eltér a korábbiaktól, kialakul a permanens állapot, mivel a fedő rétegből történik folyamatos vízutánpótlás.

A részben-fedett víztartók jellemzésére használják a **hidraulikus ellenállást ( $c$ )**, amely kifejezi, hogy a felső réteg vertikális áramlással szembeni ellenállását. A félig áteresztő fedő vastagságának ( $D'$ ) és a hidraulikus vezetőképességének a hányadosa ( $K'$ ).

$$c = \frac{D'}{K'} \quad [T]$$

#### 4.1.6 Részben-nyitott víztartó típus

A két réteg között a permeabilitás kontraszt itt a legkisebb, de a fedő rétegnek kisebb a permeabilitása, mint az alsónak. A felső rétegben kialakuló talajvízszint és az alsóban a potenciometrikus vízszint egybeesik. A leszívás-idő grafikonon megfigyelhető egy törés (**5. ábra/d.**), amely a következők miatt alakul ki. A vízáadó rétegből a fajlagos tározás ( $S_0$ ), a fedő rétegből pedig a specifikus hozam ( $S_y$ ) befolyásolja a leadott víz mennyiségét. Mivel a rugalmas vízfelszabadulás gyorsabb, mint a gravitációs leürülés ezért, a termelés kezdetén a fedett víztartókhoz hasonlít a leszívás görbe, azonban miután beindul a felső rétegből a

gravitációs víztelenedés ez időlegesen megállítja, lecsökkenti a vízszint csökkenést. Miután azonban a depresszió továbbterjed és a gravitációs leürülés befejeződik, a vízszintcsökkenés a rugalmas vízleadás függvényében folytatódik.

## 4.2 Klasszikus módszerek, fedett víztartók szivattyúpróbáinak kiértékelésére

A szivattyúpróbák meghatározott feltételek teljesülése mellett alkalmazhatóak. E feltételek a matematikai megoldásokhoz szükségesek és az összes alábbi módszerre érvényesek (KRUSEMAN & DE RIDDER, 1990):

- a víztartó réteg horizontális, laterálisan végtelen kiterjedésű, egyenlő vastagságú homogén és izotróp
- a nyugalmi vízszint/potenciometrikus szint vízszintes a szivattyúzás megkezdése előtt
- a termelő kút és a megfigyelő kutak teljes szélességében szűrőzik a vízadó réteget
- a termelt hozam a szivattyúzás során állandó
- az áramlás a rétegben és a kútban is lamináris

### 4.2.1 Thiem módszer

Ezt a módszert fedett víztartókra dolgozta ki THIEM 1906-ban. Stacioner áramlást feltételez, amely csak akkor képzelhető el, hogyha valamilyen külső utánpótló forrásból folyamatosan érkezik víz a víztartóba. Ezt a legtöbb példában egy körkörös elhelyezkedő csatornával szemléltetik, amely körbeveszi a víztartó rendszerünket, így az sziget helyzetben van. Ebben az elképzelésben tehát a víztartó végtelen utánpótlással rendelkezik. A módszer a Darcy egyenletet veszi alapul, de mivel a vízadó rétegben csak sugárirányban áramlik a víz, így ezt úgy alakítja át, hogy az egyenletben megjelenjen a hengerpalást, így a kúttól bármely  $r$  távolságra kiszámolható a termelt hozam (THIEM, 1906).

$$Q = 2\pi r b K \frac{dh}{dr} = 2\pi b K \frac{r}{dr} dh$$

, amelyben  $Q$  a szivattyúzási hozam,  $r$  a szivattyúzott kúttól való távolság,  $b$  a vízadó réteg vastagsága,  $K$  a hidraulikus vezetőképesség. Ennek a differenciál egyenletnek a megoldása után, további egyszerűsítések révén adódik a megoldás:

$$Q = 2\pi K b \frac{s_1 - s_2}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$

$$T = Kb = \frac{Q}{2\pi} \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{s_1 - s_2}$$

, ahol  $r_1$  és  $r_2$  a megfigyelő kutak távolsága a szivattyúzott kúttól [L],  $s_1$  és  $s_2$  pedig a megfigyelő kutakban mért maximális leszívás [L]. A leszívás értékeket az idő logaritmikus függvényében ábrázolva meghatározható, mikor állt be a permanens állapot. Az ehhez tartozó leszívás értékekből pedig kiszámolható a transzmisszivitás. Ha pedig a maximális leszívást a megfigyelő kutak távolságának logaritmikus távolságában ábrázoljuk, akkor a pontokra illesztett egyenes, megadja a maximális távolhatást  $r_e$ , az utánpótlási határ távolságát (THIEM, 1906).

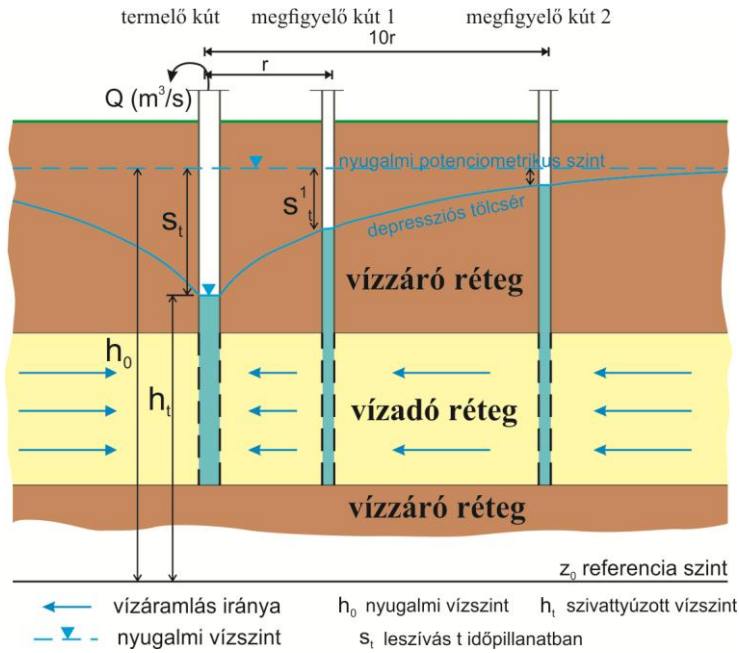
A módszer alkalmazhatóságát korlátozza, hogy be kell állnia a permanens folyásállapotnak, ahhoz hogy alkalmazzuk a fenti képletet. Ekkor a vízáadó réteg már csak víztovábbítónak viselkedik, az utánpótlás kívülről érkezik. Ezért nem szerepel a képletben a tározás. Fedett víztartó esetében ez csak akkor teljesül, ha a depresszió elér valamilyen utánpótlási (recharge) határt. A víz kezdetben a vízáadó rétegből származik, amelyből a vízleadás a fajlagos tározás függve, azonban a depresszió terjedésével a kúthoz közeli pontok víztovábbítókká válnak, így ezek már akkor is használhatóak, ha még nem állt be a tökéletesen permanens állapot (THIEM, 1906).

#### 4.2.2 Theis analitikus megoldása, Cooper-Jacob módszer

A THEIS által 1935-ben megalkotott formula, a fedett víztartóban, tranziens-áramlásra alkalmazható módszer. Kezeli az időtényezőt és a fajlagos tározást is (KRUSEMAN & DE RIDDER, 1990). Az alábbi ábrán egy ideálisan fedett víztartó példája látható (6. ábra).

A megfigyelő kutak ideális esetben logaritmikusan növekvő távolságra vannak a termelt kúttól, valamint a mérések is általában logaritmikus időközönként történnek, mivel a vízszintváltozás intenzitása időben és térben exponenciálisan csökken.

A módszer kritériumai az előzőekben említett általános feltételek, továbbá a szivattyúzott kút átmérőjének nagyon kicsinek kell lennie, hogy a kútban tározott víz mennyisége a szivattyúzott térrészhez képest elhanyagolható legyen.



**6. ábra: Depressziós tölcser ideálisan fedett víztartóban (KRUSEMAN & RIDDER, 1990 alapján)**

A megoldás alapja a diffúziós egyenlet, amelynek hengerkoordináta rendszerbe felírt alakját használják a radiális áramlás miatt:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t} \quad r = \sqrt{x^2 + z^2}$$

$$\frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial h}{\partial r} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t}$$

Ezt kombinálva Thiem (1906) módszerével és a diffúziós egyenlet peremfeltételeivel, a megoldás határérték problémára vezethető vissza. A kapott  $h(r,t)$  függvény leírja a hidraulikus emelkedési magasság mezőt a kúttól radiális,  $r$  távolságra a szivattyúzást követő bármely időpillanatban  $t > 0$ :

$$h_0 - h(r, t) = s(r, t) = \frac{Q}{4\pi} \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du \quad \text{ahol: } u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

,ahol  $s(r,t)$  adott helyen adott időben a leszívás értéke,  $Q$  a szivattyúzott hozam,  $W(u)$  pedig az  $u$  függvényhez tartozó kútfüggvény, amelynek Theis hatványsorba fejtetéssel adta meg az analitikus megoldását:

$$W(u) = \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du = -0,5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \frac{u^3}{3 \cdot 3!} - \frac{u^4}{4 \cdot 4!} + \dots$$

Az  $u$ -nak tetszőleges értéket adva a  $W(u)$  értékek kiszámíthatók (WENZEL, 1942). Így kapott két egyenlet, két ismeretlennel már megoldható  $T$  és  $S$  értéke megadható. A

megoldáshoz két grafikus módszer is létezik. Ezek közül most csak a későbbiekben alkalmazott Cooper-Jacob féle „egyenes-vonal” módszert ismertetem.

A megoldás szükséges feltétele, hogy a szivattyúzás elegendően hosszú ideig tartson. Ebben az esetben az „u” értéke már elhanyagolhatóan kicsi lesz ( $<0,01$ ), így a hatványsorból az első 2 tagot leszámítva a többi elhagyható, Theis egyenlete így lényegesen leegyszerűsíthető. Ezek elvégzése után az egyenlet ebben az alakban írható fel (COOPER és JACOB, 1946):

$$s = \frac{Q}{4\pi} W(u) = \frac{2,3Q}{4\pi T} \left( \log \frac{2,25T}{r^2 S} - \log t \right)$$

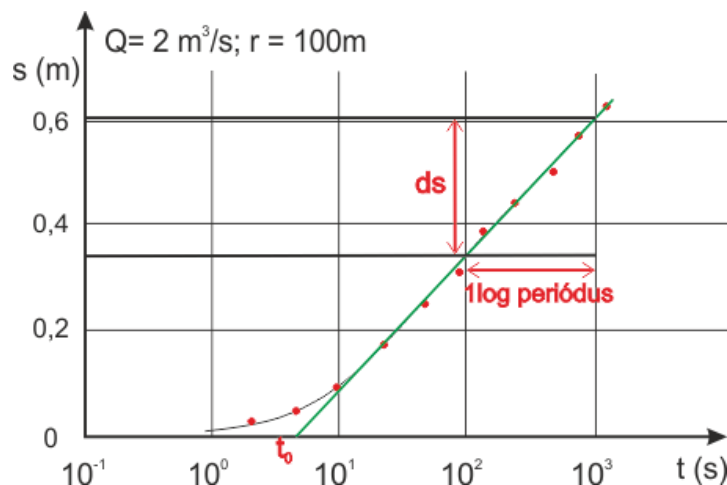
A termelő kútban két időpontban mérve a leszívás értékeket és ezeket egymásból kivonva:

$$\Delta s = s_2 - s_1 = \frac{2,3Q}{4\pi T} (\log t_2 - \log t_1) = \frac{2,3Q}{4\pi T} \log \frac{t_2}{t_1}$$

Ez azt jelenti, hogy a megfigyelő kútban két időpillanatban mérve a leszívást a leszívási különbség ( $s_2 - s_1$ ) lineárisan viszonyul a  $\log(t_2/t_1)$ -hez. Az arányossági tényező a transzmisszivitás (T) és termelési hozam (Q) függvénye. Azaz a leszívási ráta logaritmikus léptékben lineáris, permanenssé vált (COOPER és JACOB, 1946).

Tehát ha a kútban mért leszívást aritmetikus skálán az idő logaritmikus függvényében ábrázoljuk és a lineárisan emelkedő szakaszra egy egyenest illesztünk, akkor ennek az egyenesnek a meredeksége Q, T függvénye lesz, amelyből Q ismert, így T meghatározható (7. ábra). Ha egy logaritmikus periódusra vesszük a leszívás különbséget, az egyenlet még tovább egyszerűsödik, a transzmisszivitásra rendezve a következőt kapjuk (COOPER és JACOB, 1946)

$$T = \frac{2,3Q}{4\pi \Delta s}$$



7. ábra: Cooper-Jacob módszer, egy megfigyelő (FREEZE & CHERRY, 1979 alapján)

Ebben az egyenletben már nem szerepel az „r”, ebből következik, hogy a megoldáshoz nincsen szükség megfigyelő kútra. Elegendő a leszívásokat a szivattyúzott kútban mérni és logaritmikus időskálán ábrázolni. Ha azonban a tározás értékét is meg akarjuk határozni, akkor már szükség van egy megfigyelő kútra is, amelyben a leszívás kezdeti időpontjához tartozó időpontot kell meghatározni  $t_0$  (az egyenes x tengellyel való metszéspontja), ahol a leszívás értéke 0. Így a következő egyenletet egyszerűsítve, 1 logaritmikus periódusra vonatkoztatva S kiszámítható (COOPER és JACOB, 1946).

$$O = \frac{2,3Q}{4\pi T} \left( \log \frac{2,25Tt_0}{r^2 S} \right)$$

$$S = \frac{2,25Tt_0}{r^2}$$

A módszer kisebb változtatással visszatöltődési próbák esetében is ugyanígy használható (COOPER és JACOB, 1946).

#### 4.2.3 Eltérés az ideálisan fedett állapottól

Az eddigiek során csak ideálisan fedett víztartókkal foglalkoztunk, azonban a természetben abszolút impermeábilis kőzetek nem léteznek. Az alacsony permeabilitású rétegeken keresztüli átszivárgást (leakage) elsőként HANTUSH és JACOB (1955) ismerte fel, melyet beépítettek analitikus megoldásukba. Ebben már a vízrekesztő rétegen keresztüli átszivárgással is számolnak, azonban a módszer két korlátozást tartalmaz. A felső rétegben a talajvízszint konstans marad az alsó réteg szivattyúzása során (végtelen az utánpótlódás), illetve a köztes vízfogó rétegből nem származik víz, csak függőlegesen átszivárog rajta. A modell továbbfejlesztését NEUMAN és WITHERSPOON végezte el 1969-ben. Az előbb említett két korlátozó feltétel feloldásával megalkották a teljes hidraulikus folytonossággal rendelkező rétegzett víztartó rendszerek analitikus megoldását (NEUMAN és WITHERSPOON 1969/a). Szintén az ő nevükhöz fűződik a többrétegű vízadórendszerek időtől függő hidrodinamikai viselkedésének leírása is, vagyis ha a termelés csak rövid ideig zajlik, akkor a rétegzett rendszer tekinthető ideálisan fedettnek, azonban ha a szivattyúzás hosszabb időn keresztül folyik számolni kell a többi rétegből történő átszivárgással is (NEUMAN és WITHERSPOON, 1969b). E megoldásnak a később medenceléptékben is felismert hidraulikus folytonosság szempontjából van jelentősége és rávilágít a kúthidraulikában a REV (Representative Elementary Volume) jelentőségére, azaz konkrétan arra, hogy rövid idejű szivattyúzásból pontoszerű hidraulikai információkat nyerhetünk, míg hosszúidejű próbázással összekapcsoljuk a rendszerben található különböző tulajdonságokkal bíró képződményeket. Emiatt a

formációra, ill. akár egy egész medencére érvényes hidraulikai paramétereket nyerhetünk (TÓTH, 1995).

#### **4.3 Anomáliák, kettős porozitással rendelkező rendszerek esetében felmerülő problémák**

Az eddigi módszerek, mind homogén, izotróp közegre vonatkoztak, a rétegeket horizontálisak, állandó vastagságúak feltételezve. Abban az esetben, ha a víztartó kettős porozitású, azaz például karsztos, másféle szempontokat is figyelembe kell vennünk. A rendszer a kettős porozitásnak köszönhetően általában legalább kétféle nagyságrendű permeabilitással jellemezhető. A kőzet diagenezise, közetté válása során létrejött elsődleges, és az utólagos hatások következtében (tektonika, karsztosodás) kialakult másodlagos porozitással. A kettő között általában több nagyságrend a különbség. Így jelentős lesz a szivárgás intenzitásában is a kontraszt. A repedéseket, vetőket kitöltő anyag is jelentősen befolyásolja a vetők hidraulikus vezetőképességét. Ráadásul ezek többnyire irányítottak így a hidraulikus vezetőképesség is anizotróp tulajdonságokat mutat. A problémát elsősorban az jelenti, hogy általában nem ismerjük a repedésrendszer geometriáját, karsztok esetében a karsztos járatok fejlettségét, illetve a repedésekben, járatokban a vízáramlás gyakorta turbulens, aminek leírására nem használható a Darcy egyenlet. Ezért ezeknek a modellezése komoly kihívást jelent (MOENCH, A., F., 1984)

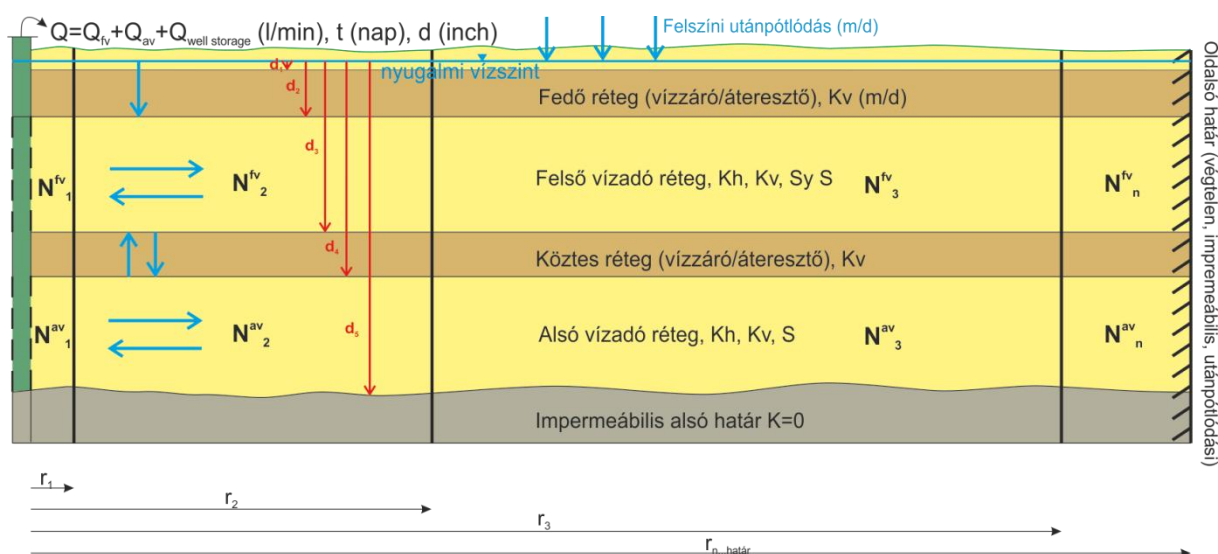
Az ilyen rendszerek paramétereinek meghatározására MOENCH áramlási modellt dolgozott ki 1984-ben. Az analitikus számítási módszer egy megcsapolt törésvonal és a csatlakozó blokk (kőzetmátrix) hidraulikai kölcsönhatásán alapul. A vető és ettől szkin zónával elválasztott közzettest között az áramlás a „transient interporosity flow” modell alapján történik, vagyis a blokkban tárolt víz a megcsapoló törésvonal irányában áramlik, az erre merőleges irányú szivárgás elhanyagolható. A blokkokat befoglaló, alacsony áteresztőképességű szegmensek (mélységszakaszok) tehát markáns szivárgási anizotrópiával rendelkeznek. (MOENCH, A., F., 1984). A modellt repedezett vulkanikus kőzetekre dolgozta ki, amely karsztok vizsgálatában nem biztos, hogy eredményre vezet.

#### **4.4 Visual Two-Zone numerikus model elméleti háttérének rövid bemutatása**

A numerikus szimulációhoz használt számítógépes szoftver alapjait RATHOD és RUSHTON 1991-ben publikált modellje adja, amelyet kétréteges víztartókra fejlesztettek ki. A számítógépes programot a Mexikói Nemzeti Egyetem (UNAM) PhD hallgatója

N. HERNANDEZ LALOTH fejlesztette tovább 2008-ban, amellyel a szoftver felhasználóbarát kezelését tette lehetővé.

Az elméleti modell legfontosabb előnye, hogy nemcsak a horizontális áramlással számol a vízvezető rétegben, hanem a vertikális áramlási komponenst és a fedő rétegeken való átszivárgást (leakage) is figyelembe veszi. Ezek azért fontosak, mert ez a helyzet közelít a valósághoz és csak a legritkább esetben szűrőzik a kutakat a víztartó teljes vastagságában. Az ilyen esetekben pedig az áramlás vertikális komponense nem hanyagolható el (RATHOD & RUSHTON, 1991). A modell felépítése az alábbi **(8. ábra)**.



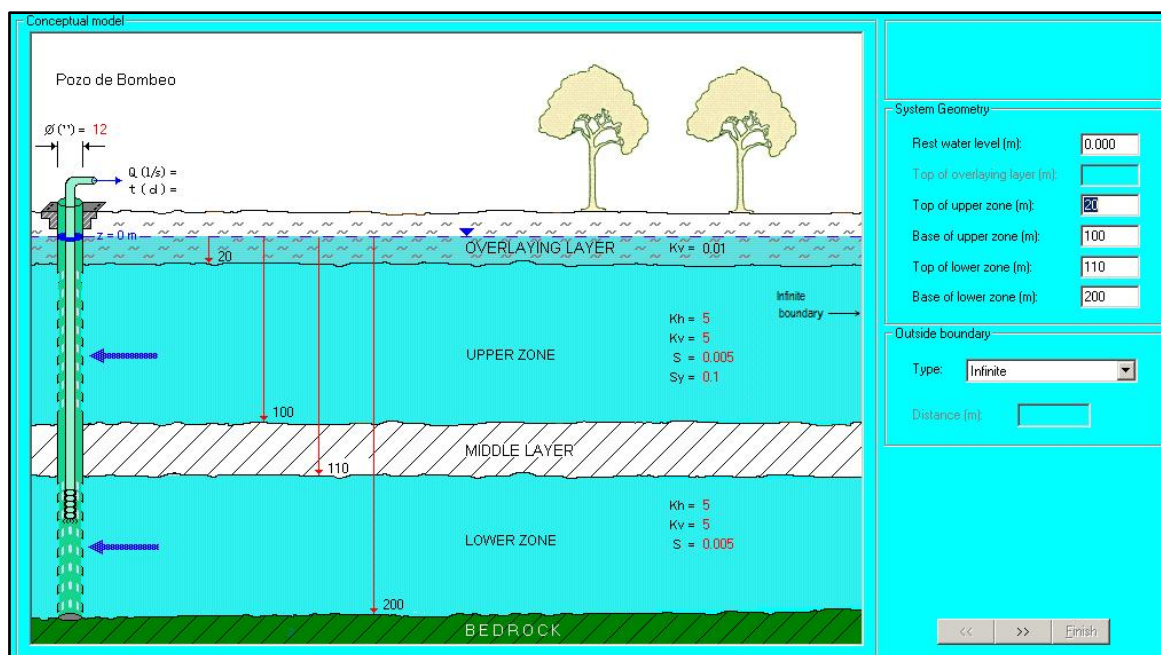
**8. ábra: Az elméleti modell felépítése (RATHOD & RUSHTON, 1991 alapján)**

A modell alapesetben 4 rétegből áll, két vízáadó (felső, alsó), illetve egy köztes és egy fedő réteg, amely praktikusán lehet vizzáró, vagy áteresztő (leaky). A réteg határokat a modell nyugalmi vízszinthez viszonyítja (ábrán  $d_1$ ,  $d_2$ , stb.), erre a parametrizálásnál figyelni kell. A rétegek száma csökkenthető, ha egy réteg alsó és felső határának ugyanazt az értéket adjuk. A felső vízáadó réteg paraméterei között meg kell adni a horizontális ( $K_h$ ) és vertikális ( $K_v$ ) hidraulikus vezető képességet, a fajlagos tározást  $S_0$  és/vagy a specifikus hozam  $S_y$  értékét. A modell nyitott és fedett víztartót egyaránt kezel, sőt a kettő között váltani is tud a modell-futtatás közben. Az alsó vízvezető rétegben értelemszerűen ugyanígy kell a paramétereket megadni, leszámítva az  $S_y$ -t. A fedő és köztes rétegekben, az alacsony permeabilitás miatt az áramlás vertikális, ezért csak a  $K_v$ -t kell megadnunk. Az oldalsó határréteget is definiálni kell, amely lehet végtelen, impermeábilis, vagy utánpótlódási típusú, azonban az összes rétegre csak egyszerre adható csak meg, külön-külön nem definiálható. Ezen kívül a modell még kezeli a felső rétegben a „delayed yield” jelenségét is, valamint felszíni utánpótlás is megadható (RATHOD & RUSHTON, 1991).

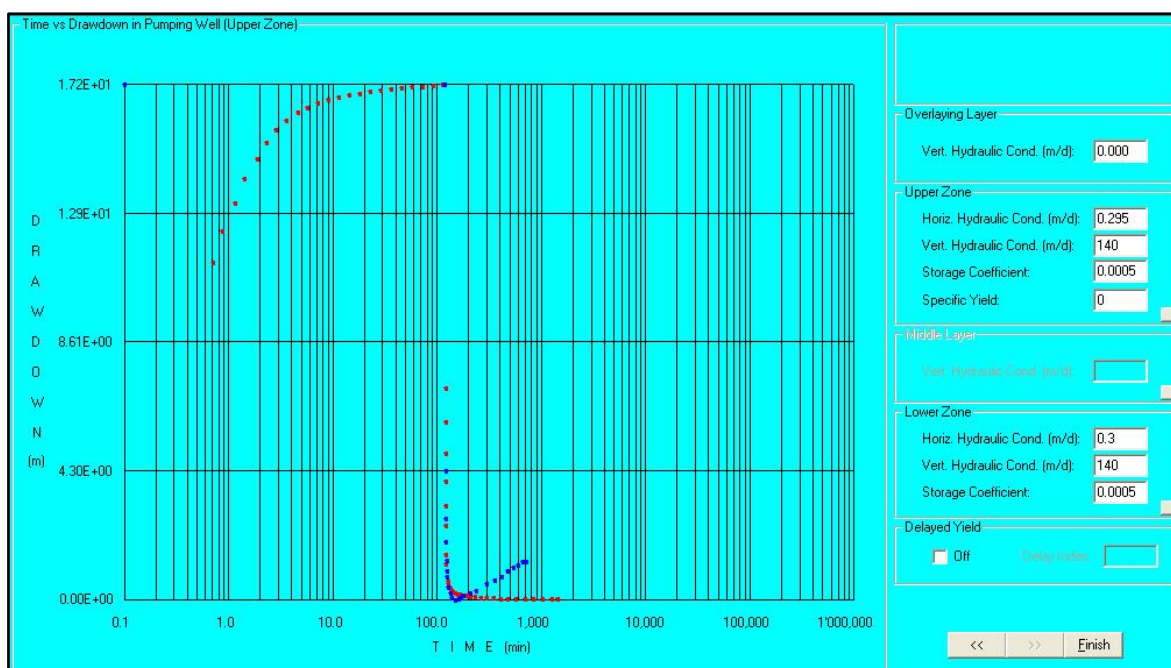
A teremlelő kút paraméterei közül, meg kell adni a kút átmérőjét ( $d$ ), a termelés idejét (nap) és hozamát ( $l/min$ ). Egyszerre több hozamlépcső is megállapítható, valamint a visszatöltődés is modellezhető. Utóbbi esetben  $0\ l/min$  termelési hozamot kell megadni. A kút lehet szűrőzve a felső, az alsó és mindkét vízáadó rétegre is. A kút környezetére megadható a „well loss” is, a kút közvetlen közelében lévő pontokban a hidraulikus vezetőképesség lecsökkentésével. Ehhez csak egy mértékegység nélküli értéket kell megadnunk, hogy hányszorosára csökkentse a modell  $K$  tényetét a kút melletti cellákban (RATHOD & RUSHTON, 1991).

A numerikus modell a véges differencia módszerét alkalmazza, a teret és az időt diszkrét egységekre bontja szét. A kúttól logaritmikusan növekvő távolságokban mesh hálót hoz létre és ezekben számolja szintén logaritmikus időközönként a vízforgalmat ( $Q$ ). A modell a Thiem egyenlet kibővített változatára épül. Az alsó rétegben egy cellába érkező víz származhat a vele két szomszédos cellából (horizontális áramlás), a fölötte lévő rétegből átszivárgással (vertikális áramlás), és felszabadulhat a tározásból ( $S_0$ ). A felső réteg hasonlóan képzelhető el, csak ott még figyelembe veszi a specifikus hozamot ( $S_y$ ) és a delayed yield-ből származó vizet is. Tulajdonképpen a háló összes pontjában felírja az áramlás egyenletet, majd ennek az egyenletrendszernek a megoldását Gauss eliminációval közelíti. A végeredményben külön adja meg a felső és az alsó rétegből érkező vízhozamot valamint leszívás értékeket is. A modellben – a termelő kúton és a határon kívül – még további 5 megfigyelő kút adható meg, amelyben szintén kiszámolja a leszívás értékeit a program. Ezeken a pontokon megadhatjuk a saját terepi méréseink vízszintidősorait és a modell paramétereinek ésszerű változtatása mellett megpróbáljuk a mért és a modellezett értékeket fedésbe hozni (RATHOD & RUSHTON, 1991).

A program régi változatában egy megfelelő formában megírt „txt” file-ban kellett a modell paramétereit megadni. A N. HERNANDEZ által 2008-ban tovább fejlesztett változatában már grafikus felületen adhatóak meg a paraméterek, előre definiált lehetséges réteg konfigurációkra, de továbbra is lehetséges benne a modellt manuálisan definiálni. Megadhatóak továbbá nem-statisztikus pontok is, azaz a program által létrehozott hálóban az egyes pontok paraméterei ( $K$ ,  $S$ ,  $S_y$ ), külön-külön megváltoztathatók, így tovább finomítható esetenként a modell (9. ábra, 10. ábra).



9. ábra: A modell felület, paraméterek megadása

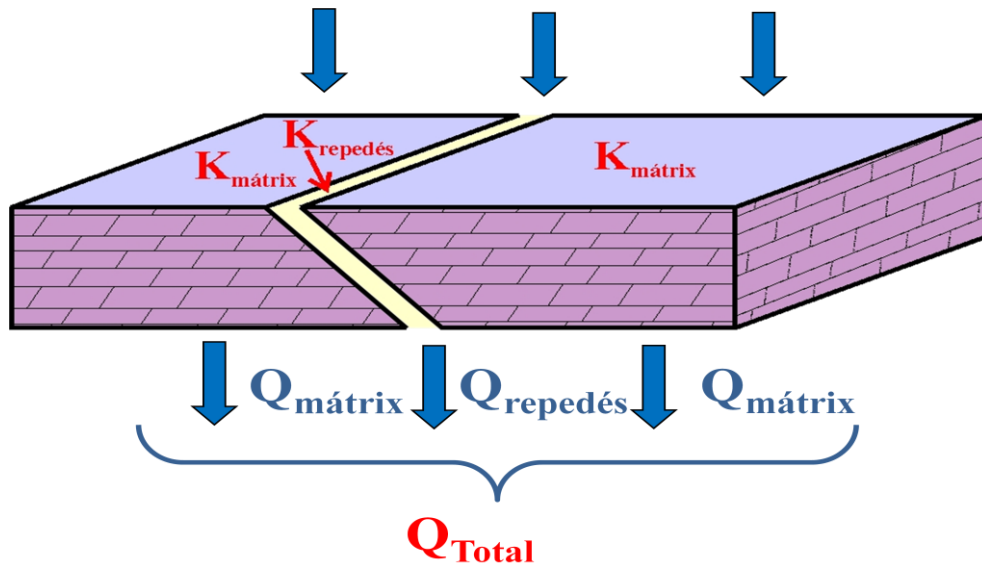


10. ábra: Példa modellfuttatásra, mért leszívás (kék), modellezett leszívás (piros)

#### 4.4.1 Kettős porozitás kezelése

Kettős porozitással rendelkező rendszere a modell csak korlátozott mértékben alkalmazható, porózus rendszerekre dolgozták ki. De sikerrel alkalmazták repedezett kőzetekre is (RATHOD & RUSHTON, 1991). A program, csak vízszintes síkokat kezel, illetve repedéseket egyáltalán nem. Ha azonban úgy képzeljük el a rendszert, hogy a kútba érkező víz a repedésekből és a mátrixból érkező víz összege, akkor a rendszer átlagos, eredő

hidraulikus vezetőképessége ( $K$ ) megbecsülhető az alábbi módon **(11. ábra)** (PROF. JOEL CARRILLO, szóbeli közlés):



**11. ábra: Kettős porozitású rendszerre alkalmazható egyszerűsítés (PROF. JOEL CARRILLO, szóbeli közlése alapján)**

$$Q_{\text{Total}} = Q_{\text{repedés}} + Q_{\text{mátrix}} = AiK_{\text{repedés}} + AiK_{\text{mátrix}} = Ai\bar{K}$$

,ahol  $Q$  a hozam,  $i$  a hidraulikus gradiens,  $A$  az áramlási keresztmetszet,  $K$  pedig a hidraulikus vezetőképesség. Ez alapján az elképzelés alapján próbáltuk alkalmazni a modellt a kutatási területre.

## 5 VISSZATÖLTŐDÉSI PRÓBÁK FELÜLVIZSGÁLATA ÉS NUMERIKUS ÉRTÉKELÉSE – LOKÁLIS LÉPTÉK

### 5.1 Visszatöltődési próbák analitikus felülvizsgálata

#### 5.1.1 Adatok eredete

Munkám egyik fő feladata az volt, hogy felkutassam a Budapest termálkútjain végzett kúthidraulikai vizsgálatokat. A kútlétesítés egyik alapfeltétele, hogy az elkészült kúton végezzenek szivattyúteszteket, azért hogy a kútból kitermelhető maximális hozamot, a szivattyúzott réteg paramétereit ( $T$ ,  $S$ ) meghatározzák. Ezek rendszerint visszatöltődés és/vagy nyomásemelkedés mérések, amelyek adatsorát a vízföldtani naplókhoz kell csatolni. Ezért munkámat adatgyűjtéssel kezdtem a VITUKI adattárában. A hévízkataszter alapján, átnéztem a kutakhoz tartozó vízföldtani naplókat. Meg kell jegyezzem, hogy számos kút dokumentációja, részben, vagy teljes egészében hiányzott az adattárból. Végül 20 olyan termálkúthoz tartozó vízföldtani naplót választottam ki, amelyben megvolt a kúthoz tartozó hidrodinamikai vizsgálat eredménye is. Ezeknek a kutaknak az alapadatait, a vizsgálatok adatsorait digitalizáltam a további munkához. A továbbiakban tárgyalt valamennyi adat vízföldtani naplóból származik, ezért ezekre külön nem hivatkozom!

