

KÚTHIDRAULIKAI VIZSGÁLATOK ÉRTÉKELÉSE ÉS MODELLEZÉSEN ALAPULÓ ÉRTELMEZÉSE BUDAPEST TERÜLETÉN

TDK Dolgozat



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

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

Budapest,
2012.12.03.

1 TARTALOMJEGYZÉK

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

5.2.4	<i>A numerikus modell alkalmazhatósága kettős porozitású rendszerben.....</i>	46
6	PASKÁL-MALMI EGYMÁSRAHATÁS VIZSGÁLAT ANALITIKUS FELÜLVIZSGÁLATA – REGIONÁLIS LÉPTÉK.....	48
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
7	KÖVETKEZTETÉSEK.....	59
8	ÖSSZEFOGLALÁS	61
9	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	63
	IRODALOMJEGYZÉK	64
	ÁBRAJEGYZÉK.....	68
	MELLÉKLETEK.....	70
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 TERMELŐ 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).

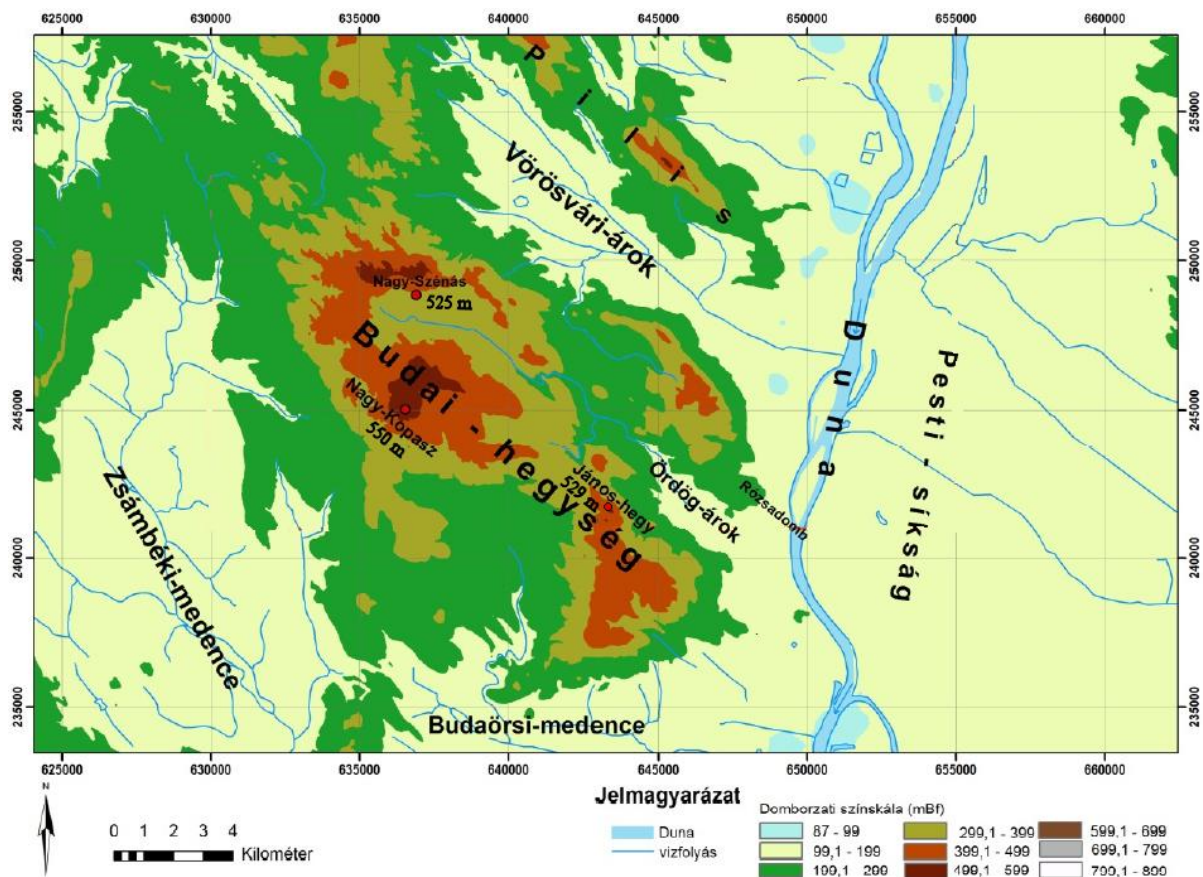
3 A BUDAI TERMÁLKARSZT HIDROGEOLÓGIAI KÖRNYEZETI BEMUTATÁSA

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 km² 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 háta 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 tél, illetve hűvös, mérsékelt nedves, hideg tél éghajlati típusok váltakoznak a 300 m feletti területeken. A déli lejtők a mérsékelt meleg-száraz, enyhe tél 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°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).

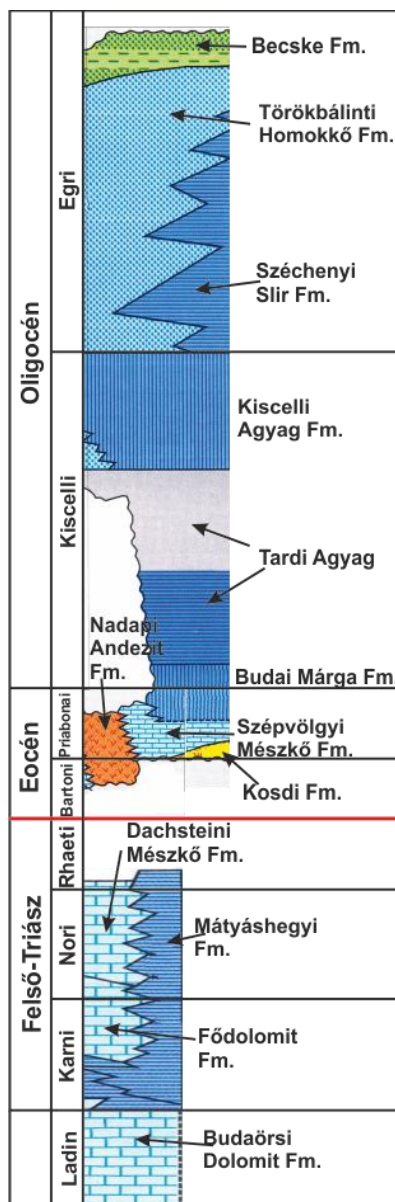
Az oligocén elejétől kezdve a Budai-hegység fejlődéstörténetében az ÉÉK-DDNy-i irányban húzódó ún. Budai-vonal meghatározó szerepet töltött be (FODOR ET AL., 1994). Ettől nyugatra a teljes Dunántúl kiemelkedett, itt a kora-oligocénben szárazföldi lepusztulás (infraoligocén denundáció) zajlott, tőle keletre 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), amittől 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)

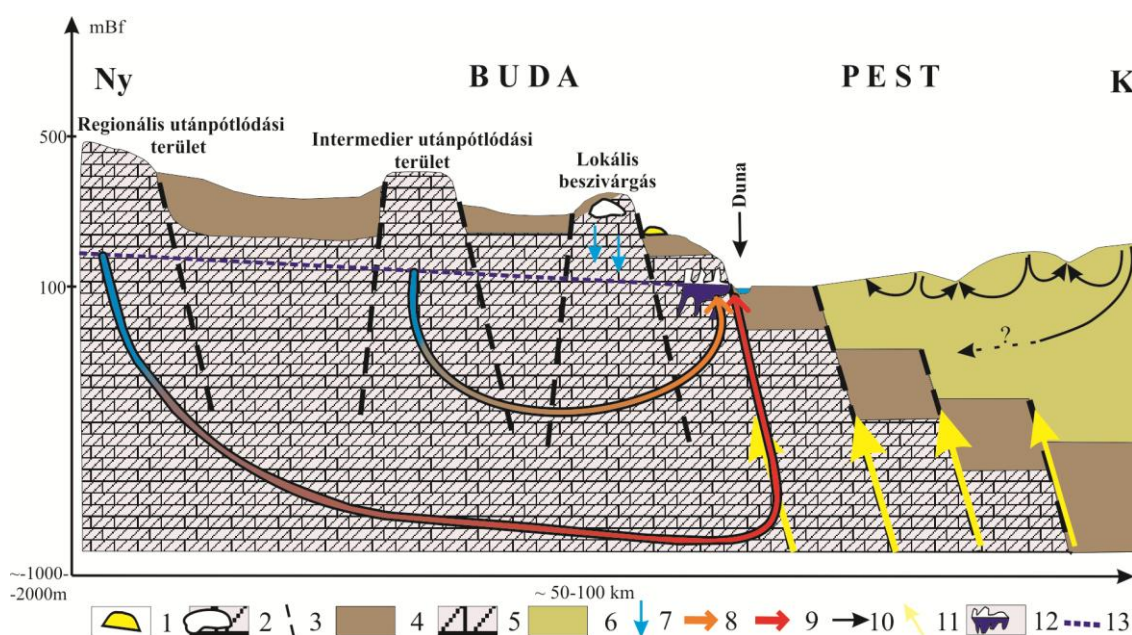
3.4 Hidrogeológiai viszonyok

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:

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

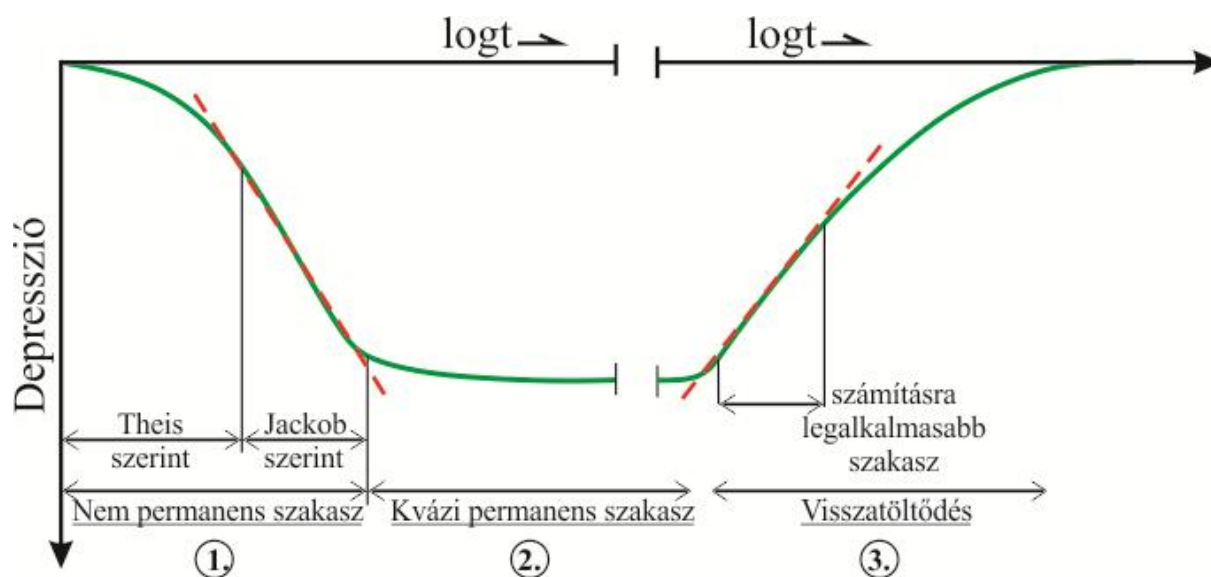
, ahol s_t valamely t időpontban mért leszívás, h_0 a nyugalmi vízszint, h_t pedig t időpillanatban mért hidraulikus emelkedési magasság.

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).

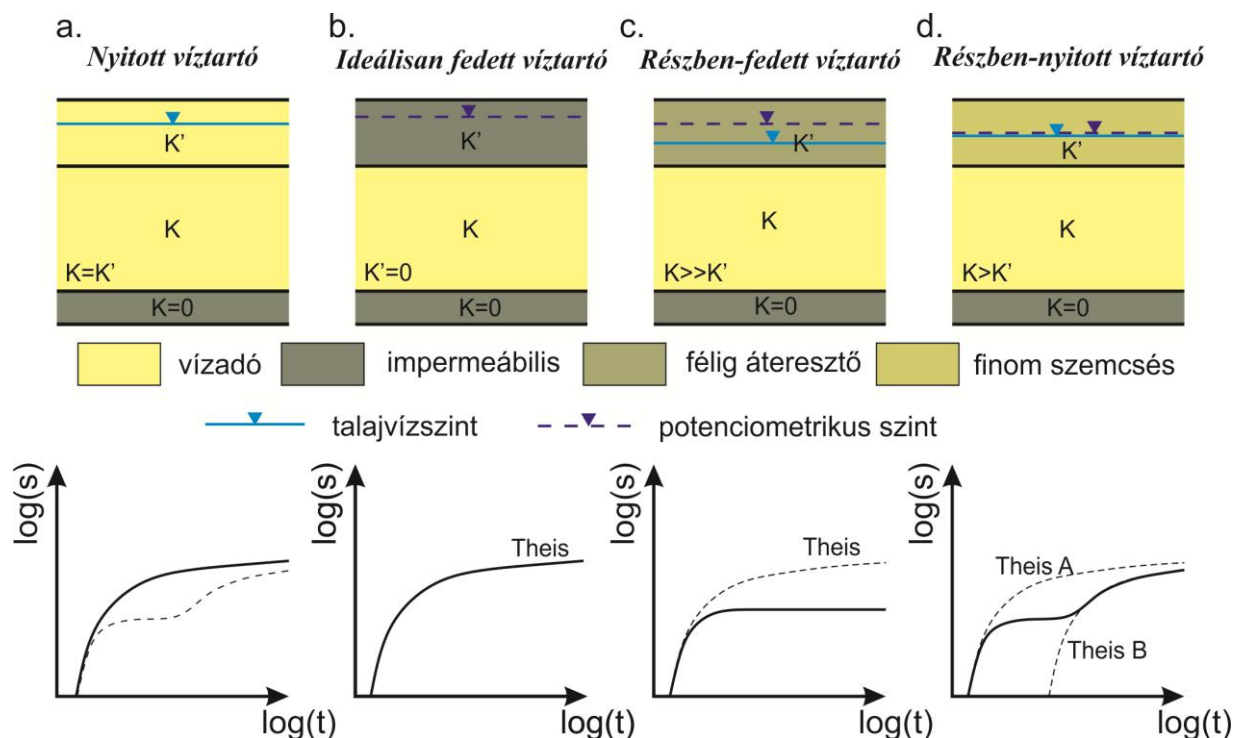
4.1.2 Vízartó típusok szivattyúzási szempontból

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 kőzetváz 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 szivattyúpróbaínak 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).