#### 5.1.2 Az adatbázis ismertetése

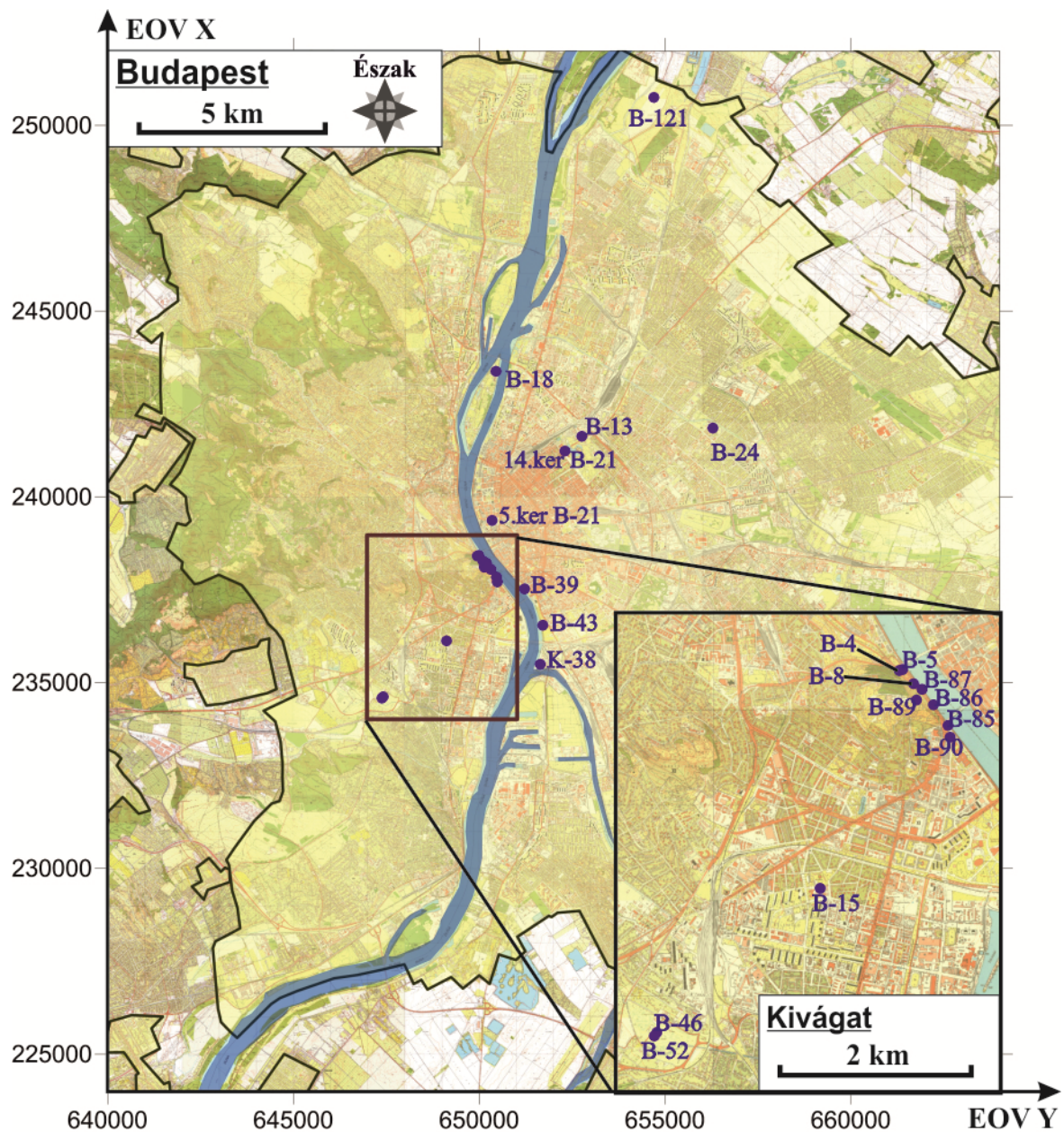
A fellelhető kutak alapadatait összefoglaló táblázatba rendeztem, amely tartalmazza az alapvető adatokat (EOV koordináták, talpmélység, szűrőközep, szűrőzött közet stb.), valamint a hidraulikai mérések archív, analitikus kiértékelésének adatait (**1. táblázat**)

Utóbbiak, amint az látható legtöbb kút esetében hiányoznak. Ennek az a magyarázata, hogy sok esetben a vízföldtani naplóban csak az adatsorok voltak benne, a kiértékelés hiányzott vagy már olvashatatlan volt a tinta elmosódása miatt. Elképzelhető, hogy ezek az évek során elkeveredtek a napló mellől. Meg kell jegyezzem, hogy a VITUKI megszűnése miatt kaotikus állapotok uralkodtak az adattárban. Természetesen az is lehet, hogy a kiértékelést nem végezték el, az adatsorok bonyolultsága miatt. Utóbbira majd a későbbiekben térek ki.

A kutak területi elhelyezkedését Budapest térképén tüntettem fel (**12. ábra**). Általánosságban elmondható, hogy a kutak területi eloszlása egyenlőtlen, a legtöbb adat a Budai oldal sekély termálkútjaiból származik.

| Név                                      | Ker. | Azon.     | EOV Y     | EOV X     | z<br>(mBf) | talp<br>(m) | Szűrő<br>hossz<br>(m) | Szűrő közép<br>mélysége<br>(m) | Szűrőzött<br>közet                              | Archív T<br>(m <sup>2</sup> /s) | Archív K<br>(m/s) | Mérés: 1=vízszint;<br>2= nyomás; 3<br>kombinált |
|------------------------------------------|------|-----------|-----------|-----------|------------|-------------|-----------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------|
| Szt. Gellért rakpart Árpád IV.           | 1    | B-8       | 650098,97 | 238274,21 | 104,96     | 27,8        | 7,5                   | 24,1                           | T <sub>3</sub> dolomit                          | 1,08E-03                        | 1,36E-03          | 1                                               |
| Rudas Gyógyfürdő, Attila II.             | 1    | B-4       | 649950,33 | 238411,20 | 104,50     | 36,6        | 16,8                  | 28,4                           | T <sub>3</sub> dolomit                          | 1,70E-02                        | 8,49E-03          | 1                                               |
| Rudas Gyógyfürdő, Juventus               | 1    | B-5       | 649984,69 | 238423,50 | 104,53     | 43,0        | 13,5                  | 36,8                           | T <sub>3</sub> dolomit,<br>E <sub>3</sub> márga | 2,30E+12                        | 1,35E+12          | 1                                               |
| Budai alsó rakpart DM-5.                 | 11   | B-85      | 650459,67 | 237836,92 | 102,15     | 8,4         | 1,4                   | 7,8                            | Q kavics, T <sub>3</sub><br>dolomit             | 6,89E-04                        | 3,45E-04          | 1                                               |
| Budai alsó rakpart GPR-10                | 11   | B-87      | 650188,34 | 238214,49 | 101,92     | 10,2        | 2,8                   | 8,8                            | T <sub>3</sub> dolomit                          | 2,57E-02                        | 2,31E-02          | 1                                               |
| Gellérth. hévízmű, GT XIV.               | 11   | B-89      | 650128,12 | 238103,32 | 104,11     | 11,7        | 17,4                  | 11,3                           | T <sub>3</sub> dolomit                          | 3,33E-03                        | 1,96E-03          | 1                                               |
| Budai alsó rakpart GPR-8                 | 11   | B-86      | 650305,77 | 238052,29 | 101,87     | 22,5        | 12,1                  | 16,6                           | T <sub>3</sub> dolomit                          | 3,36E+10                        | 1,02E+10          | 1                                               |
| Szent Imre Kórház<br>(Tétényi út)        | 11   | B-15      | 649120,05 | 236128,38 | 103,14     | 524,0       | 18,1                  | 527,5                          | T <sub>3</sub> dolomit                          |                                 |                   | 2                                               |
| Apenta telep II                          | 11   | B-52      | 647381,33 | 234581,61 | 105,53     | 900,0       | 98                    | 849,0                          | T <sub>3</sub> mészkő                           |                                 |                   | 2                                               |
| Apenta hévízkút                          | 11   | B-46      | 647407,67 | 234617,88 | 105,82     | 995,2       | 84                    | 854,0                          | T <sub>3</sub> dolomit                          |                                 |                   | 2                                               |
| Margitsziget III.                        | 13   | B-18      | 650447,00 | 243375,00 | 103,62     | 141,0       | 118                   | 166,0                          | E <sub>3</sub> mészkő                           |                                 |                   | 2                                               |
| Városliget I. (Széchenyi f.<br>I. kút)   | 14   | B-21      | 652300,31 | 241235,55 | 106,42     | 970,2       | 45,7                  | 947,7                          | T <sub>3</sub> dolomit                          |                                 |                   | 2                                               |
| Városliget II. (Széchenyi f.<br>II. kút) | 14   | B-13      | 652754,50 | 241624,59 | 107,96     | 1248,3      | 9,9                   | 1251,1                         | T <sub>3</sub> mészkő                           |                                 |                   | 2                                               |
| Aquaworld                                | 4    | B-<br>121 | 654695,25 | 250754,18 | 102,99     | 774,6       | 12                    | 769,0                          | E mészkő?                                       |                                 |                   | 3                                               |
| Erzsébet tér                             | 5    | B-21      | 650342,22 | 239368,27 | 106,80     | 739,6       | 96,4                  | 718,2                          | T <sub>3</sub> dolomit                          |                                 |                   | 3                                               |
| Dunasztény (DS-1)                        | 9    | B-43      | 651706,76 | 236544,92 | 104,13     | 371,1       | 10                    | 344,0                          | E <sub>3</sub><br>mészkőb.                      | 9,61E-03                        |                   | 3                                               |
| Kvassay Zsili 1.                         | 9    | K-38      | 651643,88 | 235493,02 | 100,60     | 559,5       | 11                    | 390,7                          | T <sub>3</sub> mészkő                           |                                 |                   | 3                                               |
| Központ                                  | 9    | B-39      | 651216,52 | 237526,19 | 105,30     | 650,0       | 55,32                 | 606,9                          | T <sub>3</sub> dolomit                          |                                 |                   | 3                                               |
| SzGK-1 vízszintészlelő                   | 11   | B-90      | 650482,75 | 237713,52 | 107,09     | 262,8       | 15                    | 283,0                          | T <sub>3</sub> dolomit                          | 1,35E-03                        |                   | 3                                               |
| Paskál malom                             | 14   | B-24      | 656283,88 | 241850,08 | 110,49     | 1399,2      | 6                     | 1399,0                         | T <sub>3</sub> mészkő                           |                                 |                   | 3                                               |

1. táblázat: A kúthidraulikai vizsgálattal rendelkező termálkutak adatai



12. ábra: A visszatöltődéssel rendelkező kutak terület szerinti eloszlása (Forrás: Budapest EO V térkép)

Az egyik kitűzött célom az volt, hogy a kettős porozitással rendelkező képződmények heterogenitásával is foglalkozzam. A vizsgált kutak többsége kettős porozitású kőzetre szűrőzött **(1. táblázat)**. A kutak többsége felső-triász dolomitra vagy mészkőre (15 db), kisebb részük az eocén mészkőre, mészkőbreccsára (3 db) szűrőzött. A kivételek közé tartozik a Rudas gyógyfürdő Juventus kútja, amely egyszerre szűrőzi az eocén márgát és a felső triász mészkövet, valamint a 11. kerületben lévő DM-5-ös fúrás. Ez utóbbi csak közvetve van kapcsolatban a felső-triász dolomittal, ugyanis a kút a dolomitra települő kvarter kavicsra van szűrőzve. Egy esetben, az Aquaworld kútjánál a vízföldtani napló alapján a szűrőzött kőzet kora is kérdéses, feltehetően eocén.

Az alapadatok összeállítását követően megvizsgáltam a rendelkezésre álló kútvizsgálati adatsorokat használhatóság szempontjából. A kutakban visszatöltődés mérése háromféle módon történhet. A kigyűjtött kutak mindegyik módszerre szolgálnak példával. A legegyszerűbb módszer a vízszint emelkedés mérése valamilyen viszonyítási ponttól (pl. csőperem, terepszint). Amennyiben a víztartó fedett leszorított tükrű, azaz a vízszint a víztartó szintje fölé emelkedik ez nem megoldható. Ilyen esetekben a felszíni nyomásemelkedést és/vagy a kút egy bizonyos mélységtartományában (lehetőleg a szűrőközépnél) elhelyezett nyomásmérővel az adott pontban mérhető nyomásváltozást mérik. Ezen nyomásmérések is eltérő eredményeket szolgáltatnak. Harmadik lehetőségként ezeket kombinálva alkalmazzák. A következőkben az alkalmazott mérési módszer alapján a három csoportban elemzem az adatsorokat.

### 5.1.3 Vízszintmérésen alapuló visszatöltődési adatsorok értékelése

A vízszintmérésen alapuló visszatöltődési adatokat szolgáltató kutak, kivétel nélkül a Gellért-hegy lábánál találhatók **(12. ábra)**. Ezek a fentebb leírtaknak megfelelően sekély, maximálisan 43 méter mély kutak, amelyek közvetve vagy közvetlenül felső-triász dolomitot szűrőznek. Egyetlen egy esetben a Rudas gyógyfürdő Juventus kútja részben eocén márgát is szűrőz. A kutak nyugalmi vízszintje többnyire terepszint alatti, ez megfelel a fedetlen víztartó elképzelésnek. Két esetben, a Rudas gyógyfürdő kútjaiban (Attila II., Juventus kút) emelkedik kevéssel a terepszint fölé a vízszint, amely a térség kiáramlási terület jellegével magyarázható (Goldscheider et al. 2010).

A kutak többsége több évtizede készült. Ezek eredeti dokumentációi időközben elvesztek, hiányossá váltak. A GeoLog Kft a 2000-es évektől kezdődően újravizsgálta ezeket a kutakat. Pótolták az időközben elveszett, vagy hiányos dokumentációt. Így ezekről a kutakról rendelkezésre állt szinte az összes archív transzmisszivitás és K tényező adat is. A

visszatöltődés idősorokból Cooper-Jacob féle egyenes illesztés módszerével **(4.2.2 fejezet)** határozták meg a transzmisszivitást (T), azonban arra nem térnek ki a naplókban, hogy ebből, hogyan kapták meg a K tényezőt.

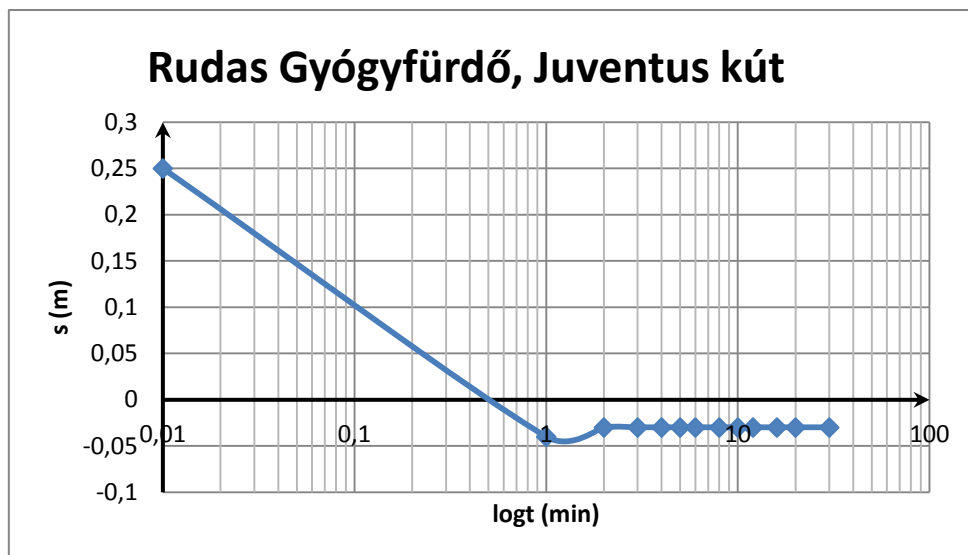
Az alábbiakban, egy táblázatban **(2. táblázat)** összefoglaltam a visszatöltődés vizsgálatok paramétereit (nyugalmi, üzemi vízszint, a termelés hozama (Q) és időtartama (T)) és az ezekből az archív dokumentációkban meghatározott hidraulikai paramétereket (T, K).

| Név                            | Ker. | Azon. | talp (m) | Szűrőzött kőzet                              | Nyugalmi vsz. ( $\pm$ m) | Üzemi vsz. ( $\pm$ m) | Q (l/perc) | Termelés időtartama (perc) | T ( $m^2/s$ ) | K (m/s)  |
|--------------------------------|------|-------|----------|----------------------------------------------|--------------------------|-----------------------|------------|----------------------------|---------------|----------|
| Rudas Gyógyfürdő, Attila II.   | 1    | B-4   | 36,6     | T <sub>3</sub> dolomit                       | 0,2                      | -0,37                 | 126        | 30                         | 1,70E-02      | 8,49E-03 |
| Rudas Gyógyfürdő, Juventus kút | 1    | B-5   | 43,0     | T <sub>3</sub> dolomit, E <sub>3</sub> márga | 0,35                     | 0,1                   | 410        | 60                         | 2,30E+12      | 1,35E+12 |
| Budai alsó rakpart GPR-8       | 11   | B-86  | 22,5     | T <sub>3</sub> dolomit                       | -2,88                    | -3,65                 | 44         | 60                         | 3,36E+10      | 1,02E+10 |
| Szt. Gellért rakpart Árpád IV. | 1    | B-8   | 27,8     | T <sub>3</sub> dolomit                       | -4,38                    | -7,57                 | 184        | 60                         | 1,08E-03      | 1,36E-03 |
| Gellérth. hévízmű, GT XIV.     | 11   | B-89  | 11,7     | T <sub>3</sub> dolomit                       | -4,5                     | -5,57                 | 182        | 60                         | 3,33E-03      | 1,96E-03 |
| Budai alsó rakpart GPR-10      | 11   | B-87  | 10,2     | T <sub>3</sub> dolomit                       | -3,1                     | -3,59                 | 210        | 60                         | 2,57E-02      | 2,31E-02 |
| Budai alsó rakpart, DM-5.      | 11   | B-85  | 8,4      | Q kavics, T <sub>3</sub> dolomit             | -3,92                    | -7,05                 | 5,8        | 60                         | 6,89E-04      | 3,45E-04 |

**2. táblázat: A szivattyúeszt paramétereit és az ebből meghatározott hidraulikai paraméterek**

A 2. táblázatban az idősorok a visszatöltődés jellege alapján külön csoportokat képeznek (pillanatszerű visszatöltődés: világoskék, egyenletes visszatöltődés: narancssárga). Ezek alapján fogom a továbbiakban az adatokból szerkesztett grafikonokkal bemutatni ezeket. A dolgozat **1. mellékletében** megtalálható az összes adatsor és az azokhoz tartozó diagram. A grafikonokon a vízszintes tengelyen az eltelt idő 10-es alapú logaritmusa, a függőleges tengelyen pedig a leszívás van feltüntetve méterben kifejezve.

Az első 3 kút esetében: Attila II., Juventus, GPR-8 a visszatöltődés pillanatszerű, 1 perc alatt lezajlik. Szemléltetésként a Juventus kút idősorát illesztettem be **(13. ábra)**.

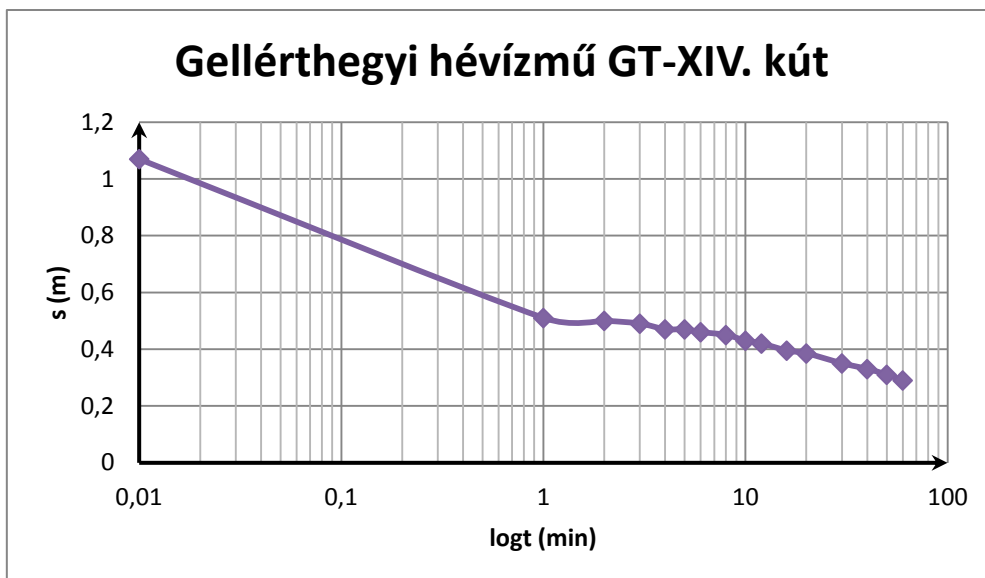


**13. ábra: Pillanatszerű visszatöltődés Juventus kútban**

A GPR-8 és Attila II. kút esetében feltehetően ennek az oka az, hogy a termelés rövid ideig és kis hozammal zajlott, a leszívás is maximum 8 centiméter volt, így a felső-triász/eocén repedéses vízadóból pillanatszerűen megtörtént a feltöltődés. A Juventus kút esetében más lehet a helyzet. Itt a szivattyúzás hozama elegendően nagy volt, majdnem fél köbméter percenként, így az ilyen gyors visszatöltődést a kút alatt elhelyezkedő hasadék magyarázhatja, amelyből közvetlenül utánpótlódik a víz.

Ezekre az adatsorokra nem lehetne használni a Cooper-Jacob egyenes illesztési módszert, mivel annak szinte egyik feltétele sem teljesül (pl. egyenletes visszatöltődés, fedett víztartó). Az egyeneseket a már visszaállt vízszintekre illesztették, amely megkérdőjelezi a kapott értékek helyességét. Az mindenképpen elmondható, hogy a kőzetek vízvezetőképessége pontszerűen kimagaslóan nagy ezeken a helyeken. Az adatsorok kiértékelése azonban nem lehetséges.

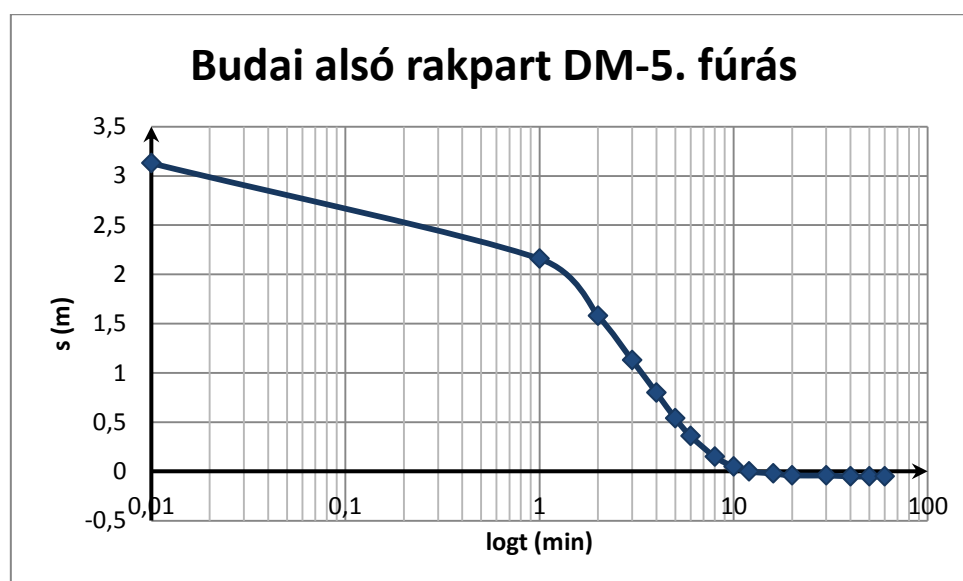
A másik négy kútban a visszatöltődés már egyenletesebb. A szivattyúzáshoz választott hozam megfelelő volt. Kisebb problémák itt is vannak, a GT-XIV-es kút visszatöltődése nem zajlott le a megfigyelési idő végéig (**14. ábra**), azonban a transzmisszivitás itt már a kvázi lineáris szakaszra illesztve durván becsülhető.



14. ábra: Visszatöltődés a GT-XIV. kútban

A legjobb adatsor a Budai alsó rakparton lévő DM-5-ös kútból származik, amelyben a szivattyúzás befejezése után a visszatöltődés, egyenletesen zajlik, majd 10 perc után beáll a nyugalmi vízszint (15. ábra). A későbbiekben ezt a kutat is kiválasztottuk a modell szoftver tesztelésére.

Általánosságban elmondható az utóbbi négy kútról, hogy a naplókban a Cooper-Jacob kiértékelést helyesen végezték el. Azonban, mivel továbbra sem teljesülnek még az alapvető feltételei sem a módszer alkalmazásának ezek csak durva becslésre használhatók. A meghatározott transzmisszivitások nagyságrendileg elfogadhatónak tűnnek ( $10^{-2} - 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ ). A rendszer bonyolult, amelyben sok az ismeretlen tényező, így megfelelő becslési eljárást nehéz találni, illetve kidolgozni.



15. ábra: Budai alsó rakpart DM-5 kút visszatöltődési görbéje

A fenti kutak viszonylag kis területen helyezkednek el, a Gellért-hegy keleti oldalán a Duna-parton. A visszatöltődésre a reakció a kutakban kétféle volt, pillanatszerű és viszonylag egyenletesebb. Bár ezek az eredmények csak pontszerű információt biztosítanak a tározó viselkedéséről, valamint a tesztek megbízhatósága is megkérdőjelezhető, így is elmondható, hogy a hidraulikus vezetőképesség két nagyságrendnyit változik az itt szűrőzött képződményekre.

#### 5.1.4 A nyomásmérésen alapuló visszatöltődés adatsorok értelmezése

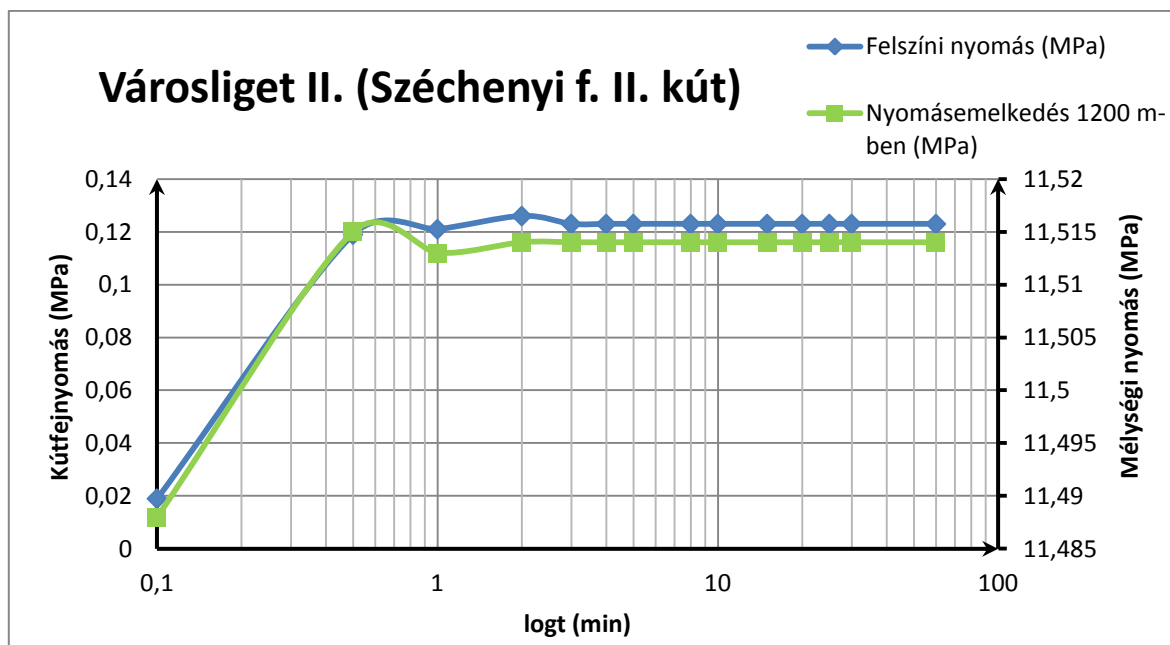
Ebben a csoportban, a Margitsziget III. kút kivételével, 500 m-es mélységet meghaladó kutak találhatók. A vízföldtani naplókban, mint az alábbi táblázatban is látható (**3. táblázat**), a dokumentáció hiányos volt, illetve a naplóknak csak részletei voltak meg. Így például az adatsorokból kiszámolt transzmisszivitás vagy hidraulikus vezetőképesség adatot egyáltalán nem találtam. Az összes adatsor esetében kétféle nyomásérték változása szerepelt az idő függvényében, a felszíni, a másik pedig a mélységi nyomásérték. A nyomásértékek átkonvertálása vízszintekre nehéz feladat, főleg a kevésbé megbízható adatok tükrében, így ezekre csak kvalitatív értelmezés adható.

A Szent Imre Kórház, illetve a Margitsziget III-as kútja alkalmatlan a kiértékelésre, mivel ezekben a szivattyúzás egyes paraméterei, a nyugalmi nyomás és/vagy a szivattyúzás időtartama ismeretlen.

| Név                                   | Ker. | Azon. | talp (m) | Szűrőzött közeg        | Nyugalmi vsz. ( $\pm$ m) | Nyugalmi p (MPa) | Üzemi vsz. ( $\pm$ m) | Üzemi p. (Mpa) | Hozam (l/perc) | Termelés időtartama (perc) |
|---------------------------------------|------|-------|----------|------------------------|--------------------------|------------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------------------|
| Szent Imre Kórház (Tétényi út)        | 11   | B-15  | 524,0    | T <sub>3</sub> dolomit |                          |                  |                       | 0,0064         | 540            |                            |
| Margitsziget III.                     | 13   | B-18  | 141,0    | E <sub>3</sub> mészkő  | 1,6                      |                  | -1,5                  |                | 4500           |                            |
| Városliget II. (Széchenyi f. II. kút) | 14   | B-13  | 1248,3   | T <sub>3</sub> mészkő  |                          | 0,123            |                       | 0,019          | 4050           | 60                         |
| Városliget I. (Széchenyi f. I. kút)   | 14   | B-21  | 736,0    | T <sub>3</sub> dolomit |                          | 0,109            |                       | 0,028          | 202            | 60                         |
| Apenta hévízkút                       | 11   | B-46  | 995,2    | T <sub>3</sub> dolomit |                          | 0,12             |                       | 0,032          | 900            | 60                         |
| Apenta telep II                       | 11   | B-52  | 900,0    | T <sub>3</sub> mészkő  |                          | 0,0805           | 1,5                   |                | 550            | 720                        |

3. táblázat: Nyomásemelkedés mérések paraméterei

A Városliget I-es és II-es kútjában a felszíni nyomásszintek, a szivattyúzás befejezése után szinte azonnal, 1 perc alatt visszaállnak a nyugalmi nyomásszintre. A felszíni nyomásváltozással a mélységi nyomás jó korrelációt mutat (korrelációs együttható: **0,99**) mindkét kútban. Az alábbi ábrán a Városliget II. kút példája látható (**16. ábra**).



**16. ábra:** A Városliget II. kútban mért nyomásemelkedés, a bal oldali tengely a felszíni, a jobb pedig a mélységi nyomáshoz tartozik.

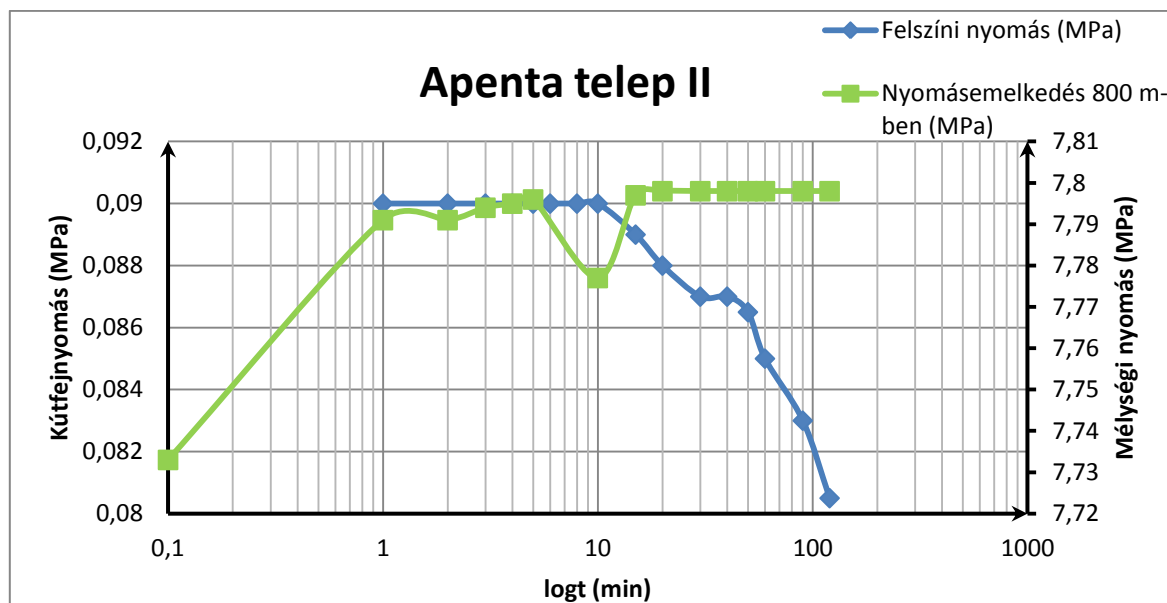
Mindkét kútban 60 percig folyt a termelés, azonban a Városliget I-ben csak 202 l/s-al, míg a Városliget II-ben 4050 l/s-al. Ez mutatja, különösen az utóbbi esetet, hogy ilyen nagymértékű termelés ellenére is a felső triász mészkő/dolomit repedéseiből pillanatszerűen utánpótlódik a víz.

A 11. kerületben található Apenta telephez tartozó kutak (Apenta I., II.) nyomásemelkedés görbéiben, anomális jelenségek figyelhetők meg. Az Apenta II. nyomásemelkedés görbéjén látszik, hogy a 800 m mélységben mért nyomás viszonylagos stabilizálódása után a felszíni nyomás elkezd csökkenni (**17. ábra**). A két nyomásérték korrelálatlan, értéke **-0,48**. Hasonló jelenség figyelhető meg az Apenta másik kútjában is, azonban ott nem ilyen látványos mértékű a nyomáscsökkenés a felszínen.

Ha feltételezzük, hogy nem történt szisztematikus mérési hiba és a mérés zárt kútfej mellett történt (azaz nem volt kigázosodás), akkor ennek a jelenségnek a valószínűsíthető oka a következő: A visszatöltődés pillanatszerű lezajlása után, a kútban lévő vízoszlop elkezd hűlni, amely sűrűségnövekedést okoz.

$$h = z + \frac{p}{\rho g}$$

A fenti képlet alapján ez vízszintcsökkenést indukál, amely a felszíni nyomás csökkenésében mutatkozik meg. Ezt számításokkal alátámasztani nem tudjuk, mivel ehhez kevés a rendelkezésre álló adat, a visszatöltődés során a víz hőmérséklet változását nem mérték.



17. ábra: Az Apenta II. kútban mért nyomásemelkedés, a bal oldali tengely a felszíni, a jobb pedig a mélybeli nyomáshoz tartozik.

### 5.1.5 Vízszintmérésen és nyomásmérésen alapuló adatsorok értékelése

Ezekben a kutakban kombinálva alkalmazták a vízszintmérést és a mélységi nyomásmérést. A mért és az ezekből meghatározott paraméterek itt is hiányosak (**4. táblázat**), a naplókban a Kvassay Zsilip 1, SzGK-1 és a Ds-1 kutak szivattyúzás időtartama nem szerepelt, valamint a Paskál malmi és az Aquaworld kútban, a nyugalmi vízszint extrapolált érték. A Paskál malmi kút esetében ez elfogadható, mert a naplóba leírt indok alapján a víz olyan nagymértékben kigázosodik, hogy a nyugalmi vízszint az üzemi alá csökkent. Az Aquaworld esetében azonban, 6 perces visszatöltődés vízszint értékeiből extrapoláltak 180 perc múlva kialakuló „nyugalmi” vízszintre, ami nem fogadható el. Ez azért is sajnálatos, mert ebben a kútban a visszatöltődés egyenletesen indult, így le lehetett volna tesztelni a fedett helyzetű felső-triász víztartóra is a modell szoftver alkalmazhatóságát. E kút alkalmas lehet később e kérdés vizsgálatára.