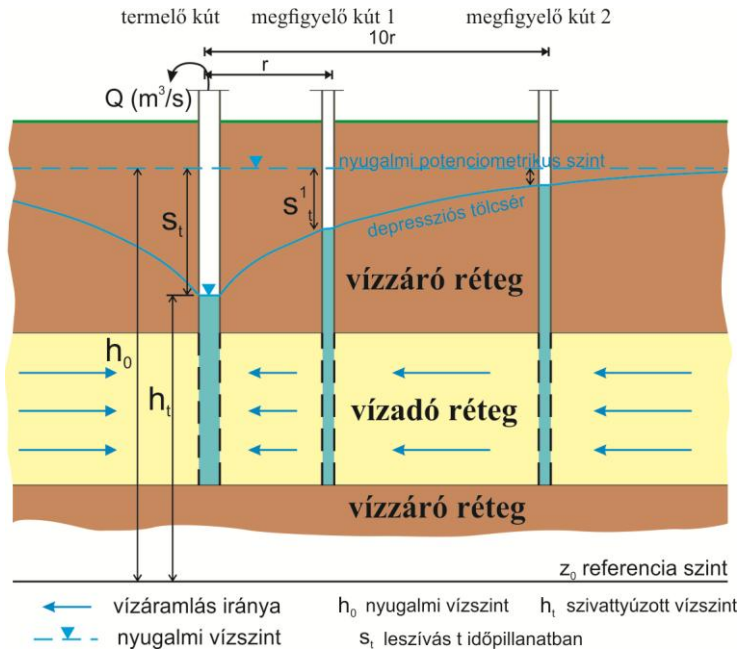
A módszer alkalmazhatóságát korlátozza, hogy be kell állnia a permanens folyásállapotnak, ahhoz hogy alkalmazzuk a fenti képletet. Ekkor a vízáadó réteg már csak víztovábbítónak viselkedik, az utánpótlás kívülről érkezik. Ezért nem szerepel a képletben a tározás. Fedett víztartó esetében ez csak akkor 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):

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

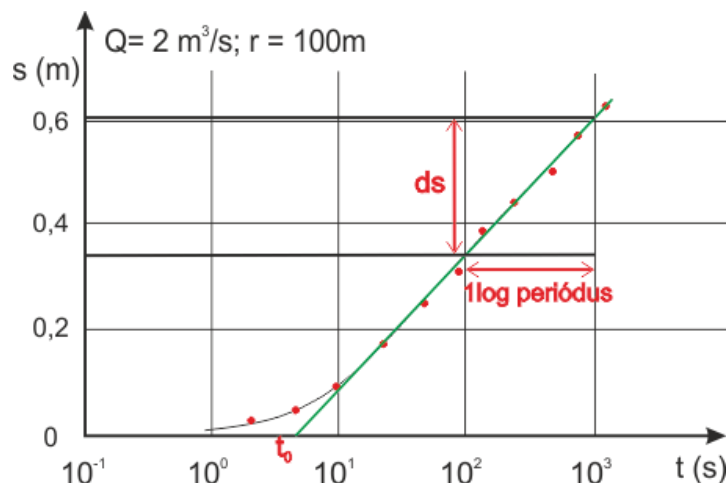
A termelő kútban két időpontban mérve a leszívás értékeit és ezeket egymásból kivonva:

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

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)

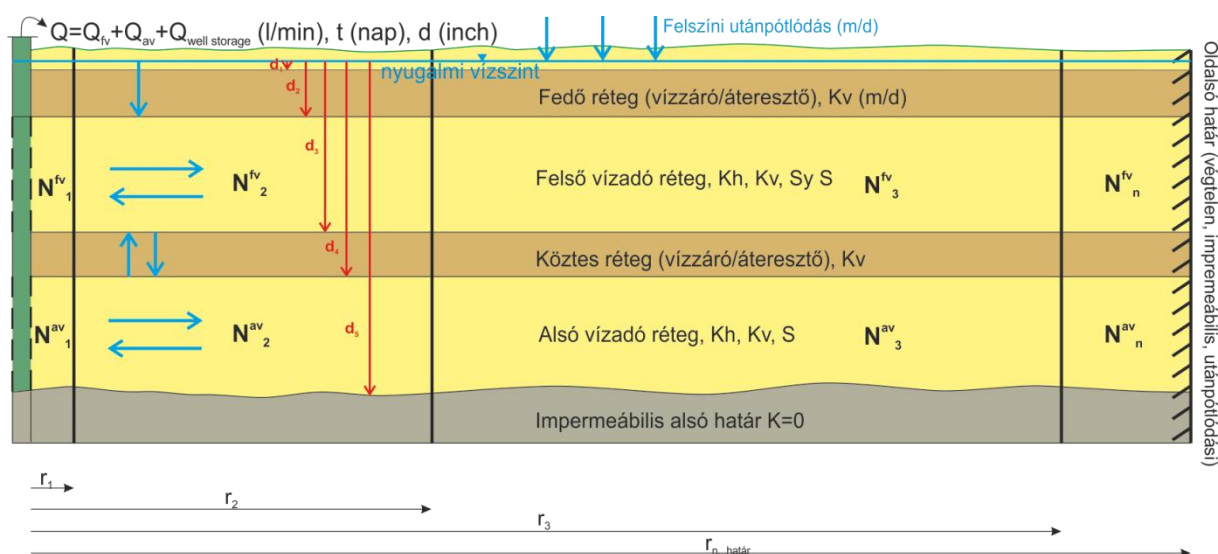
Az ilyen rendszerek paramétereinek meghatározására MOENCH áramlási modellt dolgozott ki 1984-ben. Az analitikus számítási módszer egy megcsapolt törésvonal és a csatlakozó blokk (kőzetmátrix) hidraulikai kölcsönhatásán alapul. A vető és ettől szkin zónával elválasztott közzettest között az áramlás a „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 legkritkább 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)**.



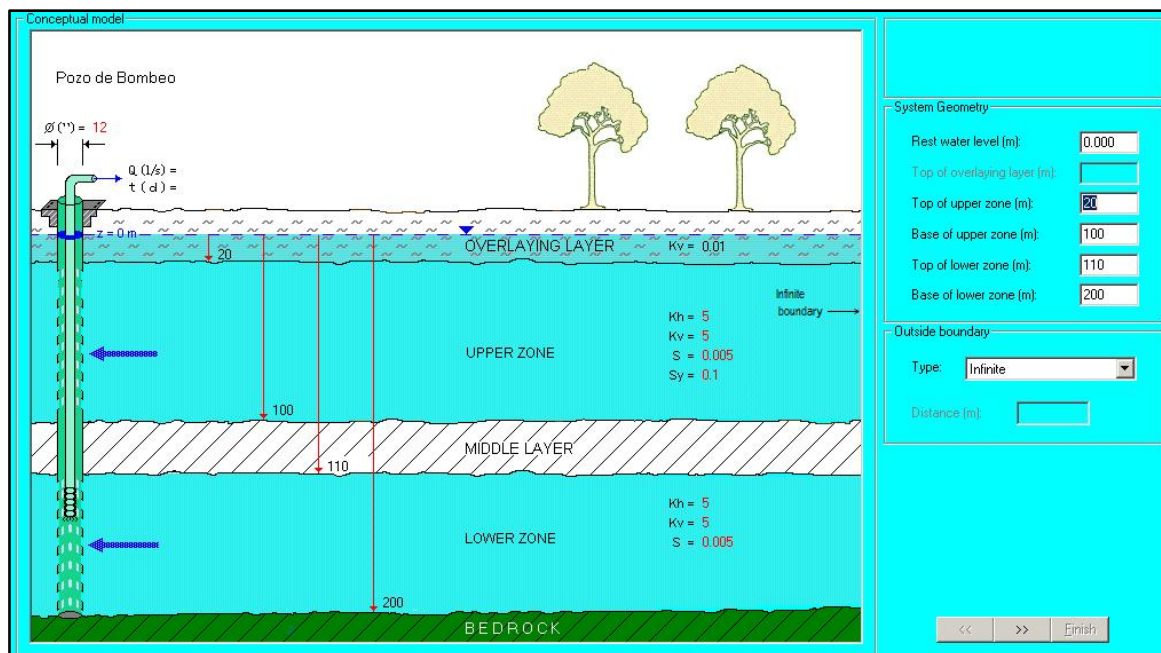
8. ábra: Az elméleti modell felépítése (RATHOD & RUSHTON, 1991 alapján)

A modell alapesetben 4 rétegből áll, két vízáadó (felső, alsó), illetve egy köztes és egy fedő réteg, amely praktikusán lehet vízzáró, 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).

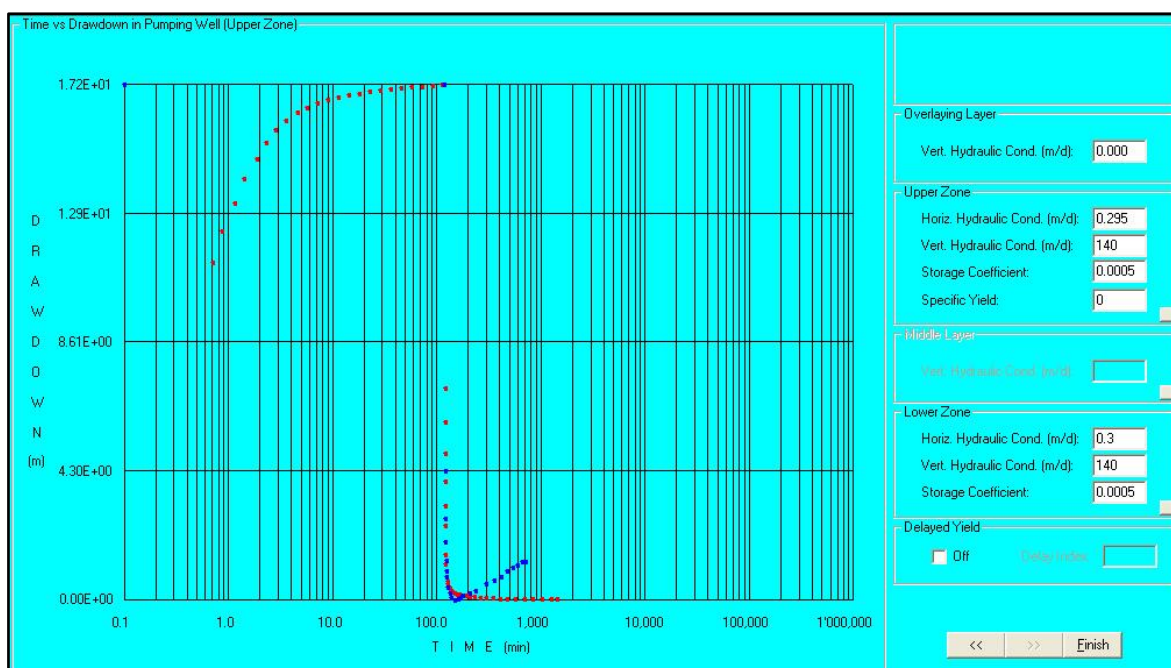
A teremlelő kút paraméterei közül, meg kell adni a kút átmérőjét (d), a termelés idejét (nap) és hozamát (l/min). Egyszerre több hozamlépcső is megállapítható, valamint a visszatöltődés is modellezhető. Utóbbi esetben $0\ l/min$ termelési hozamot kell megadni. A kút lehet szűrőzve a felső, az alsó és 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

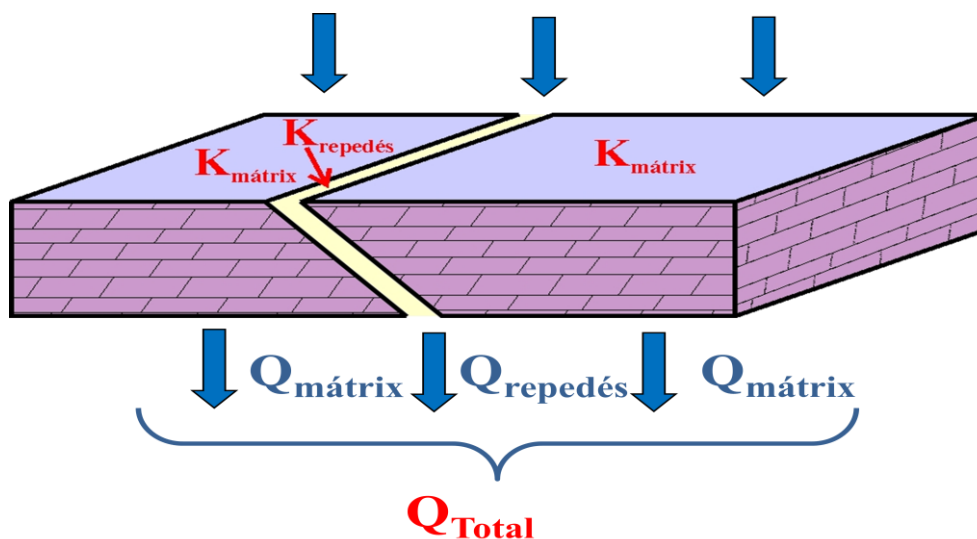


10. ábra: Példa modellfuttatásra, mért leszívás (kék), modellezett leszívás (piros)

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

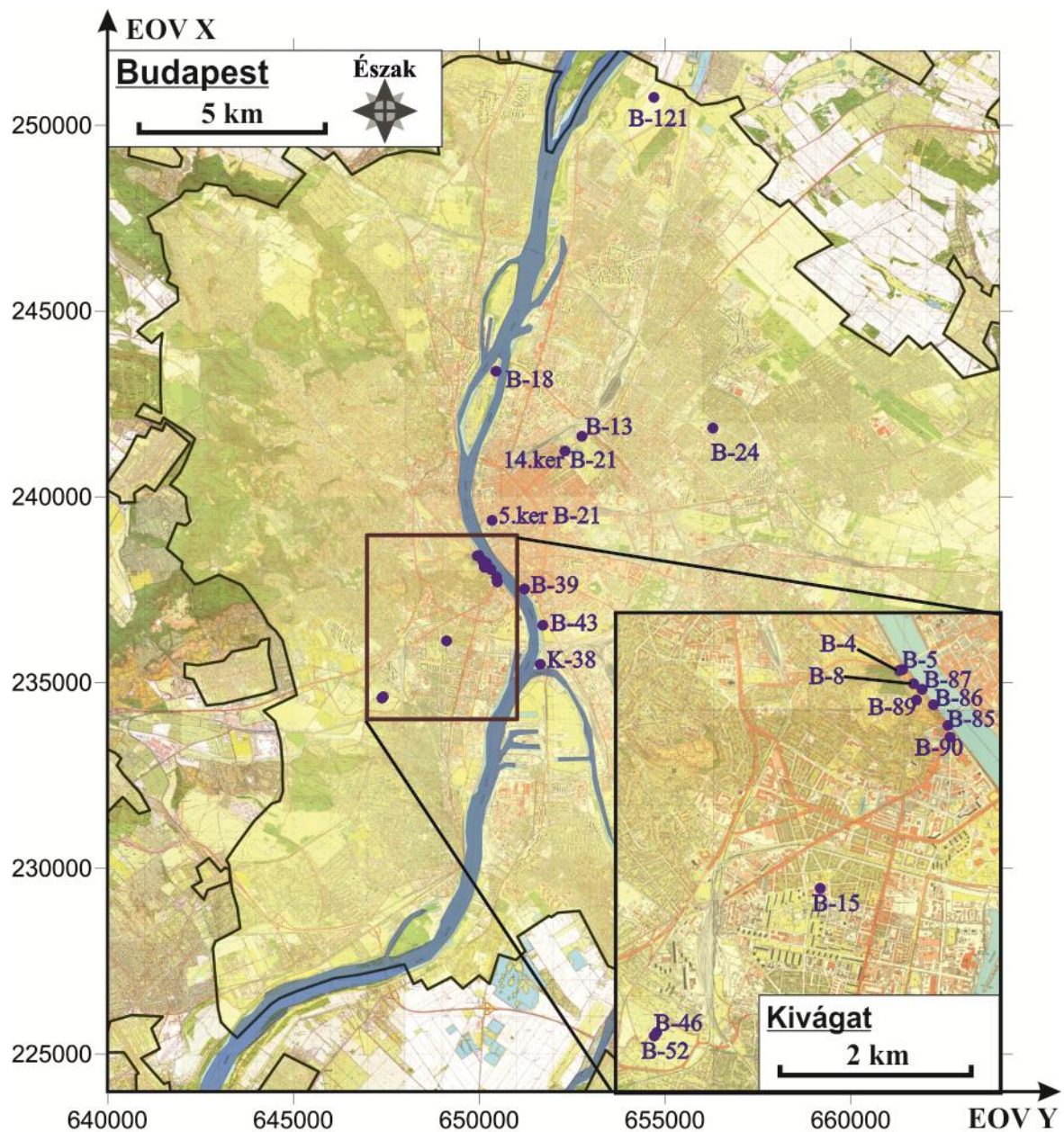
A fellelhető kutak alapadatait összefoglaló táblázatba rendeztem, amely tartalmazza az alapvető adatokat (EOV koordináták, talpmélység, szűrőközep, szűrőzött közet stb.), valamint a hidraulikai mérések archív, analitikus kiértékelésének adatait (**1. táblázat**)