Két kútra vonatkozóan szerepel transzmisszivitás adat a naplókban, azonban ezek korábbi vizsgálatokból származnak, nem a naplóban szereplő visszatöltődés időszorból lettek kiszámolva. Azt a módszert sem adták meg, melyből az adatokat kiszámolták. Így ezek a bizonytalanság figyelembe vételével feltételesen kezelendők. Ugyanakkor a triász földolomitra

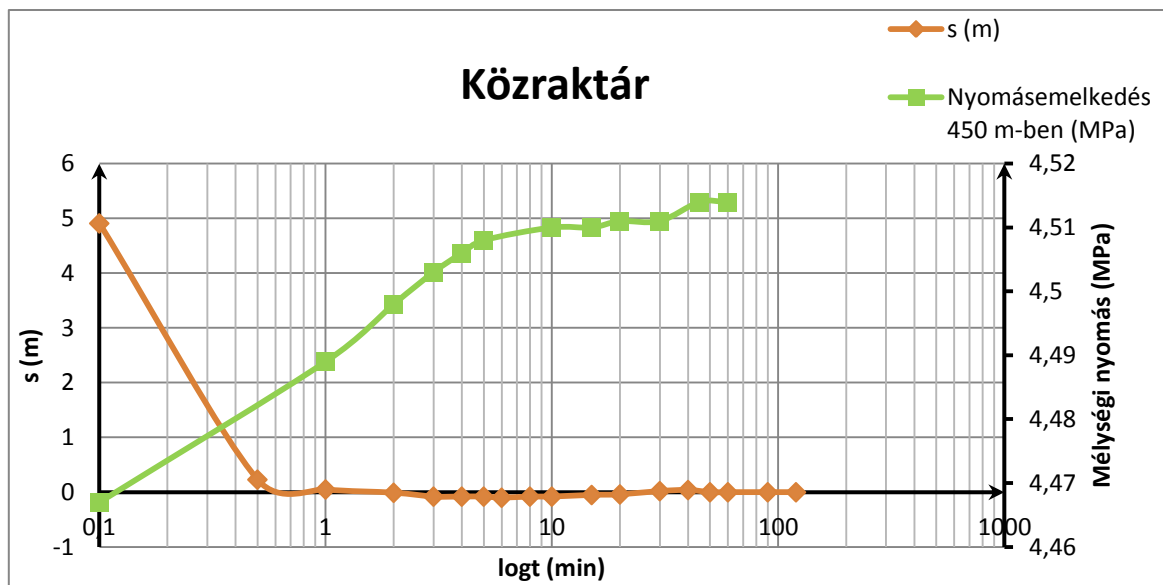
a 11. kerület kútjaiból (Szt. Gellért rakpart Árpád IV, Gellért. hévízmű, GT XIV) is hasonló értékek származnak, mint az SzGK-1-es kútból. A felső-eocén mészkőbreccsára megadott T érték megítéléséhez nincsen viszonyítási alapunk.

| Név                    | Ker. | Azon. | talp (m) | Szűrőzött kőzet         | Nyugalmi vsz. ( $\pm$ m) | Üzemi vsz. ( $\pm$ m) | Hozam (l/perc) | Termelés időtartama (perc) | T ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) |
|------------------------|------|-------|----------|-------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------|----------------------------|-----------------------------|
| Kvassay Zsilip 1.      | 9    | K-38  | 559,5    | T <sub>3</sub> mészkő   | 5,8                      | 2,1                   | 220            |                            |                             |
| Közraktár              | 9    | B-39  | 650,0    | T <sub>3</sub> dolomit  | -0,67                    | -5,58                 | 460            | 120                        |                             |
| Paskál malm            | 14   | B-24  | 1399,2   | T <sub>3</sub> mészkő   | 6,2                      | 1,5                   | 860            | 60                         |                             |
| Erzsébet tér           | 5    | B-21  | 739,6    | T <sub>3</sub> dolomit  | -1,25                    | -17,18                | 430            | 120                        |                             |
| Aquaworld              | 4    | B-121 | 774,6    | E mészkő?               | 26,26                    | -44,07                | 500            | 480                        |                             |
| SzGK-1 vízszintészlelő | 11   | B-90  | 262,8    | T <sub>3</sub> dolomit  | -1,91                    | -2,03                 | 300            |                            | 1,35E-03                    |
| Dunasétány (DS-1)      | 9    | B-43  | 371,1    | E <sub>3</sub> mészkőb. | 0,9                      | 0,73                  | 385            |                            | 9,61E-03                    |

4. táblázat: Vízszintmérésen és nyomásmérésen alapuló vizsgálatok paraméterei

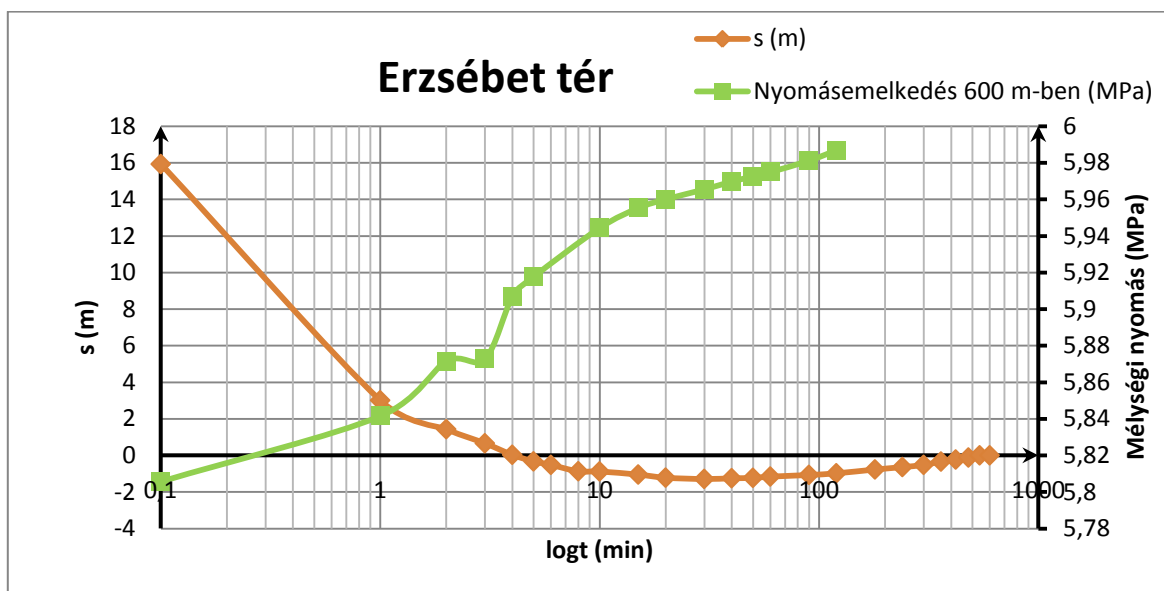
Ebből a csoportból is el lehet különíteni azokat a kutakat, amelyekben a visszatöltődés pillanatszerűen zajlik le. Ilyen a Kvassay Zsilip 1. (továbbiakban Kvzs-1) és a Közraktár kútja. A leszívás és nyomásemelkedés között magas a korreláció, a Kvzs-1 esetében **-0,99**, a Közraktár esetében pedig **-0,86**. A Közraktár kútját ábrázolom példaként (**18. ábra**). Itt a mélybeli nyomásemelkedés nem pillanatszerű, hanem kb. 10 perc alatt áll be nyugalmi helyzetbe, szemben a vízszinttel, ami a szivattyúzás leállítását követő 1 percben már stabilizálódott. Ennek egy elképzelhető az lehet, hogy a visszatöltődés még zajlik, azonban a vízoszlop hűlése olyan mértékű, hogy az kompenzálja a vízszintemelkedést, így kvázi konstans vízszintet mértek (vízhőmérséklet adatok itt sem állnak rendelkezésre).

Ebből a két kútból hidraulikai paraméter nem határozható meg, a visszatöltődés pillanatszerű bekövetkezése miatt. A termelési hozam és időtartam növelésével talán el lehetett volna érni egyenletesebb visszatöltődést is. Ez a két kút is perspektivikus lehet jövőbeni vizsgálatra.



18. ábra: A Közraktár. kútjában mért leszívás (s) és mélyiségi nyomásemelkedés

A következő csoportba a Paskál malmi, és az Erzsébet téri kút tartozik. Ezekben a folyamatos nyomásemelkedés mellett, a vízszint a nyugalmi vízszint fölé emelkedik, majd lecsökken. Ezt a már korábban említett kigázosodás okozhatja. A Paskál malmi kút esetében biztosan, az Erzsébet téri kút esetében, azonban ezt nem említette a napló. A korreláció itt is magas a nyomás és leszívás között, a Paskálban **-0,98**, az Erzsébet térben, **-0,78**. Utóbbi visszatöltődés diagramja látható a **19. ábra**. A modell szoftver alkalmazására ezt a kutat is alkalmasnak ítélem.

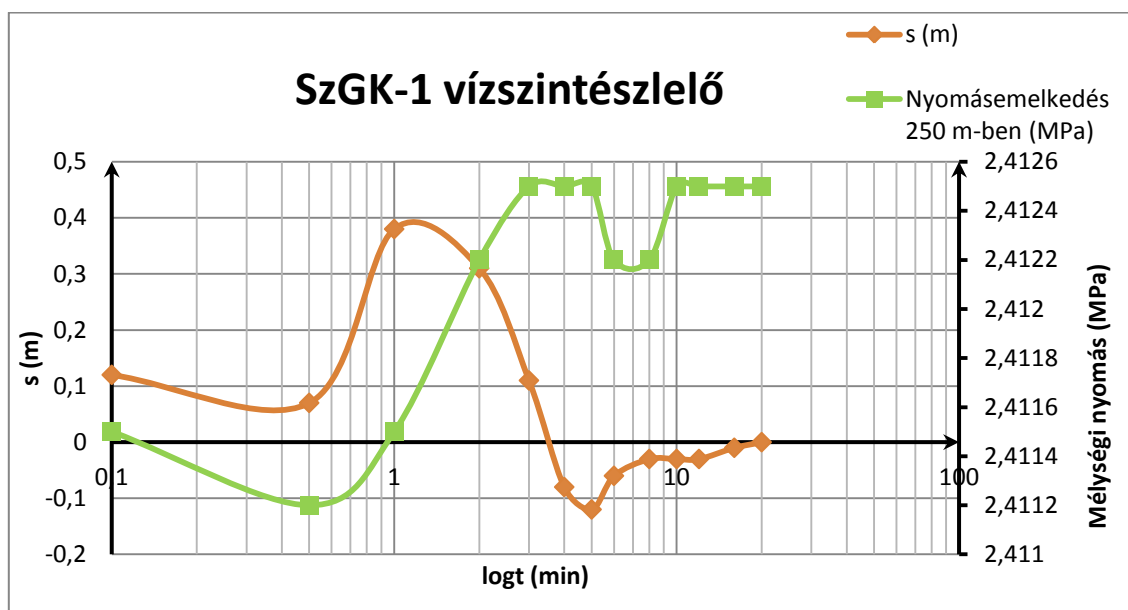


19. ábra: Az Erzsébet tér. kútjában mért leszívás (s) és mélyiségi nyomásemelkedés

A csoportba tartozó további két kútban (SzGK-1, Ds-1) a visszatöltődés szintén pillanatszerűen zajlik le, azonban ezután mind a nyomás, mind a vízszint 10 percen keresztül oszcillál a nyugalmi szintek körül, mire beáll az egyensúly (**20. ábra**). Ennek elképzelhető

magyarázata a következő. Nagy hozammal termelt termál kutaknál gyakorta megfigyelt jelenség az ún. réteglengés. Ennek oka, hogy a termelés megindítását vagy leállítását követően a kút egy olyan nagy energiájú impulzust kap, amely a rendszer tehetetlensége miatt a vízszint oszcillációját eredményezi (MÁDLNÉ SZÖNYI JUDIT szóbeli közlés).

Így nem határozható meg a hidraulikus vezetőképesség a görbékből, amelyet az SzGK-1 es figyelőkút naplójában le is írnak. Felmerül, hogy amennyiben a szivattyúzási hozam és/vagy idő hosszabb lett volna, a visszatöltődés lassabban zajlott volna le.



20. ábra: Az SzGK-1 vízszintészlelő. kútjában mért leszívás (s) és mélyégi nyomásemelkedés

### 5.1.6 Visszatöltődési próbák felülvizsgálatából levonható következtetések

Az összegyűjtött visszatöltődési próbákból a *felső-triász dolomitra* 4 kútból (Árpád IV, DM-5, GPR-10; GT-XIV) származik elfogadható archív transzmisszivitás adat. Ezekben a visszatöltődés egyenletes, így a Cooper-Jacob illesztéssel elfogadható a becslés. A számított transzmisszivitás  $10^{-2}$ - $10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s közötti nagyságrendű. Az SzGK-1-es kút idősora nem megfelelő, de az archív adat – aminek az adatsora nem ismert – hasonló értékű ( $10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s), így még ez is elfogadható érték. Az *eocén* képződményekre nem volt egy megfelelő visszatöltődés idősor, amiből elfogadható transzmisszivitás érték származna.

Azoknál a kutaknál, amelyek visszatöltődés idősora nem értékelhető ki valamilyen ok miatt (pillanatszerű visszatöltődés, oszcilláló vízszint, rövid idősor) esetenként a próbát újra elvégezve megfelelő adatsort nyerhetnénk. A termelési hozam növelése 7 kút esetében (Attila II., GPR-8, Városliget I., Kvassay Zsilip 1, Közraktár, SzGK-1, Ds-1) feltehetőleg megfelelő adatsort eredményezne, mivel ezek termelési hozama és/vagy a termelés időtartama nem volt megfelelő. Vannak olyan kutak is (Tétényi út, Margitsziget III.) amelyekben egyes

paraméterek hiányoztak a dokumentációból, illetve volt olyan is, amelyben az adatrögzítést hamar befejezték (Aquaworld), így ezekben is célszerű lenne a próbát újra elvégezni. Körültekintő méréstervezés esetén értékelhető adatsorokat nyerhetnénk ki ezekből a kutakból.

A következő táblázatban (5. táblázat) összefoglalom a visszatöltődési próbák felülvizsgálatából levonható következtetéseket. Összességében elmondható hogy az adatsorok többsége nem alkalmas a hidraulikai paraméterek meghatározására, mert a visszatöltődés pillanatszerű (vörösbarna szín). Ez bizonyos esetben valószínűleg elkerülhető lett volna, ha figyelembe vesszük a vízáadó kettős porozításával járó „extrém” utánpótlódást és a leszívást hosszabb ideig végzik. Ezekből az adatsorokból hidraulikai paraméter meghatározása nem lehetséges. Az Aquaworld kútjában túl rövid a visszatöltődés időszaka (kék szín), így kiértékelni ezt sem lehet. Az Apenta hévízkutak adatsorai sem értékelhetőek ki (sárga szín), jelenlegi ismereteim alapján azonban megpróbáltam megmagyarázni a görbéken mutatkozó jelenségeket.

Használható adatsornak (zöld szín) azokat ítélték meg, amelyekből valamilyen módszerrel, pl. numerikus modellezéssel elvégezhető a kiértékelés.

| Név                       | Használható, nem használható | Név               | Használható, nem használható             |
|---------------------------|------------------------------|-------------------|------------------------------------------|
| Rudas, Attila II.         | pillanatszerű visszatöltődés | Városliget I.     | pillanatszerű visszatöltődés             |
| Rudas, Juventus kút       | pillanatszerű visszatöltődés | Apenta hévízkút   | csökkenő nyomás,                         |
| Budai-alsó r. GPR-8       | pillanatszerű visszatöltődés | Apenta telep II   | csökkenő nyomás,                         |
| Szt. Gellért, Árpád IV.   | használható                  | Kvassay Zsilip 1. | pillanatszerű visszatöltődés             |
| Gellérthévízmű, GT XIV.   | használható                  | Központ           | pillanatszerű visszatöltődés             |
| Budai alsó rakpart GPR-10 | használható                  | Paskál malm       | használható, kigázósodás                 |
| Budai alsó rakpart, DM-5. | használható                  | Erzsébet tér      | használható lehet, kigázósodás           |
| Szent Imre Kórház         | pillanatszerű visszatöltődés | Aquaworld         | rövid időszaka                           |
| Margitsziget III.         | pillanatszerű visszatöltődés | SzGK-1            | pillanatszerű, oszcilláló visszatöltődés |
| Városliget II.            | pillanatszerű visszatöltődés | Dunasztély DS-1   | pillanatszerű, oszcilláló visszatöltődés |

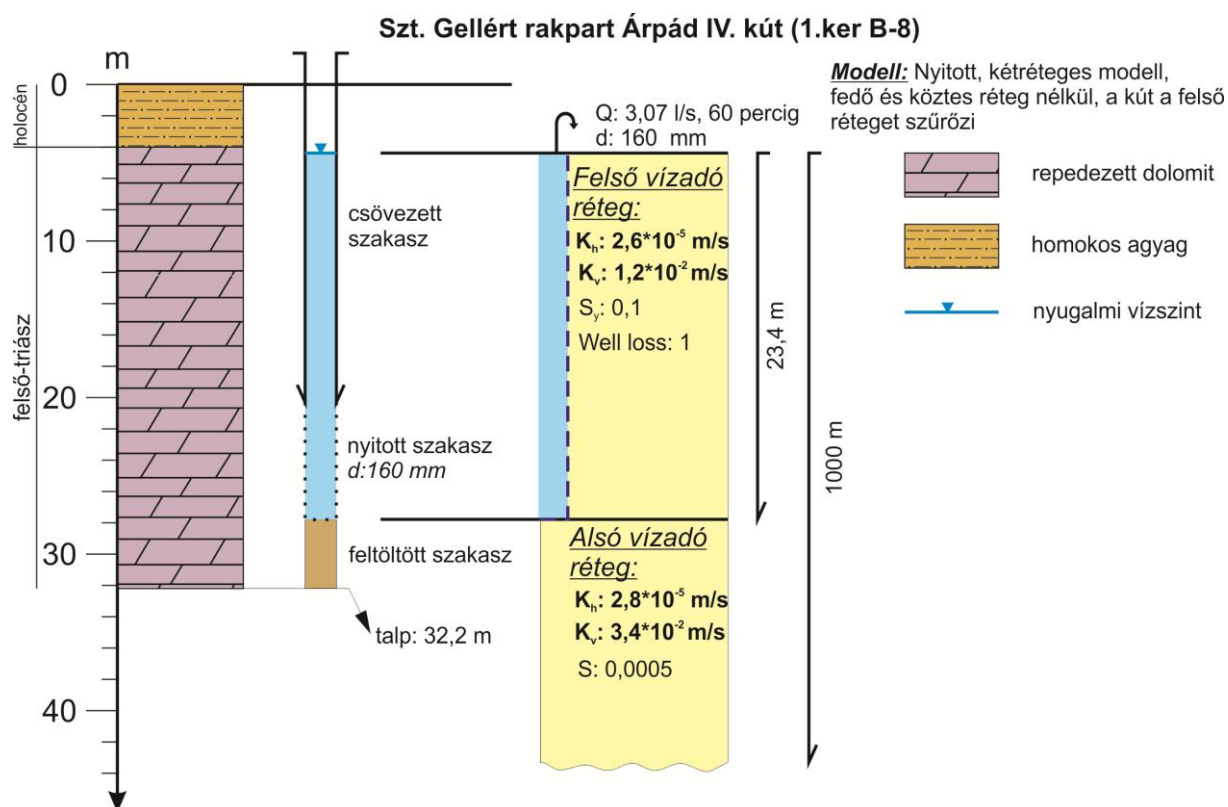
5. táblázat: Visszatöltődés adatsorok használhatósága

## 5.2 Numerikus szimulációs felülvizsgálat

A numerikus modellezéshez, végül 3 kutat választottunk ki, a már fentebb is említett két kúton kívül (DM-5; Erzsébet tér), még egy, a Szt. Gellért, Árpád IV. kút időszakát ítéltük megfelelőnek. Mindkét alap víztartó helyzetre sikerült megfelelő adatsort találni így két nyitott és egy fedett víztartóra szűrőzött kúton tesztelhetjük a modell szoftvert. Mindhárom kút közvetve vagy közvetlenül a felső-triász dolomitot szűrőzi.

### 5.2.1 Szt. Gellért, Árpád IV. kút

Első lépésben a kút rétegsorát (**21. ábra**) – a képződmények hidrogeológiai viselkedését mérlegelve – modell rétegekké konvertáltam. E helyzet szabadtükrű, nyitott víztartót mutat. A nyugalmi vízszint (-4,38m), mint ahogy az ábrán is látható, nem emelkedik a felső-triász dolomit víztartó teteje fölé. Ebből következően, a vékony (2m) fedő réteg a modell szempontjából elhanyagolható (valamint a program kezelni sem tudná, mert a vízszinthez viszonyítja a rétegvastagságokat és csak pozitív értékek adhatóak meg, ezért vízszint fölötti rétegek nem definiálhatók). A kútban nincsen szűrő, a megnyitott szakaszon áramlik be a víz. Ezért a vízszál szakadással nem kell számolni, értéke 1-nek vehető.



**21. ábra: Az Árpád IV. kút rétegsora és a modell rétegek**

Mivel a kút nem szűrőzi teljes vastagságában a triász dolomitot (a képződmény vastagsági viszonyai következtében) ezért a szűrőzetlen mélyebb szakaszból származó átszivárgást is figyelembe kell vennünk. Ezt úgy tehetjük meg, hogy a modell felső vízadó rétegében lesz a szűrőzött kút, alatta pedig az alsó réteg ennek egy feltételezett vastagságú (~1000 m) hasonló paraméterekkel ellátott folytatását képezi. Bár a dolomit vastagsága nem ismert pontosan, de ez a modell eredményeit nem is befolyásolja (nem érzékeny e paraméterre), ilyen rövid idejű szivattyúzás során.

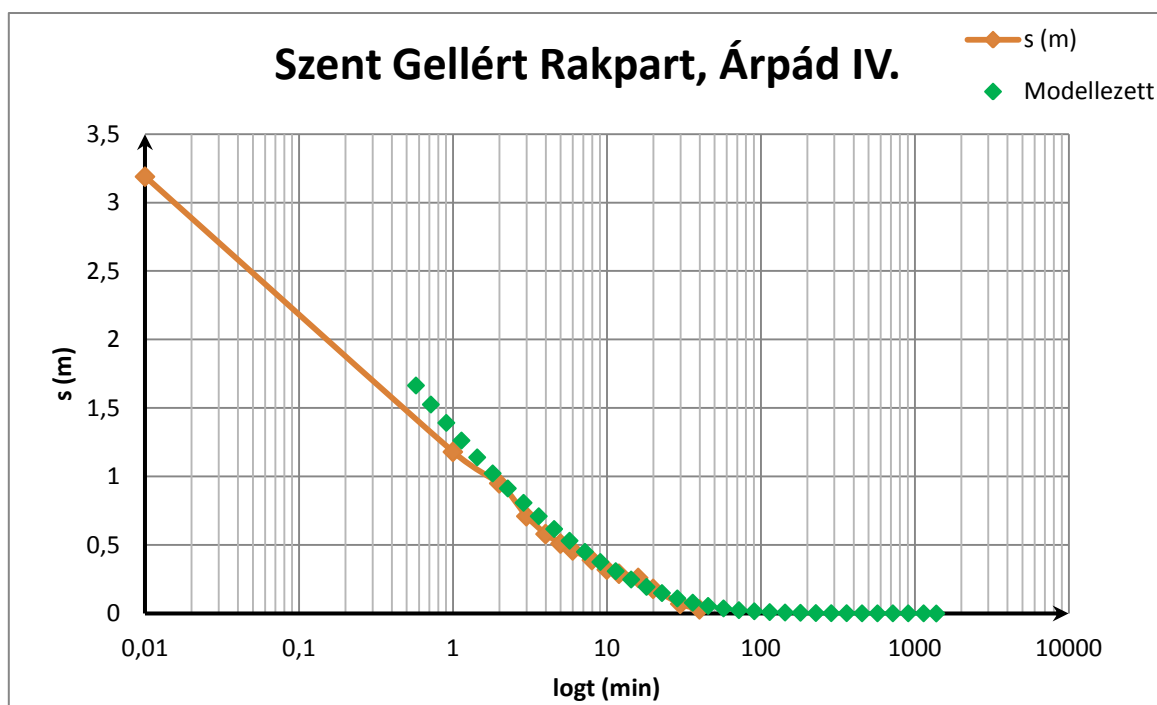
A **6. táblázatban** összefoglaltam a modell bemenő paramétereit, valamint megjelenítettem a szivattyúpróba során kiszámolt archív transzmisszivitás értéket. A fajlagos

tározás értékét a triász rétegekre minden esetben a Paskál egymásrahatás vizsgálat kiértékeléséből becsültem (**ld: 6.2. fejezet**). A modellezett és a mért visszatöltődés értékeket ugyanazon a grafikonon (**22. ábra**) ábrázoltam. Szembetűnő, hogy az alsó és felső modellréteg horizontális vízvezető-képessége is viszonylag alacsony ( $10^{-5}$  m/s nagyságrend), a vertikális magas értékűnek ( $10^{-2}$  m/s nagyságrend) adódott. Ezt azzal magyarázhatjuk véleményem szerint, hogy a triász dolomit vertikális repedésein könnyebben átáramlik a víz, erre merőleges irányban azonban korlátozott a permeabilitás (pl. kevesebb a repedés, és/vagy azoknak más a vezetőképessége). A visszatöltődési próbából számolt archív T adattal ezeket nehéz összevetni. A publikált K tényező nincs alátámasztva számításokkal, így csak a transzmisszivitás adat vehető figyelembe. Ha a szűrőzött réteg modellezett vertikális vezetőképességét ( $K_v=1,20 \cdot 10^{-02}$  m/s) beszorozzuk a vízáadó réteg vastagságával (23,4 m), akkor az adott réteg transzmisszivitás értékét kapjuk ( $2,9 \cdot 10^{-01}$  m<sup>2</sup>/s). Ez két nagyságrenddel magasabb, mint az archív adat. Megjegyzendő, hogy nyitott víztartókra nem lehetne definiálni a transzmisszivitást (a telített zóna vastagsága változik a szivattyúzás alatt), azonban szakma ennek ellenére gyakran ezt számolja ki, így az archív adattal való összehasonlítás érdekében muszáj volt ezt használnunk.

Ezekkel a paraméterekkel lefuttatott modell, jó egyezést mutat a mért értékekkel is, visszatöltődés kezdetén van csak számottevőbb eltérés. Az első percből azért nincs több modellezett érték, mert a program ezt a legkisebb időt tudja csak kezelni. A dolgozathoz mellékletében (**2. melléklet**) szerepelnek a mért és a modellezett leszívás értékek is.

| Nyitott, kétrétegű modell, felső réteg szűrőzve |          | paraméterek | Felső vízáadó | Alsó vízáadó |
|-------------------------------------------------|----------|-------------|---------------|--------------|
| Termelés (l/s)                                  | 3,07     | d (m)       | 23,5          | 1000,0       |
| szivattyúzás időtartam (nap)                    | 0,04     | $K_h$ (m/s) | 2,60E-05      | 2,80E-05     |
| visszatöltődés időtartam (nap)                  | 1,00     | $K_v$ (m/s) | 1,20E-02      | 3,40E-02     |
| szűrő átmérő (inch)                             | 6,3      | S           |               | 5,00E-04     |
| Archív T (m <sup>2</sup> /s)                    | 1,08E-03 | $S_y$       | 0,10          |              |

6. táblázat: Az Árpád IV. kút modell bemenő paraméterei

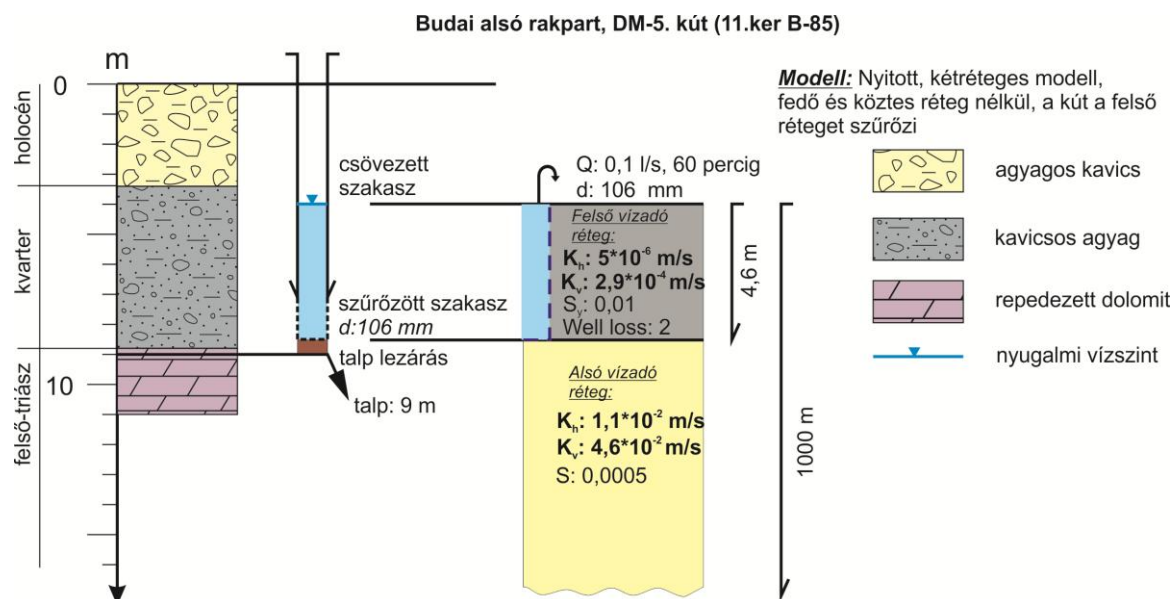


22. ábra: Az Árpád IV. kút mért és modellezett visszatöltődése

### 5.2.2 Budai alsó rakpart, DM-5. kút

Ez a sekély kút (9 m mélységű), csak közvetve kapja a vizét a felső-triász víztartóból. Ugyanakkor hőmérséklete alapján (29,2 °C kifolyó víz) egyértelműen kapcsolatban van a felső-triász vízadóval. A kút szűrőjét a dolomitra települő agyagos kavicsba helyezték. A rétegsort és a hidraulikai helyzetet figyelembe véve itt egy olyan nyitott rendszerről van szó, ahol a fedő szűrőzött és az alsó vízadó hidraulikai kapcsolatban vannak és a vízszint a fedő rétegben található (23. ábra). A szivattyúzás viszonylag kis hozama ellenére a visszatöltődés egyenletes, amelyet azzal magyarázhatunk, hogy az agyagos rétegek lassítják a víz beáramlását a kútba.

A terepi rétegsorból levezetett modellben a felső (3,5 m vastag) réteg itt is elhagyható, az korábbiakban említett okok alapján (nyugalmi vízszint -3,92 m). Két elméleti modell réteg különíthető el, a szűrőzött felső (4,6 m vastag) vízadó réteg (kavicsos agyag), és az alatta elhelyezkedő 1000m vastagsággal figyelembe vett felső-triász dolomit. A kútszűrő permeabilitás csökkentő hatását a közvetlen környezetében 2-es értékű vízszál szakadás értékkel becsültem.



**23. ábra: A Budai alsó rakpart, DM-5. kút rétegsora és a modell rétegek**

A 7. táblázatban láthatóak a modell paraméterei. A felső szűrőzött rétegben az effektív porozitás értéke ( $S_y$ ) alacsony, amit az agyagos mártix indokol. Itt is megfigyelhető a hidraulikus vezetőképességben anizotrópia, a vertikális érték 2 nagyságrenddel nagyobb. A felső vízáadó  $K_h$  és  $K_v$  értékei 4 ill. 2 nagyságrenddel kisebbek mint az alsó vízáadó dolomitjának ugyanezen paraméterei.

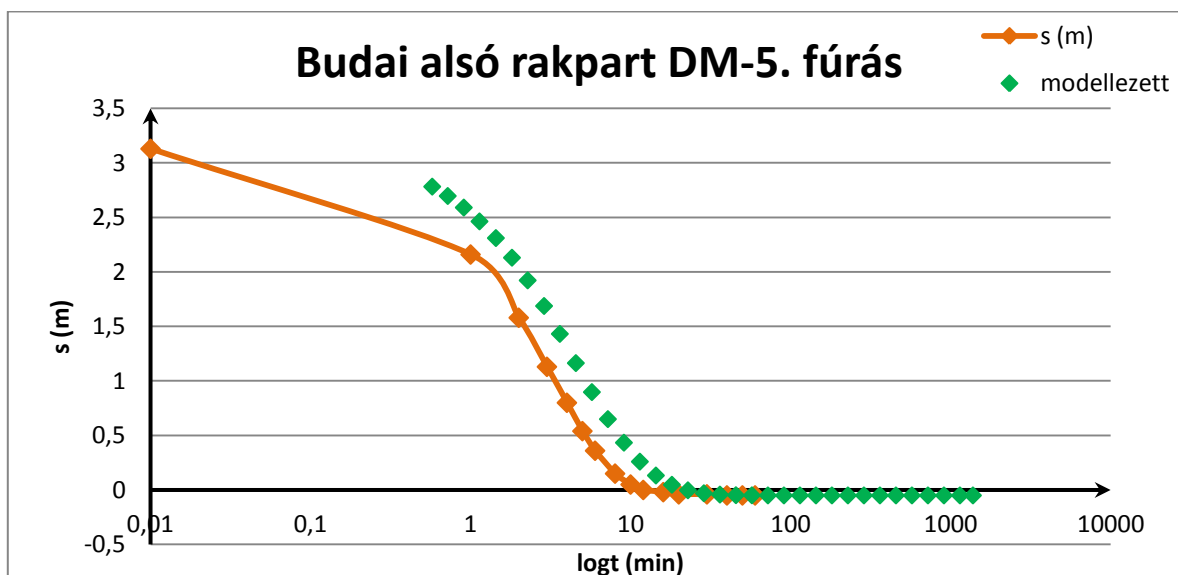
| Nyitott, kétrétegű modell, felső réteg szűrőzve |          | paraméterek | Felső vízáadó | Alsó vízáadó |
|-------------------------------------------------|----------|-------------|---------------|--------------|
| Termelés (l/s)                                  | 0,10     | d (m)       | 4,6           | 1000,0       |
| szivattyúzás időtartam (nap)                    | 0,04     | $K_h$ (m/s) | 5,00E-06      | 1,10E-02     |
| visszatöltődés időtartam (nap)                  | 1,00     | $K_v$ (m/s) | 2,80E-04      | 4,60E-02     |
| szűrő átmérő (inch)                             | 4,2      | S           |               | 5,00E-04     |
| Archív T ( $\text{m}^2/\text{s}$ )              | 6,89E-04 | $S_y$       | 0,01          |              |

**7. táblázat: A Budai alsó rakpart, DM-5. kút modell bemenő paraméterei**

Az archív adattal való összevetéshez, előbb a korábbi modellnél tárgyalt módszerrel kiszámoltam a szűrőzött réteg transzmisszivitását ( $1,29 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ ), ami egy nagyságrenddel nagyobb, mint az archív érték.

Az eredeti nyugalmi vízszinttel összevetve a kút vízszintje magasabbra emelkedik visszatöltődés után 0,05 m-el (ami a leszívás számításban negatív értékeket okoz). Ezt a modell nem tudja kezelni, csak 0 vagy attól nagyobb értékű leszívást tud megjeleníteni. A probléma kezelése érdekében az adatsor összes leszívás értékéhez hozzáadtam 0,05 m-t, így az összes érték nagyobb vagy egyenlő lett, mint nulla. A modell futtatását követően az előbbi transzformáció inverzét hajtottam végre a modell alapján számított leszívás értékeken, így a modellezett leszívás értékek az eredeti adatsorral is összevethetők. A kapott értékek a 24. ábraán láthatóak. A paraméterek ésszerű változtatásával, csak megközelítő egyezést

sikerült elérni. A mért és modellezett visszatöltődés görbe lefutása hasonló, ugyanakkor a modellben a teljes visszatöltődés kb. 10-15 perc késéssel következik be.