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 (mBf)	talp (m)	Szűrő hossz (m)	Szűrő közép mélysége (m)	Szűrőzött közvet	Archív T (m ² /s)	Archív K (m/s)	Mérés: 1=vízszint; 2= nyomás; 3 kombinált
Szt. Gellért rakpart Árpád IV.	1	B-8	650098,97	238274,21	104,96	27,8	7,5	24,1	T ₃ 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 ₃ 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 ₃ dolomit, E ₃ 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 ₃ 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 ₃ 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 ₃ 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 ₃ dolomit	3,36E+10	1,02E+10	1
Szent Imre Kórház (Tétényi út)	11	B-15	649120,05	236128,38	103,14	524,0	18,1	527,5	T ₃ dolomit			2
Apenta telep II	11	B-52	647381,33	234581,61	105,53	900,0	98	849,0	T ₃ mészkő			2
Apenta hévízkút	11	B-46	647407,67	234617,88	105,82	995,2	84	854,0	T ₃ dolomit			2
Margitsziget III.	13	B-18	650447,00	243375,00	103,62	141,0	118	166,0	E ₃ mészkő			2
Városliget I. (Széchenyi f. I. kút)	14	B-21	652300,31	241235,55	106,42	970,2	45,7	947,7	T ₃ dolomit			2
Városliget II. (Széchenyi f. II. kút)	14	B-13	652754,50	241624,59	107,96	1248,3	9,9	1251,1	T ₃ mészkő			2
Aquaworld	4	B-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 ₃ dolomit			3
Dunasztény (DS-1)	9	B-43	651706,76	236544,92	104,13	371,1	10	344,0	E ₃ mészkőb.	9,61E-03		3
Kvassay Zsili 1.	9	K-38	651643,88	235493,02	100,60	559,5	11	390,7	T ₃ mészkő			3
Központ	9	B-39	651216,52	237526,19	105,30	650,0	55,32	606,9	T ₃ dolomit			3
SzGK-1 vízszintészlelő	11	B-90	650482,75	237713,52	107,09	262,8	15	283,0	T ₃ dolomit	1,35E-03		3
Paskál malom	14	B-24	656283,88	241850,08	110,49	1399,2	6	1399,0	T ₃ mészkő			3

1. táblázat: A kúthidraulikai vizsgálattal rendelkező termálkútak 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 újraz vizsgálta 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.

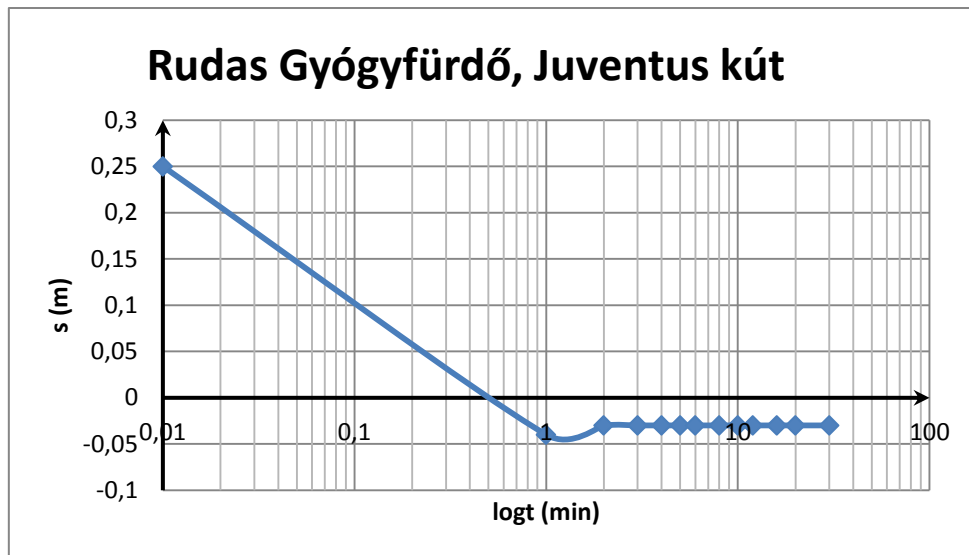
Az alábbiakban, egy táblázatban **(2. táblázat)** összefoglaltam a visszatöltődés vizsgálatok paramétereit (nyugalmi, üzemi vízszint, a termelés hozama (Q) és időtartama (T)) és az ezekből az archív dokumentációkban meghatározott hidraulikai paramétereket (T, K).

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 ₃ dolomit	0,2	-0,37	126	30	1,70E-02	8,49E-03
Rudas Gyógyfürdő, Juventus kút	1	B-5	43,0	T ₃ dolomit, E ₃ márga	0,35	0,1	410	60	2,30E+12	1,35E+12
Budai alsó rakpart GPR-8	11	B-86	22,5	T ₃ dolomit	-2,88	-3,65	44	60	3,36E+10	1,02E+10
Szt. Gellért rakpart Árpád IV.	1	B-8	27,8	T ₃ dolomit	-4,38	-7,57	184	60	1,08E-03	1,36E-03
Gellérth. hévízmű, GT XIV.	11	B-89	11,7	T ₃ dolomit	-4,5	-5,57	182	60	3,33E-03	1,96E-03
Budai alsó rakpart GPR-10	11	B-87	10,2	T ₃ 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 ₃ 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)**.

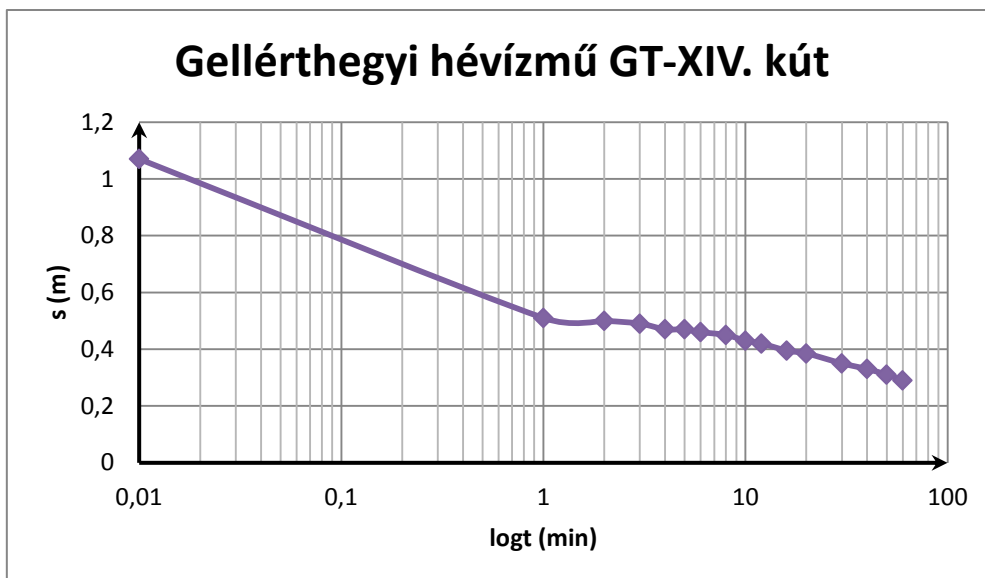


13. ábra: Pillanatszerű visszatöltődés Juventus kútban

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.

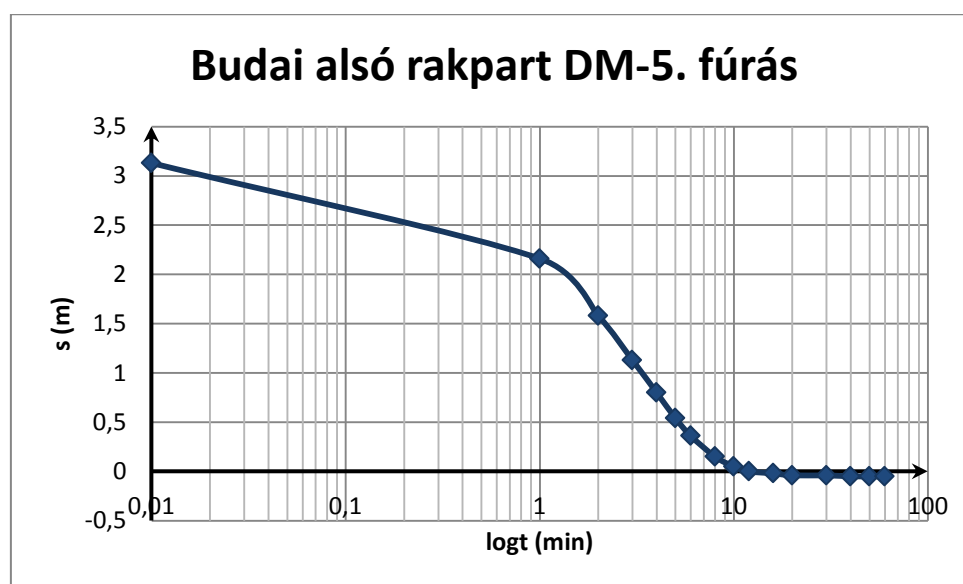
A másik négy kútban a visszatöltődés már egyenletesebb. A szivattyúzáshoz választott hozam megfelelő volt. Kisebb problémák itt is vannak, a GT-XIV-es kút visszatöltődése nem zajlott le a megfigyelési idő végéig (**14. ábra**), azonban a transzmisszivitás itt már a kvázi lineáris szakaszra illesztve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

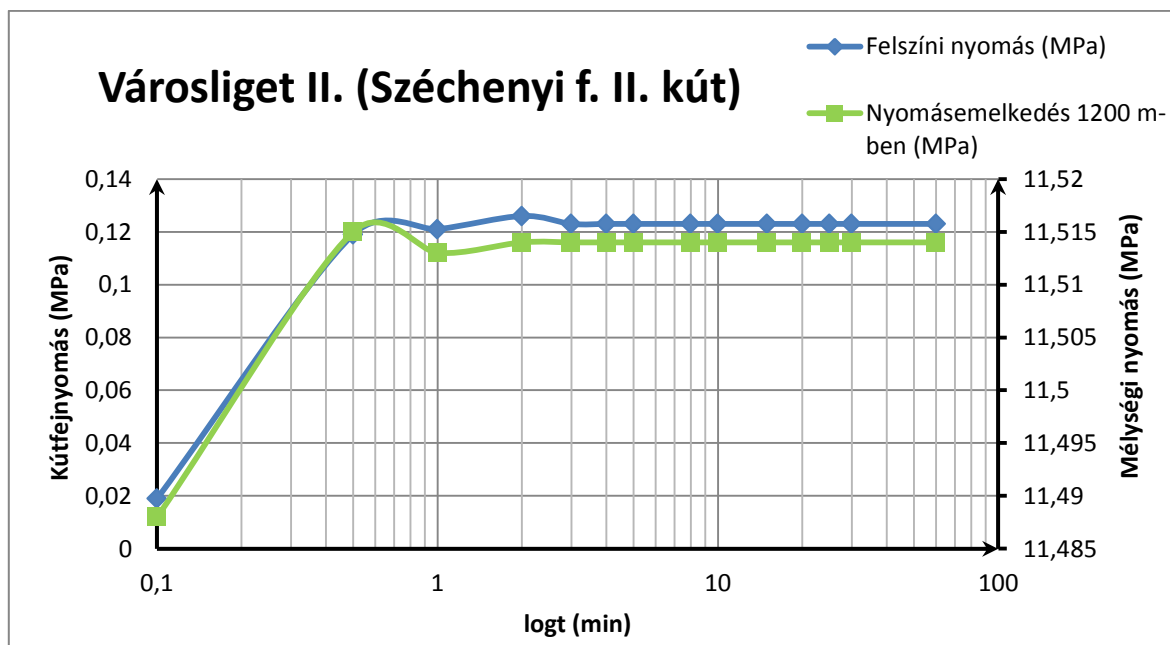
Ebben a csoportban, a Margitsziget III. kút kivételével, 500 m-es mélységet meghaladó kutak találhatók. A vízföldtani naplókban, mint az alábbi táblázatban is látható (**3. táblázat**), a dokumentáció hiányos volt, illetve a naplóknak csak részletei voltak meg. Így például az adatsorokból kiszámolt transzmisszivitás 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 közet	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 ₃ dolomit				0,0064	540	
Margitsziget III.	13	B-18	141,0	E ₃ mészkő	1,6		-1,5		4500	
Városliget II. (Széchenyi f. II. kút)	14	B-13	1248,3	T ₃ mészkő		0,123		0,019	4050	60
Városliget I. (Széchenyi f. I. kút)	14	B-21	736,0	T ₃ dolomit		0,109		0,028	202	60
Apenta hévízkút	11	B-46	995,2	T ₃ dolomit		0,12		0,032	900	60
Apenta telep II	11	B-52	900,0	T ₃ 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.

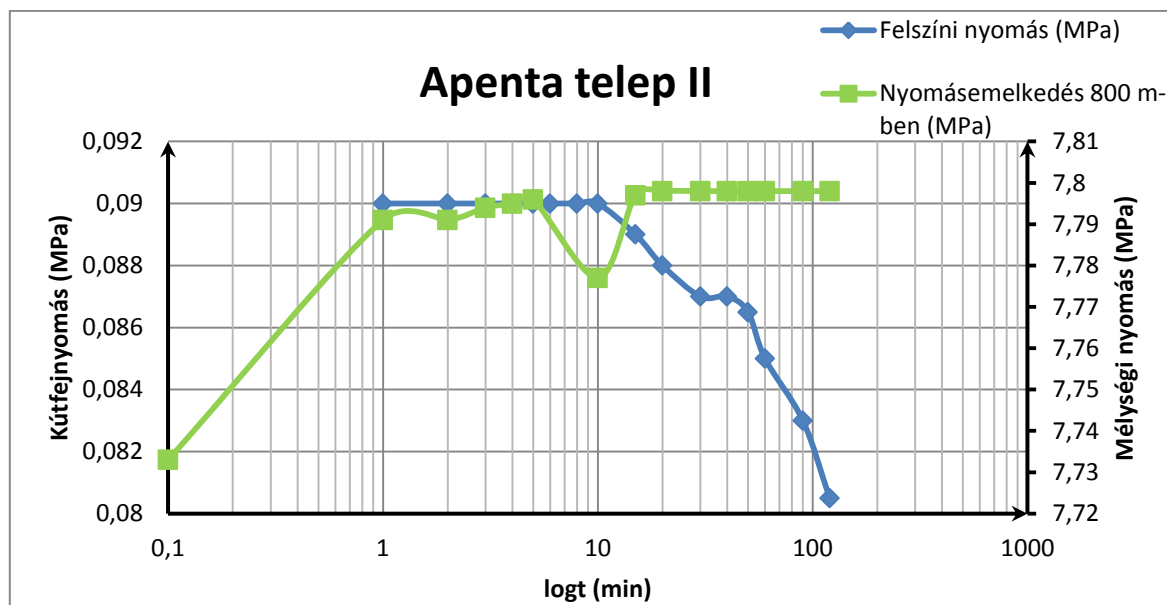
Mindkét kútban 60 percig folyt a termelés, azonban a Városliget I-ben csak 202 l/s-al, míg a Városliget II-ben 4050 l/s-al. Ez mutatja, különösen az utóbbi esetet, hogy ilyen nagymértékű termelés ellenére is a felső triász mészkő/dolomit repedéseiből pillanatszerűen utánpótlódik a víz.

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 mélysegi 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

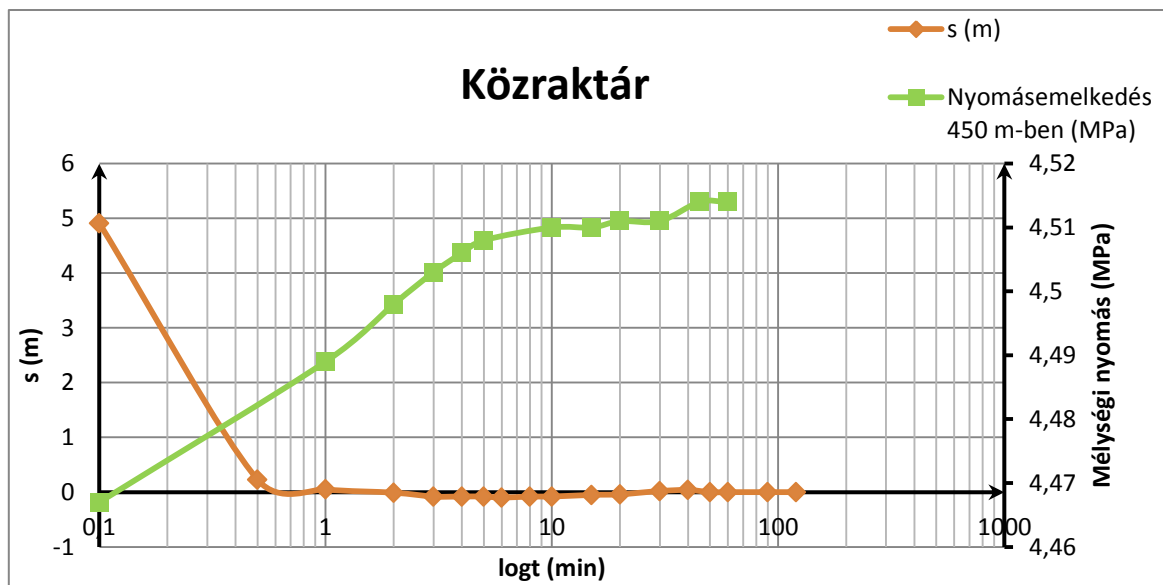
a 11. kerület kútjaiból (Szt. Gellért rakpart Árpád IV, Gellért. hévízmű, GT XIV) is hasonló értékek származnak, mint az SzGK-1-es kútból. A felső-eocén mészkőbreccsára megadott T érték megítéléséhez nincsen viszonyítási alapunk.

Név	Ker.	Azon.	talp (m)	Szűrőzött kőzet	Nyugalmi vsz. ($\pm$ m)	Üzemi vsz. ($\pm$ m)	Hozam (l/perc)	Termelés időtartama (perc)	T (m^2/s)
Kvassay Zsilip 1.	9	K-38	559,5	T ₃ mészkő	5,8	2,1	220		
Közraktár	9	B-39	650,0	T ₃ dolomit	-0,67	-5,58	460	120	
Paskál malm	14	B-24	1399,2	T ₃ mészkő	6,2	1,5	860	60	
Erzsébet tér	5	B-21	739,6	T ₃ 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 ₃ dolomit	-1,91	-2,03	300		1,35E-03
Dunasétány (DS-1)	9	B-43	371,1	E ₃ mészkőb.	0,9	0,73	385		9,61E-03

4. táblázat: Vízszintmérésen és nyomásmérésen alapuló vizsgálatok paraméterei

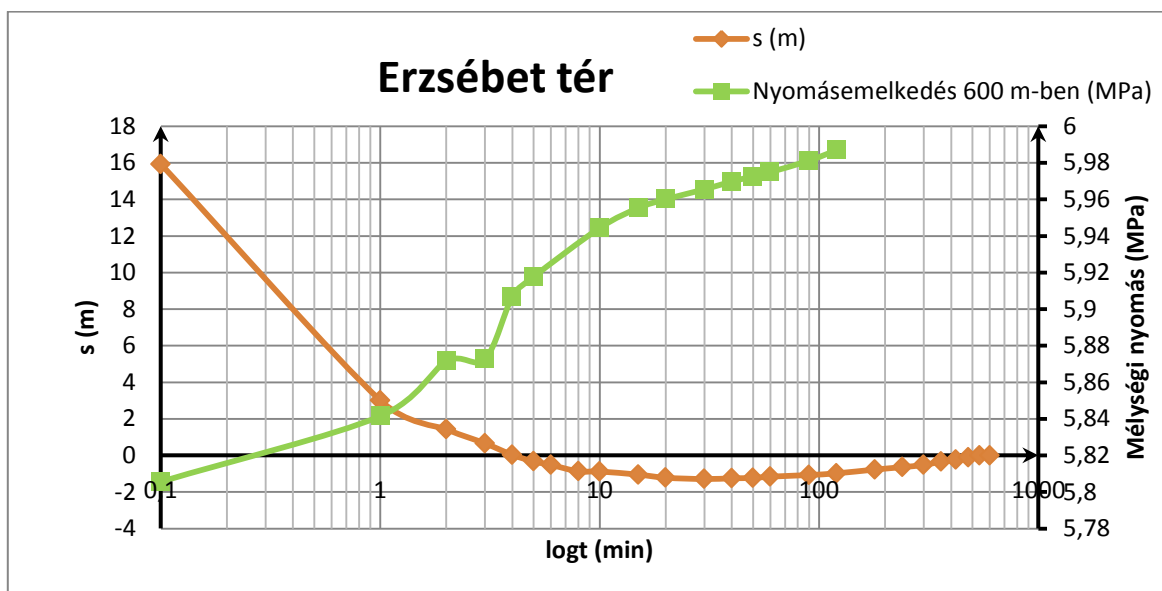
Ebből a csoportból is el lehet különíteni azokat a kutakat, amelyekben a visszatöltődés pillanatszerűen zajlik le. Ilyen a Kvassay Zsilip 1. (továbbiakban Kvzs-1) és a Közraktár kútja. A leszívás és nyomásemelkedés között magas a korreláció, a Kvzs-1 esetében **-0,99**, a Közraktár esetében pedig **-0,86**. 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 mélységi 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.

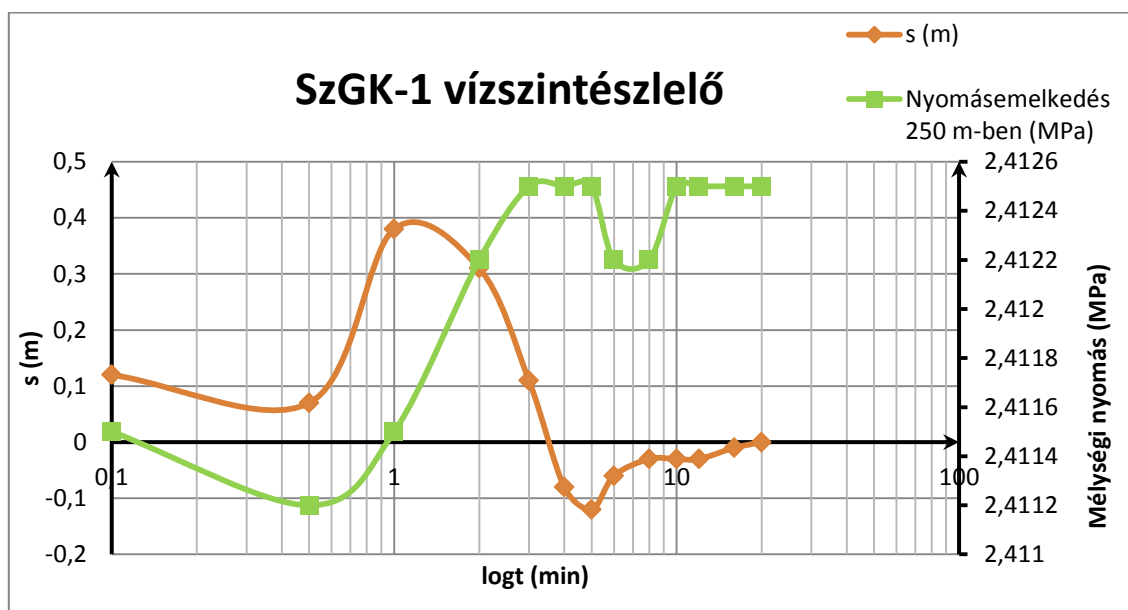


19. ábra: Az Erzsébet tér. kútjában mért leszívás (s) és mélységi nyomásemelkedés

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} m²/s közötti nagyságrendű. Az SzGK-1-es kút idősora nem megfelelő, de az archív adat – aminek az adatsora nem ismert – hasonló értékű (10^{-3} m²/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 Zsili 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	Dunasztény DS-1	pillanatszerű, oszcilláló visszatöltődés

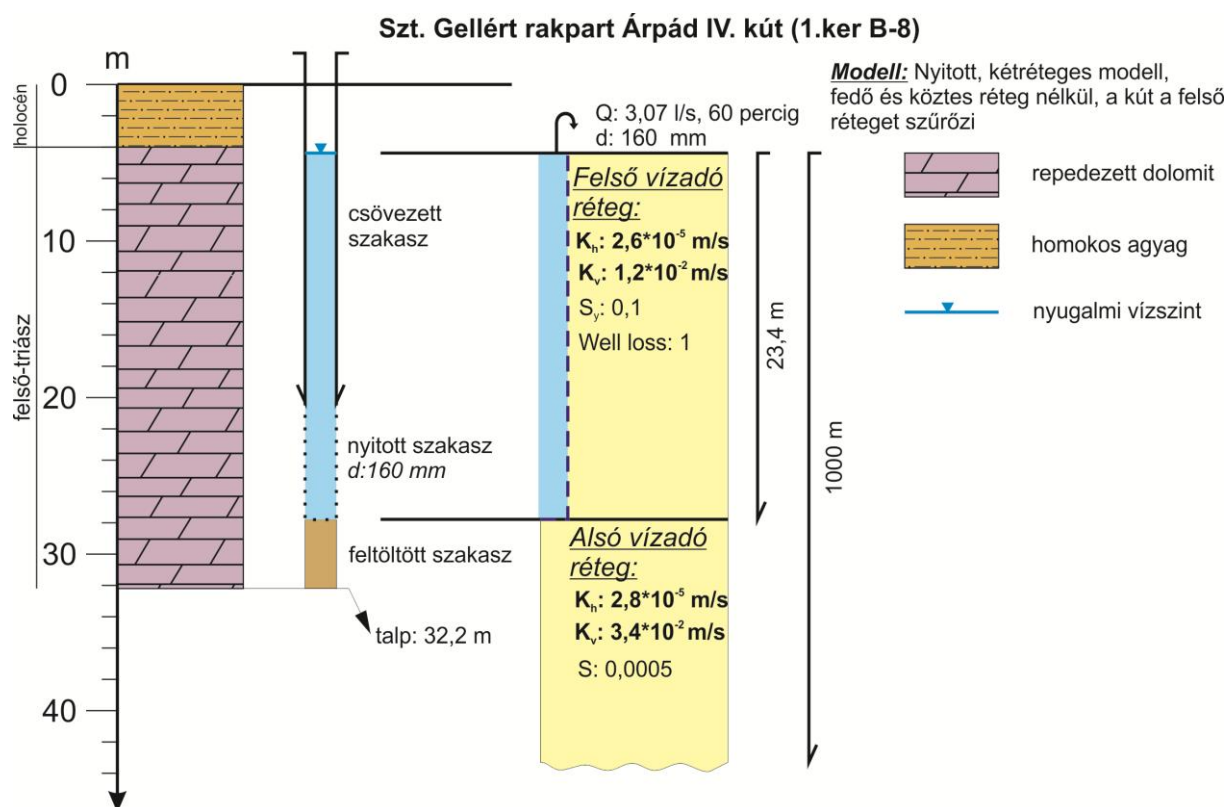
5. táblázat: Visszatöltődés adatsorok használhatósága

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 vízáadó 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.