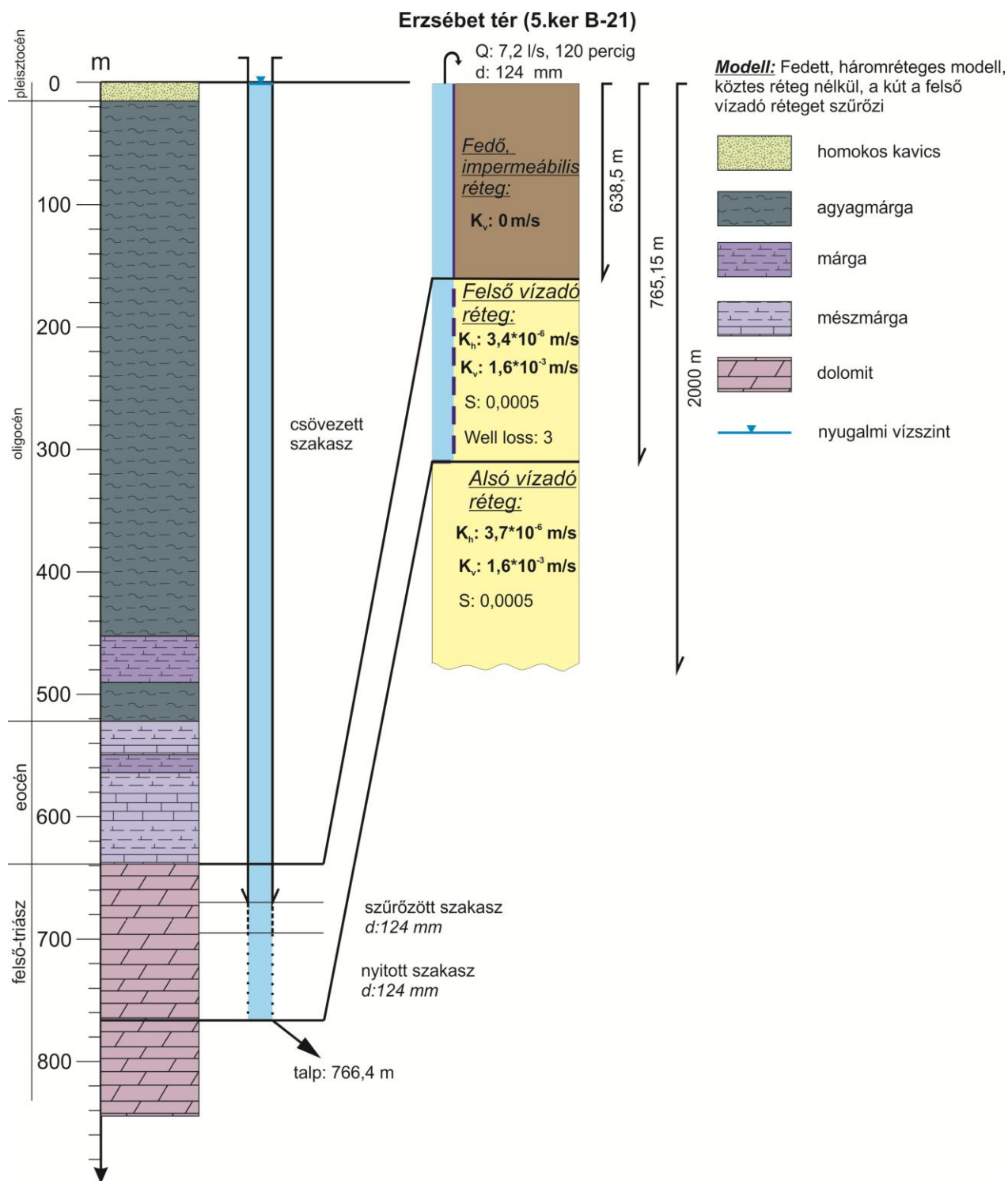


24. ábra: A Budai alsó rakpart, DM-5. kút mért és modellezett visszatöltődése

### 5.2.3 Erzsébet téri kút

Az előző két kúttal ellentétben ez sokkal mélyebb (766,4 m) objektum. A vízadó réteget (felső-triász dolomit) vastag agyagos, márgás rétegsor fedi (25. ábra). A nyugalmi vízszint a víztartó felső szintje fölé emelkedik, mindössze 1,25 m-re van a felszíntől, így fedett, leszorított tükrű víztartóról beszélhetünk. Az elméleti modellt 3 rétegesnek választottam. A rövid szivattyúzás (120 perc) miatt feltételezhető, hogy a fedő rétegekből nincs átszivárgás, így ez impermeabilisként kezelhető. A felső vízadó réteg a kút által harántolt és szűrőzött felső-triász dolomit/repedezett dolomit rétegsor, az alsó pedig ennek a folytatása, feltételezhetően még legalább 1000 m vastagságú dolomit. A kút permeabilitás csökkentésének, azaz a vízszál szakadásnak 3-as faktort adtam.

A modell paraméterek (8. táblázat) a következők: A Fedő réteg, impermeabilisnak tekintett tehát vertikális vezetőképessége nulla. Mindkét vízvezető réteg permeabilitása ugyanabba nagyságrendbe esik. Az anizotrópia itt is indokolt lehet, a rétegsorban erősen repedezett dolomitot említenek, a vertikális vezetőképesség három nagyságrenddel nagyobb, a horizontálisnál.

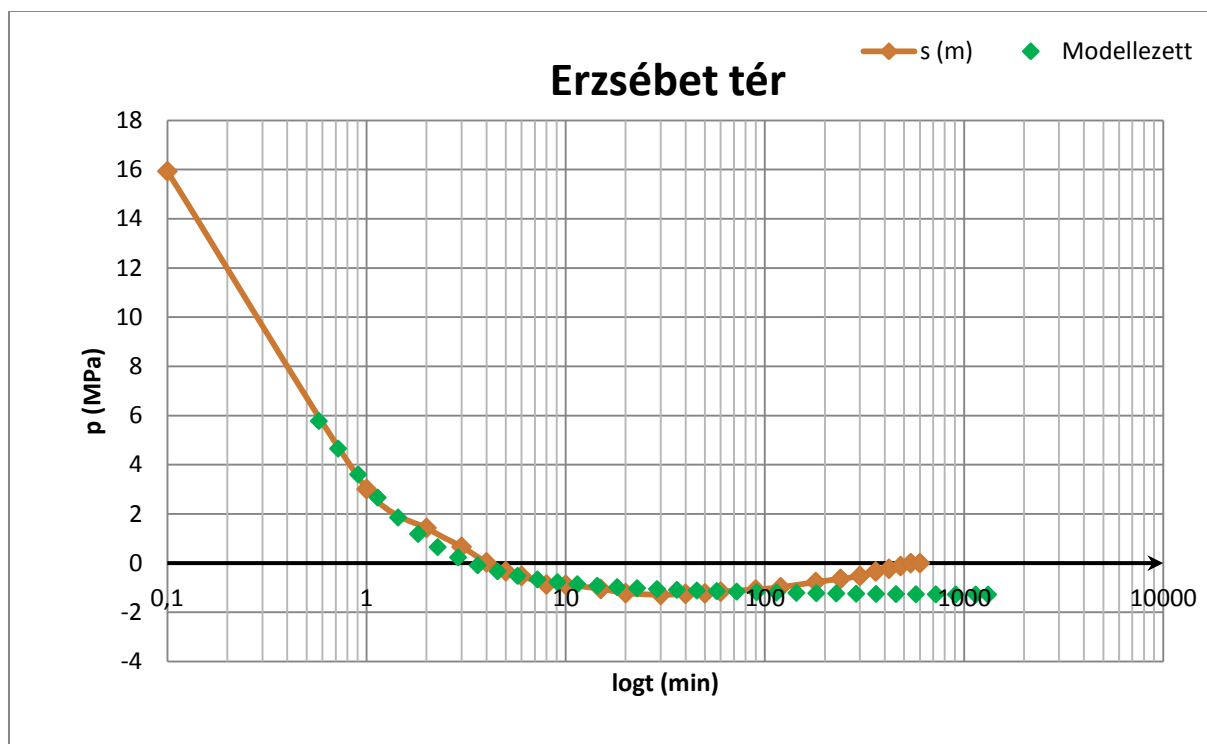


25. ábra: Az Erzsébet téri kút rétegsora és a modell rétegek

| Fedett, háromrétegű modell, felső vízadó réteg szűrőzve |      | paraméterek | Fedőréteg | Felső vízadó | Alsó vízadó |
|---------------------------------------------------------|------|-------------|-----------|--------------|-------------|
| Termelés (l/s)                                          | 7,17 | d (m)       | 638,50    | 765,2        | 2000,0      |
| szivattyúzás időtartam (nap)                            | 0,08 | $K_h$ (m/s) |           | 3,40E-06     | 3,70E-06    |
| visszatöltődés időtartam (nap)                          | 1,00 | $K_v$ (m/s) | 0,00      | 1,60E-03     | 1,60E-03    |
| szűrő átmérő (inch)                                     | 4,9  | S           |           | 5,00E-04     | 5,00E-04    |
| Archív T ( $\text{m}^2/\text{s}$ )                      | n.a. | Sy          |           |              |             |

8. táblázat: Az Erzsébet téri kút modell bemenő paraméterei

A modellezés előtt az adatsor itt is korrekciót igényelt. A visszatöltődés során a vízszint 30 percig emelkedik, ekkor 1,29 m-el meghaladja a későbbi nyugalmi vízszintet, majd 530 perc múlva beáll az egyensúly. A vízszint csökkenését kigázosodás és/vagy a víz hőmérsékletének a csökkenése okozhatja, de a lényegi visszatöltődés már 30 perc alatt lezajlik. A későbbi folyamatok a vízszlop egyensúlyba jutását eredményezik. Mivel a program ilyen hatásokkal nem tud számolni, ezért a modellt a vízszint emelkedéséig illesztettem, ami ebben az esetben is a megfigyelt értékek eltolását tette szükségessé. Ehhez a már fentebb leírt módszert alkalmaztam. Az eltolást követően kapott modellezett és a mért értékek **26. ábra** láthatóak.



**26. ábra: Az Erzsébet téri kút mért és modellezett visszatöltődése**

Archív adatokkal itt nem volt lehetőségünk összevetni a modellezett hidraulikus vezetőképesség paramétereit, de véleményem szerint a fenti modell paraméterek elképzelhetőek a felső-triász dolomit kőzetre.

#### **5.2.4 A numerikus modell alkalmazhatósága kettős porozitású rendszerben**

A 3 kiválasztott kút modellezett idősorai alapján elmondható, hogy a Visual Two Zone numerikus modell alkalmazható kettős porozitású rendszer lokális hidraulikus paramétereinek a becslésére, igaz csak bizonyos feltételek mellett.

Azt mindenképpen elmondhatjuk, hogy ezzel a becslési eljárással jobb közelítést kapunk, mintha a kiértékelést Cooper-Jacob vagy akár Theis analitikus kiértékeléssel

végeznénk el. Hiszen a modellben a víztartó számos olyan tulajdonságát figyelembe tudjuk venni, amelyet ezek a módszerek egyáltalán nem értelmeznek. Elsődleges előnye, hogy figyelembe tudjuk venni az adott hidrogeológiai helyzetet (nyitott/fedett víztartó) és a rétegsor alapján mi definiálhatjuk a modellstruktúrát. Továbbá a szoftver kezeli a vízáradó képződmény anizotrópiáját, (a heterogenitás is bizonyos mértékben figyelembe vehető, bár ezt nem használtuk), a rétegekből történő átszivárgást, a tározásból felszabaduló vízmennyiséget, a víz-szál szakadást stb.

A modellből kapott paraméterek hidraulikus vezetőképesség és fajlagos tározás értékek szemben a Cooper-Jacob módszerrel kapható transzmisszivitás és tározás értékekkel. Ennek az előnye, hogy bármilyen további modellezéshez a bemenő paramétereket az előbbi formában kell megadni.

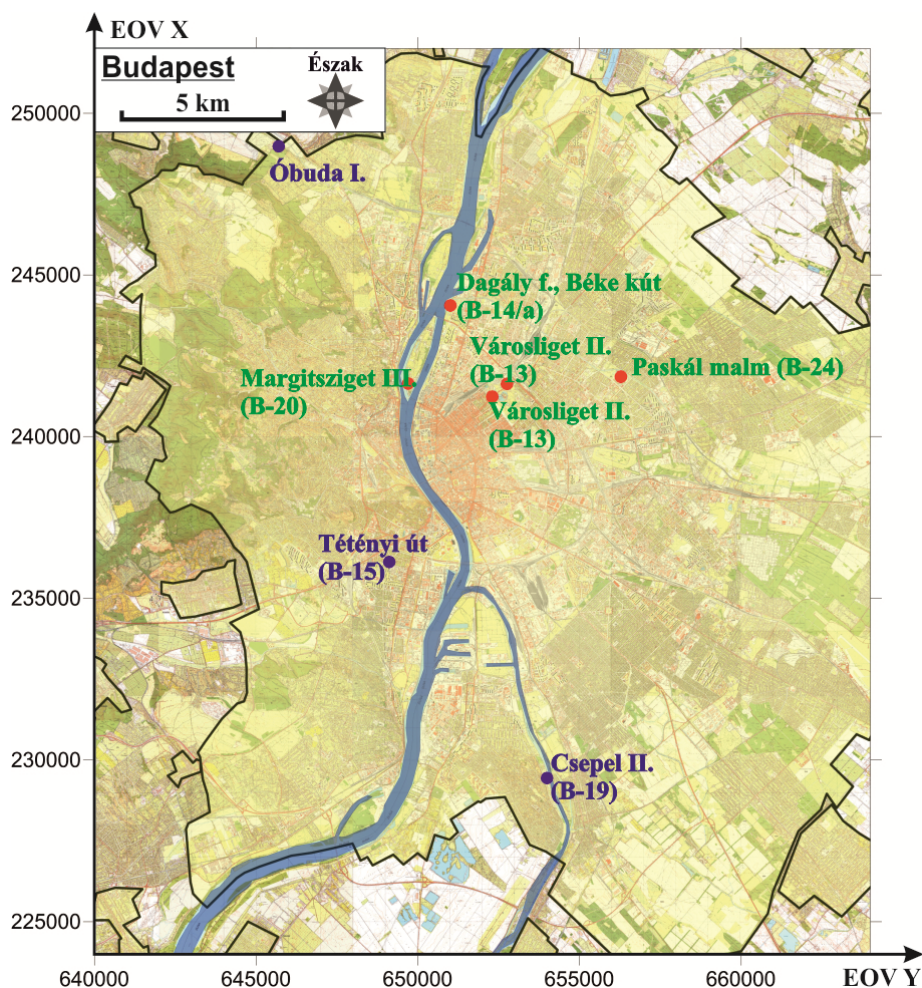
A DM-5 kút példája azonban jól mutatja, hogy a modellnek vannak korlátai, a repedezettséget nem tudjuk figyelembe venni megfelelő módon, ez magyarázhatja a modellezett és a mért görbe közötti eltérést. A repedezettség hatása azonban megjelenik, tulajdonképpen a szoftver anizotrópiára „fordítja le” a repedezettséget.

Távolabbi terveink között szerepel további adatsorok felkutatása, a maradék 3 használható adatsorra a modellezés elvégzése és egy fejlettebb több réteget is kezelő numerikus modell tesztelése (SZÉKELY, 2006).

## 6 PASKÁL-MALMI EGYMÁSRAHATÁS VIZSGÁLAT ANALITIKUS FELÜLVIZSGÁLATA – REGIONÁLIS LÉPTÉK

### 6.1 Az 1966-os összefüggésvizsgálat körülményei, főbb eredmények

A Paskál fürdő termálkútjának a létesítésével, és ezzel párhuzamosan az 1965-ben kiépített mérőhálózattal – melyet üzemelő termálkutakban építettek ki – lehetővé vált a Budai sekély és a Pesti mélykarszt közötti kapcsolat felderítése (KESSLER, 1965). A megfigyelő kutak területi eloszlása az alábbi térképen látható (27. ábra), ezekből négy a Pesti (Városliget I., Városliget II., Dagályfürdő, Margitsziget II.), három a budai oldalon (Szent Imre Kórház Tétényi úti kútja, Csepel II, Óbudai I.) található. Ezek mind termálkutak, az Óbudai I. karsztvízszint megfigyelő kút kivételével. A kutakban, ahol lehetőség volt rá közvetlenül a vízszintet (Óbudai I, Tétényi út), ahol nem ott higanyos manométerrel a víznyomás változását mérték, melyet aztán normál légnyomásra átszámítva vízszint egyenértékre konvertáltak át. Így a különböző kutak mérései összehasonlíthatókká váltak (BÖCKER, 1966).



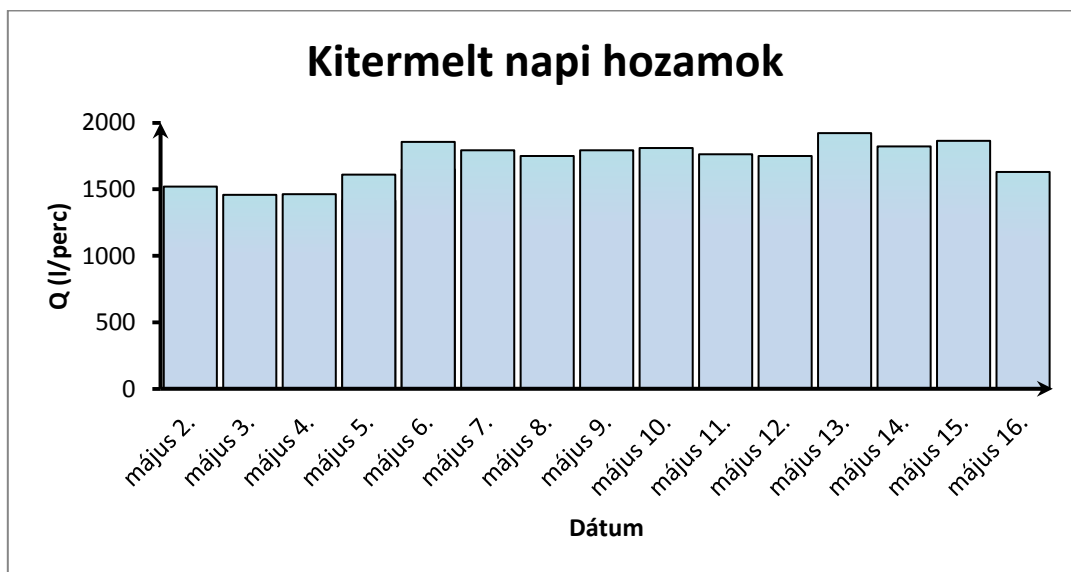
27. ábra: Az 1965-ben kiépített kútmérő-hálózat területi eloszlása  
(Forrás: Budapest EOY térkép)

Az 1966 májusában kompresszorozást végeztek a Paskál malmi kúton, melynek hatását a többi vizsgálatba vont kútra, elemezték (BÖCKER 1966). Az összefüggésvizsgálat előkészítéseként, január 1-től a megfigyelő hálózat kútjaiban folyamatosan mérték a vízszinteket/nyomást többé-kevésbé napi rendszerességgel. Így elegendően hosszú adatsor állt a vizsgálatot végzők rendelkezésére, hogy a kompresszorozást megtervezzék, annak hatásait kiértékeljék. A Paskál kutat, amely szabad kifolyással üzemelt – a pontosabb vizsgálat érdekében – március 9-én lezárták. A kompresszorozás május 2-án 19:30-kor kezdődött és május 16-án 14:00-kor fejeződött be. A megfigyelő kutak mérésidőközeire pontos tervet készítettek, amely az alábbi táblázatban **(9. táblázat)** látható. (BÖCKER, 1966)

| Mérési program          |            |                      |            |
|-------------------------|------------|----------------------|------------|
| Szivattyúzás kezdetétől |            | Szivattyúzás végétől |            |
| Eltelt idő (óra)        | Mérés      | Eltelt idő (óra)     | Mérés      |
| 0-12                    | óránként   | 0-9                  | óránként   |
| 12-24                   | 2 óránként | 9-27                 | 2 óránként |
| 24-48                   | 4óránként  | 27-51                | 4 óránként |
| 48-72                   | 6 óránként | 51-75                | 6 óránként |
| 72-                     | napi 2x    | 75-243               | napi 2x    |

**9. táblázat: Mérési program a mintavételi időközökre (BÖCKER, 1966 alapján)**

Ettől a programtól azonban jelentősen eltértek a munka kivitelezése során. Csak a Városliget I., II., Margitsziget III., és a Dagály utcai béke kút mérésénél tartották be ezt az ütemezést. A másik három kútban ennél jóval kevesebb mérést végeztek, napi háromszor, vagy csak egyszer. A kompresszorozás alatt a Paskál kútban a nyomásváltozást nem mérték, csak a termelési hozamot. Azonban a termelési hozamot illetően is csak napi átlagok szerepelnek a jelentésben **(28. ábra)** (BÖCKER, 1966).



**28. ábra: A szivattyúzás során kitermelt napi hozamok (BÖCKER, 1966 alapján)**

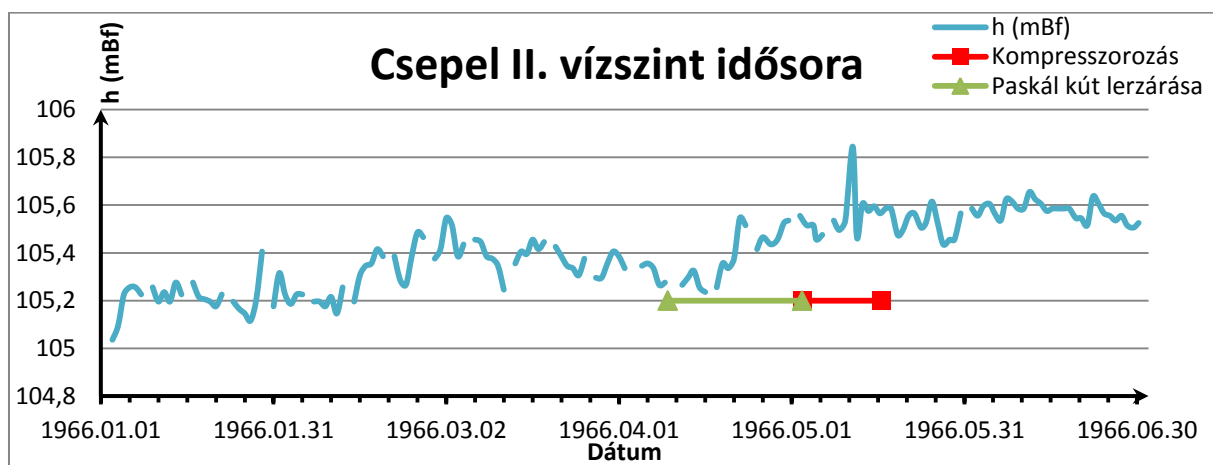
A termelési idő alatt kétszer is növelték a hozamot, ami miatt egyszer le is állították a termelést néhány órára (ez tulajdonképpen az egzakt analitikus kiértékelést ellehetetleníti). Az így elért maximális hozam 2000 l/perc volt. Az egész időre ez átlagosan 1700 l/perc vízhozamot jelent (BÖCKER, 1966).

A vizsgálat kiértékelése után arra a következtetésre jutottak, hogy a hatás követhető a Városliget I., II., Dagály és Margitsziget III. kutakban, ezt a termelési hozam változásai és a vízszintek fluktuációjának párhuzamosításával határozták meg (BÖCKER, 1966). Az adatsorokból nem kíséreltek meg azonban hidraulikai paramétereket kiszámolni. Így munkám fő célja az volt, hogy a vízszintváltozásokból hidraulikai paramétereket határozzak meg becslést adva a rendszer regionális léptékű hidraulikai paramétereire.

### 6.1.1 Adatsorok használhatósága, problémák

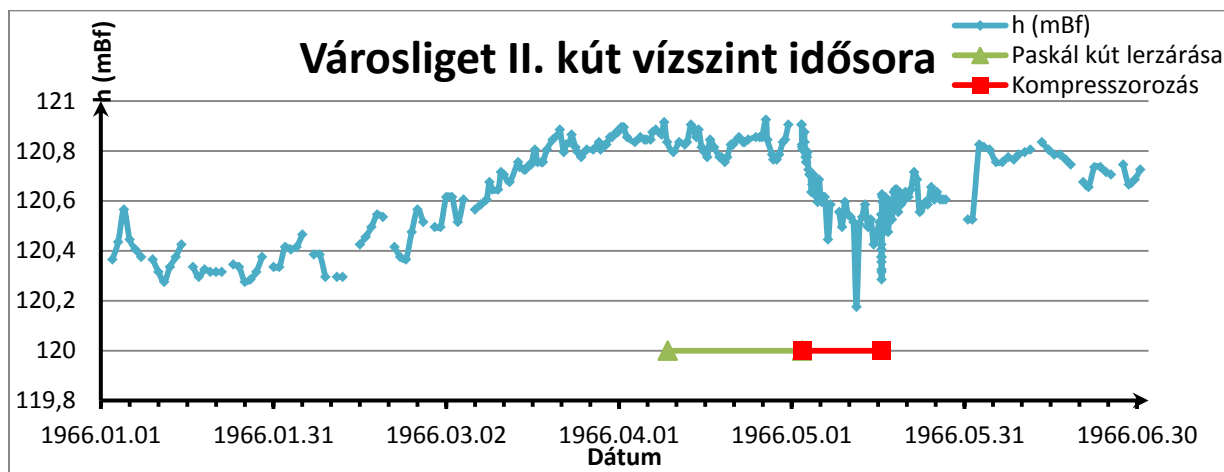
A kiértékeléshez az adatsor nem ideális, a mérés körülmények több szempontból sem voltak ehhez megfelelők. Ennek ellenére Budapest területéről azóta is ez az egyetlen ilyen hosszú idejű (14 napos) szivattyú teszt. Tehát a paraméterekre vonatkozóan csak ebből tudtam dolgozni.

Digitalizáltam az adatsorokat, majd elkészítettem a megfigyelő kutakra a vízszint idősorokat. Ahogy a jelentésből is kiderült, a távolabbi kutakban (Óbuda I., Csepel II., Tétényi út) nem volt észlelhető a vízszint csökkenés (BÖCKER, 1966). Megjegyzendő, hogy az Óbudai karsztfigyelő kút vízszintje folyamatosan csökkent már a szivattyúzás megkezdése előtt is. Ez a kút hideg vizes kút lévén, nincs közvetlen kapcsolatban a termálkarszttal. Szintén a mérési körülmények problematikuságát jelzi, hogy a megfigyelő kutakból csak ritkán, maximum naponta háromszor történtek mérések. Így nem jelenthető ki biztosan, hogy a termelésnek nem volt hatása ezekre, de értelmezésük emiatt nem lehetséges (29. ábra).

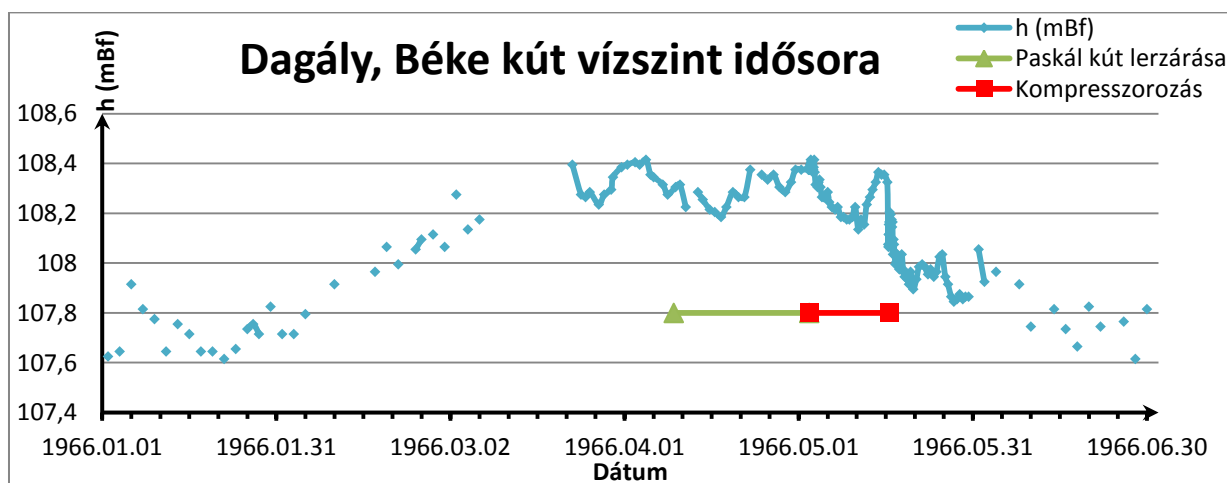


29. ábra: A Csepel II. kút vízszint idősora a vizsgált időszakra

A további négy megfigyelő kútban, mindenhol látható a Paskál kút szivattyúzásának hatása. Ezek közül most csak két jellemzőt emelnék ki, **(30. ábra, 31. ábra)** a többi **3. mellékletben** megtalálható. A grafikonokon zöld vonal jelzi a Paskál kút lezárását, a piros pedig a termelés időtartamát. A Városliget II. és a Dagály Béke kút idősorán látszik, hogy a termelés ideje alatt a monoton csökkenő vízszint idősorra, kisebb hullámhosszú ingadozások szuperponálódnak. Ez akár adódhat a megfigyelőkútként használt objektumok szivattyúzásából (erre sajnos konkrét információink nincsenek). Ugyanakkor jelezheti egy másik termálkút működését a körzetben, de Paskál kút szivattyúzás ütemének a változása is előidézhette hasonló ingadozást. A rendelkezésre álló információk alapján ez nem dönthető el. Az adatsorokból kiszűrni sem tudtuk ezt a hatást a jelentős adathiány miatt. Így a kiértékelésnél ezek problémát jelentettek.



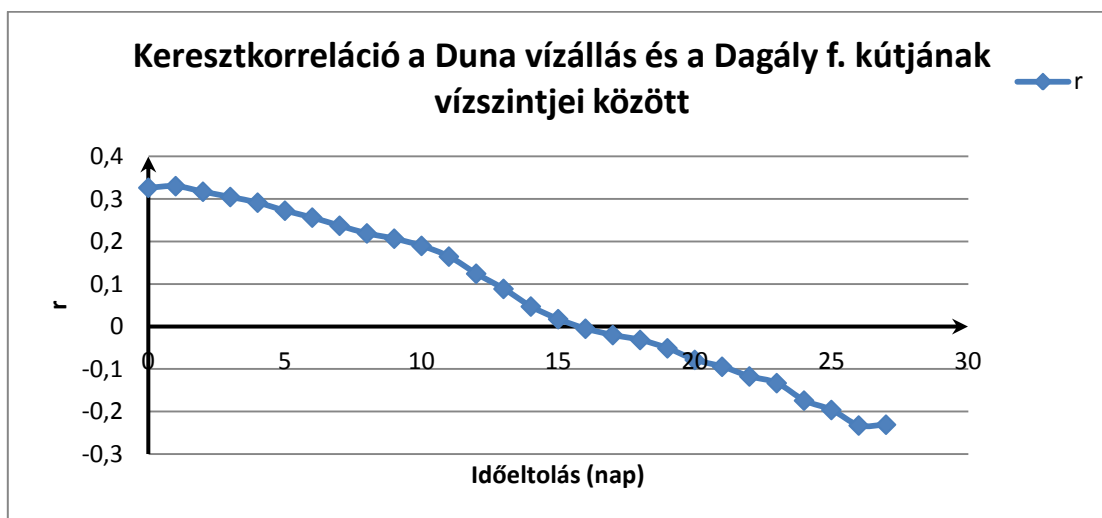
30. ábra: Városliget II. kút vízszint idősora



31. ábra: Dagály, Béke kút vízszint idősora

A Városliget II. kútban mutatható ki legjobban a Paskál malmi kút termelésének hatása. Ebben a felbontásban is látszik **(30. ábra)**, hogy a hatás szinte azonnali, és miután a szivattyúzás megszűnik, a vízszint újra elkezd emelkedni.

A Dagály Béke kútja esetében nem ilyen egyértelmű a reakció **(31. ábra)**. A vízszintcsökkenés a termeléssel párhuzamosan indul meg, és egy rövid, intenzív visszatöltődési szakaszt leszámítva, a vízszintcsökkenés tovább folytatódik. A Dagály termálkút viszonylag sekély mélysége (126m) és a Duna közelsége miatt elképzelhető, hogy a folyó vízszintje befolyásolja a kútban a nyomásszinteket, ezt BÖCKER (1966) is megemlíti a tanulmányban. Ezért a Központi Hidrológiai Adattár archívumából letölthető 1966-os Duna vízszint idősor és a kút vízszintidősora között keresztkorrelációt végeztem, amely a következő eredményre vezetett **(32. ábra)**:

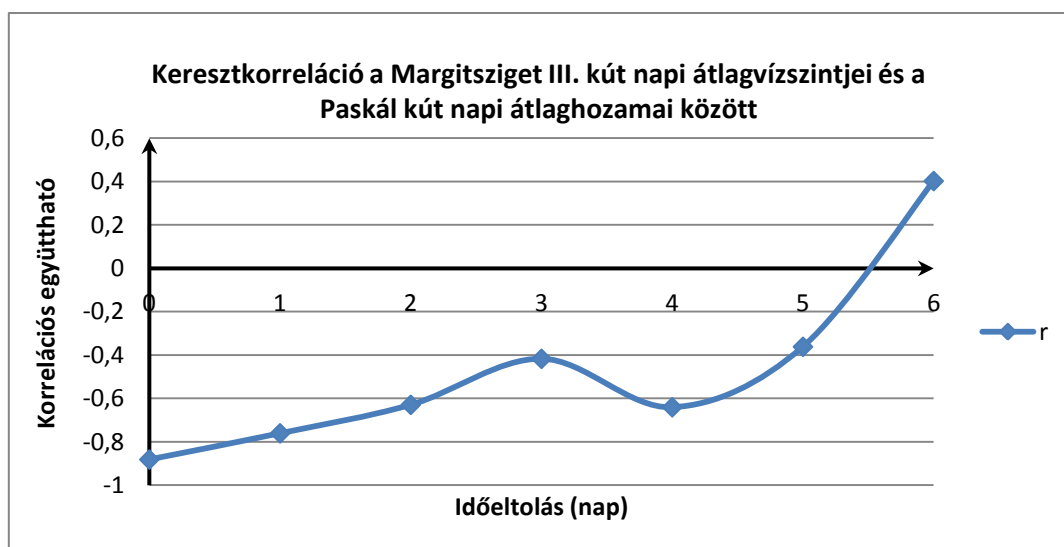


**32. ábra: Keresztkorreláció a Duna vízállás és a Dagály f. kútjának vízszintjei között**

Látható, hogy a korreláció csekély a Duna és a Dagály fürdő vízszintidősora között, az időeltolás függvényében még csökken is, tehát ez a hatás kizárható. Elképzelhető magyarázat lehet a vízszint további csökkenésére, hogy magának a megfigyelt kútnak a termelését megnövelték (egy termálfürdő kútjáról van szó), de ez adatok hiányában nem igazolható.