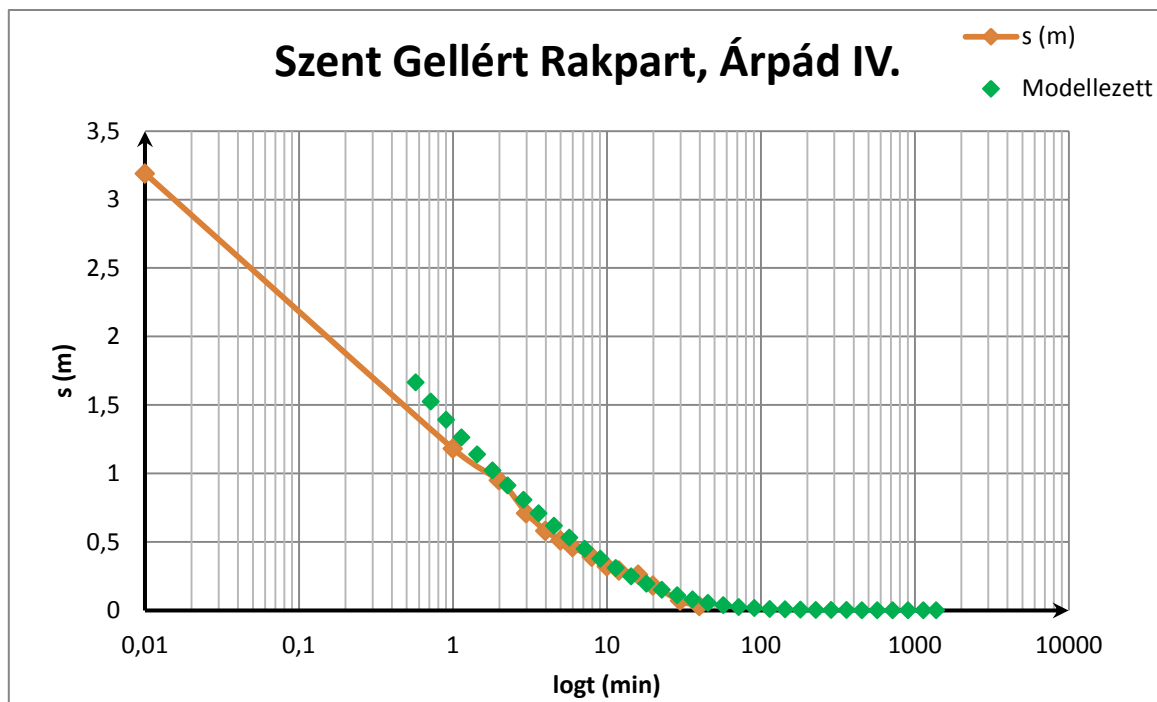
A **6. táblázatban** összefoglaltam a modell bemenő paramétereit, valamint megjelenítettem a szivattyúpróba során kiszámolt archív transzmisszivitás értéket. A fajlagos

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 vízádo réteg vastagságával (23,4 m), akkor az adott réteg transzmisszivitás értékét kapjuk ($2,9 \cdot 10^{-01}$ m²/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 vízádo	Alsó vízádo
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 ² /s)	1,08E-03	S_y	0,10	

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

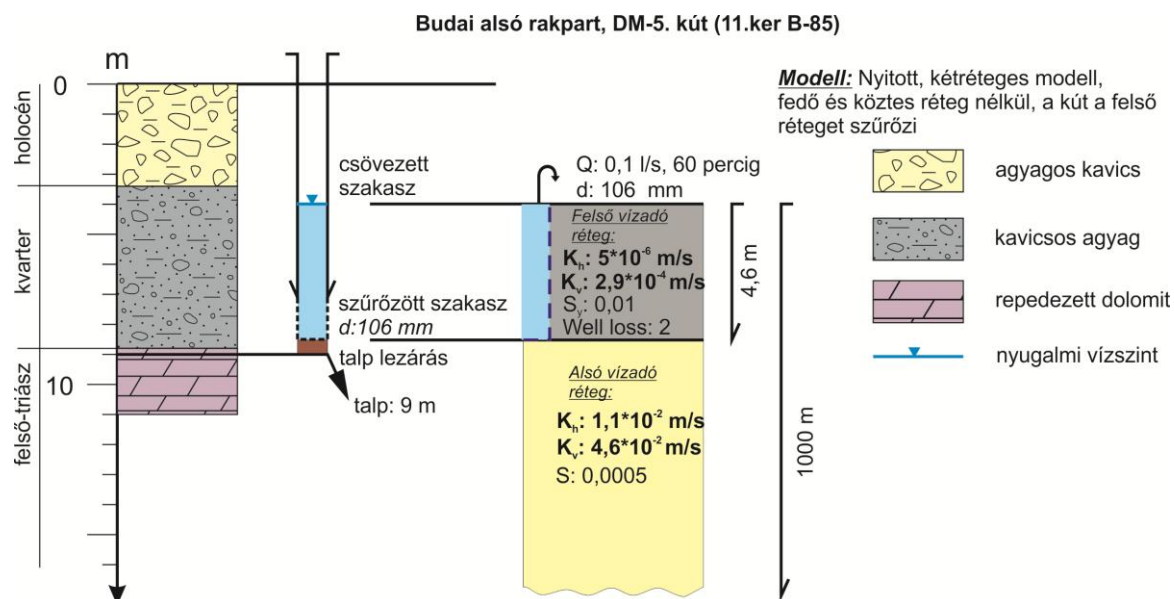


22. ábra: Az Árpád IV. kút mért és modellezett visszatöltődése

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.

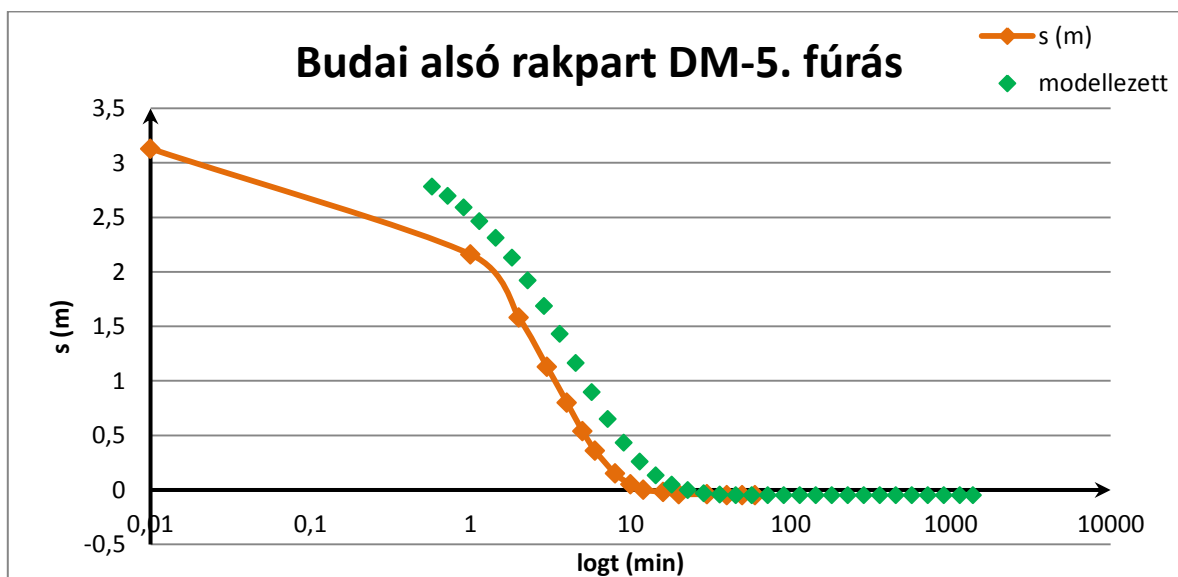
Nyitott, kétrétegű modell, felső réteg szűrőzve		paraméterek	Felső vízáadó	Alsó vízáadó
Termelés (l/s)	0,10	d (m)	4,6	1000,0
szivattyúzás időtartam (nap)	0,04	K_h (m/s)	5,00E-06	1,10E-02
visszatöltődés időtartam (nap)	1,00	K_v (m/s)	2,80E-04	4,60E-02
szűrő átmérő (inch)	4,2	S		5,00E-04
Archív T (m^2/s)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

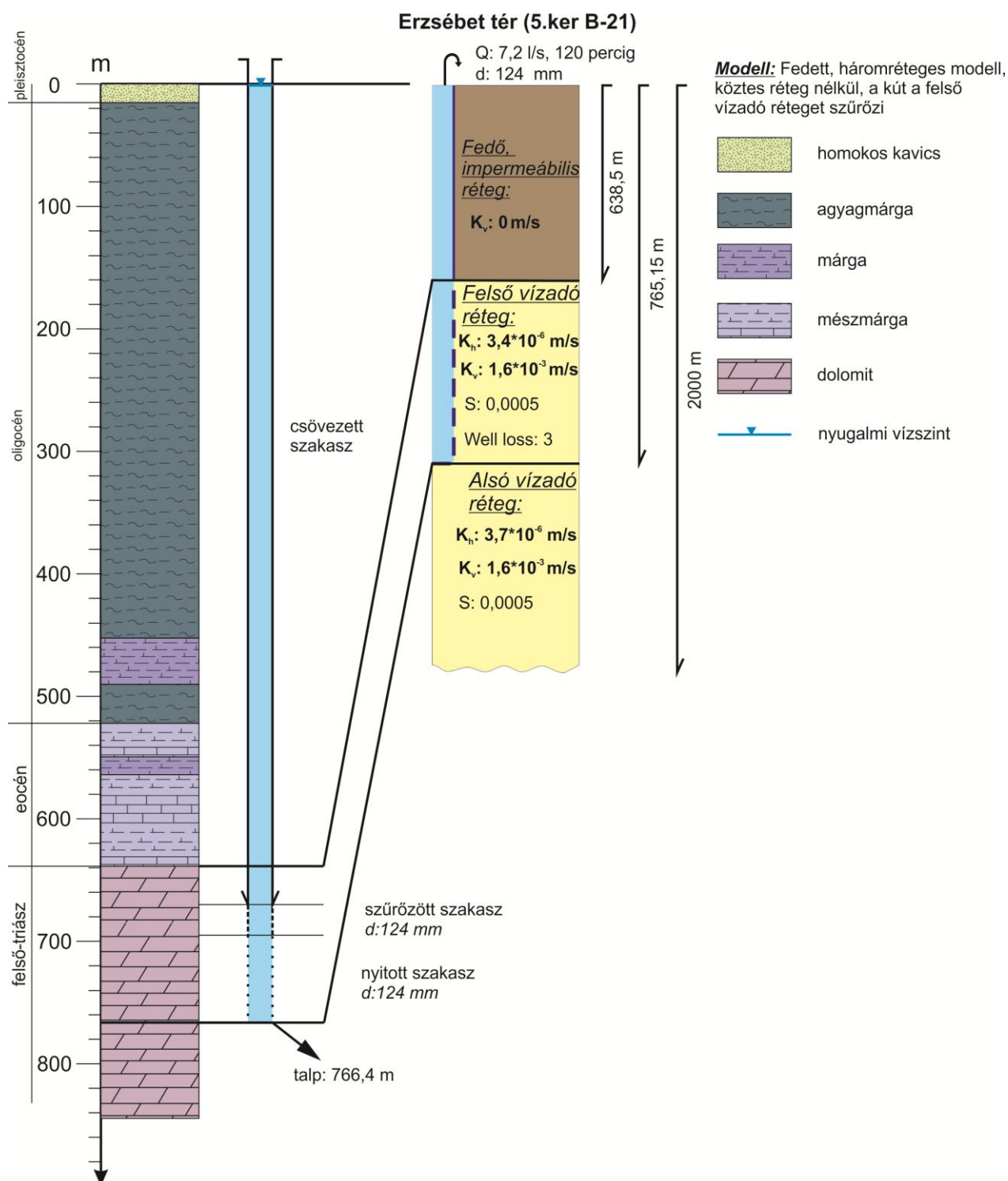


24. ábra: A Budai alsó rakpart, DM-5. kút mért és modellezett visszatöltődése

5.2.3 Erzsébet téri kút

Az előző két kúttal ellentétben ez sokkal mélyebb (766,4 m) objektum. A vízáadó 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 impermeábilisként kezelhető. A felső vízáadó 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, impermeábilisnak 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.

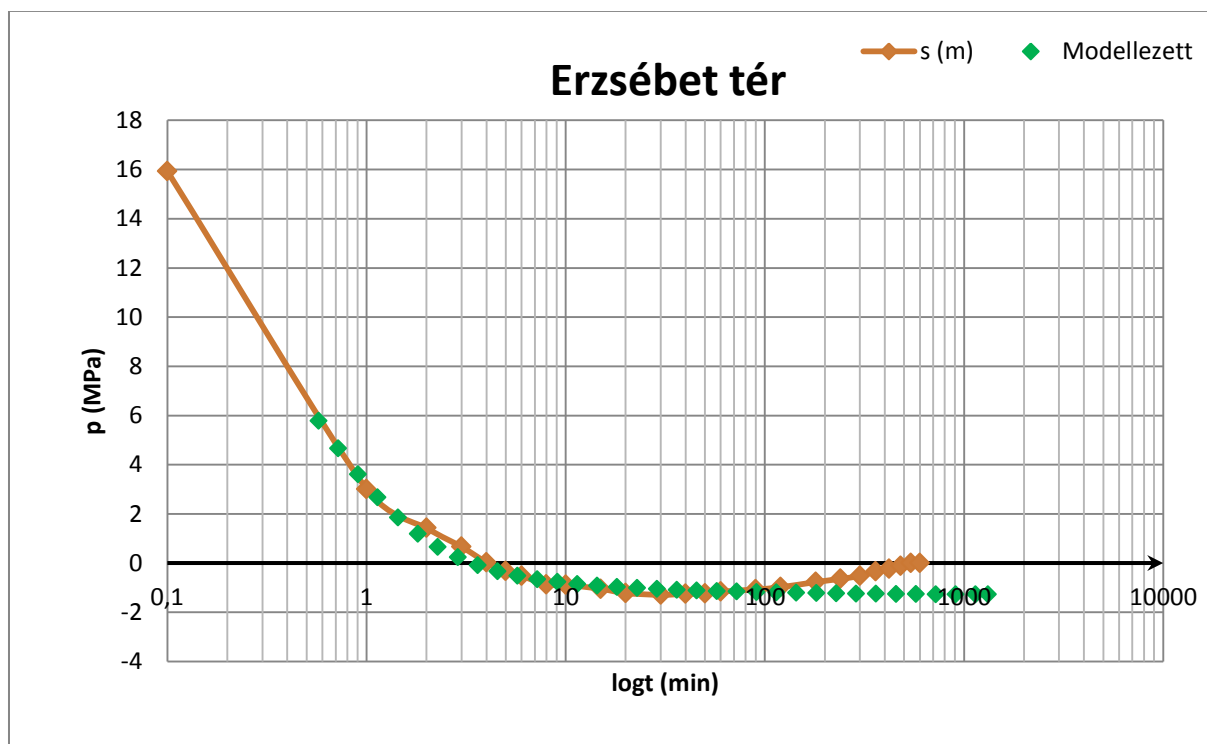


25. ábra: Az Erzsébet téri kút rétegsora és a modell rétegek

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 (m^2/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.