## 6.2 Az adatsorok analitikus felülvizsgálata, Cooper-Jacob féle egyenes illesztés

Első lépésben szeretnénk volna meghatározni a depresszió időbeli terjedését, hogy így ellenőrizzük a 1966-os eredményeket. Ezt a termelő kút és a megfigyelő kutakban mért paraméterek keresztkorrelációjával, akartuk meghatározni (DR. KOVÁCS JÓZSEF szóbeli közlés). A termelő kútból, azonban a nyomásváltozást egyáltalán nem, a hozamváltozást pedig csak napi felbontásban ismerjük. Így csak a megfigyelőkutakban mért napi átlagvízszint értékeket tudtuk korrelálni a napi átlaghozamokkal. Az átlaghozamok, átlagvízszintekhez képest 1 napos eltolásaival kaptuk az alábbi grafikont **(33. ábra)**:



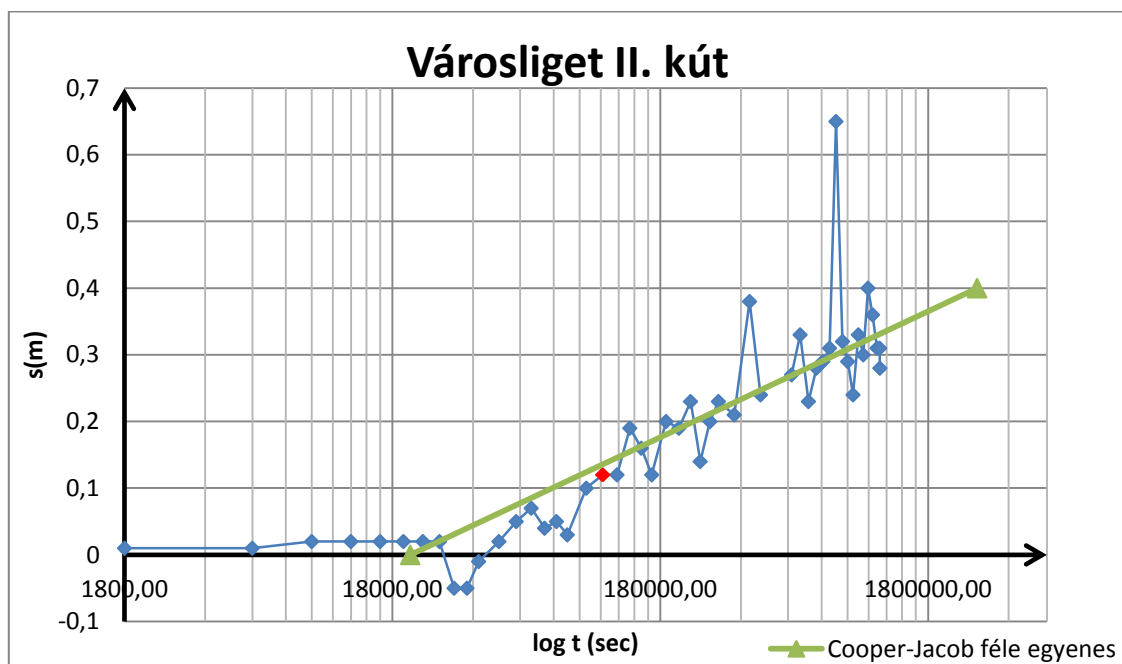
**33. ábra: Keresztkorreláció a Margitsziget III. kút napi átlag vízszintjei és a Paskál kút napi átlaghozamai között**

Ez nem vezetett eredményre, az adatsorok korrelációja eltolás nélkül a legmagasabb, ami alátámasztja azt az elképzelést, hogy változások kisebb léptékűek, – órákban mérhetőek – az átlagolás ezeket azonban eltünteti. Ráadásul a vízszintmérési időközök sem voltak egyenközűek, így még ha meg is lennének részletesebben hozamok, a korreláció a kettő között akkor is problematikus lenne.

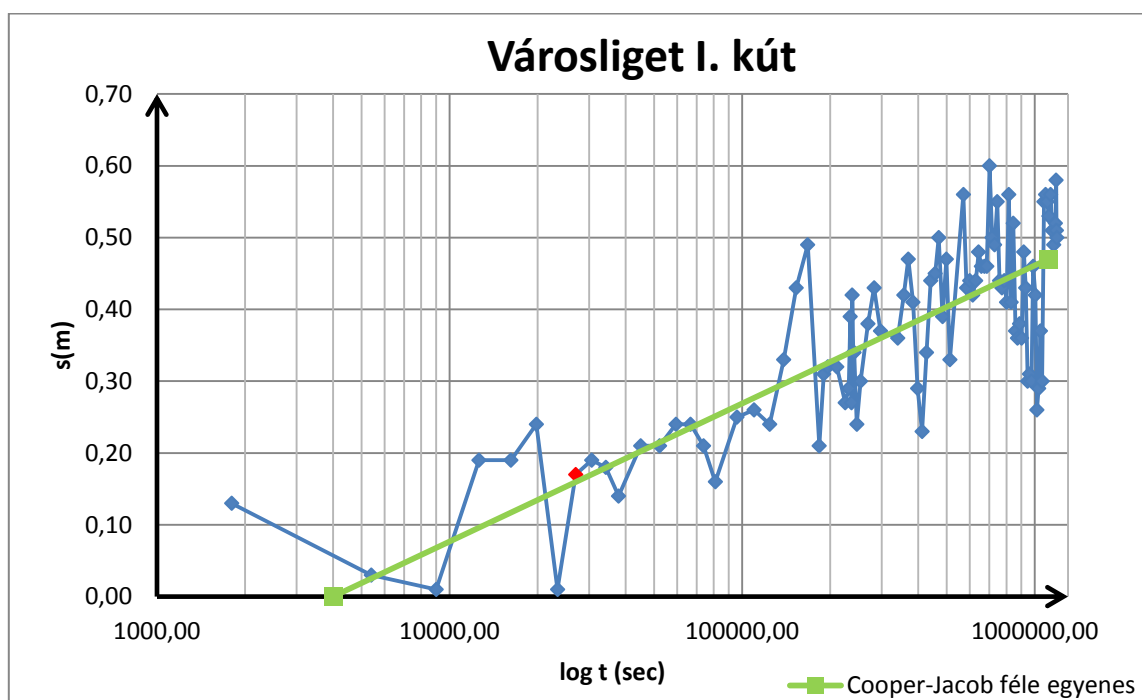
Következő lépésben meghatároztam, a leszívást az egyes kutakra, amelyek adatsorai szerepelnek a dolgozat mellékletében (**4. melléklet**). A görbéket első lépésben - jobb megoldás hiányában - Cooper-Jacob féle klasszikus analitikus módszerrel elemeztem. A módszer feltételei közül teljesül az, hogy fedett a víztartó (helyenként több 100 m agyagos, márgás üledék fedi a vízáadó réteget), elegendően hosszú ideig folyt a szivattyúzás és a hozam is kvázi konstansnak tekinthető. Azonban a víztartó réteg, nem horizontális, szerkezeti vonalak tagolják, helyenként több 100 méteres elvetéssel. A megfigyelő kutak se mindig ugyanarra a közetre szűrőzöttek, a nyugalmi vízszint sem vízszintes a szivattyúzás kezdetén. Ezt a helyzetet tovább rontják még mesterséges zavaró tényezők is, a megfigyelő kutak valószínűsített termelése, távolabbi kutak interferenciája. Mindezek ellenére úgy gondoltuk, hogy a leszívás görbéiben megfigyelhető trendre illesztett egyenessel durva becslést adhatunk a kutak közötti léptékben fellépő transzmisszivitásra (T), tározásra (S), és a leszívások kezdeti időpontjára is.

A távolabbi kutakban (Óbudai I., Csepel II., Tétényi út) nem érzékelhető a szivattyúzás hatása. Ahogyan már utaltam rá, az Óbudai kútban folyamatosan csökkent a vízszint márciustól, így annál ez nem vizsgálható. Ezeknek a kutaknak is megtalálható a leszívás-idő grafikonja **4. mellékletben**. A másik négy kútban megfigyelhető egy növekvő trend a

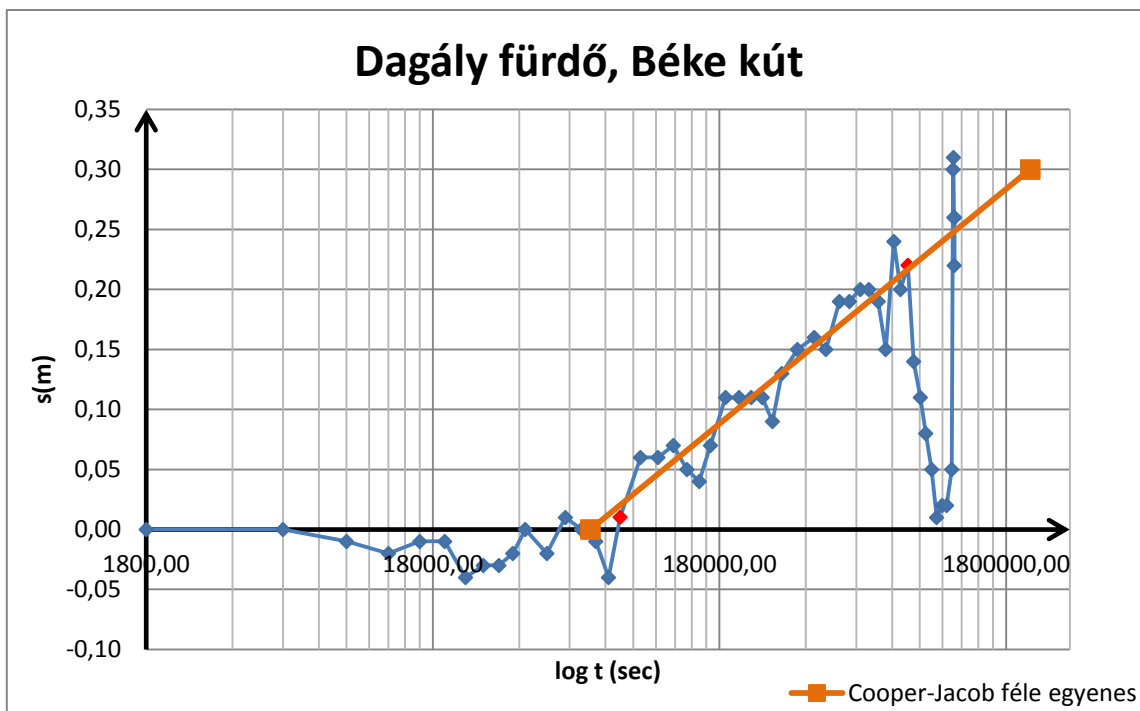
leszívásban a termelés előrehaladásával. A következő grafikonokon ezek láthatók (34. ábra, 35. ábra, 36. ábra, 37. ábra):



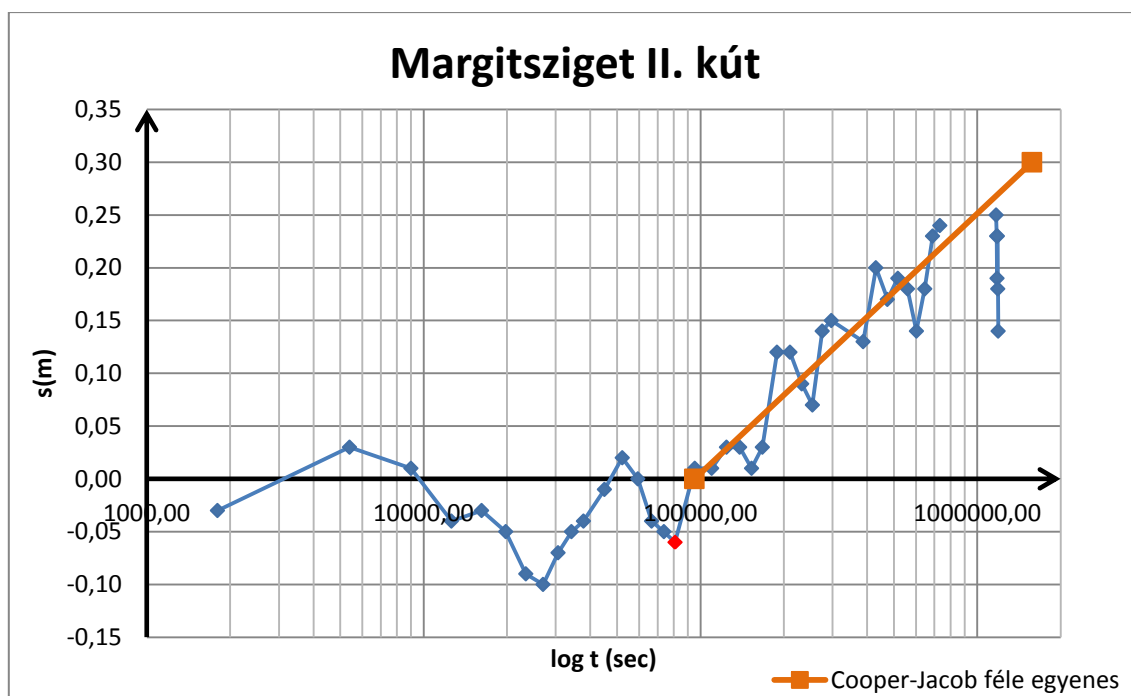
34. ábra: Városliget II. kút, Cooper-Jacob egyenes illesztés



35. ábra: Városliget I. kút, Cooper-Jacob egyenes illesztés



36. ábra: Dagály fürdő, Béke kút, Cooper-Jacob egyenes illesztés



37. ábra: Margitsziget II. kút, Cooper-Jacob egyenes illesztés

Az egyeneseket a kvázi lineárisan emelkedő szakaszokra próbáltam illeszteni, az illesztések kezdetét piros pötty jelzi a grafikonokon. Ahol az egyenes metszi az idő tengelyt, ott kezdődik a leszívás, azaz a depresszió akkor érte el a megfigyelő kútát. Ebben felbontásban sokkal jobban látható, hogy a vízszint esetenként milyen nagymértékben fluktuál, így az illesztés nagy hibával terhelt. A trend egyenes egyenletéből számoltam ki a hidraulikus paramétereket. A részletes számolás megtalálható a mellékelt Excel file-ban (**4. melléklet**). A

Városliget II. kútjára 2 egyenes illesztés is készült, mert az adatsor végén van egy kiugró érték, amely jelentősen befolyásolja a végeredményt. Ez lehet mérési hiba is. Végül a kiugró érték nélküli eredményt fogadtuk el. Az alábbi táblázatban láthatóak a kiszámolt hidraulikus paraméterek (elérési idő ( $t_0$ ), T, S, illetve az illesztett egyenes és a valós adatsor közötti korrelációs együttható is. **(10. táblázat).**

| Kút               | távolság (km) | R <sup>2</sup> | Korreláció | $t_0$ (óra) | T(m <sup>2</sup> /sec) | S        |
|-------------------|---------------|----------------|------------|-------------|------------------------|----------|
| Városliget II.    | 3,54          | 0,6921         | 0,831925   | 5,83        | 2,76E-02               | 1,04E-04 |
| Városliget I.     | 4,03          | 0,5337         | 0,730548   | 1,11        | 2,71E-02               | 1,50E-05 |
| Dagály u, Béke k. | 5,72          | 0,9028         | 0,950158   | 17,73       | 2,66E-02               | 1,17E-04 |
| Margitsziget II.  | 6,59          | 0,8608         | 0,927793   | 26,41       | 2,12E-02               | 1,04E-04 |

**10. táblázat: Cooper-Jacob módszerrel kiszámolt paraméterek**

A korrelációs együttható magas, leszámítva a Városliget I. kútját. Itt a legerősebb a vízszint fluktuáció így az egyenes illesztés is itt a legpontatlanabb. Ez magyarázhatja azt is, hogy az elérési idő kisebb ebben a kútban, mint a termelő kúthoz közelebb lévő Városliget II-es kútban. Ugyanis a meredekség kis változása esetén az elérési idő nagymértékben változik, a logaritmikus skála miatt. Ebből következik, hogy az elérési idők a többi kút esetében is csak tájékoztató jellegűek. Természetesen az sem zárható ki, hogy egy szerkezeti vonal mentén közvetlenebb a kapcsolat a Paskál és a Városliget I. kútja között és ezért ért oda előbb a depresszió.

A transzmisszivitás és a tározás értékei is – egy adat kivételével - ugyanabban a nagyságrendben vannak az összes kútban. Az értékek kellően magasak ahhoz, hogy elfogadhatóak legyenek transzmisszivitás értéknek repedezett karsztos kőzetekre. A transzmisszivitás adatok hátránya, hogy K tényező nem számolható belőle, ugyanis nem tudjuk, hogy milyen vastag víztartót reprezentálnak az értékek. A vizsgálatra készülő numerikus modellbe pedig ezekre lenne szükség.

### 6.3 Numerikus szimulációs felülvizsgálat

Erre az adatsorra is megpróbáltunk felépíteni egy numerikus modellt a Visual Two Zone program segítségével, aminek egyik fő előnye lett volna, hogy a hidraulikus vezetőképesség (K) értékét kaptuk volna meg, transzmisszivitás helyett. A másik pedig, hogy a visszatöltődés vizsgálatokból származó pontszerű információval ellentétben, itt a termálkarszt regionális hidraulikus vezetőképesség értékről kaptunk volna információt a hosszú idejű kompresszorozás (2 hét) és a megfigyelő kutak nagy távolsága miatt (max 6,5 km). Ezt azonban több okból sem tudtuk létrehozni. A problémát a modell szoftver korlátozott

lehetőségei, a földtani felépítés bonyolultsága, valamint az mérésekből hiányzó paraméterek okozzák.

Az adatsorból használható 4 termálkút többé kevésbé egy irányba esik, így kézenfekvő ötlet volt, hogy ezeket egy rendszerben kezeljük (a Dagály fürdő kútja kissé eltér ettől az iránytól) **(27. ábra)**. Elméleti elképzelésünk a következő volt. Ha a termelt kutat és a megfigyelő kutakat egy modellbe építjük és a paramétereket helyesen adjuk meg, akkor az összes idősorra megfelelően fog illeszkedni a modellezett leszívás görbe. Ebben az esetben nagy biztonsággal állíthatnánk, hogy helyes a modellünk. Így kiküszöbölhető az a probléma, hogy a termelt kútban nem mérték a nyomásváltozást, hiszen ha már a négy megfigyelő kút vízszint idősorára megfelelő az illeszkedés, akkor feltételezhetjük, hogy a termelt kútban is. Így kalibrálhattuk volna a modellt.

A terület geológiája, azonban meglehetősen összetett. A termálkutak vagy eocén vagy felső-triász karbonátok tetejére vannak szűrőzve, ami már önmagában problémát jelent. A szűrőközép mélységekből kiderül az is, hogy a termelt kúttól távolodva egyre sekélyebb mélységben van a szűrő. A Városliget II. kútja még megközelítőleg azonos mélységben van a Paskál fürdő kútjával, a Városliget I. már 540 m-el följebb, a másik két kút pedig már viszonylag sekély mélységben **(11. táblázat)**.

| Kút                    | Kat.   | z (mBf) | Távolság r (m) | Talp (m) | Szűrő közép (m) | Szűrő hossz (m) | Szűrő átmérő (mm) | Kőzet                  |
|------------------------|--------|---------|----------------|----------|-----------------|-----------------|-------------------|------------------------|
| Paskál malom           | B-24   | 110,5   | 0,0            | 1402,0   | 1399,0          | 6,0             | 158               | T <sub>3</sub> mészkő  |
| Városliget II.         | B-13   | 108     | 3536,6         | 1246,1   | 1251,6          | 11,0            | 380               | T <sub>3</sub> mészkő  |
| Városliget I.          | B-21   | 106,4   | 4030,7         | 916,5    | 947,6           | 45,7            | na                | T <sub>3</sub> dolomit |
| Dagály fürdő, Béke kút | B-14/a | 100,8   | 5715,1         | 125,9    | 119,7           | 6,7             | 228               | E <sub>3</sub> mészkő  |
| Margitsziget II.       | B-20   | 104,3   | 6587,2         | 301,5    | 306,2           | 9,5             | 120               | E <sub>3</sub> mészkő  |

**11. táblázat: A megfigyelő kutak paraméterei**

Ennek oka szerkezetföldtani viszonyokban keresendő. A területen számos normálvető húzódik, amelyek mentén a főkarsztvíztároló blokkjai lezökkentek, nyugatról kelet felé egyre nagyobb mélységben találhatóak a triász karbonátos kőzetek. A dolgozat mellékletében látható a termelő és a fenti megfigyelő kutak egyszerűsített rétegsora **(5. melléklet)**.

Látható, hogy a vízáadó rétegeket eltérő vastagságú és eltérő vízvezető képességű kőzetek fedik az egyes megfigyelő kutakban. Általánosságban elmondható, hogy ezek agyagos, homokkő anyagú képződmények. E fedő ilyen hosszúidejű szivattyúzás esetén már nem viselkedik impermeábilis réteggént, számolni kell a fönti rétegekből történő átszivárgással. Ez az átszivárgás márgából, agyagból, agyagmárgából különböző mértékű. A

program a vetőket sem tudja kezelni, továbbá csak 2 vízadó és 2 vízfogó réteget lehet maximálisan definiálni, így ésszerű modell sem készíthető a rendelkezésre álló szoftver segítségével. További problémát jelent, hogy a kutak egyéb paraméterei, a szűrőzött szakasz hossza és a szűrő átmérője is különbözik **(11. táblázat)**. A modellben kikötés, hogy a megfigyelő kutaknak ugyanolyan felépítésűnek kell lenniük, mint a termelőkútnak, nem lehet másféle paramétereket (átmérő, szűrőzött réteg stb.) megadni.

A fenti okokon kívül a nyugalmi vízszint sem azonos az egyes megfigyelő kutakban, (a modellben ez is megkövetelt feltétel), illetve a pontos nyugalmi vízszint sok helyen nem is ismert. Továbbá a legnagyobb leszívást nem a termelő kúthoz legközelebbi megfigyelő kútban (Városliget II.), hanem ettől távolabb a Városliget I. kútjában mérték. Ez egy ideálisan rétegzett rendszerben nem képzelhető el, így kimondható, hogy ez a hidraulikai helyzet ezzel a szoftverrel nem modellezhető le. Ezt az anomális leszívást egyébként többféle tényező is okozhatja, vagy egy szerkezeti vonal (pl. vezető vető) mentén közvetlenebb a kapcsolat a termelt és megfigyelt objektumok között. De az is lehet, hogy egy közeli termálkút (mivel összefüggő rendszerről beszélünk) működése növelte meg a leszívást ebben az esetben.

#### **6.4 Következtetések az interferencia vizsgálattal kapcsolatban**

A Paskál kút termelésének hatása csak négy kútban jelentkezett (Városliget I. II., Dagály u., Margitsziget II.). A rendelkezésre álló adatsorok korlátozott használhatósága miatt a hidrodinamikai paraméterekre csak durva becslést sikerült adnom Cooper-Jacob féle egyenesvonal módszerrel A különböző kutakból számítva hasonló nagyságrendű lett ezeknek az értéke ( $T \sim 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ ;  $S \sim 10^{-4} \text{ 1/m}$ ). A módszerrel az elérési időket is sikerült megbecsülni, azonban ennek még kisebb a megbízhatósága, de értéke a termelt kúttól távolodva folyamatosan nő.

Az adatsorok kiértékeléséhez a numerikus modell is megpróbáltuk felhasználni, azonban ez nem alkalmas a Paskál malmi egymásrahatás vizsgálat szimulálására, mivel a rendszer felépítése bonyolult, továbbá adatahiány is nehezíti a szimulációt. A további vizsgálataink során szeretnénk olyan modellező programot találni, amely több réteget, akár szerkezeti vonalak hatását és lehetőleg kettős porozitással rendelkező képződményeket is kezel. A szimulációt a jövőben megkíséreljük elvégezni SZÉKELY (2006), saját fejlesztésű szoftverével.

## 7 KÖVETKEZTETÉSEK

Munkám során összegyűjtöttem a Budapesti termálkutak fellelhető visszatöltődés idősorait. Az adatsorokból kiderült, hogy az esetek többségében a szivattyú tesztet nem végezték elég körültekintően, a Budai Termálkarszt rendszer kettős porozitásból adódó tulajdonságait egyáltalán nem vették figyelembe sem a próbák kivitelezésénél sem a kiértékelésnél.

A legtöbb kútban (Attila II., Juventus, GPR-8, Szent Imre kórház (Tétényi út), Margitsziget III, Városliget I, II, Kvassay Zsilip 1, Közraktár, SzGK-1, Ds-1) pillanatszerű a visszatöltődés, amelyből nem lehet számolni (esetenként ezt mégis megtették). Ez kiküszöbölhető lett volna a legtöbb esetben a szivattyúzási hozam és/vagy a termelési idő növelésével. Ezekről csak annyi mondható el, hogy a hidraulikus vezetőképesség pontszerűen extrém magas, amelyet egy vízvezető vető/ járat jelenléte okozhat, melyet nyilván eltaláltak a kút kivitelezése során.

Másik probléma, hogy több kútból is hiányzik a megfelelő nyugalmi vízszint érték, a naplókban szereplő adat általában a szivattyúzást követő 2-4 óra múlva mért vízszintet jelenti, de olyan is előfordul, így az Aquaworld kút esetén, hogy az egyenletes visszatöltődést mindössze 6 percig mérték és ebből extrapolálták a nyugalmi vízszintet, ami megengedhetetlen. Azokban a kutakban (Apenta, Apenta telep II, Városliget I, II, Margitsziget III, Tétényi út), ahol felszíni és/vagy mélybeli nyomásemelkedést mértek a kiértékelés még nem megoldott, – bár a nyomásemelkedés több kút esetében is pillanatszerű – a probléma megoldása további kutatómunkát igényel a részünkről. Megjegyzendő, hogy a termálkutak vizsgálatánál megbízható eredmény a nyomásmérésektől várható, a vízszintmérések tájékoztató értékűek.

A megfelelően mért és dokumentált adatsorok kiértékelését nehezíti, hogy egyes esetekben a visszatöltődés során a vízszint oszcillál a nyugalmi vízszint körül (SzGK-1, Ds-1), vagy rövid visszatöltődést követően ismét elkezd csökkenni a vízszint (Erzsébet tér, Paskál kút). Utóbbi a víz kigázosodásával és hűlésével magyarázható.

Az összegyűjtött visszatöltődési próbákból a *felső-triász dolomitra* 4 kútból (Árpád IV, DM-5, GPR-10; GT-XIV) származott elfogadható archív transzmisszivitás adat. Ezek transzmisszivitás értéke  $10^{-2}$ - $10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s közötti nagyságrendű. Az *eocén karbonátokra* nem sikerült megfelelő adatsor találni. A próba megismétlése legalább 7 kút esetében (Attila II., GPR-8, Városliget I, Kvassay Zsilip 1, Közraktár, SzGK-1, Ds-1) megfelelő adatsort

eredményezne, mivel ezek termelési hozama és/vagy a termelési időtartama nem volt megfelelő.

A Visual-Two Zone numerikus modellt végül 3 adatsoron teszteltük le, 2 nyitott (Árpád IV, DM-5) és 1 fedett (Erzsébet tér) víztartóra szűrőzött kútra. A modell csak korlátozottan kezeli a kettős porozitást, ezek az értékek a mátrix és a repedések permeabilitás átlagának tekinthetők. A modellezett értékek jól közelítik a mért értékeket, a számítások a felső-triász dolomit vertikális vezetőképességére megfelelően magas ( $10^{-2}$ - $10^{-3}$  m/s) értéket adtak. A horizontális vezetőképesség általában ehhez képest 3 nagyságrenddel kisebb ( $10^{-5}$ - $10^{-6}$  m/s), amelyet a kevésbé fejlett horizontális repedésrendszer okozhat. A kapott értékek pontszerű információt nyújtanak a hidraulikus vezetőképességről. A modell eredményeit akkor fogadhatnánk el maradéktalanul, ha ugyanabból a kútból lenne legalább még egy hasonló visszatöltődés teszt is. Ugyanis ha a felépített modell más termelési hozam mellett mért visszatöltődésre is jó közelítést ad, akkor eredményei elfogadhatóak. További terveink között szerepel a maradék használható adatsor (Gellért XIV., GPR-10, Paskál malom) feldolgozása, illetve más kiértékelő szoftver pl. (SZÉKELY, 2006) fejlesztésű modelljének kipróbálása is.

A Paskál egymásrahatás vizsgálat adataiból Cooper-Jacob egyenes illesztéssel meghatároztam a regionális transzmisszivitás ( $10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s) és tározás ( $10^{-4}$ ) értékeit. A négy használható megfigyelőkútból az értékek kevésbé szóródnak. A módszer alkalmazására a helyzet azonban nem ideális, a kutak különböző mélységűek, felső-eocén vagy felső-triász karbonátokra vannak szűrőzve, köztük számos vető húzódik. Továbbá a kutak időszoriban jelentős a vízszíningadozás a szivattyúzás alatt, amely ezek termeléséből (mindegyik működő termálkút), vagy a szivattyúzás hozamváltozásából adódhat. Ez az ingadozás az egyenes illesztés pontosságát rontja. Összességében elmondható, hogy ebben az esetben ez a kiértékelési mód csak durva becslésre alkalmas. A Visual Two Zone numerikus modellt is megpróbáltuk alkalmazni az adatsor kiértékelésre, de a geológiai felépítés bonyolultsága, a modell korlátozott lehetőségei, és az adatsor korlátai miatt ezt nem tudtuk végrehajtani.

Összességében megállapítható az eddig összegyűjtött adatsorok alapján, hogy azok csak korlátozottan alkalmazhatóak hidraulikus vezetőképesség becslésére. A visszatöltődés adataiból pontszerű, a nagyobb szabású Paskál egymásrahatás vizsgálatból regionális hidraulikus paraméterek becsülhetők. A heterogenitás egy esetben volt meghatározható, a Gellért-hegy előterében található nagyobb mennyiségű kútból legalább kétféle nagyságrendű transzmisszivitás érték volt meghatározható egy  $10^{-3}$ - $10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s nagyságrendű, illetve egy ettől jóval nagyobb, az oldódással tágitott repedésekre jellemző érték, amely számszerűen nem ismert.

## 8 ÖSSZEFOGLALÁS

Munkám során, a tanszéken folyó a Budai Termálkarszt hidraulikai folyamatainak megértését célzó OTKA pályázathoz (NK 101356, Témafelelős: Mádlné Dr. Szőnyi Judit) kapcsolódóan felkutattam és digitalizáltam a vízföldtani naplókban és dokumentációkból elérhető termálkút vizsgálatok adatsorait Budapest területéről. Dolgozatomban arra kerestem a választ, hogy ezek az archív adatsorok: i) alkalmazhatóak-e hidraulikai adatok kinyerésére és amennyiben igen, akkor ii) milyen léptékben (pontoszerűen, formációs szinten); továbbá, hogy iii) a kettős porozitású triász képződmények heterogenitása mennyire írható le ezek alapján.

A feldolgozott adatsorok egyik csoportját a kútlétesítéseknel kötelezően elvégzendő visszatöltődés vagy nyomásemelkedés mérések alkották, melyeket a vízföldtani naplókban dokumentálnak. A kiértékelést azonban nehezíti, hogy a mérések elvégzésénél nem vették figyelembe, hogy a kutak karsztos kőzetekre vannak szűrőzve így a túlságosan rövid és/vagy kis hozamú termelés leállítása után a visszatöltődés szinte pillanatszerű, valamint a mérések ideje is túl rövid volt egyes esetekben. Így ezekből az adatsorokból, többségében a hidraulikai paraméterek közvetlenül nem határozhatóak meg.

Munkám másik részét egy nagyszabású egymásrahatás vizsgálat újra értelmezése képezte, amelyet Paskál fürdő termálkútja létesítése után végeztek 1966-ban (BÖCKER, 1966). Megkíséreltem meghatározni a depresszió időbeli terjedését, valamint az egyes kutak leszívás idősorából a hidraulikus vezetőképesség adatokat. Az adatok áttekintése alapján azonban kiderült, hogy az újraértékelést korlátozza a vizsgálati körülmények nem megfelelő dokumentálása, ill. azok (pl. szivattyúzási hozam) próba során történő változtatása. Mindezek ellenére az adatsorokból Cooper-Jacob féle egyenesvonal illesztéssel sikerült durva becslést adnom a karbonátos felső-triász és felső-eocén képződmények nagyobb léptékű transzmisszivitására és tározására.

A kiértékeléshez a fent említett problémák, és a rendszer bonyolultsága miatt, a klasszikus módszerek mellett - azok korlátozott alkalmazhatósága miatt - numerikus módszereket is alkalmaztam (Visual Two-Zone numerikus szivattyúteszt program; RATHOD & RUSHTON, 1991). Ezzel sikerült három visszatöltődés vizsgálatot jó közelítéssel szimulálnom, amelyből így pontoszerű hidraulikus vezetőképesség és tározás értékekhez jutottunk a felső-triász dolomitra nézve.

Dolgozatom jelentősége tehát abban rejlik, hogy áttekintettem a Budapest területéről rendelkezésre álló termálkutakra vonatkozó kúthidraulikai vizsgálatokat. Számos esetben

azonban a mérés körülmények rögzítésének hiánya tette lehetetlenné a kiértékelést, akkor és az én vizsgálatomban is. Ahol a rendelkezésre álló információk lehetővé tették ott Cooper-Jacob analitikus módszerrel elvégeztem az adatok felülvizsgálatát mind lokális mind regionális léptékben (Paskál egymásrahatás vizsgálat). Végül 3 kút esetében pedig numerikus szimulációval is meghatároztam a hidraulikus paramétereket, amely módszer a korlátain belül kezeli a kettős porozitás kérdését is.

Az archív kúthidraulikai vizsgálatok numerikus értelmezésének értékét jelzi, hogy a próbák megismétlése mai áron gyakorlatilag csak rendkívül magas költséggel lenne elvégezhető. Egyetlen termálkút vizsgálatának elvégzése mélységtől függően 0,5-1,5 millió HUF között változik (GeoLog Kft.), és akkor még nem beszéltünk egy nagyobb szabású egymásrahatás vizsgálat költségeiről.

## 9 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Mindenekelőtt szeretném köszönetemet kifejezni témavezetőmnek, Mádlné Szőnyi Juditnak, aki végig támogatott a dolgozat megírása során. Hálásan köszönöm neki a rengeteg szakmai és gyakorlati tanácsot, a belém vetett bizalmát, valamint biztató szavait, amelyek mindig újabb lendületet adtak nekem a munka folytatásában.

Köszönettel tartozom José Joel Carrillo Rivera professzornak, aki rendelkezésemre bocsájtotta a Visual-Two Zone numerikus szimulációs modellt. Útmutatásával nélkülözhetetlen segítséget nyújtott a modell elméleti hátterének és a program használatának megértésében.

Szeretném köszönetemet kifejezni Erőss Anitának, aki rendelkezésemre bocsájtotta a hévízkatasztert digitális formában, valamint Kovács Józsefnek, aki az adatsorok elemzéséhez adott hasznos tanácsokat. Továbbá szeretném megköszönni Fekete Juditnak és id. Lorberer Árpádnak, akik hozzájárultak a VITUKI-ban történő sikeres adatgyűjtésemhez.

Végül szeretném megköszönni mindazoknak a segítségét, akik hozzájárultak ahhoz, hogy e dolgozat létrejöhessen.

## IRODALOMJEGYZÉK

- ALFÖLDI L., (1981): A budapesti geotermikus áramlási rendszer modellje. – Hidrológiai Közlöny, IX., pp 397-403.
- ALFÖLDI, L., BÉLTEKY, L., BÖCKER, T., HORVÁTH, J., KESSLER, H., KORIM, K., ORAVECZ, J., SZALONTAI, G. (1968): Budapest hévizei – Vízgazdálkodási Tudományos Kutatóintézet, Budapest, 365p.
- ALFÖLDI, L.; CSEPREGI, A.; KAPOLYI, L. (2007): Bányászati Karsztvízszint-süllyesztés a Dunántúli-középhegységben. – Magyar Tudományos Akadémia, Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, 138p.
- BÁLDI, T., BÁLDINÉ BEKE, M., (1986): A Magyar Paleogén Medencék fejlődése. – Őslénytani Viták 33, 95-145.
- BÖCKER, T., (1996): A Pascal-malmi termálkút folyamatos kompresszorozása és annak hatása a budapesti termálkutakra, VITUKI Témabeszámoló Kézirat
- COOPER, H., H., C., E., JACOB, (1946): A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history, Am. Geophys. Union Trans., vol. 27, pp. 526-534.
- CSÁSZÁR, G., (1997): Magyarország Litosztratigráfiai alapegységei: táblázatok és rövid leírások, Magyar Állami Földtani intézet, Budapest. 114.
- ERHARDT I., (2012): A Rózsadomb és tágabb környezetének hidraulikai feldolgozása - Diplomamunka - ELTE, Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék
- ERŐSS A., (2010): Characterization of fluids and evaluation of their effects on karst development at the Rózsadomb and Gellért Hill, Buda Thermal Karst, Hungary - Doktori disszertáció, ELTE, 171p.
- ERŐSS, A., MÁDL-SZŐNYI, J., CSOMA, É.A. (2008): Discharge Features of the Buda Thermal Karst System In: GOLDSCHIEDER N., MÁDL-SZŐNYI J., ERŐSS A., SCHILL E., 2010: Review: Thermal water resources in carbonate rock aquifers. Hydrogeology Journal, 18: 1303-1318
- ERŐSS A., MÁDL-SZŐNYI J., CSOMA É.A., (2010): The effects of mixed hydrothermal and meteoric fluids on karst reservoir development, Buda Thermal Karst, Hungary – EMR Final report. SIEP Report
- FODOR L., MAGYARI Á., FOGARASI A., PALOTÁS K., (1994): Tercier szerkezetfejlődés és késő paleogén üledékképződés a Budai-hegységben. A Budai-vonal új értelmezése – Földtani Közlöny, 124/2, pp 19-305.