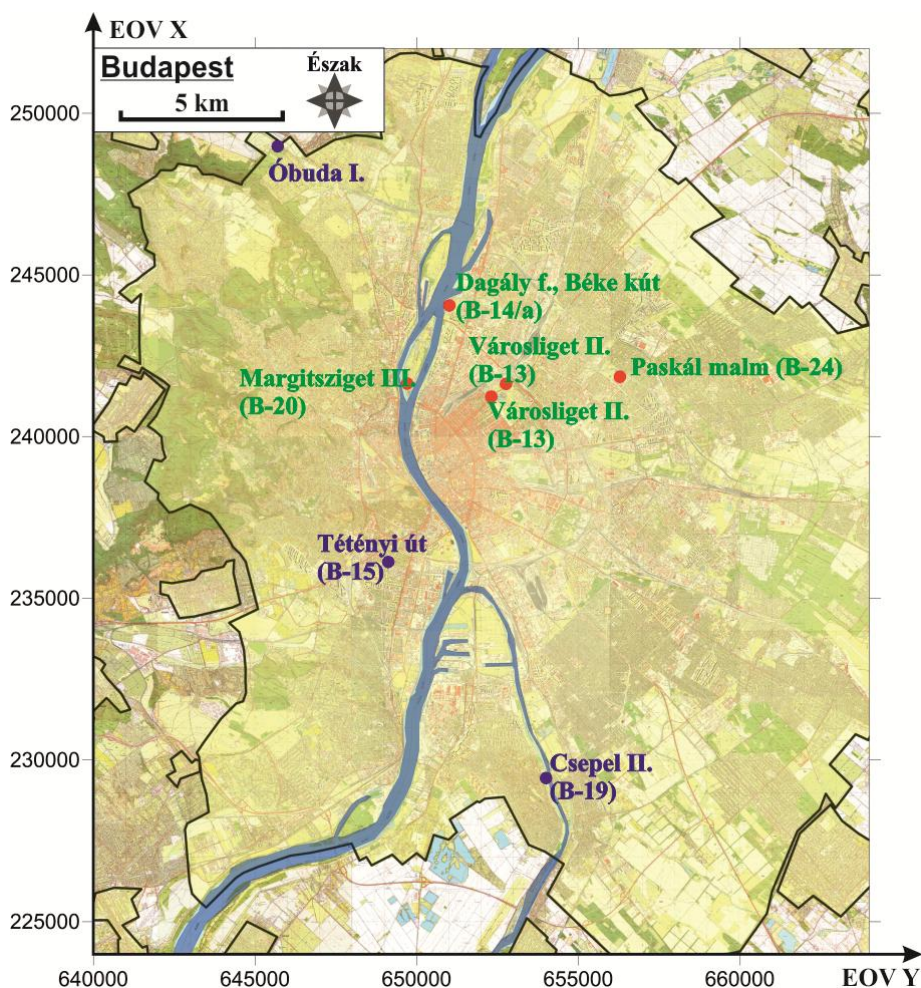
A DM-5 kút példája azonban jól mutatja, hogy a modellnek vannak korlátai, a repedezettséget nem tudjuk figyelembe venni megfelelő módon, ez magyarázhatja a modellezett és a mért görbe közötti eltérést. A repedezettség hatása azonban megjelenik, tulajdonképpen a szoftver anizotrópiára „fordítja le” a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



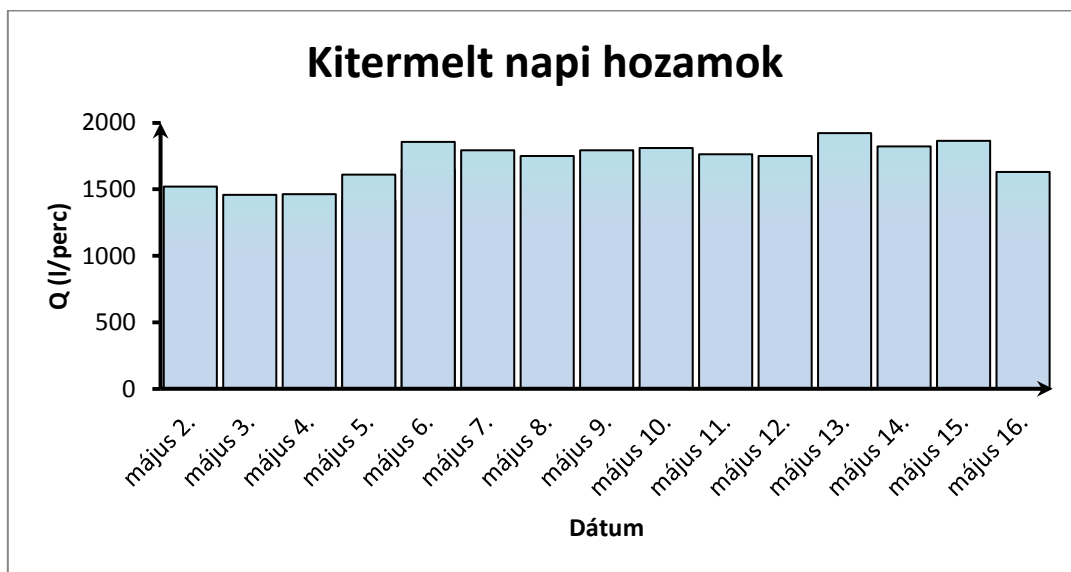
27. ábra: Az 1965-ben kiépített kútmérő-hálózat területi eloszlása
(Forrás: Budapest EOY térkép)

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)

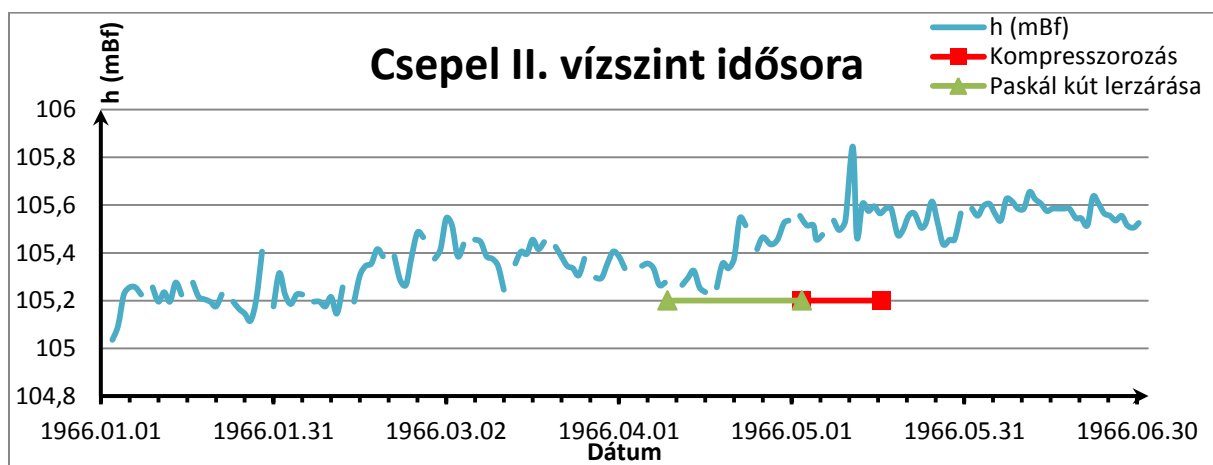
A termelési idő alatt kétszer is növelték a hozamot, ami miatt egyszer le is állították a termelést néhány órára (ez tulajdonképpen az egzakt analitikus kiértékelést ellehetetleníti). Az így elért maximális hozam 2000 l/perc volt. Az egész időre ez átlagosan 1700 l/perc vízhozamot jelent (BÖCKER, 1966).

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

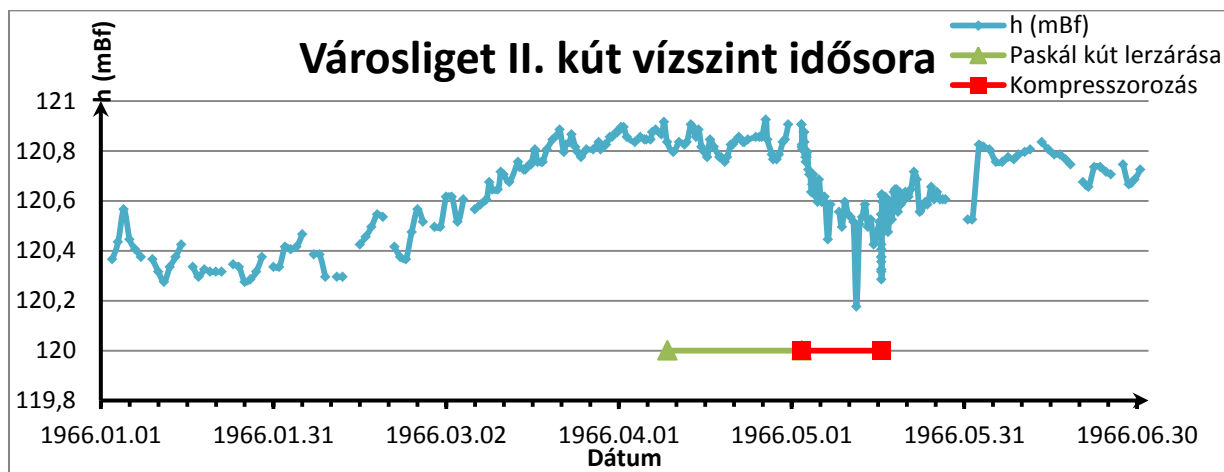
A kiértékeléshez az adatsor nem ideális, a mérés körülmények több szempontból sem voltak ehhez megfelelők. Ennek ellenére Budapest területéről azóta is ez az egyetlen ilyen hosszú idejű (14 napos) szivattyú teszt. Tehát a paraméterekre vonatkozóan csak ebből tudtam dolgozni.

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).

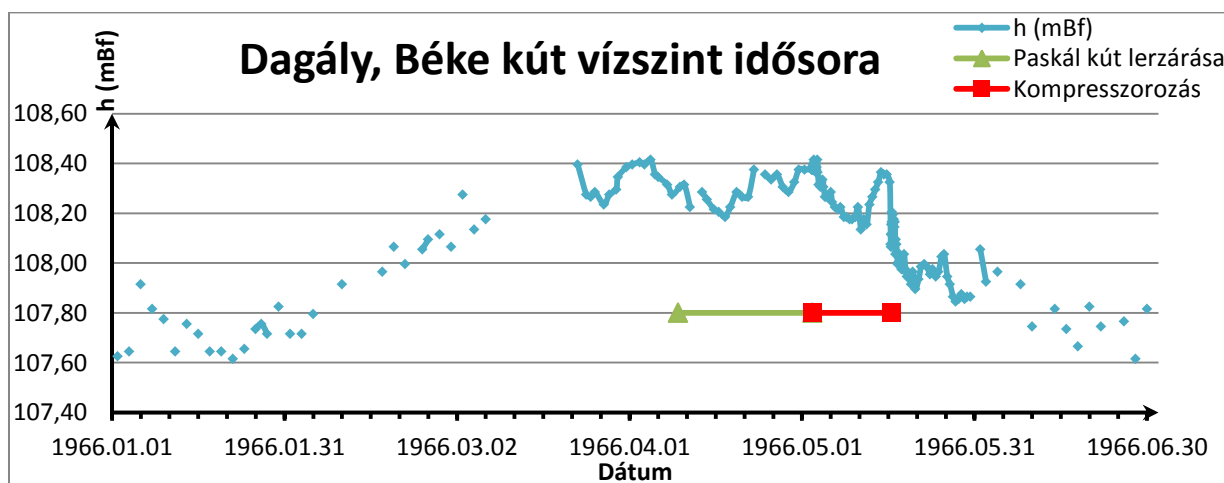


29. ábra: A Csepel II. kút vízszint idősora a vizsgált időszakra

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.



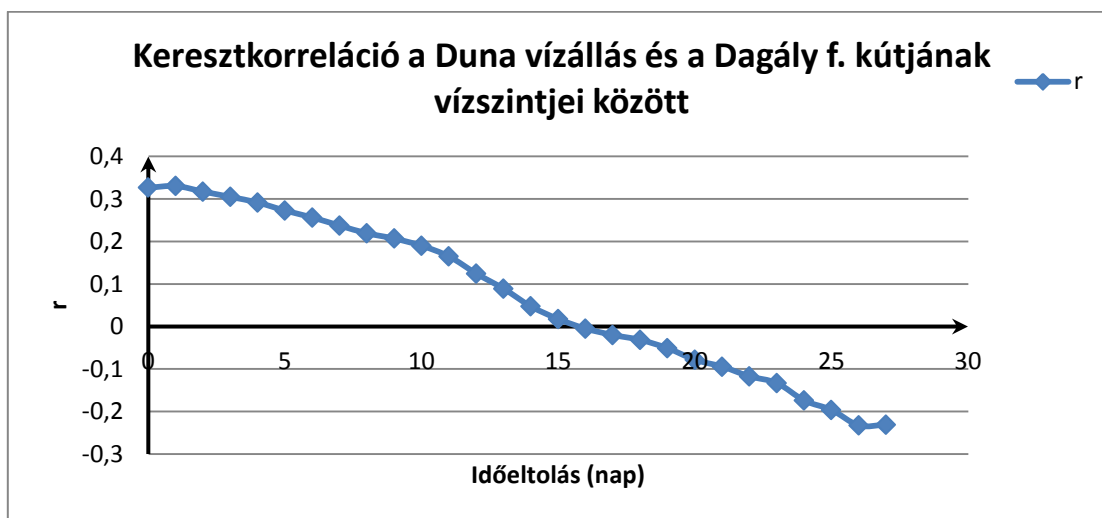
30. ábra: Városliget II. kút vízszint idősora



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)**:

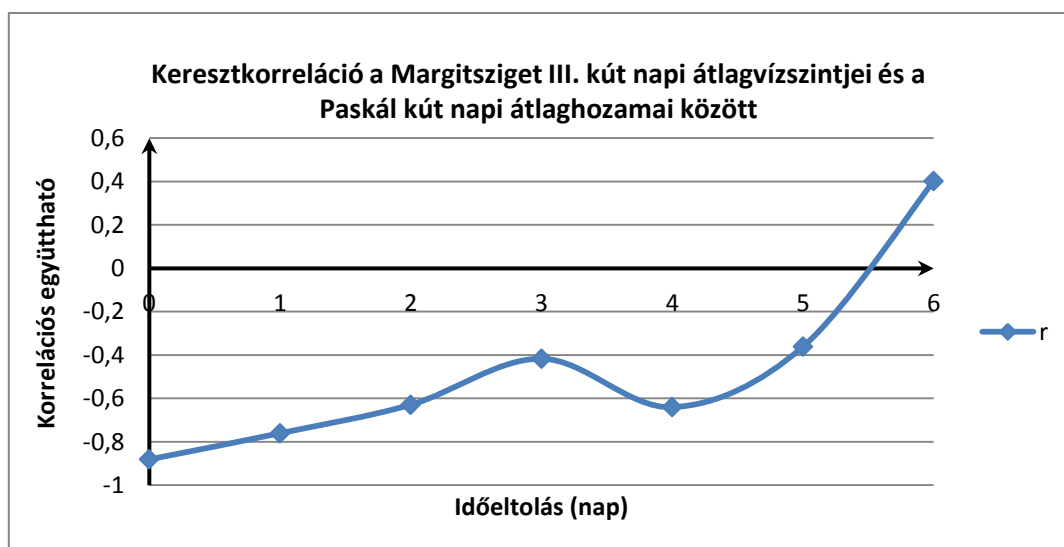


32. ábra: Keresztkorreláció a Duna vízállás és a Dagály f. kútjának vízszintjei között

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)**:



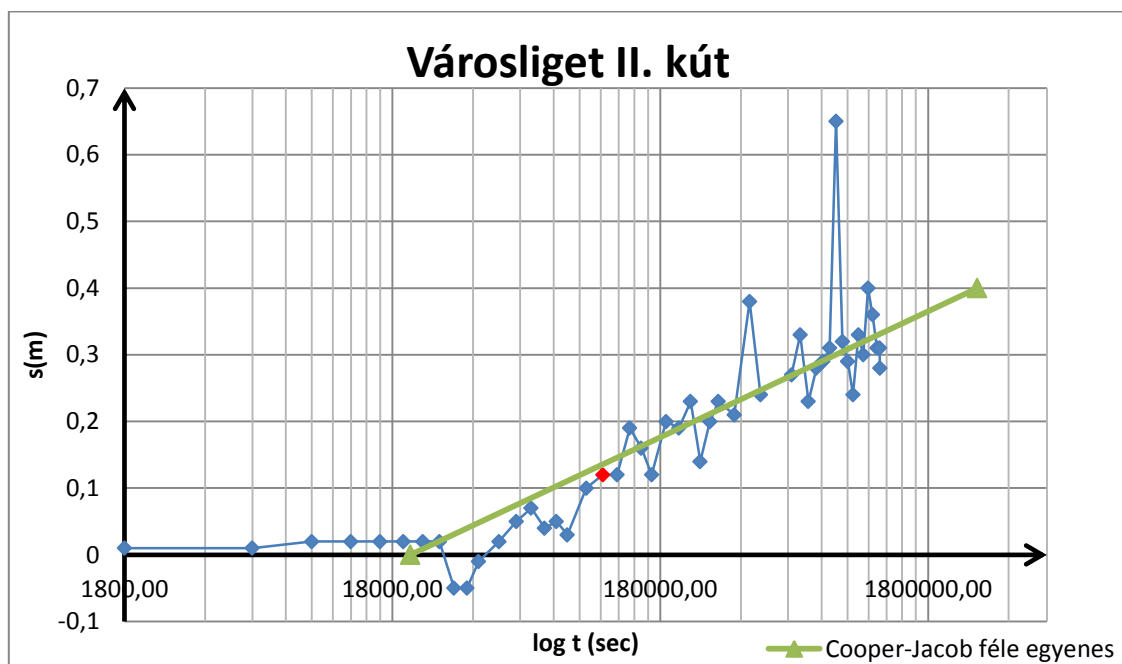
33. ábra: Keresztkorreláció a Margitsziget III. kút napi átlag vízszintjei és a Paskál kút napi átlaghozamai között

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.

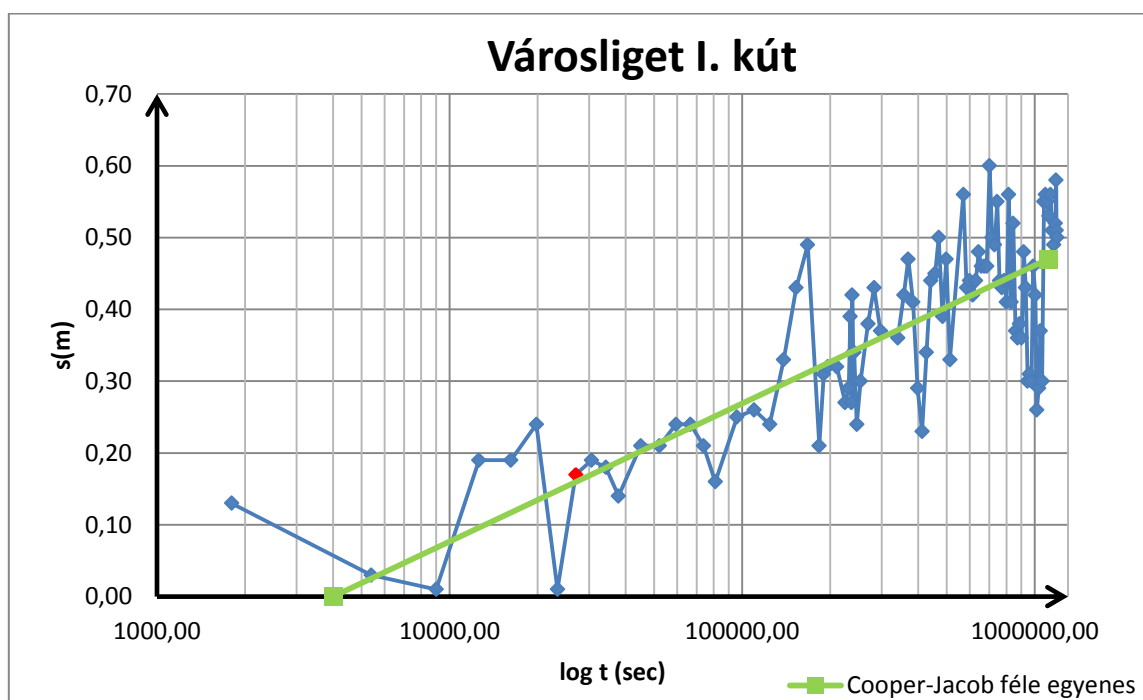
Következő lépésben meghatároztam, a leszívást az egyes kutakra, amelyek adatsorai szerepelnek a dolgozat mellékletében (**4. melléklet**). A görbéket első lépésben - jobb megoldás hiányában - Cooper-Jacob féle klasszikus analitikus módszerrel elemeztem. A módszer feltételei közül teljesül az, hogy fedett 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

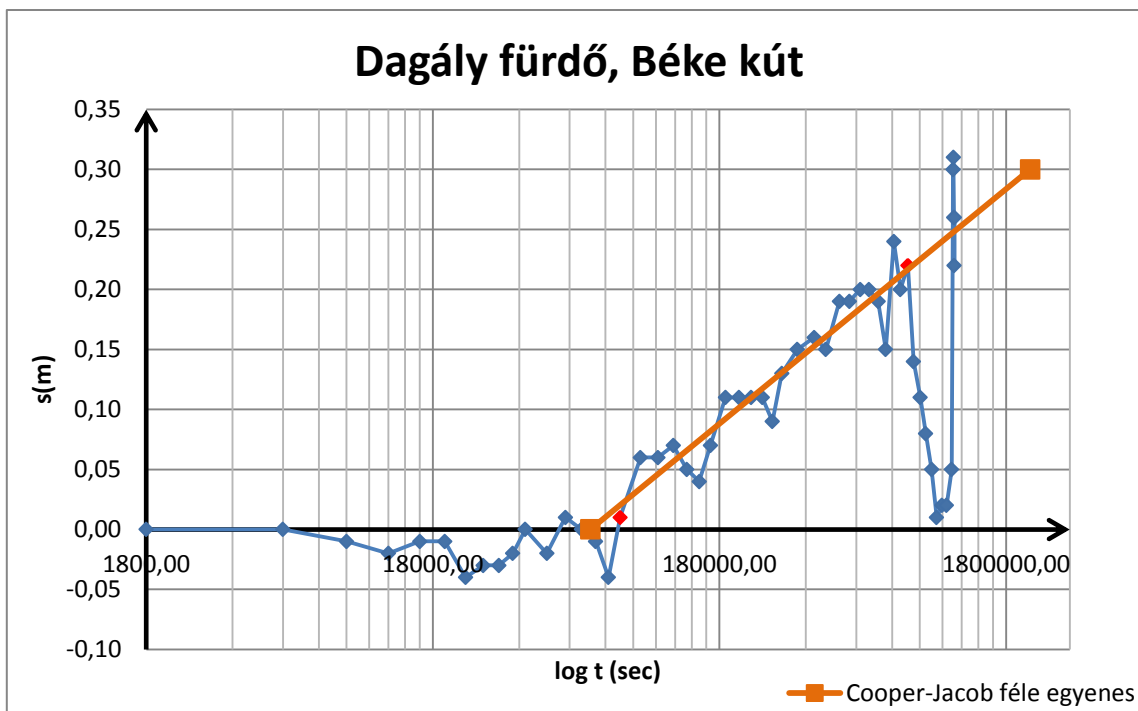
leszívásban a termelés előrehaladásával. A következő grafikonokon ezek láthatók (34. ábra, 35. ábra, 36. ábra, 37. ábra):



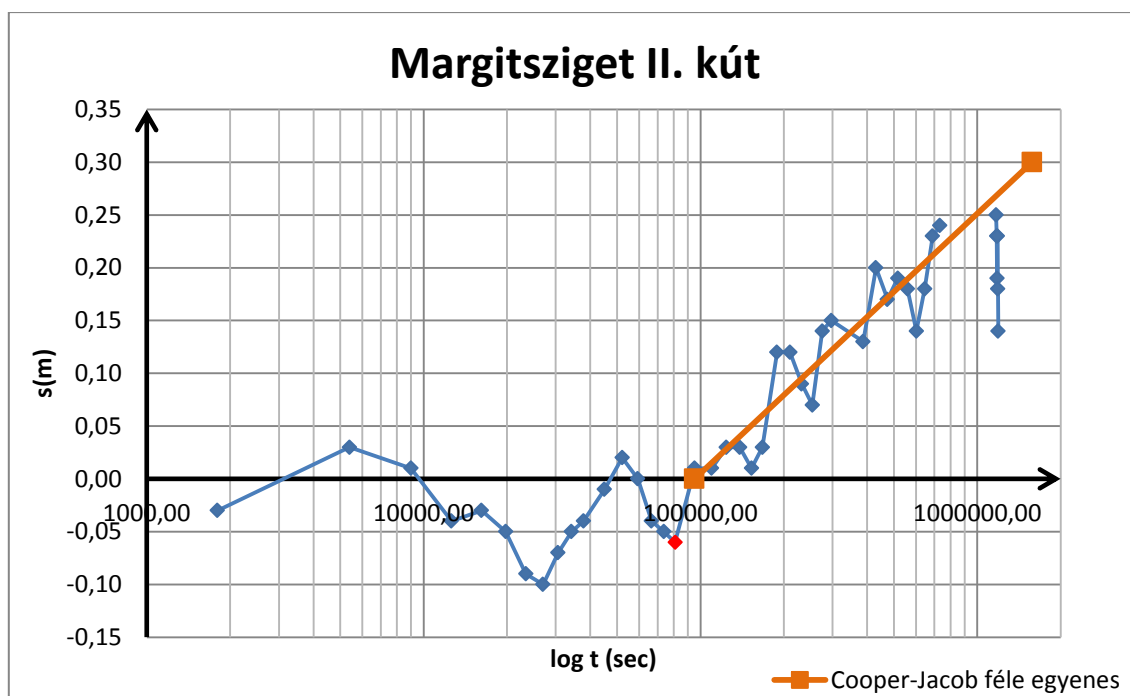
34. ábra: Városliget II. kút, Cooper-Jacob egyenes illesztés



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^2	Korreláció	t_0 (óra)	$T(m^2/sec)$	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 ₃ mészkő
Városliget II.	B-13	108	3536,6	1246,1	1251,6	11,0	380	T ₃ mészkő
Városliget I.	B-21	106,4	4030,7	916,5	947,6	45,7	na	T ₃ dolomit
Dagály fürdő, Béke kút	B-14/a	100,8	5715,1	125,9	119,7	6,7	228	E ₃ mészkő
Margitsziget II.	B-20	104,3	6587,2	301,5	306,2	9,5	120	E ₃ 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 vizsgálatnál 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 adathiány 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} m²/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} m²/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 időszoraiiban 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} m²/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 hévízes 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

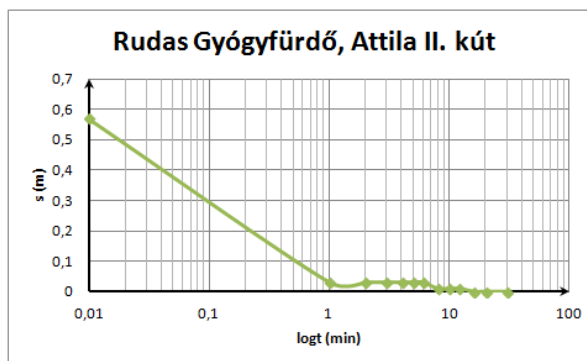
1. ÁBRA: A BUDAI-HEGYSÉG ÉS KÖRNYEZETE TOPOGRÁFIAI VISZONYAI (ERHARDT I., 2012)	6
2. ÁBRA: A BUDAI-HEGYSÉG ÉS KÖRNYEZETE ÁLTALÁNOSÍTOTT RÉTEGSORA AZ OLIGOCÉNNEL BEZÁRÓLAG (CSÁSZÁR ET AL., 1997, ALAPJÁN)	9
3. ÁBRA: A BUDAI TERMÁLKARSZT ÁRAMLÁSI RENDSZEREINEK ÁLTALÁNOS MODELLJE (MÓDOSÍTVA ERŐSS ET AL. 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 VISSZATÖLTŐDÉSSSEL RENDELKEZŐ KUTAK TERÜLET SZERINTI ELOSZLÁSA (FORRÁS: BUDAPEST EOVS TÁRKÉP)	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 TENGYEL A FELSZÍNI, A JOBB PEDIG A MÉLYSÉGI NYOMÁSHOZ TARTOZIK.	34
17. ÁBRA: AZ APENTA II. KÚTBAN MÉRT NYOMÁSEMELKEDÉS, A BAL OLDALI TENGYEL A FELSZÍNI, A JOBB PEDIG A MÉLYBELI NYOMÁSHOZ TARTOZIK.	35
4. TÁBLÁZAT: VÍZSZINTMÉRÉSEN ÉS NYOMÁSMÉRÉSEN ALAPULÓ VIZSGÁLTATOK 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

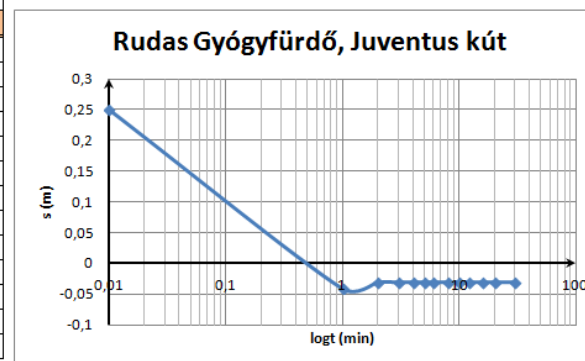
MELLÉKLETEK

1. melléklet: Visszatöltődés idősorok

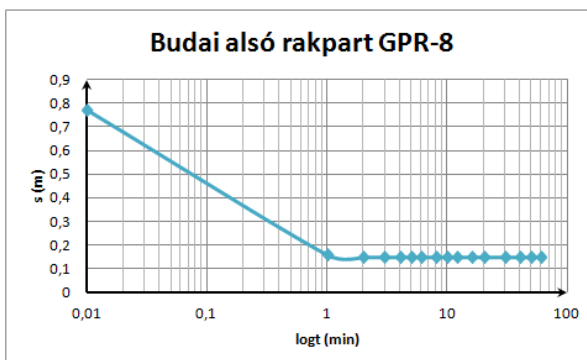
Rudas Gyógyfürdő, Attila II. kút		
nyugalmi vízszint ($\pm m$)		0,2
t (min)	d (m)	s (m)
0,01	-0,37	0,57
1	0,17	0,03
2	0,17	0,03
3	0,17	0,03
4	0,17	0,03
5	0,17	0,03
6	0,17	0,03
8	0,19	0,01
10	0,19	0,01
12	0,19	0,01
16	0,2	0
20	0,2	0
30	0,2	0