- FREEZE, R., A., CHERRY, J., A., (1979): Groundwater, Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, NJ, pp. 604.
- HAAS J., KOVÁCS S., KRYSTYN L., LEIN R., (1995): Significance of Late Permian – Triassic facies zones in terrain reconstruction in the Alpine-North Pannonian domain. – *Tectonophysics* 242:19-40
- HAAS J., KÖRÖS L., TÖRÖK Á., DOSZTÁLY L., GÓCZÁN F., HÁMOR-VIDÓ M., ORAVECZNÉ SCHEFFER A. ÉS TARDI-FILÁCS E., (2000): Felső-triász medence- és lejtőfáciesek a Budaihegységben – a Vérhalom térsíri fúrás vizsgálatának tükrében. – *Földtani Közlemény* 130/3, 371-421.
- HANTUSH, M.S., C.E., JACOB, (1955): Non-steady radial flow in an infinite leaky aquifer. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 36, 95-100.
- JUHÁCS J., (1976): Hidrogeológia, Akadémiai Kiadó, pp. 766.
- JUHÁCS J., (2002): Hidrogeológia, Akadémiai Kiadó, pp. 1176.
- KESSLER, H., (1965): A budapesti gyógyforrások és fúrások természetes és mesterséges behatásokkal való összefüggésének vizsgálata, VITUKI témabeszámoló, Kézirat
- KLEB, B. (ED.), 1993: Kőzettani, tagoltsági, kőzetfizikai vizsgálatok, földtani reambuláció és paleokarszt elemzés. – Budapesti Műszaki Egyetem, Magyar Állami Földtani Intézet, pp 249.
- KOVÁCS J., MÜLLER P., (1980): A Budai hegyek hévizes barlangjainak fejlődéstörténete – Karszt és barlang, 1980/II, pp 93-98.
- KOVÁCS, S., (1992): Tethys „western ends” during the Late Paleozoic and Triassic and their possible genetic relationships. – *Acta Geologica Hungarica* 35, pp 329-369.
- KRUSEMAN, G.P., DE RIDDER, N.A. (1990): Analysis and Evaluation of Pumping Test Data (Second ed.). Wageningen, The Netherlands: International Institute for Land Reclamation and Improvement.
- LEÉL-ÖSSY SZ., (1995): A Rózsadomb és környékének különleges barlangjai – *Földtani Közlemény*, 125 (3-4): 363-432 pp.
- LORBERER, Á., (1986): A Dunántúli-középhegység karsztvízföldtani és vízgazdálkodási helyzetfelmérése és döntéselőkészítő értékelése I. Összefoglaló Jelentés (TSZ.: 7611/1/62): Budapest, VITUKI, pp 130.
- LORBERER, Á., (2002), A budapesti termálkarszt állapot-értékelése- Zárójelentés. VITUKI Rt. Budapest, 1-45p.
- MÁDLNÉ SZŐNYI, J., (1996): Vízartó rendszerek sérülékenységi vizsgálata. Elméleti háttér és gyakorlat. Egyetemi doktori disszertáció, ELTE TTK Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszék, Budapest, 1-138.

- MÁDLNÉ SZÖNYI, J., KIRÁLY, L., S., MÜLLER, I., (1999): Vélemény a Megbízó által a Rózsadombi Termálkarszt tárgykörében rendelkezésünkre bocsátott adatok egységes rendszerbe szervezésének lehetséges módozatairól. In: Mindszenty, A., (1999): A Rózsadombi Termálkarszt Monitoring Működtetése, Zárójelentés II. rész, Unpublished Report, ELTE TTK Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszék, Budapest
- MOENCH, A., F., (1984): Double-porosity models for a fissured groundwater reservoir with fracture skin, In: Water Resources Research 20/7, 831–846.
- MÜLLER P. ÉS MAGYAR I., (2008): The Pannonian deposits of the Buda Mountains – Földtani Közlöny, 138, 345-356.
- NAGYMAROSY A., BÁLDINÉ BEKE M., (1988): The position of the Paleogene Formations of Hungary in the standard Nannoplankton zonation. – Annales Universitatis Scientiarum Budapestinensis de Rolando Eötvös Nominatae Sectio Geologica 28, 3-25.
- NEUMAN S., P., WITHERSPOON P., A., (1968): Theory of flow in aquicludes adjacent to slightly leaky aquifers. Water Resources Res., Vol. 4, pp. 103-112.
- NEUMAN, S.P., P.A., WITHERSPOON, (1969a): Applicability of current theories of flow in leaky aquifers. Water Resources Res., Vol. 5, pp. 817-829,
- NEUMAN, S.P., WITHERSPOON, P.A., (1969b) *Transient flow of ground water to wells in multiple-aquifer systems*, Geotechnical Engineering Report, University of Berkeley, California.
- TAKÁCS J., (2009): A Budai- termálkarszt vizeinek jellemzése adatelemző módszerek felhasználásával - Tudományos Diákköri Dolgozat, ELTE Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszék
- TARI G., BÁLDI T., BÁLDI-BEK, M., (1993): Paleogene flexural basin beneath the Neogene Pannonian Basin: a geodynamic model - Tectonophysics, 226, pp 433-455.
- THEIS, C., V., (1935): The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. *Trans. Am. Geophys. Union* **16**: 519–24.
- THIEM, G. (1906) *Hydrologische Methode*. Gebhardt, Leipzig.
- TÓTH, J., (1995): Hydraulic Continuity In Large Sedimentary Basins, *Hydrogeology Journal*, 3/4, 4-16.
- RATHOD, K. S., RUSHTON, K., R., (1991): Interpretation of Pumping from Two-Zone Layered Aquifers Using a Numerical Model, In: *Ground Water* 29/4, 499-509,
- SCHAFARZIK F., (1928): Visszapillantás a budai hévforrások fejlődéstörténetére – Hidrológiai Közlöny vol. 1, 1921, pp 9-14.
- SCHEUER GY., SCHWEITZER F., (1988): A Gerecse és a Budai-hegység édesvíz mészkőösszletei – Hidrológiai Közlöny, 60 (11), pp 492-501.

- SZÉKELY, F., (2006): A háromdimenziós kúthidraulikai modellezési módszer és gyakorlati alkalmazása. VITUKI Közlemények 79. VITUKI Budapest
- VENDEL M. ÉS KISHÁZI P., (1964): Összefüggések melegforrások és karsztvizek között a Dunántúli-Középhegységben megfigyelt viszonyok alapján. – MTA Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei, vol. 32 (1963) pp. 393-417. and vol. 33 (1964) pp. 205-234.
- WEIN GY., (1977): A Budai-hegység tektonikája. – A Magyar Állami Földtani Intézet alkalmi kiadványa, Budapest, 76 p.
- WENZEL, L.K. (1942). Methods for determining permeability of water-bearing materials, with special reference to discharging well methods. U.S. Geol. Survey, Water Supply Paper 887, 192.
- ZSIGMONDY V., (1878): A városligeti artézi kút Budapesten – Földtani Közlöny vol. IX, pp. 128.

# ÁBRAJEGYZÉK

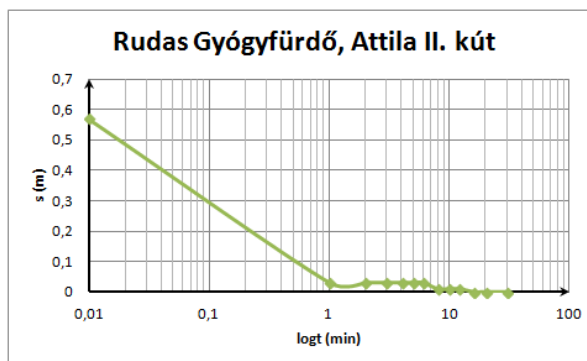
|                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. ÁBRA: A BUDAI-HEGYSÉG ÉS KÖRNYEZETE TOPOGRÁFIAI VISZONYAI (ERHARDT I., 2012) .....                                                     | 6  |
| 2. ÁBRA: A BUDAI-HEGYSÉG ÉS KÖRNYEZETE ÁLTALÁNOSÍTOTT RÉTEGSORA AZ OLIGOCÉNNEL BEZÁRÓLAG (CSÁSZÁR ET AL., 1997, ALAPJÁN) .....            | 9  |
| 3. ÁBRA: A BUDAI TERMÁLKARSZT ÁRAMLÁSI RENDSZEREINEK ÁLTALÁNOS MODELLJE (MÓDOSÍTVA ERŐSS ET AL. 2008 IN GOLDSCHIEDER ET AL. 2010 ) .....  | 10 |
| 4. ÁBRA: A SZIVATTYÚZÁS JELLEGZETES FÁZISAI (JUHÁSZ, 1976).....                                                                           | 13 |
| 5. ÁBRA: VÍZADÓ TÍPUSOK (KRUSEMAN & RIDDER, 1990 ALAPJÁN).....                                                                            | 14 |
| 6. ÁBRA: DEPRESSZIÓS TÖLCSÉR IDEÁLISAN FEDETT VÍZTARTÓBAN (KRUSEMAN & RIDDER, 1990 ALAPJÁN) .....                                         | 18 |
| 7. ÁBRA: COOPER-JACOB MÓDSZER, EGY MEGFIGYELŐ (FREEZE & CHERRY, 1979 ALAPJÁN).....                                                        | 19 |
| 8. ÁBRA: AZ ELMÉLETI MODELL FELÉPÍTÉSE (RATHOD & RUSHTON, 1991 ALAPJÁN).....                                                              | 22 |
| 9. ÁBRA: A MODELL FELÜLET, PARAMÉTEREK MEGADÁSA .....                                                                                     | 24 |
| 10. ÁBRA: PÉLDA MODELLFUTTATÁSRA, MÉRT LESZÍVÁS (KÉK), MODELLEZETT LESZÍVÁS (PIROS) .....                                                 | 24 |
| 11. ÁBRA: KETTŐS POROZITÁSÚ RENDSZERRE ALKALMAZHATÓ EGYSZERŰSÍTÉS (PROF. JOEL CARRILLO, SZÓBELI KÖZLÉSE ALAPJÁN ....                      | 25 |
| 1. TÁBLÁZAT: A KÚTHIDRAULIKAI VIZSGÁLTATL RENDELKEZŐ TERMÁLKUTAK ADATAI .....                                                             | 27 |
| 12. ÁBRA: A VISSZATÖLTŐDÉSEL RENDELKEZŐ KUTAK TERÜLET SZERINTI ELOSZLÁSA (FORRÁS: BUDAPEST EOVS TÉRKÉP) .....                             | 28 |
| 2. TÁBLÁZAT: A SZIVATTYÚTESZT PARAMÉTEREI ÉS AZ EBBŐL MEGHATÁROZOTT HIDRAULIKAI PARAMÉTEREK.....                                          | 30 |
| 13. ÁBRA: PILLANATSZERŰ VISSZATÖLTŐDÉS JUVENTUS KÚTBAN.....                                                                               | 31 |
| 14. ÁBRA: VISSZATÖLTŐDÉS A GT-XIV. KÚTBAN .....                                                                                           | 32 |
| 15. ÁBRA: BUDAI ALSÓ RAKPART DM-5 KÚT VISSZATÖLTŐDÉSI GÖRBÉJE.....                                                                        | 32 |
| 3. TÁBLÁZAT: NYOMÁSEMELKEDÉS MÉRÉSEK PARAMÉTEREI .....                                                                                    | 33 |
| 16. ÁBRA: A VÁROSLIGET II. KÚTBAN MÉRT NYOMÁSEMELKEDÉS, A BAL OLDALI TENGELY A FELSZÍNI, A JOBB PEDIG A MÉLYSÉGI NYOMÁSHOZ TARTOZIK. .... | 34 |
| 17. ÁBRA: AZ APENTA II. KÚTBAN MÉRT NYOMÁSEMELKEDÉS, A BAL OLDALI TENGELY A FELSZÍNI, A JOBB PEDIG A MÉLYBELI NYOMÁSHOZ TARTOZIK. ....    | 35 |
| 4. TÁBLÁZAT: VÍZSZINTMÉRÉSEN ÉS NYOMÁSMÉRÉSEN ALAPULÓ VIZSGÁLATOK PARAMÉTEREI .....                                                       | 36 |
| 18. ÁBRA: A KÖZRAKTÁR. KÚTJÁBAN MÉRT LESZÍVÁS (S) ÉS MÉLYSÉGI NYOMÁSEMELKEDÉS .....                                                       | 37 |
| 19. ÁBRA: AZ ERZSÉBET TÉR. KÚTJÁBAN MÉRT LESZÍVÁS (S) ÉS MÉLYSÉGI NYOMÁSEMELKEDÉS .....                                                   | 37 |
| 20. ÁBRA: AZ SZGK-1 VÍZSZINTÉSZLELŐ. KÚTJÁBAN MÉRT LESZÍVÁS (S) ÉS MÉLYSÉGI NYOMÁSEMELKEDÉS .....                                         | 38 |
| 5. TÁBLÁZAT: VISSZATÖLTŐDÉS ADATSOROK HASZNÁLHATÓSÁGA.....                                                                                | 39 |
| 21. ÁBRA: AZ ÁRPÁD IV. KÚT RÉTEGSORA ÉS A MODELL RÉTEGEK .....                                                                            | 40 |
| 6. TÁBLÁZAT: AZ ÁRPÁD IV. KÚT MODELL BEMENŐ PARAMÉTEREI.....                                                                              | 41 |
| 22. ÁBRA: AZ ÁRPÁD IV. KÚT MÉRT ÉS MODELLEZETT VISSZATÖLTŐDÉSE.....                                                                       | 42 |
| 23. ÁBRA: A BUDAI ALSÓ RAKPART, DM-5. KÚT RÉTEGSORA ÉS A MODELL RÉTEGEK.....                                                              | 43 |
| 7. TÁBLÁZAT: A BUDAI ALSÓ RAKPART, DM-5. KÚT MODELL BEMENŐ PARAMÉTEREI.....                                                               | 43 |
| 24. ÁBRA: A BUDAI ALSÓ RAKPART, DM-5. KÚT MÉRT ÉS MODELLEZETT VISSZATÖLTŐDÉSE .....                                                       | 44 |
| 25. ÁBRA: AZ ERZSÉBET TÉRI KÚT RÉTEGSORA ÉS A MODELL RÉTEGEK .....                                                                        | 45 |

|                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 8. TÁBLÁZAT: AZ ERZSÉBET TÉRI KÚT MODELL BEMENŐ PARAMÉTEREI.....                                                       | 45 |
| 26. ÁBRA: AZ ERZSÉBET TÉRI KÚT MÉRT ÉS MODELLEZETT VISSZATÖLTŐDÉSE.....                                                | 46 |
| 27. ÁBRA: AZ 1965-BEN KIÉPÍTETT KÚTMÉRŐ-HÁLÓZAT TERÜLETI ELOSZLÁSA (FORRÁS: BUDAPEST EOV TÉRKÉP).....                  | 48 |
| 9. TÁBLÁZAT: MÉRÉSI PROGRAM A MINTAVÉTELI IDŐKÖZÖKRE (BÖCKER, 1966 ALAPJÁN) .....                                      | 49 |
| 28. ÁBRA: A SZIVATTYÚZÁS SORÁN KITERMELT NAPI HOZAMOK (BÖCKER, 1966 ALAPJÁN) .....                                     | 49 |
| 29. ÁBRA: A CSEPEL II. KÚT VÍZSZINT IDŐSORA A VIZSGÁLT IDŐSZAKRA.....                                                  | 50 |
| 30. ÁBRA: VÁROSLIGET II. KÚT VÍZSZINT IDŐSORA.....                                                                     | 51 |
| 31. ÁBRA: DAGÁLY, BÉKE KÚT VÍZSZINT IDŐSORA .....                                                                      | 51 |
| 32. ÁBRA: KERESZTKORRELÁCIÓ A DUNA VÍZÁLLÁS ÉS A DAGÁLY F. KÚTJÁNAK VÍZSZINTJEI KÖZÖTT .....                           | 52 |
| 33. ÁBRA: KERESZTKORRELÁCIÓ A MARGITSZIGET III. KÚT NAPI ÁTLAG VÍZSZINTJEI ÉS A PASKÁL KÚT NAPI ÁTLAGHOZAMAI KÖZÖTT... | 53 |
| 34. ÁBRA: VÁROSLIGET II. KÚT, COOPER-JACOB EGYENES ILLESZTÉS .....                                                     | 54 |
| 35. ÁBRA: VÁROSLIGET I. KÚT, COOPER-JACOB EGYENES ILLESZTÉS .....                                                      | 54 |
| 36. ÁBRA: DAGÁLY FÜRDŐ, BÉKE KÚT, COOPER-JACOB EGYENES ILLESZTÉS.....                                                  | 55 |
| 37. ÁBRA: MARGITSZIGET II. KÚT, COOPER-JACOB EGYENES ILLESZTÉS.....                                                    | 55 |
| 10. TÁBLÁZAT: COOPER-JACOB MÓDSZERREL KISZÁMOLT PARAMÉTEREK.....                                                       | 56 |
| 11. TÁBLÁZAT: A MEGFIGYELŐ KUTAK PARAMÉTEREI .....                                                                     | 57 |

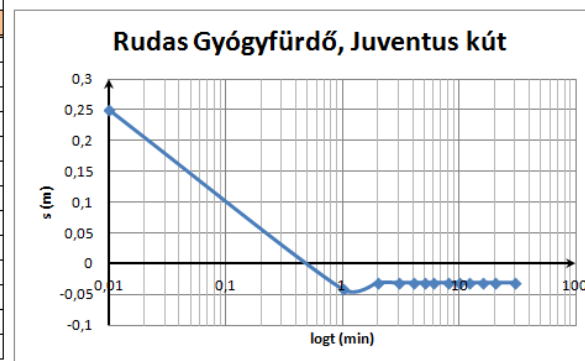
## MELLÉKLETEK

### 1. melléklet: Visszatöltődés idősorok

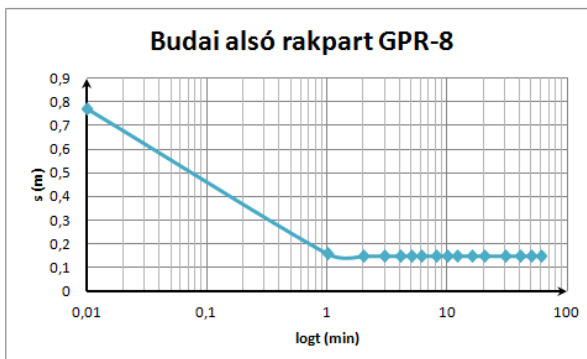
| Rudas Gyógyfürdő, Attila II. kút |       |       |
|----------------------------------|-------|-------|
| nyugalmi vízszint ( $\pm m$ )    |       | 0,2   |
| t (min)                          | d (m) | s (m) |
| 0,01                             | -0,37 | 0,57  |
| 1                                | 0,17  | 0,03  |
| 2                                | 0,17  | 0,03  |
| 3                                | 0,17  | 0,03  |
| 4                                | 0,17  | 0,03  |
| 5                                | 0,17  | 0,03  |
| 6                                | 0,17  | 0,03  |
| 8                                | 0,19  | 0,01  |
| 10                               | 0,19  | 0,01  |
| 12                               | 0,19  | 0,01  |
| 16                               | 0,2   | 0     |
| 20                               | 0,2   | 0     |
| 30                               | 0,2   | 0     |



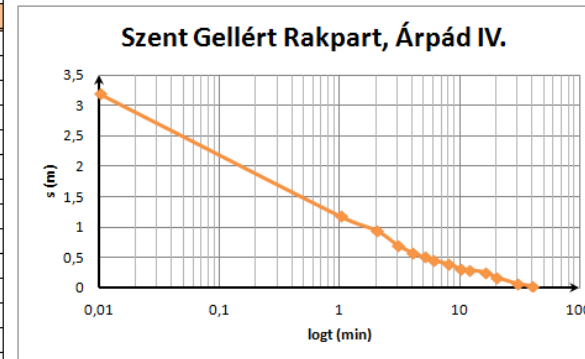
| Rudas Gyógyfürdő, Juventus kút |       |       |
|--------------------------------|-------|-------|
| nyugalmi vízszint ( $\pm m$ )  |       | 0,35  |
| t (min)                        | d (m) | s (m) |
| 0,01                           | 0,1   | 0,25  |
| 1                              | 0,39  | -0,04 |
| 2                              | 0,38  | -0,03 |
| 3                              | 0,38  | -0,03 |
| 4                              | 0,38  | -0,03 |
| 5                              | 0,38  | -0,03 |
| 6                              | 0,38  | -0,03 |
| 8                              | 0,38  | -0,03 |
| 10                             | 0,38  | -0,03 |
| 12                             | 0,38  | -0,03 |
| 16                             | 0,38  | -0,03 |
| 20                             | 0,38  | -0,03 |
| 30                             | 0,38  | -0,03 |



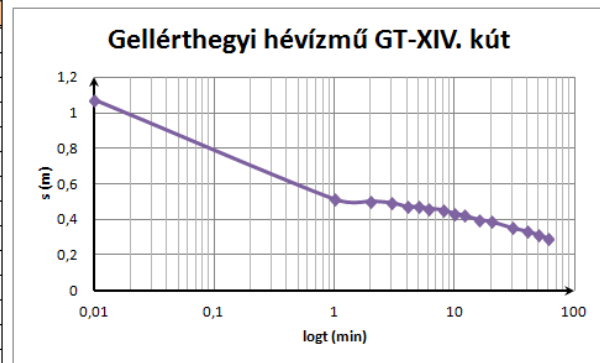
| Budai alsó rakpart GPR-8      |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|
| nyugalmi vízszint ( $\pm m$ ) |       | -2,88 |
| t (min)                       | d (m) | s (m) |
| 0,01                          | -3,65 | 0,77  |
| 1                             | -3,04 | 0,16  |
| 2                             | -3,03 | 0,15  |
| 3                             | -3,03 | 0,15  |
| 4                             | -3,03 | 0,15  |
| 5                             | -3,03 | 0,15  |
| 6                             | -3,03 | 0,15  |
| 8                             | -3,03 | 0,15  |
| 10                            | -3,03 | 0,15  |
| 12                            | -3,03 | 0,15  |
| 16                            | -3,03 | 0,15  |
| 20                            | -3,03 | 0,15  |
| 30                            | -3,03 | 0,15  |
| 40                            | -3,03 | 0,15  |
| 50                            | -3,03 | 0,15  |
| 60                            | -3,03 | 0,15  |



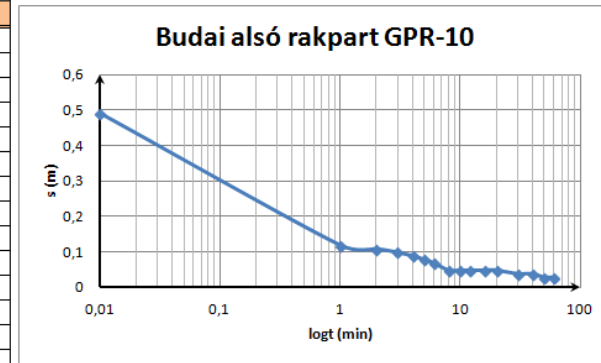
| Szt. Gellért rakpart Árpád IV. |       |       |
|--------------------------------|-------|-------|
| nyugalmi vízszint ( $\pm m$ )  |       | -4,38 |
| t (min)                        | d (m) | s (m) |
| 0,01                           | -7,57 | 3,19  |
| 1                              | -5,56 | 1,18  |
| 2                              | -5,33 | 0,95  |
| 3                              | -5,09 | 0,71  |
| 4                              | -4,96 | 0,58  |
| 5                              | -4,89 | 0,51  |
| 6                              | -4,84 | 0,46  |
| 8                              | -4,77 | 0,39  |
| 10                             | -4,7  | 0,32  |
| 12                             | -4,67 | 0,29  |
| 16                             | -4,64 | 0,26  |
| 20                             | -4,56 | 0,18  |
| 30                             | -4,45 | 0,07  |
| 40                             | -4,41 | 0,03  |



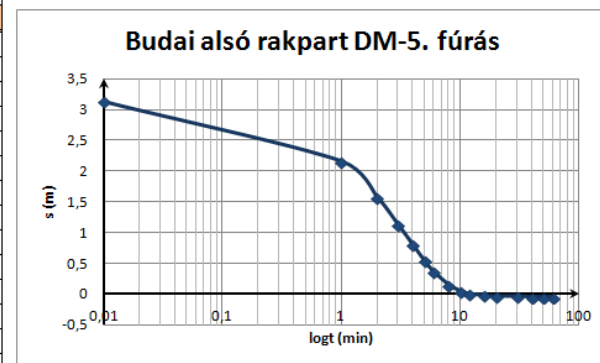
| Gellérth. hévízmű, GT XIV. |        |       |
|----------------------------|--------|-------|
| nyugalmi vízszint (±m)     |        | -4,5  |
| t (min)                    | d (m)  | s (m) |
| 0,01                       | -5,57  | 1,07  |
| 1                          | -5,01  | 0,51  |
| 2                          | -5     | 0,5   |
| 3                          | -4,99  | 0,49  |
| 4                          | -4,97  | 0,47  |
| 5                          | -4,97  | 0,47  |
| 6                          | -4,96  | 0,46  |
| 8                          | -4,95  | 0,45  |
| 10                         | -4,93  | 0,43  |
| 12                         | -4,92  | 0,42  |
| 16                         | -4,895 | 0,395 |
| 20                         | -4,885 | 0,385 |
| 30                         | -4,85  | 0,35  |
| 40                         | -4,83  | 0,33  |
| 50                         | -4,81  | 0,31  |
| 60                         | -4,79  | 0,29  |



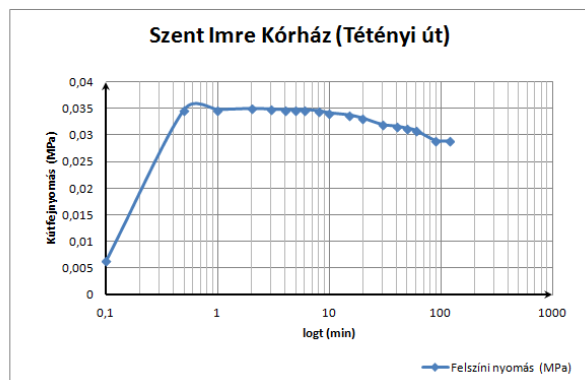
| Budai alsó rakpart GPR-10 |       |       |
|---------------------------|-------|-------|
| nyugalmi vízszint (±m)    |       | -3,1  |
| t (min)                   | d (m) | s (m) |
| 0,01                      | -3,59 | 0,49  |
| 1                         | -3,22 | 0,12  |
| 2                         | -3,21 | 0,11  |
| 3                         | -3,2  | 0,1   |
| 4                         | -3,19 | 0,09  |
| 5                         | -3,18 | 0,08  |
| 6                         | -3,17 | 0,07  |
| 8                         | -3,15 | 0,05  |
| 10                        | -3,15 | 0,05  |
| 12                        | -3,15 | 0,05  |
| 16                        | -3,15 | 0,05  |
| 20                        | -3,15 | 0,05  |
| 30                        | -3,14 | 0,04  |
| 40                        | -3,14 | 0,04  |
| 50                        | -3,13 | 0,03  |
| 60                        | -3,13 | 0,03  |



| Budai alsó rakpart, DM-5. |       |       |
|---------------------------|-------|-------|
| nyugalmi vízszint (±m)    |       | -3,92 |
| t (min)                   | d (m) | s (m) |
| 0,01                      | -7,05 | 3,13  |
| 1                         | -6,08 | 2,16  |
| 2                         | -5,5  | 1,58  |
| 3                         | -5,05 | 1,13  |
| 4                         | -4,72 | 0,8   |
| 5                         | -4,46 | 0,54  |
| 6                         | -4,28 | 0,36  |
| 8                         | -4,07 | 0,15  |
| 10                        | -3,97 | 0,05  |
| 12                        | -3,92 | 0     |
| 16                        | -3,9  | -0,02 |
| 20                        | -3,88 | -0,04 |
| 30                        | -3,88 | -0,04 |
| 40                        | -3,87 | -0,05 |
| 50                        | -3,87 | -0,05 |
| 60                        | -3,87 | -0,05 |

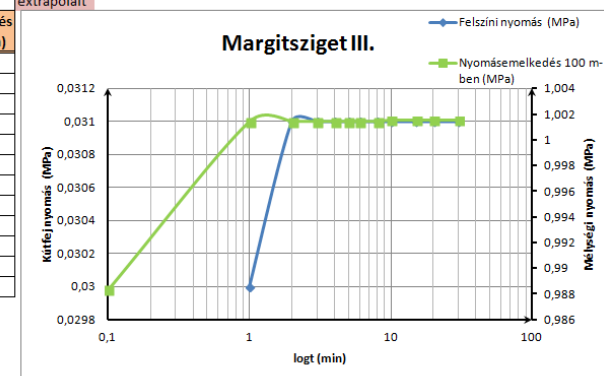


| Szent Imre Kórház (Tétényi út) |                       |  |
|--------------------------------|-----------------------|--|
| Nyugalmi nyomás (MPa)          |                       |  |
| t (min)                        | Felszíni nyomás (MPa) |  |
| 0,1                            | 0,00637               |  |
| 0,5                            | 0,0348                |  |
| 1                              | 0,0348                |  |
| 2                              | 0,035                 |  |
| 3                              | 0,0349                |  |
| 4                              | 0,0348                |  |
| 5                              | 0,0348                |  |
| 6                              | 0,0348                |  |
| 8                              | 0,0346                |  |
| 10                             | 0,0342                |  |
| 15                             | 0,0338                |  |
| 20                             | 0,0332                |  |
| 30                             | 0,032                 |  |
| 40                             | 0,0317                |  |
| 50                             | 0,0313                |  |
| 60                             | 0,0309                |  |
| 90                             | 0,029                 |  |
| 120                            | 0,0289                |  |

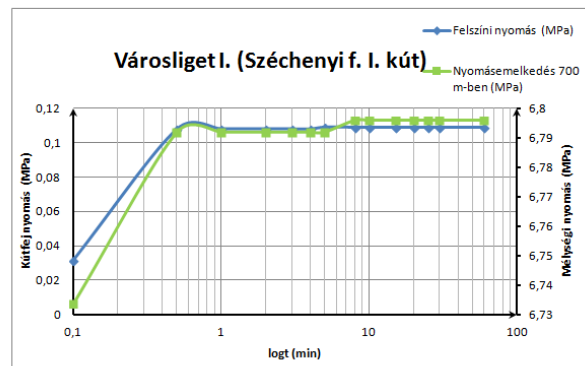


| Margitsziget III.     |                       |                                 |
|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|
| Nyugalmi vízszint (m) |                       |                                 |
| t (min)               | Felszíni nyomás (MPa) | Nyomásemelkedés 100 m-ben (MPa) |
| 0,1                   |                       | 0,9883                          |
| 1                     | 0,03                  | 1,0014                          |
| 2                     | 0,031                 | 1,0014                          |
| 3                     | 0,031                 | 1,0014                          |
| 4                     | 0,031                 | 1,0014                          |
| 5                     | 0,031                 | 1,0014                          |
| 6                     | 0,031                 | 1,0014                          |
| 8                     | 0,031                 | 1,0014                          |
| 10                    | 0,031                 | 1,0015                          |
| 15                    | 0,031                 | 1,0015                          |
| 20                    | 0,031                 | 1,0015                          |
| 30                    | 0,031                 | 1,0015                          |

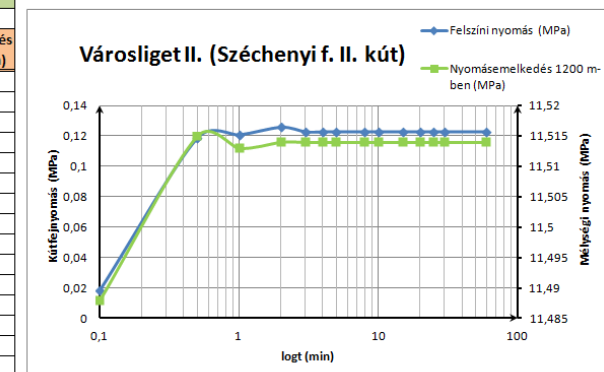
extrapolált



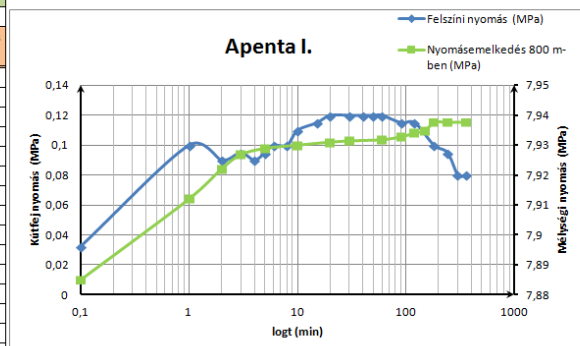
| Városliget II. (Széchenyi f. II. kút) |                       |                                  |
|---------------------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| Nyugalmi nyomás (MPa)                 |                       |                                  |
| t (min)                               | Felszíni nyomás (MPa) | Nyomásemelkedés 1200 m-ben (MPa) |
| 0,1                                   | 0,019                 | 11,488                           |
| 0,5                                   | 0,119                 | 11,515                           |
| 1                                     | 0,121                 | 11,513                           |
| 2                                     | 0,126                 | 11,514                           |
| 3                                     | 0,123                 | 11,514                           |
| 4                                     | 0,123                 | 11,514                           |
| 5                                     | 0,123                 | 11,514                           |
| 8                                     | 0,123                 | 11,514                           |
| 10                                    | 0,123                 | 11,514                           |
| 15                                    | 0,123                 | 11,514                           |
| 20                                    | 0,123                 | 11,514                           |
| 25                                    | 0,123                 | 11,514                           |
| 30                                    | 0,123                 | 11,514                           |
| 60                                    | 0,123                 | 11,514                           |
| Korreláció                            | 0,996                 |                                  |



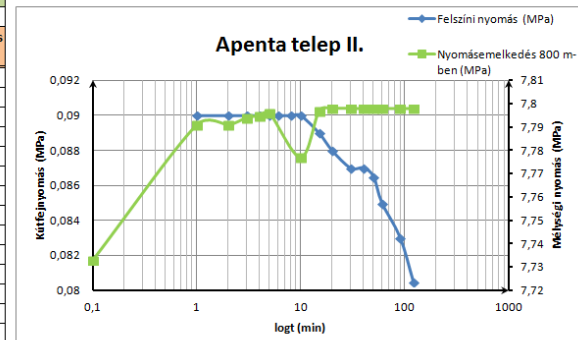
| Városliget I. (Széchenyi f. I. kút) |                       |                                 |
|-------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| Nyugalmi nyomás (MPa)               |                       |                                 |
| t (min)                             | Felszíni nyomás (MPa) | Nyomásemelkedés 700 m-ben (MPa) |
| 0,1                                 | 0,032                 | 6,734                           |
| 0,5                                 | 0,108                 | 6,792                           |
| 1                                   | 0,108                 | 6,792                           |
| 2                                   | 0,108                 | 6,792                           |
| 3                                   | 0,108                 | 6,792                           |
| 4                                   | 0,108                 | 6,792                           |
| 5                                   | 0,109                 | 6,792                           |
| 8                                   | 0,109                 | 6,796                           |
| 10                                  | 0,109                 | 6,796                           |
| 15                                  | 0,109                 | 6,796                           |
| 20                                  | 0,109                 | 6,796                           |
| 25                                  | 0,109                 | 6,796                           |
| 30                                  | 0,109                 | 6,796                           |
| 60                                  | 0,109                 | 6,796                           |
| Korreláció                          | 0,995                 |                                 |



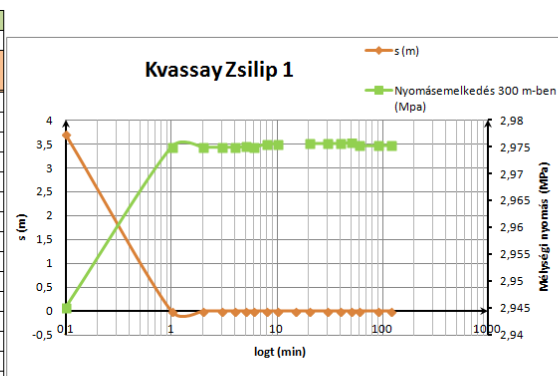
| Apenta hévízkút       |                       |                                 |
|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|
| Nyugalmi nyomás (MPa) |                       | 0,12                            |
| t (min)               | Felszíni nyomás (MPa) | Nyomásemelkedés 800 m-ben (MPa) |
| 0,1                   | 0,032                 | 7,849                           |
| 1                     | 0,1                   | 7,912                           |
| 2                     | 0,09                  | 7,9221                          |
| 3                     | 0,095                 | 7,9268                          |
| 4                     | 0,09                  |                                 |
| 5                     | 0,095                 | 7,9289                          |
| 6                     | 0,1                   |                                 |
| 8                     | 0,1                   |                                 |
| 10                    | 0,11                  | 7,93                            |
| 15                    | 0,115                 |                                 |
| 20                    | 0,12                  | 7,931                           |
| 30                    | 0,12                  | 7,9314                          |
| 40                    | 0,12                  |                                 |
| 50                    | 0,12                  |                                 |
| 60                    | 0,12                  | 7,9318                          |
| 90                    | 0,115                 | 7,9328                          |
| 120                   | 0,115                 | 7,934                           |
| 150                   |                       | 7,9348                          |
| 180                   | 0,1                   | 7,9376                          |
| 240                   | 0,095                 | 7,9376                          |
| 300                   | 0,08                  |                                 |
| 360                   | 0,08                  | 7,9376                          |
| Korreláció            |                       | 0,749                           |



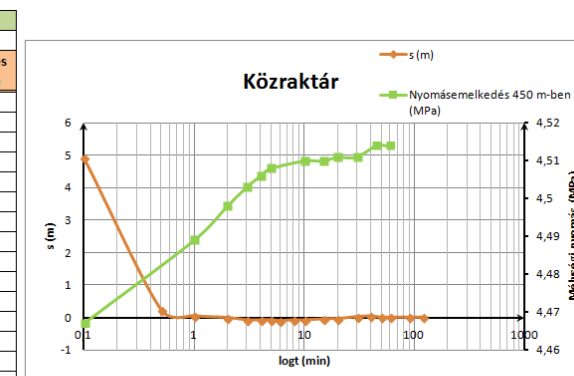
| Apenta II.            |                       |                                 |
|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|
| Nyugalmi nyomás (MPa) |                       | 0,0805                          |
| t (min)               | Felszíni nyomás (MPa) | Nyomásemelkedés 800 m-ben (MPa) |
| 0,1                   |                       | 7,733                           |
| 1                     | 0,09                  | 7,791                           |
| 2                     | 0,09                  | 7,791                           |
| 3                     | 0,09                  | 7,794                           |
| 4                     | 0,09                  | 7,795                           |
| 5                     | 0,09                  | 7,796                           |
| 6                     | 0,09                  |                                 |
| 8                     | 0,09                  |                                 |
| 10                    | 0,09                  | 7,777                           |
| 15                    | 0,089                 | 7,797                           |
| 20                    | 0,088                 | 7,798                           |
| 30                    | 0,087                 | 7,798                           |
| 40                    | 0,087                 | 7,798                           |
| 50                    | 0,0865                | 7,798                           |
| 60                    | 0,085                 | 7,798                           |
| 90                    | 0,083                 | 7,798                           |
| 120                   | 0,0805                | 7,798                           |
| Korreláció            |                       | -0,486                          |



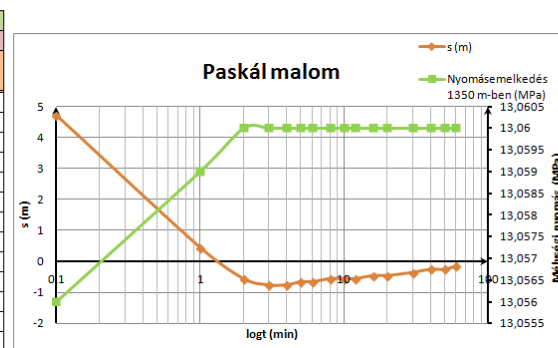
| Kvassay Zsilip 1       |        |       |                                 |
|------------------------|--------|-------|---------------------------------|
| nyugalmi vízszint (±m) | 5,8    |       |                                 |
| t (min)                | d (m)  | s (m) | Nyomásemelkedés 300 m-ben (MPa) |
| 0,1                    | 2,1    | 3,7   | 2,9451                          |
| 1                      | 5,8    | 0     | 2,975                           |
| 2                      | 5,8    | 0     | 2,975                           |
| 3                      | 5,8    | 0     | 2,975                           |
| 4                      | 5,8    | 0     | 2,975                           |
| 5                      | 5,8    | 0     | 2,9751                          |
| 6                      | 5,8    | 0     | 2,975                           |
| 8                      | 5,8    | 0     | 2,9756                          |
| 10                     | 5,8    | 0     | 2,9756                          |
| 15                     | 5,8    | 0     |                                 |
| 20                     | 5,8    | 0     | 2,9757                          |
| 30                     | 5,8    | 0     | 2,9757                          |
| 40                     | 5,8    | 0     | 2,9757                          |
| 50                     | 5,8    | 0     | 2,9758                          |
| 60                     | 5,8    | 0     | 2,9753                          |
| 90                     | 5,8    | 0     | 2,9753                          |
| 120                    | 5,8    | 0     | 2,9753                          |
| Korreláció             | -0,999 |       |                                 |



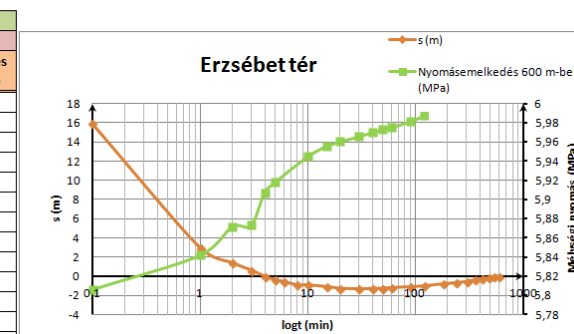
| Kőzraktár              |        |       |                                 |
|------------------------|--------|-------|---------------------------------|
| nyugalmi vízszint (±m) | -0,67  |       |                                 |
| t (min)                | d (m)  | s (m) | Nyomásemelkedés 450 m-ben (MPa) |
| 0,1                    | -5,58  | 4,91  | 4,467                           |
| 0,5                    | -0,9   | 0,23  |                                 |
| 1                      | -0,72  | 0,05  | 4,489                           |
| 2                      | -0,66  | -0,01 | 4,498                           |
| 3                      | -0,59  | -0,08 | 4,503                           |
| 4                      | -0,59  | -0,08 | 4,506                           |
| 5                      | -0,59  | -0,08 | 4,508                           |
| 6                      | -0,57  | -0,1  |                                 |
| 8                      | -0,59  | -0,08 |                                 |
| 10                     | -0,59  | -0,08 | 4,51                            |
| 15                     | -0,62  | -0,05 | 4,51                            |
| 20                     | -0,63  | -0,04 | 4,511                           |
| 30                     | -0,69  | 0,02  | 4,511                           |
| 40                     | -0,71  | 0,04  |                                 |
| 45                     |        |       | 4,514                           |
| 50                     | -0,67  | 0     |                                 |
| 60                     | -0,67  | 0     | 4,514                           |
| 90                     | -0,67  | 0     |                                 |
| 120                    | -0,67  | 0     |                                 |
| Korreláció             | -0,860 |       |                                 |



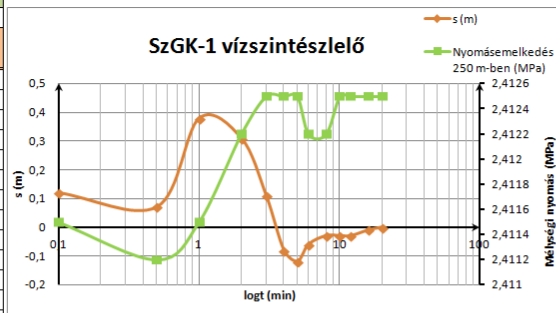
| Paskál malm            |        |             |                                  |
|------------------------|--------|-------------|----------------------------------|
| nyugalmi vízszint (±m) | 6,2    | extrapolált |                                  |
| t (min)                | d (m)  | s (m)       | Nyomásemelkedés 1350 m-ben (MPa) |
| 0,1                    | 1,5    | 4,7         | 13,056                           |
| 1                      | 5,75   | 0,45        | 13,059                           |
| 2                      | 6,75   | -0,55       | 13,06                            |
| 3                      | 6,95   | -0,75       | 13,06                            |
| 4                      | 6,95   | -0,75       | 13,06                            |
| 5                      | 6,85   | -0,65       | 13,06                            |
| 6                      | 6,85   | -0,65       | 13,06                            |
| 8                      | 6,75   | -0,55       | 13,06                            |
| 10                     | 6,75   | -0,55       | 13,06                            |
| 12                     | 6,75   | -0,55       | 13,06                            |
| 16                     | 6,65   | -0,45       | 13,06                            |
| 20                     | 6,65   | -0,45       | 13,06                            |
| 30                     | 6,55   | -0,35       | 13,06                            |
| 40                     | 6,45   | -0,25       | 13,06                            |
| 50                     | 6,45   | -0,25       | 13,06                            |
| 60                     | 6,35   | -0,15       | 13,06                            |
| Korreláció             | -0,989 |             |                                  |



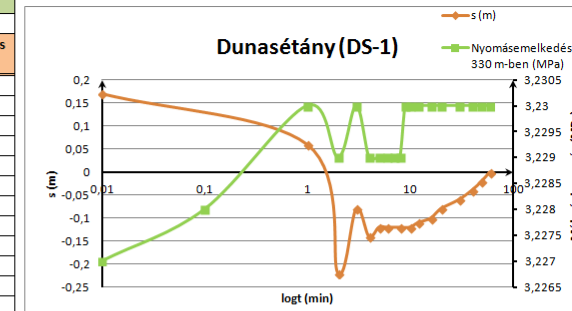
| Erzsébet tér           |        |             |                                 |
|------------------------|--------|-------------|---------------------------------|
| nyugalmi vízszint (±m) | -1,25  | extrapolált |                                 |
| t (min)                | d (m)  | s (m)       | Nyomásemelkedés 600 m-ben (MPa) |
| 0,1                    | -17,18 | 15,93       | 5,8056                          |
| 1                      | -4,26  | 3,01        | 5,8415                          |
| 2                      | -2,68  | 1,43        | 5,8715                          |
| 3                      | -1,91  | 0,66        | 5,8727                          |
| 4                      | -1,28  | 0,03        | 5,9068                          |
| 5                      | -0,92  | -0,33       | 5,9177                          |
| 6                      | -0,73  | -0,52       |                                 |
| 8                      | -0,38  | -0,87       |                                 |
| 10                     | -0,37  | -0,88       | 5,9444                          |
| 15                     | -0,2   | -1,05       | 5,9553                          |
| 20                     | -0,03  | -1,22       | 5,9601                          |
| 30                     | 0,04   | -1,29       | 5,9655                          |
| 40                     | 0      | -1,25       | 5,9698                          |
| 50                     | -0,02  | -1,23       | 5,9726                          |
| 60                     | -0,09  | -1,16       | 5,975                           |
| 90                     | -0,18  | -1,07       | 5,9812                          |
| 120                    | -0,27  | -0,98       | 5,9869                          |
| 180                    | -0,48  | -0,77       |                                 |
| 240                    | -0,61  | -0,64       |                                 |
| 300                    | -0,73  | -0,52       |                                 |
| 360                    | -0,91  | -0,34       |                                 |
| 420                    | -1,02  | -0,23       |                                 |
| 480                    | -1,13  | -0,12       |                                 |
| 540                    | -1,25  | 0           |                                 |
| 600                    | -1,25  | 0           |                                 |
| Korreláció             | -0,786 |             |                                 |



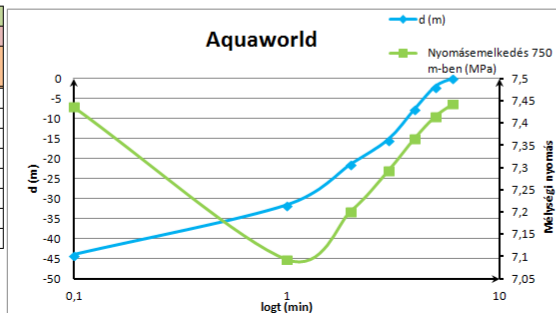
| SzGK-1 vízszintészlelő        |        |       |                                 |
|-------------------------------|--------|-------|---------------------------------|
| nyugalmi vízszint ( $\pm m$ ) | -1,91  |       |                                 |
| t (min)                       | d (m)  | s (m) | Nyomásemelkedés 250 m-ben (MPa) |
| 0,1                           | -2,03  | 0,12  | 2,4115                          |
| 0,5                           | -1,98  | 0,07  | 2,4112                          |
| 1                             | -2,29  | 0,38  | 2,4115                          |
| 2                             | -2,22  | 0,31  | 2,4122                          |
| 3                             | -2,02  | 0,11  | 2,4125                          |
| 4                             | -1,83  | -0,08 | 2,4125                          |
| 5                             | -1,79  | -0,12 | 2,4125                          |
| 6                             | -1,85  | -0,06 | 2,4122                          |
| 8                             | -1,88  | -0,03 | 2,4122                          |
| 10                            | -1,88  | -0,03 | 2,4125                          |
| 12                            | -1,88  | -0,03 | 2,4125                          |
| 16                            | -1,9   | -0,01 | 2,4125                          |
| 20                            | -1,91  | 0     | 2,4125                          |
| Korreláció                    | -0,542 |       |                                 |



| Dunasétány (DS-1)             |        |       |                                 |
|-------------------------------|--------|-------|---------------------------------|
| nyugalmi vízszint ( $\pm m$ ) | 0,9    |       |                                 |
| t (min)                       | d (m)  | s (m) | Nyomásemelkedés 330 m-ben (MPa) |
| 0,01                          | 0,73   | 0,17  | 3,227                           |
| 0,1                           |        |       | 3,228                           |
| 1                             | 0,84   | 0,06  | 3,23                            |
| 2                             | 1,12   | -0,22 | 3,229                           |
| 3                             | 0,98   | -0,08 | 3,23                            |
| 4                             | 1,04   | -0,14 | 3,229                           |
| 5                             | 1,02   | -0,12 | 3,229                           |
| 6                             | 1,02   | -0,12 | 3,229                           |
| 7                             |        |       | 3,229                           |
| 8                             | 1,02   | -0,12 | 3,229                           |
| 9                             |        |       | 3,23                            |
| 10                            | 1,02   | -0,12 | 3,23                            |
| 12                            | 1,01   | -0,11 | 3,23                            |
| 16                            | 1      | -0,1  | 3,23                            |
| 20                            | 0,98   | -0,08 | 3,23                            |
| 30                            | 0,96   | -0,06 | 3,23                            |
| 40                            | 0,94   | -0,04 | 3,23                            |
| 50                            | 0,92   | -0,02 | 3,23                            |
| 60                            | 0,9    | 0     | 3,23                            |
| Korreláció                    | -0,307 |       |                                 |



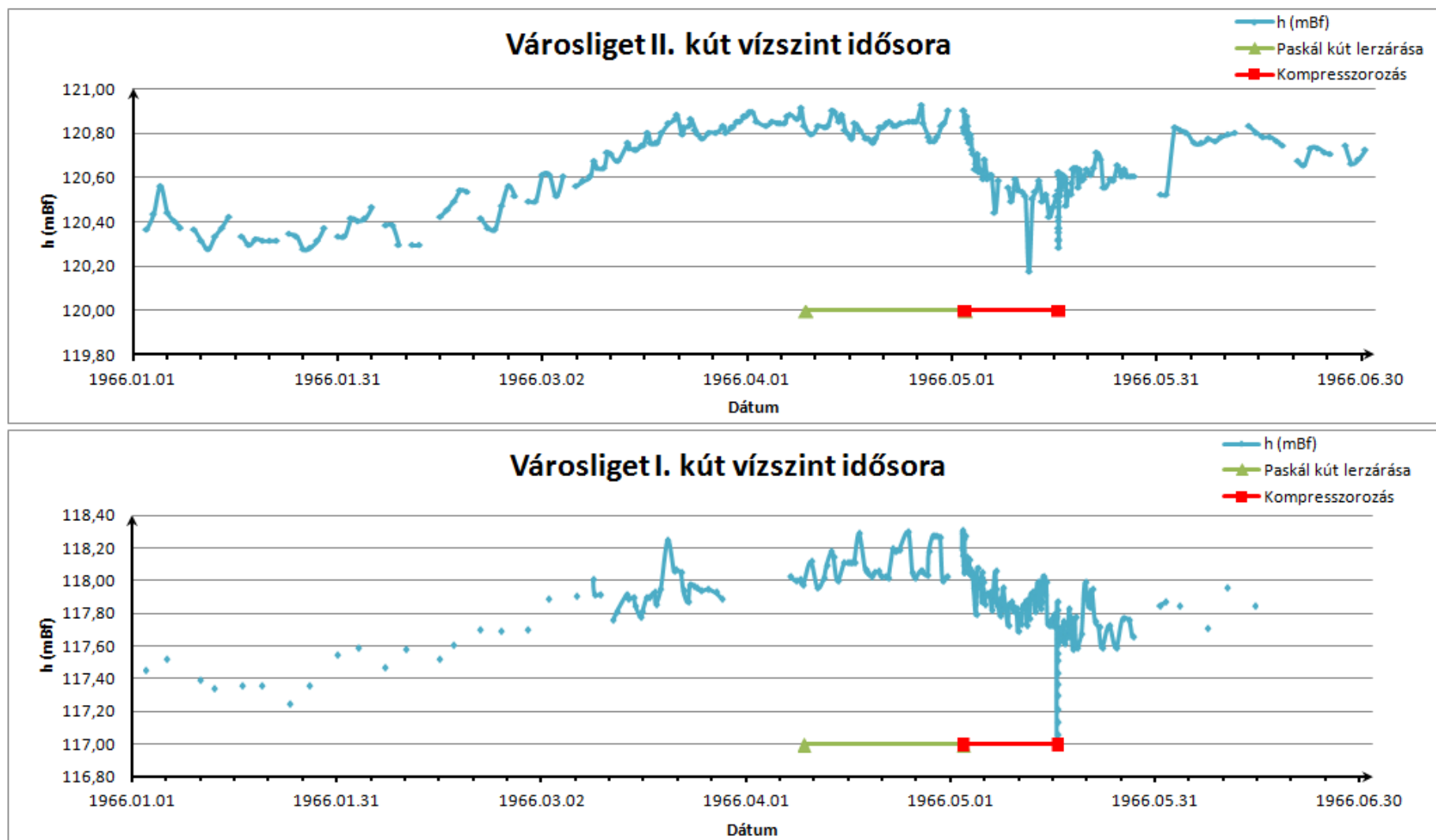
| Aquaworld                     |             |                     |                                 |
|-------------------------------|-------------|---------------------|---------------------------------|
| nyugalmi vízszint ( $\pm m$ ) | extrapolált | túl rövid az idősor |                                 |
| t (min)                       | d (m)       |                     | Nyomásemelkedés 750 m-ben (MPa) |
| 0,1                           | -44,07      |                     | 7,4369                          |
| 1                             | -31,65      |                     | 7,0932                          |
| 2                             | -21,47      |                     | 7,2015                          |
| 3                             | -15,28      |                     | 7,2925                          |
| 4                             | -7,64       |                     | 7,366                           |
| 5                             | -2          |                     | 7,4154                          |
| 6                             | 0           |                     | 7,4425                          |
| Korreláció                    | 0,355       |                     |                                 |

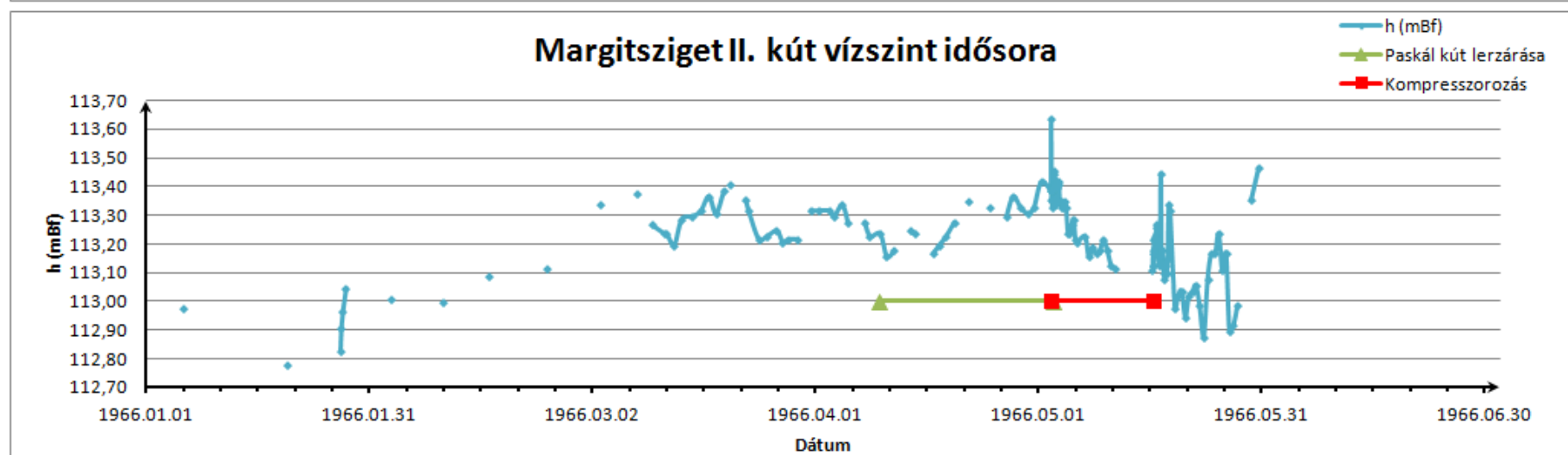
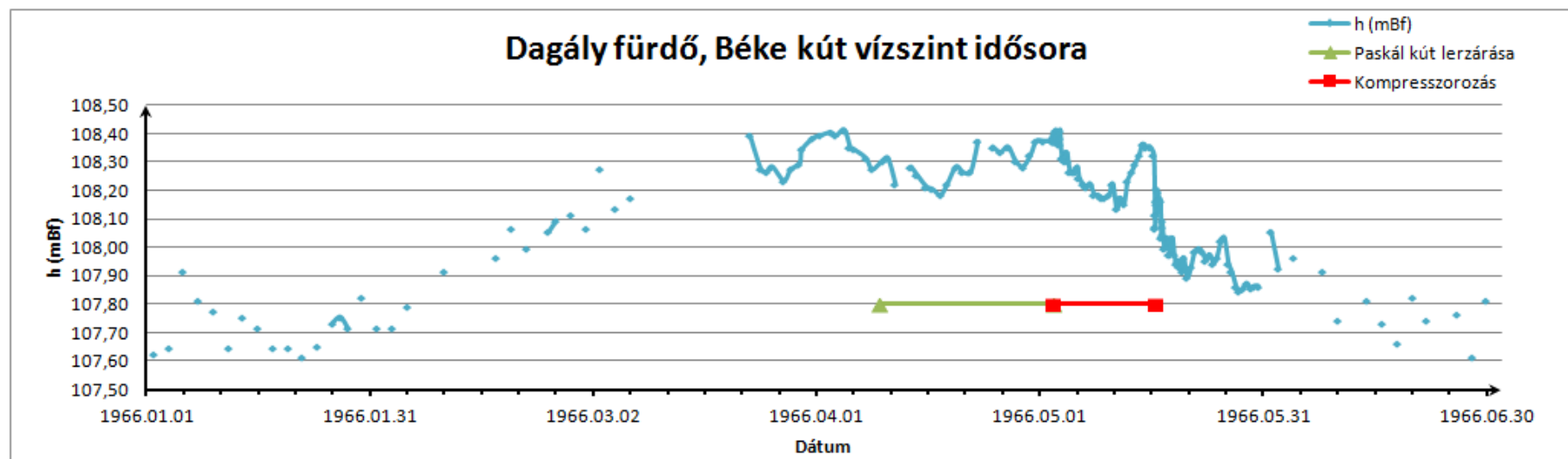


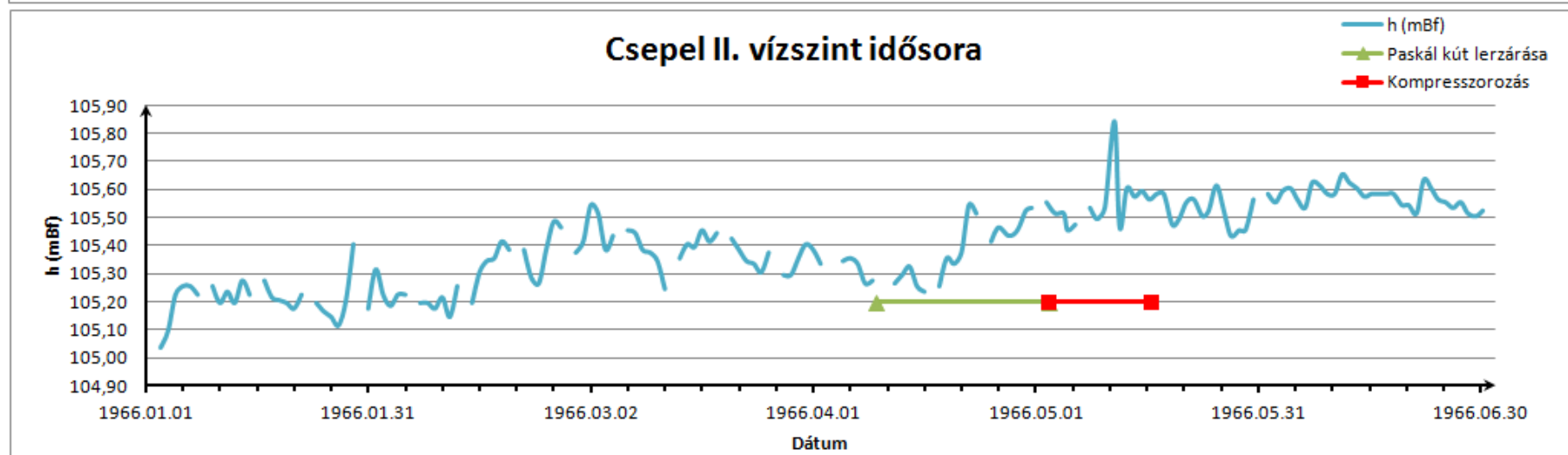
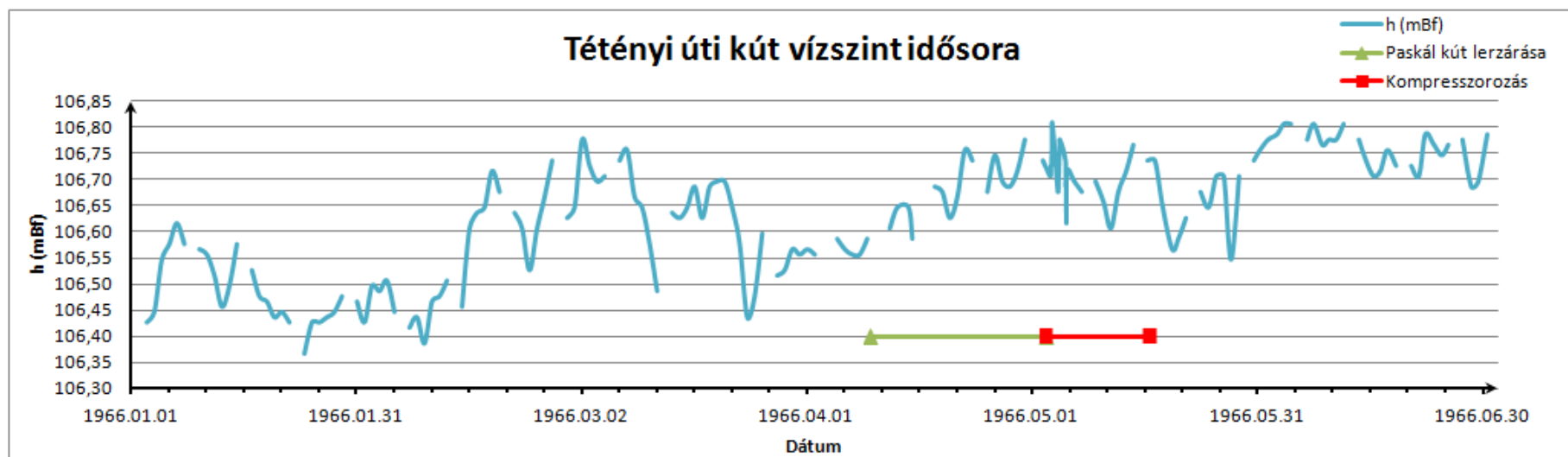
## 2. melléklet: Numerikus modellezéssel nyert visszatöltődés adatsorok

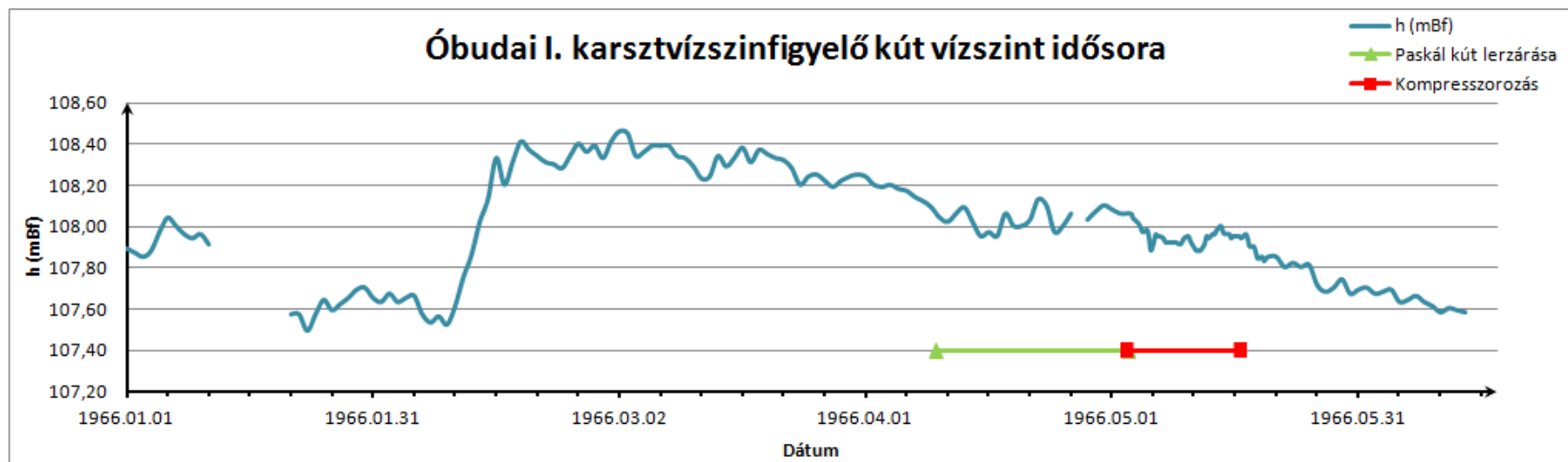
| Szt. Gellért rakpart Árpád IV. |       |             |       | Budai alsó rakpart DM-5. Fúrás |       |             |       | Erzsébet tér |       |             |        |
|--------------------------------|-------|-------------|-------|--------------------------------|-------|-------------|-------|--------------|-------|-------------|--------|
| Mért értékek                   |       | Modellezett |       | Mért értékek                   |       | Modellezett |       | Mért értékek |       | Modellezett |        |
| t (min)                        | s (m) | t (min)     | s (m) | t (min)                        | s (m) | t (min)     | s (m) | t (min)      | s (m) | t (min)     | s (m)  |
| 0,01                           | 3,19  | 0,576       | 1,665 | 0,01                           | 3,13  | 0,58        | 2,78  | 0,1          | 15,93 | 0,576       | 5,776  |
| 1                              | 1,18  | 0,72        | 1,526 | 1                              | 2,16  | 0,72        | 2,70  | 1            | 3,01  | 0,72        | 4,655  |
| 2                              | 0,95  | 0,9072      | 1,392 | 2                              | 1,58  | 0,91        | 2,59  | 2            | 1,43  | 0,9072      | 3,606  |
| 3                              | 0,71  | 1,1376      | 1,263 | 3                              | 1,13  | 1,14        | 2,46  | 3            | 0,66  | 1,1376      | 2,664  |
| 4                              | 0,58  | 1,44        | 1,14  | 4                              | 0,8   | 1,44        | 2,31  | 4            | 0,03  | 1,44        | 1,855  |
| 5                              | 0,51  | 1,8144      | 1,023 | 5                              | 0,54  | 1,81        | 2,13  | 5            | -0,33 | 1,8144      | 1,185  |
| 6                              | 0,46  | 2,2752      | 0,913 | 6                              | 0,36  | 2,28        | 1,92  | 6            | -0,52 | 2,2752      | 0,65   |
| 8                              | 0,39  | 2,88        | 0,808 | 8                              | 0,15  | 2,88        | 1,69  | 8            | -0,87 | 2,88        | 0,233  |
| 10                             | 0,32  | 3,6144      | 0,71  | 10                             | 0,05  | 3,61        | 1,43  | 10           | -0,88 | 3,6144      | -0,088 |
| 12                             | 0,29  | 4,5504      | 0,617 | 12                             | 0     | 4,55        | 1,16  | 15           | -1,05 | 4,5504      | -0,333 |
| 16                             | 0,26  | 5,7312      | 0,531 | 16                             | -0,02 | 5,73        | 0,90  | 20           | -1,22 | 5,7312      | -0,52  |
| 20                             | 0,18  | 7,2144      | 0,45  | 20                             | -0,04 | 7,21        | 0,65  | 30           | -1,29 | 7,2144      | -0,663 |
| 30                             | 0,07  | 9,0864      | 0,376 | 30                             | -0,04 | 9,09        | 0,43  | 40           | -1,25 | 9,0864      | -0,772 |
| 40                             | 0,03  | 11,4336     | 0,309 | 40                             | -0,05 | 11,43       | 0,26  | 50           | -1,23 | 11,4336     | -0,857 |
|                                |       | 14,4        | 0,248 | 50                             | -0,05 | 14,40       | 0,13  | 60           | -1,16 | 14,4        | -0,923 |
|                                |       | 18,1296     | 0,194 | 60                             | -0,05 | 18,13       | 0,05  | 90           | -1,07 | 18,1296     | -0,976 |
|                                |       | 22,824      | 0,149 |                                |       | 22,82       | 0,00  | 120          | -0,98 | 22,824      | -1,019 |
|                                |       | 28,728      | 0,11  |                                |       | 28,73       | -0,03 | 180          | -0,77 | 28,728      | -1,055 |
|                                |       | 36,1728     | 0,079 |                                |       | 36,17       | -0,04 | 240          | -0,64 | 36,1728     | -1,087 |
|                                |       | 45,5328     | 0,055 |                                |       | 45,53       | -0,05 | 300          | -0,52 | 45,5328     | -1,114 |
|                                |       | 57,3264     | 0,037 |                                |       | 57,33       | -0,05 | 360          | -0,34 | 57,3264     | -1,138 |
|                                |       | 72,1728     | 0,024 |                                |       | 72,17       | -0,05 | 420          | -0,23 | 72,1728     | -1,159 |
|                                |       | 90,864      | 0,016 |                                |       | 90,86       | -0,05 | 480          | -0,12 | 90,864      | -1,178 |
|                                |       | 114,3792    | 0,01  |                                |       | 114,38      | -0,05 | 540          | 0     | 114,3792    | -1,195 |
|                                |       | 144         | 0,007 |                                |       | 144,00      | -0,05 | 600          | 0     | 144         | -1,21  |
|                                |       | 181,2816    | 0,005 |                                |       | 181,28      | -0,05 |              |       | 181,2816    | -1,223 |
|                                |       | 228,2256    | 0,003 |                                |       | 228,23      | -0,05 |              |       | 228,2256    | -1,234 |
|                                |       | 287,3232    | 0,002 |                                |       | 287,32      | -0,05 |              |       | 287,3232    | -1,244 |
|                                |       | 361,7136    | 0,002 |                                |       | 361,71      | -0,05 |              |       | 361,7136    | -1,252 |
|                                |       | 455,3712    | 0,001 |                                |       | 455,37      | -0,05 |              |       | 455,3712    | -1,259 |
|                                |       | 573,2784    | 0,001 |                                |       | 573,28      | -0,05 |              |       | 573,2784    | -1,265 |
|                                |       | 721,7136    | 0,001 |                                |       | 721,71      | -0,05 |              |       | 721,7136    | -1,27  |
|                                |       | 908,5824    | 0,001 |                                |       | 908,58      | -0,05 |              |       | 908,5824    | -1,273 |
|                                |       | 1143,835    | 0,001 |                                |       | 1143,84     | -0,05 |              |       | 1143,835    | -1,277 |
|                                |       | 1382,4      | 0     |                                |       | 1379,52     | -0,05 |              |       | 1320,048    | -1,278 |

### 3. melléklet: A Paskál egymásrahatás vizsgálat megfigyelőkútjainak vízszint idősorai







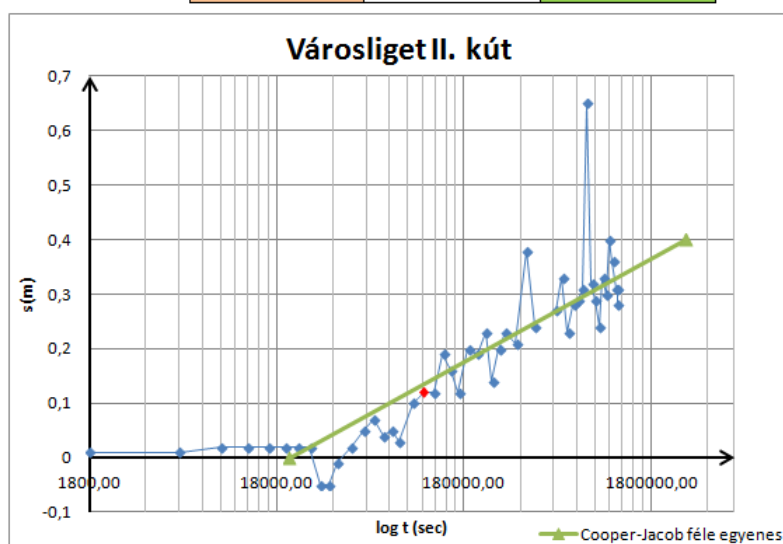


#### 4. melléklet: Paskál malmi adatsor analitikus kiértékelése

| Eltelt idő (óra) | s (m) | t (sec)    | log(t) (sec) |
|------------------|-------|------------|--------------|
| 0,500            | 0,01  | 1800,00    | 3,25527      |
| 1,500            | 0,01  | 5400,00    | 3,73239      |
| 2,500            | 0,02  | 9000,00    | 3,95424      |
| 3,500            | 0,02  | 12600,00   | 4,10037      |
| 4,500            | 0,02  | 16200,00   | 4,20952      |
| 5,500            | 0,02  | 19800,00   | 4,29667      |
| 6,500            | 0,02  | 23400,00   | 4,36922      |
| 7,500            | 0,02  | 27000,00   | 4,43136      |
| 8,500            | -0    | 30600,00   | 4,48572      |
| 9,500            | -0    | 34200,00   | 4,53403      |
| 10,500           | -0    | 37800,00   | 4,57749      |
| 12,500           | 0,02  | 45000,00   | 4,65321      |
| 14,500           | 0,05  | 52200,00   | 4,71767      |
| 16,500           | 0,07  | 59400,00   | 4,77379      |
| 18,500           | 0,04  | 66600,00   | 4,82347      |
| 20,500           | 0,05  | 73800,00   | 4,86806      |
| 22,500           | 0,03  | 81000,00   | 4,90849      |
| 26,500           | 0,1   | 95400,00   | 4,97955      |
| 30,500           | 0,12  | 109800,00  | 5,04060      |
| 34,500           | 0,12  | 124200,00  | 5,09412      |
| 38,500           | 0,19  | 138600,00  | 5,14176      |
| 42,500           | 0,16  | 153000,00  | 5,18469      |
| 46,500           | 0,12  | 167400,00  | 5,22376      |
| 52,583           | 0,2   | 189300,00  | 5,27715      |
| 58,750           | 0,19  | 211500,00  | 5,32531      |
| 64,917           | 0,23  | 233700,00  | 5,36866      |
| 70,500           | 0,14  | 253800,00  | 5,40449      |
| 76,717           | 0,2   | 276180,00  | 5,44119      |
| 82,500           | 0,23  | 297000,00  | 5,47276      |
| 94,500           | 0,21  | 340200,00  | 5,53173      |
| 107,833          | 0,38  | 388200,00  | 5,58906      |
| 118,500          | 0,24  | 426600,00  | 5,63002      |
| 124,500          |       | 448200,00  | 5,65147      |
| 154,700          | 0,27  | 556920,00  | 5,74579      |
| 166,500          | 0,33  | 599400,00  | 5,77772      |
| 178,833          | 0,23  | 643800,00  | 5,80875      |
| 191,500          | 0,28  | 689400,00  | 5,83847      |
| 202,500          | 0,29  | 729000,00  | 5,86273      |
| 214,500          | 0,31  | 772200,00  | 5,88773      |
| 226,667          | 0,65  | 816000,00  | 5,91169      |
| 239,717          | 0,32  | 862980,00  | 5,93600      |
| 250,667          | 0,29  | 902400,00  | 5,95540      |
| 262,500          | 0,24  | 945000,00  | 5,97543      |
| 274,750          | 0,33  | 989100,00  | 5,99524      |
| 286,500          | 0,3   | 1031400,00 | 6,01343      |
| 298,500          | 0,4   | 1074600,00 | 6,03125      |
| 310,500          | 0,36  | 1117800,00 | 6,04836      |
| 322,667          | 0,31  | 1161600,00 | 6,06506      |
| 329,833          | 0,31  | 1187400,00 | 6,07460      |
| 330,500          | 0,28  | 1189800,00 | 6,07547      |

| Városliget II. kút        |                                           |                                              |
|---------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Cooper-Jacob féle egyenes |                                           |                                              |
| Q (m <sup>3</sup> /sec)   | 0,02845                                   |                                              |
| Egyenes egyenlete         | Kiugró értékkel<br>$y = 0,2138x - 0,9462$ | Kiugró érték nélkül<br>$y = 0,189x - 0,8169$ |
| R <sup>2</sup>            | 0,4798                                    | 0,6921                                       |
| a                         | 0,2138                                    | 0,189                                        |
| b                         | -0,9462                                   | -0,8169                                      |
| r (m)                     | 3536,6                                    |                                              |
| s (m)                     | t (sec)                                   |                                              |
| 0                         | 26645,964                                 | 21000,142                                    |
| 0,4                       | 1979423,953                               | 2745518,274                                  |

|                        |          |          |
|------------------------|----------|----------|
| t <sub>0</sub> (óra)   | 7,40     | 5,83     |
| t <sub>0</sub> (sec)   | 26645,96 | 21000,14 |
| s(t=10000)             | -0,09    | -0,06    |
| s(t=100000)            | 0,12     | 0,13     |
| Δs                     | 0,21     | 0,19     |
| T(m <sup>2</sup> /sec) | 2,44E-02 | 2,76E-02 |
| S                      |          | 1,04E-04 |

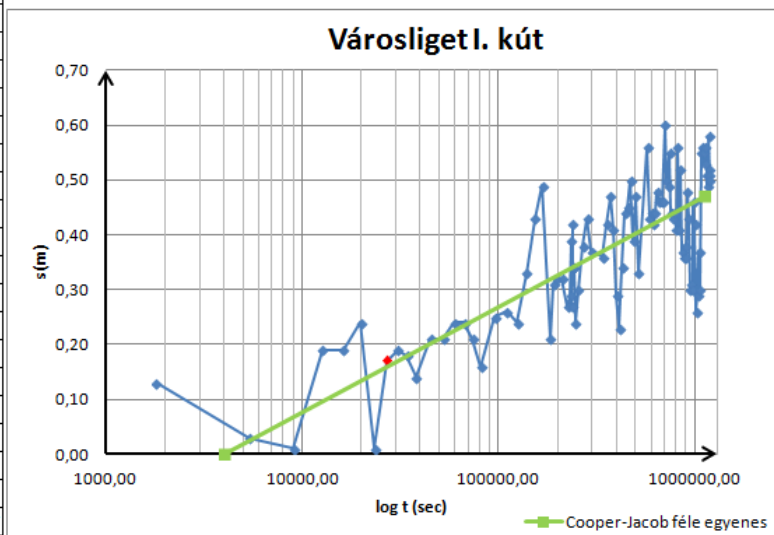


kiugró érték

| Eltelt idő (óra) | s (m) | t (sec)   | log(t) (sec) |
|------------------|-------|-----------|--------------|
| 0,50             | 0,13  | 1800,00   | 3,25527      |
| 1,50             | 0,03  | 5400,00   | 3,73239      |
| 2,50             | 0,01  | 9000,00   | 3,95424      |
| 3,50             | 0,19  | 12600,00  | 4,10037      |
| 4,50             | 0,19  | 16200,00  | 4,20952      |
| 5,50             | 0,24  | 19800,00  | 4,29667      |
| 6,50             | 0,01  | 23400,00  | 4,36922      |
| 7,50             | 0,17  | 27000,00  | 4,43136      |
| 8,50             | 0,19  | 30600,00  | 4,48572      |
| 9,50             | 0,18  | 34200,00  | 4,53403      |
| 10,50            | 0,14  | 37800,00  | 4,57749      |
| 12,50            | 0,21  | 45000,00  | 4,65321      |
| 14,50            | 0,21  | 52200,00  | 4,71767      |
| 16,50            | 0,24  | 59400,00  | 4,77379      |
| 18,50            | 0,24  | 66600,00  | 4,82347      |
| 20,50            | 0,21  | 73800,00  | 4,86806      |
| 22,50            | 0,16  | 81000,00  | 4,90849      |
| 26,67            | 0,25  | 96000,00  | 4,98227      |
| 30,50            | 0,26  | 109800,00 | 5,04060      |
| 34,50            | 0,24  | 124200,00 | 5,09412      |
| 38,50            | 0,33  | 138600,00 | 5,14176      |
| 42,50            | 0,43  | 153000,00 | 5,18469      |
| 46,50            | 0,49  | 167400,00 | 5,22376      |
| 50,92            | 0,21  | 183300,00 | 5,26316      |
| 52,75            | 0,31  | 189900,00 | 5,27852      |
| 54,50            | 0,32  | 196200,00 | 5,29270      |
| 58,50            | 0,32  | 210600,00 | 5,32346      |
| 62,50            | 0,27  | 225000,00 | 5,35218      |
| 64,25            | 0,29  | 231300,00 | 5,36418      |
| 65,00            | 0,39  | 234000,00 | 5,36922      |
| 65,67            | 0,27  | 236400,00 | 5,37365      |
| 66,00            | 0,42  | 237600,00 | 5,37585      |
| 66,50            | 0,34  | 239400,00 | 5,37912      |
| 67,00            | 0,34  | 241200,00 | 5,38238      |
| 68,50            | 0,24  | 246600,00 | 5,39199      |
| 70,50            | 0,30  | 253800,00 | 5,40449      |
| 74,75            | 0,38  | 269100,00 | 5,42991      |
| 78,50            | 0,43  | 282600,00 | 5,45117      |
| 82,50            | 0,37  | 297000,00 | 5,47276      |
| 94,50            | 0,36  | 340200,00 | 5,53173      |
| 99,17            | 0,42  | 357000,00 | 5,55267      |
| 102,67           | 0,47  | 369600,00 | 5,56773      |
| 106,50           | 0,41  | 383400,00 | 5,58365      |
| 110,50           | 0,29  | 397800,00 | 5,59966      |
| 114,50           | 0,23  | 412200,00 | 5,61511      |
| 118,50           | 0,34  | 426600,00 | 5,63002      |
| 122,50           | 0,44  | 441000,00 | 5,64444      |
| 126,83           | 0,45  | 456600,00 | 5,65954      |
| 130,50           | 0,50  | 469800,00 | 5,67191      |
| 134,50           | 0,39  | 484200,00 | 5,68502      |
| 138,50           | 0,47  | 498600,00 | 5,69775      |
| 142,50           | 0,33  | 513000,00 | 5,71012      |
| 158,50           | 0,56  | 570600,00 | 5,75633      |
| 162,50           | 0,43  | 585000,00 | 5,76716      |
| 166,50           | 0,44  | 599400,00 | 5,77772      |
| 170,50           | 0,42  | 613800,00 | 5,78803      |
| 174,50           | 0,44  | 628200,00 | 5,79810      |
| 178,50           | 0,48  | 642600,00 | 5,80794      |
| 182,50           | 0,46  | 657000,00 | 5,81757      |
| 186,92           | 0,46  | 672900,00 | 5,82795      |
| 190,50           | 0,46  | 685800,00 | 5,83620      |
| 194,50           | 0,60  | 700200,00 | 5,84522      |
| 198,50           | 0,50  | 714600,00 | 5,85406      |
| ....             |       |           |              |

| Városliget I. kút         |                        |
|---------------------------|------------------------|
| Cooper-Jacob féle egyenes |                        |
| Q (m³/sec)                | 0,02845                |
| Egyenes egyenlete         | $y = 0,1923x - 0,6927$ |
| R²                        | 0,5337                 |
| a                         | 0,1923                 |
| b                         | -0,6927                |
| r (m)                     | 4030,7                 |
| s (m)                     | t (sec)                |
| 0                         | 4001,143               |
| 0,47                      | 1112453,460            |

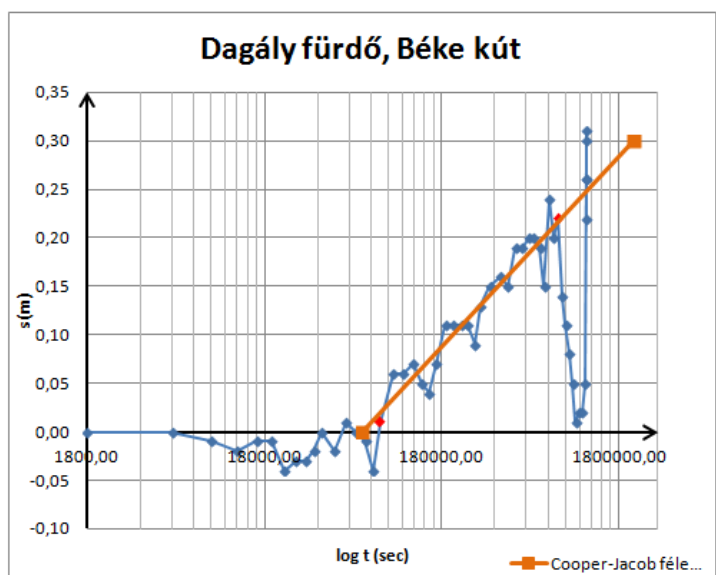
|                      |          |
|----------------------|----------|
| t <sub>0</sub> (óra) | 1,11     |
| t <sub>0</sub> (sec) | 4001,14  |
| s(t=10000)           | 0,08     |
| s(t=100000)          | 0,27     |
| Δs                   | 0,19     |
| T(m²/sec)            | 2,71E-02 |
| S                    | 1,50E-05 |



| Eltelt idő (óra) | s (m) | t (sec)    | log(t) (sec) |
|------------------|-------|------------|--------------|
| 0,50             | 0,00  | 1800,00    | 3,25527      |
| 1,50             | 0,00  | 5400,00    | 3,73239      |
| 2,50             | -0,01 | 9000,00    | 3,95424      |
| 3,50             | -0,02 | 12600,00   | 4,10037      |
| 4,50             | -0,01 | 16200,00   | 4,20952      |
| 5,50             | -0,01 | 19800,00   | 4,29667      |
| 6,50             | -0,04 | 23400,00   | 4,36922      |
| 7,50             | -0,03 | 27000,00   | 4,43136      |
| 8,50             | -0,03 | 30600,00   | 4,48572      |
| 9,50             | -0,02 | 34200,00   | 4,53403      |
| 10,50            | 0,00  | 37800,00   | 4,57749      |
| 12,50            | -0,02 | 45000,00   | 4,65321      |
| 14,50            | 0,01  | 52200,00   | 4,71767      |
| 16,50            | 0,00  | 59400,00   | 4,77379      |
| 18,50            | -0,01 | 66600,00   | 4,82347      |
| 20,50            | -0,04 | 73800,00   | 4,86806      |
| 22,50            | 0,01  | 81000,00   | 4,90849      |
| 26,50            | 0,06  | 95400,00   | 4,97955      |
| 30,50            | 0,06  | 109800,00  | 5,04060      |
| 34,50            | 0,07  | 124200,00  | 5,09412      |
| 38,50            | 0,05  | 138600,00  | 5,14176      |
| 42,50            | 0,04  | 153000,00  | 5,18469      |
| 46,50            | 0,07  | 167400,00  | 5,22376      |
| 52,50            | 0,11  | 189000,00  | 5,27646      |
| 58,50            | 0,11  | 210600,00  | 5,32346      |
| 64,50            | 0,11  | 232200,00  | 5,36586      |
| 70,50            | 0,11  | 253800,00  | 5,40449      |
| 76,50            | 0,09  | 275400,00  | 5,43996      |
| 82,50            | 0,13  | 297000,00  | 5,47276      |
| 93,50            | 0,15  | 336600,00  | 5,52711      |
| 107,00           | 0,16  | 385200,00  | 5,58569      |
| 117,50           | 0,15  | 423000,00  | 5,62634      |
| 131,00           | 0,19  | 471600,00  | 5,67357      |
| 142,00           | 0,19  | 511200,00  | 5,70859      |
| 155,00           | 0,20  | 558000,00  | 5,74663      |
| 166,00           | 0,20  | 597600,00  | 5,77641      |
| 179,00           | 0,19  | 644400,00  | 5,80916      |
| 190,00           | 0,15  | 684000,00  | 5,83506      |
| 203,00           | 0,24  | 730800,00  | 5,86380      |
| 214,00           | 0,20  | 770400,00  | 5,88672      |
| 227,00           | 0,22  | 817200,00  | 5,91233      |
| 237,83           | 0,14  | 856200,00  | 5,93258      |
| 251,00           | 0,11  | 903600,00  | 5,95598      |
| 262,00           | 0,08  | 943200,00  | 5,97460      |
| 275,00           | 0,05  | 990000,00  | 5,99564      |
| 286,00           | 0,01  | 1029600,00 | 6,01267      |
| 299,00           | 0,02  | 1076400,00 | 6,03197      |
| 310,00           | 0,02  | 1116000,00 | 6,04766      |
| 323,00           | 0,05  | 1162800,00 | 6,06551      |
| 326,50           | 0,30  | 1175400,00 | 6,07019      |
| 327,50           | 0,31  | 1179000,00 | 6,07151      |
| 328,50           | 0,26  | 1182600,00 | 6,07284      |
| 329,50           | 0,22  | 1186200,00 | 6,07416      |
| 330,50           | 0,26  | 1189800,00 | 6,07547      |

| Dagály fürdő, Béke kút    |                      |
|---------------------------|----------------------|
| Cooper-Jacob féle egyenes |                      |
| Q (m <sup>3</sup> /sec)   | 0,02845              |
| Egyenes egyenlete         | y = 0,1955x - 0,9394 |
| R <sup>2</sup>            | 0,9028               |
| a                         | 0,1955               |
| b                         | -0,9394              |
| r (m)                     | 5715,1               |
| s (m)                     | t (sec)              |
| 0                         | 63843,265            |
| 0,3                       | 2185958,656          |

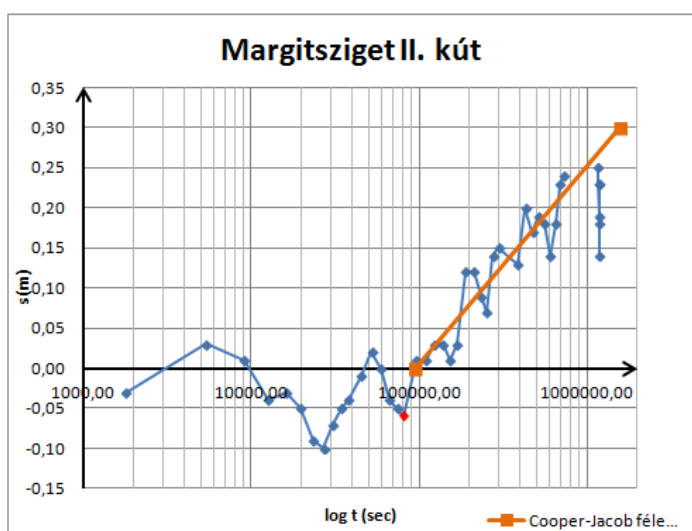
|                        |          |
|------------------------|----------|
| t <sub>0</sub> (óra)   | 17,73    |
| t <sub>0</sub> (sec)   | 63843,27 |
| s(t=10000)             | -0,16    |
| s(t=100000)            | 0,04     |
| Δs                     | 0,20     |
| T(m <sup>2</sup> /sec) | 2,66E-02 |
| S                      | 1,17E-04 |



| Eltelt idő (óra) | s (m) | t (sec)    | log(t) (sec) |
|------------------|-------|------------|--------------|
| 0,50             | -0,03 | 1800,00    | 3,25527      |
| 1,50             | 0,03  | 5400,00    | 3,73239      |
| 2,50             | 0,01  | 9000,00    | 3,95424      |
| 3,50             | -0,04 | 12600,00   | 4,10037      |
| 4,50             | -0,03 | 16200,00   | 4,20952      |
| 5,50             | -0,05 | 19800,00   | 4,29667      |
| 6,50             | -0,09 | 23400,00   | 4,36922      |
| 7,50             | -0,10 | 27000,00   | 4,43136      |
| 8,50             | -0,07 | 30600,00   | 4,48572      |
| 9,50             | -0,05 | 34200,00   | 4,53403      |
| 10,50            | -0,04 | 37800,00   | 4,57749      |
| 12,50            | -0,01 | 45000,00   | 4,65321      |
| 14,50            | 0,02  | 52200,00   | 4,71767      |
| 16,50            | 0,00  | 59400,00   | 4,77379      |
| 18,50            | -0,04 | 66600,00   | 4,82347      |
| 20,50            | -0,05 | 73800,00   | 4,86806      |
| 22,50            | -0,06 | 81000,00   | 4,90849      |
| 26,50            | 0,01  | 95400,00   | 4,97955      |
| 30,50            | 0,01  | 109800,00  | 5,04060      |
| 34,50            | 0,03  | 124200,00  | 5,09412      |
| 38,50            | 0,03  | 138600,00  | 5,14176      |
| 42,50            | 0,01  | 153000,00  | 5,18469      |
| 46,50            | 0,03  | 167400,00  | 5,22376      |
| 52,50            | 0,12  | 189000,00  | 5,27646      |
| 58,50            | 0,12  | 210600,00  | 5,32346      |
| 64,50            | 0,09  | 232200,00  | 5,36586      |
| 70,50            | 0,07  | 253800,00  | 5,40449      |
| 76,50            | 0,14  | 275400,00  | 5,43996      |
| 82,50            | 0,15  | 297000,00  | 5,47276      |
| 107,50           | 0,13  | 387000,00  | 5,58771      |
| 119,50           | 0,20  | 430200,00  | 5,63367      |
| 131,50           | 0,17  | 473400,00  | 5,67523      |
| 143,50           | 0,19  | 516600,00  | 5,71315      |
| 155,50           | 0,18  | 559800,00  | 5,74803      |
| 167,50           | 0,14  | 603000,00  | 5,78032      |
| 179,50           | 0,18  | 646200,00  | 5,81037      |
| 191,50           | 0,23  | 689400,00  | 5,83847      |
| 203,50           | 0,24  | 732600,00  | 5,86487      |
| 220,50           |       | 793800,00  | 5,89971      |
| 244,50           |       | 880200,00  | 5,94458      |
| 268,50           |       | 966600,00  | 5,98525      |
| 292,50           |       | 1053000,00 | 6,02243      |
| 325,00           | 0,25  | 1170000,00 | 6,06819      |
| 326,52           | 0,23  | 1175460,00 | 6,07021      |
| 327,52           | 0,19  | 1179060,00 | 6,07154      |
| 328,50           | 0,23  | 1182600,00 | 6,07284      |
| 329,50           | 0,18  | 1186200,00 | 6,07416      |
| 330,50           | 0,14  | 1189800,00 | 6,07547      |

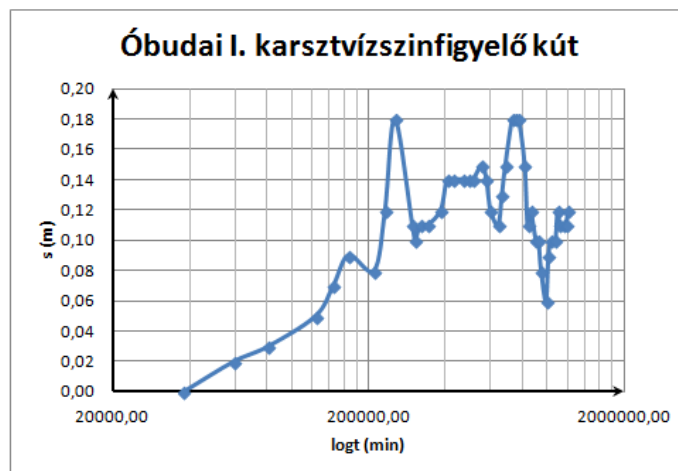
| Margitsziget II. kút      |                     |
|---------------------------|---------------------|
| Cooper-Jacob féle egyenes |                     |
| Q (m <sup>3</sup> /sec)   | 0,02845             |
| Egyenes egyenlete         | y = 0,246x - 1,2246 |
| R <sup>2</sup>            | 0,8608              |
| a                         | 0,246               |
| b                         | -1,2246             |
| r (m)                     | 6587,2              |
| s (m)                     | t (sec)             |
| 0                         | 95071,157           |
| 0,3                       | 1576017,282         |

|                        |          |
|------------------------|----------|
| t <sub>0</sub> (óra)   | 26,41    |
| t <sub>0</sub> (sec)   | 95071,16 |
| s(t=10000)             | -0,24    |
| s(t=100000)            | 0,01     |
| Δs                     | 0,25     |
| T(m <sup>2</sup> /sec) | 2,12E-02 |
| S                      | 1,04E-04 |



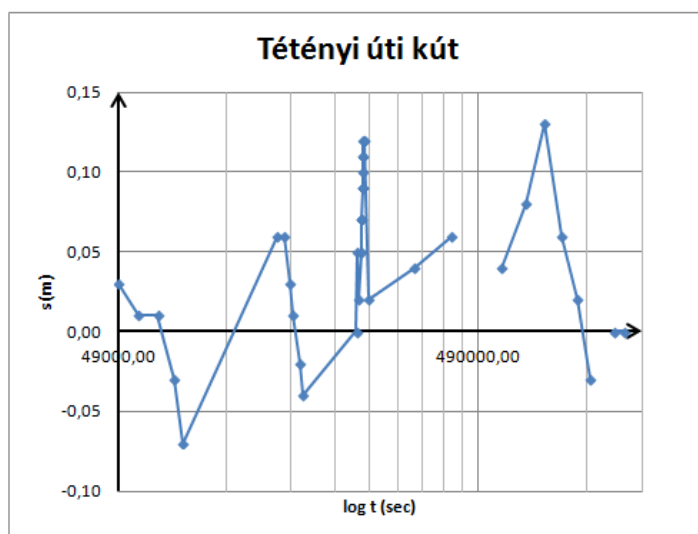
| Eltelt idő (óra) | s (m) | t (sec)    | log(t) (sec) |
|------------------|-------|------------|--------------|
| 10,50            | 0,00  | 37800,00   | 4,57749      |
| 16,50            | 0,02  | 59400,00   | 4,77379      |
| 22,50            | 0,03  | 81000,00   | 4,90849      |
| 34,50            | 0,05  | 124200,00  | 5,09412      |
| 40,50            | 0,07  | 145800,00  | 5,16376      |
| 46,50            | 0,09  | 167400,00  | 5,22376      |
| 58,50            | 0,08  | 210600,00  | 5,32346      |
| 64,50            | 0,12  | 232200,00  | 5,36586      |
| 70,50            | 0,18  | 253800,00  | 5,40449      |
| 82,50            | 0,11  | 297000,00  | 5,47276      |
| 84,50            | 0,10  | 304200,00  | 5,48316      |
| 88,50            | 0,11  | 318600,00  | 5,50325      |
| 94,50            | 0,11  | 340200,00  | 5,53173      |
| 106,50           | 0,12  | 383400,00  | 5,58365      |
| 112,50           | 0,14  | 405000,00  | 5,60746      |
| 118,50           | 0,14  | 426600,00  | 5,63002      |
| 130,50           | 0,14  | 469800,00  | 5,67191      |
| 136,50           | 0,14  | 491400,00  | 5,69144      |
| 142,50           | 0,14  | 513000,00  | 5,71012      |
| 154,50           | 0,15  | 556200,00  | 5,74523      |
| 160,50           | 0,14  | 577800,00  | 5,76178      |
| 166,50           | 0,12  | 599400,00  | 5,77772      |
| 178,50           | 0,11  | 642600,00  | 5,80794      |
| 184,50           | 0,13  | 664200,00  | 5,82230      |
| 190,50           | 0,15  | 685800,00  | 5,83620      |
| 202,50           | 0,18  | 729000,00  | 5,86273      |
| 208,50           | 0,18  | 750600,00  | 5,87541      |
| 214,50           | 0,18  | 772200,00  | 5,88773      |
| 226,50           | 0,15  | 815400,00  | 5,91137      |
| 232,50           | 0,11  | 837000,00  | 5,92273      |
| 238,50           | 0,12  | 858600,00  | 5,93379      |
| 250,50           | 0,10  | 901800,00  | 5,95511      |
| 256,50           | 0,10  | 923400,00  | 5,96539      |
| 262,50           | 0,08  | 945000,00  | 5,97543      |
| 274,50           | 0,06  | 988200,00  | 5,99484      |
| 280,50           | 0,09  | 1009800,00 | 6,00424      |
| 286,50           | 0,10  | 1031400,00 | 6,01343      |
| 298,50           | 0,10  | 1074600,00 | 6,03125      |
| 304,50           | 0,12  | 1096200,00 | 6,03989      |
| 310,50           | 0,11  | 1117800,00 | 6,04836      |
| 322,50           | 0,11  | 1161000,00 | 6,06483      |
| 328,50           | 0,11  | 1182600,00 | 6,07284      |
| 334,50           | 0,12  | 1204200,00 | 6,08070      |

Óbudai I. karsztvízszinfigyelő kút



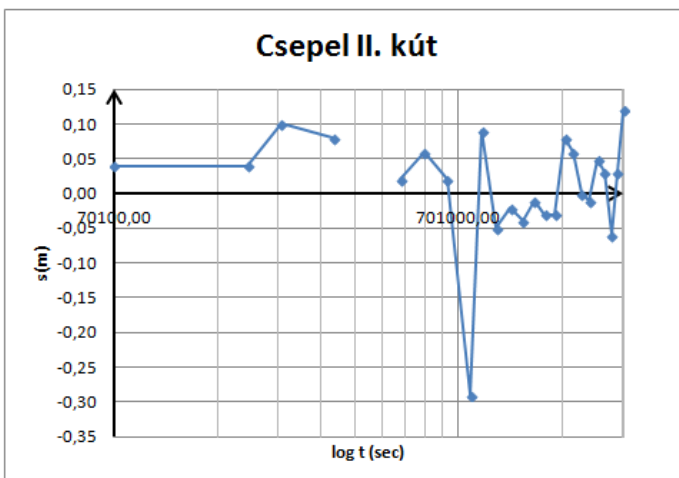
| Eltelt idő (óra) | s (m) | t (sec)    | log(t) (sec) |
|------------------|-------|------------|--------------|
| 13,67            | 0,03  | 49200,00   | 4,69197      |
| 15,50            | 0,01  | 55800,00   | 4,74663      |
| 17,50            | 0,01  | 63000,00   | 4,79934      |
| 19,47            | -0,03 | 70080,00   | 4,84559      |
| 20,47            | -0,07 | 73680,00   | 4,86735      |
| 37,68            | 0,06  | 135660,00  | 5,13245      |
| 39,47            | 0,06  | 142080,00  | 5,15253      |
| 40,92            | 0,03  | 147300,00  | 5,16820      |
| 41,57            | 0,01  | 149640,00  | 5,17505      |
| 43,57            | -0,02 | 156840,00  | 5,19546      |
| 44,33            | -0,04 | 159600,00  | 5,20303      |
| 62,48            | 0,00  | 224940,00  | 5,35207      |
| 63,00            | 0,05  | 226800,00  | 5,35564      |
| 63,52            | 0,02  | 228660,00  | 5,35919      |
| 64,50            | 0,05  | 232200,00  | 5,36586      |
| 64,58            | 0,07  | 232500,00  | 5,36642      |
| 64,67            | 0,07  | 232800,00  | 5,36698      |
| 64,75            | 0,07  | 233100,00  | 5,36754      |
| 64,83            | 0,09  | 233400,00  | 5,36810      |
| 64,92            | 0,09  | 233700,00  | 5,36866      |
| 65,00            | 0,09  | 234000,00  | 5,36922      |
| 65,08            | 0,10  | 234300,00  | 5,36977      |
| 65,17            | 0,11  | 234600,00  | 5,37033      |
| 65,25            | 0,11  | 234900,00  | 5,37088      |
| 65,33            | 0,12  | 235200,00  | 5,37144      |
| 65,42            | 0,12  | 235500,00  | 5,37199      |
| 65,50            | 0,12  | 235800,00  | 5,37254      |
| 67,50            | 0,02  | 243000,00  | 5,38561      |
| 90,50            | 0,04  | 325800,00  | 5,51295      |
| 114,50           | 0,06  | 412200,00  | 5,61511      |
| 124,50           |       | 448200,00  | 5,65147      |
| 158,50           | 0,04  | 570600,00  | 5,75633      |
| 184,50           | 0,08  | 664200,00  | 5,82230      |
| 207,50           | 0,13  | 747000,00  | 5,87332      |
| 231,50           | 0,06  | 833400,00  | 5,92085      |
| 256,75           | 0,02  | 924300,00  | 5,96581      |
| 279,50           | -0,03 | 1006200,00 | 6,00268      |
| 292,50           |       | 1053000,00 | 6,02243      |
| 324,50           | 0,00  | 1168200,00 | 6,06752      |
| 348,50           | 0,00  | 1254600,00 | 6,09851      |

Tétényi úti kút



| Eltelt idő (óra) | s (m) | t (sec)    | log(t) (sec) |
|------------------|-------|------------|--------------|
| 19,50            | 0,04  | 70200,00   | 4,84634      |
| 47,50            | 0,04  | 171000,00  | 5,23300      |
| 59,50            | 0,10  | 214200,00  | 5,33082      |
| 84,50            | 0,08  | 304200,00  | 5,48316      |
| 100,50           |       | 361800,00  | 5,55847      |
| 132,50           | 0,02  | 477000,00  | 5,67852      |
| 155,50           | 0,06  | 559800,00  | 5,74803      |
| 180,50           | 0,02  | 649800,00  | 5,81278      |
| 211,50           | -0,29 | 761400,00  | 5,88161      |
| 228,50           | 0,09  | 822600,00  | 5,91519      |
| 251,50           | -0,05 | 905400,00  | 5,95684      |
| 276,50           | -0,02 | 995400,00  | 5,99800      |
| 300,50           | -0,04 | 1081800,00 | 6,03415      |
| 324,50           | -0,01 | 1168200,00 | 6,06752      |
| 348,50           | -0,03 | 1254600,00 | 6,09851      |
| 371,50           | -0,03 | 1337400,00 | 6,12626      |
| 398,50           | 0,08  | 1434600,00 | 6,15673      |
| 420,50           | 0,06  | 1513800,00 | 6,18007      |
| 444,50           | 0,00  | 1600200,00 | 6,20417      |
| 468,50           | -0,01 | 1686600,00 | 6,22701      |
| 496,50           | 0,05  | 1787400,00 | 6,25222      |

Csepel II. kút



5. melléklet: Az egymásrahatás vizsgálat termelő és megfigyelő kútjainak egyszerűsített rétegsora