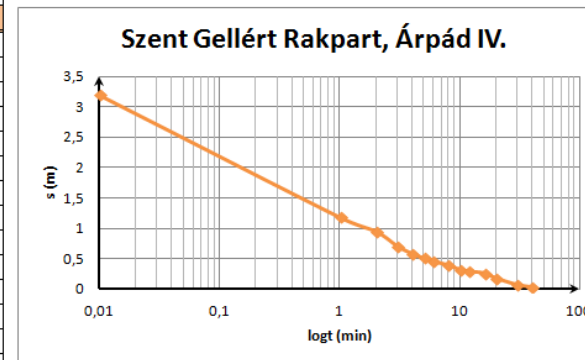
Rudas Gyógyfürdő, Juventus kút		
nyugalmi vízszint ($\pm m$)		0,35
t (min)	d (m)	s (m)
0,01	0,1	0,25
1	0,39	-0,04
2	0,38	-0,03
3	0,38	-0,03
4	0,38	-0,03
5	0,38	-0,03
6	0,38	-0,03
8	0,38	-0,03
10	0,38	-0,03
12	0,38	-0,03
16	0,38	-0,03
20	0,38	-0,03
30	0,38	-0,03



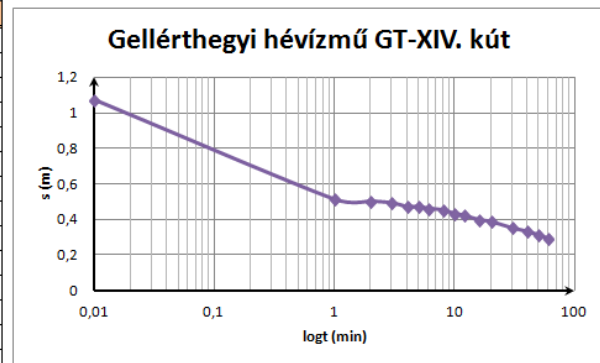
Budai alsó rakpart GPR-8		
nyugalmi vízszint ($\pm m$)		-2,88
t (min)	d (m)	s (m)
0,01	-3,65	0,77
1	-3,04	0,16
2	-3,03	0,15
3	-3,03	0,15
4	-3,03	0,15
5	-3,03	0,15
6	-3,03	0,15
8	-3,03	0,15
10	-3,03	0,15
12	-3,03	0,15
16	-3,03	0,15
20	-3,03	0,15
30	-3,03	0,15
40	-3,03	0,15
50	-3,03	0,15
60	-3,03	0,15



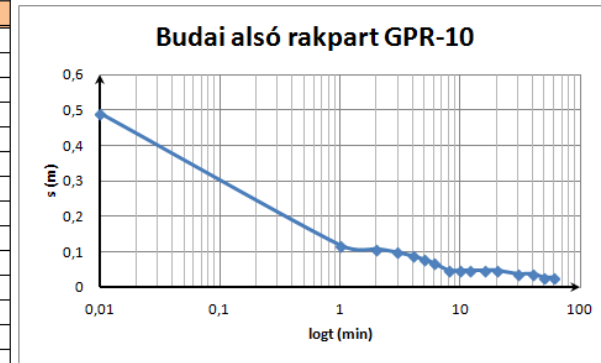
Szt. Gellért rakpart Árpád IV.		
nyugalmi vízszint ($\pm m$)		-4,38
t (min)	d (m)	s (m)
0,01	-7,57	3,19
1	-5,56	1,18
2	-5,33	0,95
3	-5,09	0,71
4	-4,96	0,58
5	-4,89	0,51
6	-4,84	0,46
8	-4,77	0,39
10	-4,7	0,32
12	-4,67	0,29
16	-4,64	0,26
20	-4,56	0,18
30	-4,45	0,07
40	-4,41	0,03



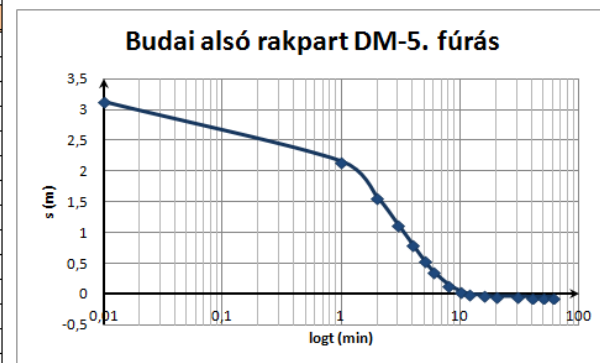
Gellérth. hévízmű, GT XIV.		
nyugalmi vízszint (±m)		-4,5
t (min)	d (m)	s (m)
0,01	-5,57	1,07
1	-5,01	0,51
2	-5	0,5
3	-4,99	0,49
4	-4,97	0,47
5	-4,97	0,47
6	-4,96	0,46
8	-4,95	0,45
10	-4,93	0,43
12	-4,92	0,42
16	-4,895	0,395
20	-4,885	0,385
30	-4,85	0,35
40	-4,83	0,33
50	-4,81	0,31
60	-4,79	0,29



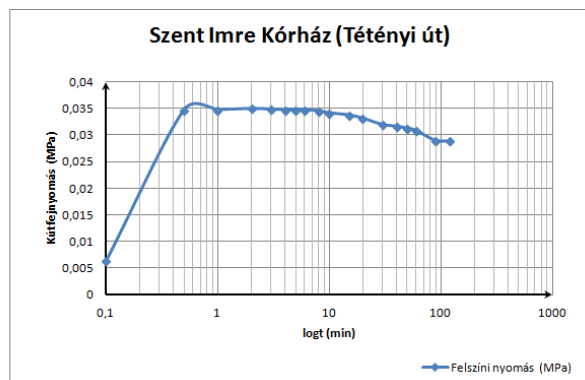
Budai alsó rakpart GPR-10		
nyugalmi vízszint (±m)		-3,1
t (min)	d (m)	s (m)
0,01	-3,59	0,49
1	-3,22	0,12
2	-3,21	0,11
3	-3,2	0,1
4	-3,19	0,09
5	-3,18	0,08
6	-3,17	0,07
8	-3,15	0,05
10	-3,15	0,05
12	-3,15	0,05
16	-3,15	0,05
20	-3,15	0,05
30	-3,14	0,04
40	-3,14	0,04
50	-3,13	0,03
60	-3,13	0,03



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

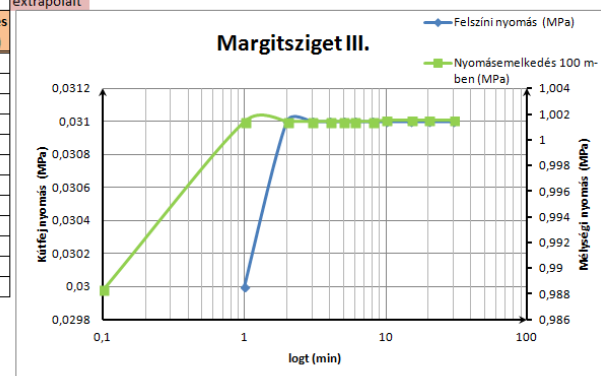


Szent Imre Kórház (Tétényi út)		
Nyugalmi nyomás (MPa)		
t (min)	Felszíni nyomás (MPa)	
0,1	0,00637	
0,5	0,0348	
1	0,0348	
2	0,035	
3	0,0349	
4	0,0348	
5	0,0348	
6	0,0348	
8	0,0346	
10	0,0342	
15	0,0338	
20	0,0332	
30	0,032	
40	0,0317	
50	0,0313	
60	0,0309	
90	0,029	
120	0,0289	

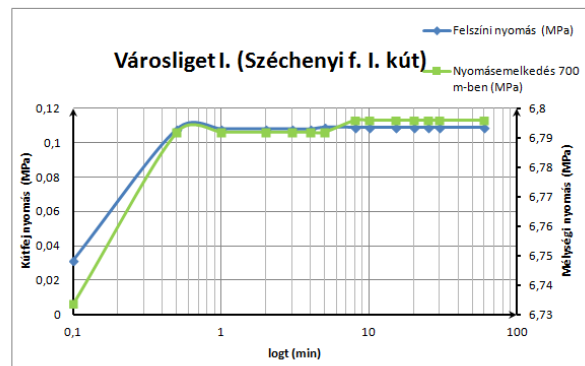


Margitsziget III.		
Nyugalmi vízszint (m)		
t (min)	Felszíni nyomás (MPa)	Nyomásemelkedés 100 m-ben (MPa)
0,1		0,9883
1	0,03	1,0014
2	0,031	1,0014
3	0,031	1,0014
4	0,031	1,0014
5	0,031	1,0014
6	0,031	1,0014
8	0,031	1,0014
10	0,031	1,0015
15	0,031	1,0015
20	0,031	1,0015
30	0,031	1,0015

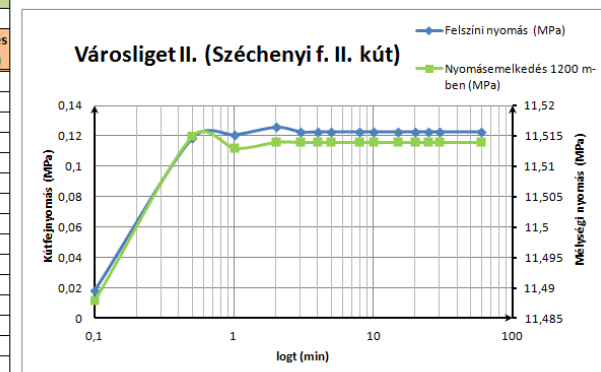
extrapolált



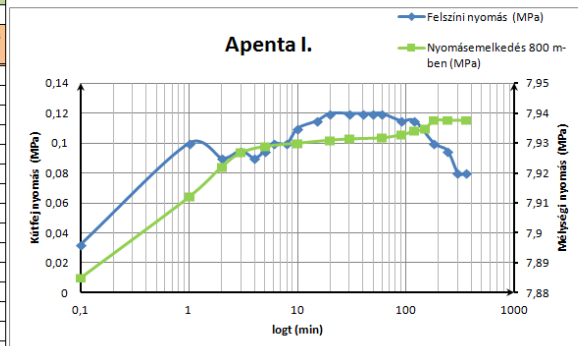
Városliget II. (Széchenyi f. II. kút)		
Nyugalmi nyomás (MPa)		
t (min)	Felszíni nyomás (MPa)	Nyomásemelkedés 1200 m-ben (MPa)
0,1	0,019	11,488
0,5	0,119	11,515
1	0,121	11,513
2	0,126	11,514
3	0,123	11,514
4	0,123	11,514
5	0,123	11,514
8	0,123	11,514
10	0,123	11,514
15	0,123	11,514
20	0,123	11,514
25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



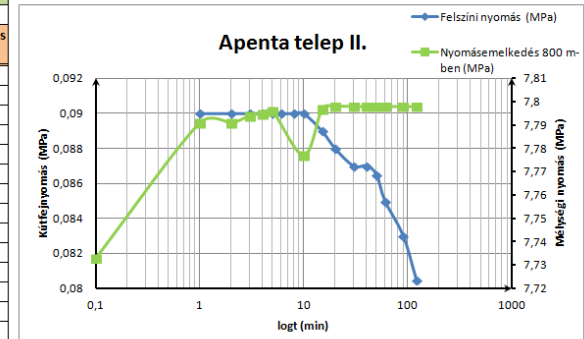
Városliget I. (Széchenyi f. I. kút)		
Nyugalmi nyomás (MPa)		
t (min)	Felszíni nyomás (MPa)	Nyomásemelkedés 700 m-ben (MPa)
0,1	0,032	6,734
0,5	0,108	6,792
1	0,108	6,792
2	0,108	6,792
3	0,108	6,792
4	0,108	6,792
5	0,109	6,792
8	0,109	6,796
10	0,109	6,796
15	0,109	6,796
20	0,109	6,796
25	0,109	6,796
30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



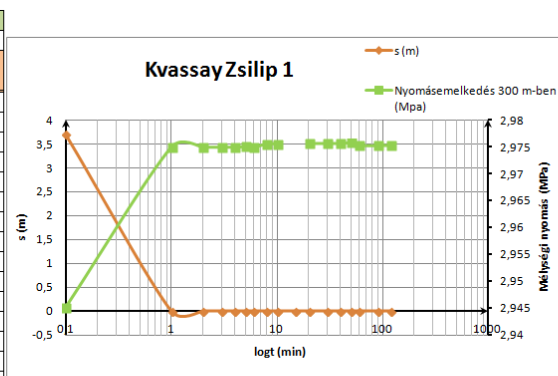
Apenta hévízkút		
Nyugalmi nyomás (MPa)		0,12
t (min)	Felszíni nyomás (MPa)	Nyomásemelkedés 800 m-ben (MPa)
0,1	0,032	7,849
1	0,1	7,912
2	0,09	7,9221
3	0,095	7,9268
4	0,09	
5	0,095	7,9289
6	0,1	
8	0,1	
10	0,11	7,93
15	0,115	
20	0,12	7,931
30	0,12	7,9314
40	0,12	
50	0,12	
60	0,12	7,9318
90	0,115	7,9328
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



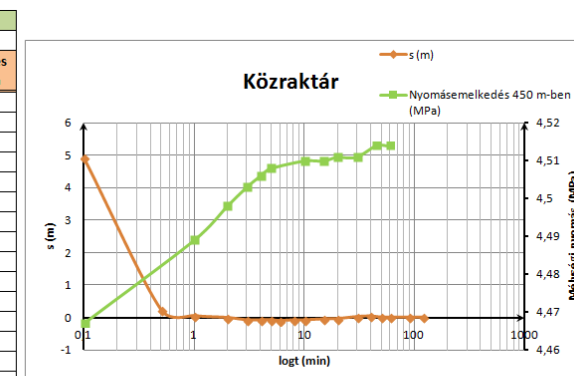
Apenta II.		
Nyugalmi nyomás (MPa)		0,0805
t (min)	Felszíni nyomás (MPa)	Nyomásemelkedés 800 m-ben (MPa)
0,1		7,733
1	0,09	7,791
2	0,09	7,791
3	0,09	7,794
4	0,09	7,795
5	0,09	7,796
6	0,09	
8	0,09	
10	0,09	7,777
15	0,089	7,797
20	0,088	7,798
30	0,087	7,798
40	0,087	7,798
50	0,0865	7,798
60	0,085	7,798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



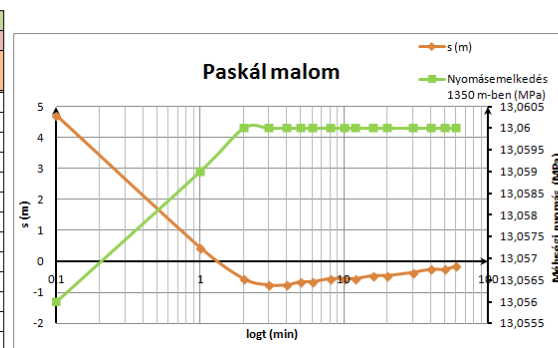
Kvassay Zsilip 1			
nyugalmi vízszint (±m)	5,8		
t (min)	d (m)	s (m)	Nyomásemelkedés 300 m-ben (MPa)
0,1	2,1	3,7	2,9451
1	5,8	0	2,975
2	5,8	0	2,975
3	5,8	0	2,975
4	5,8	0	2,975
5	5,8	0	2,9751
6	5,8	0	2,975
8	5,8	0	2,9756
10	5,8	0	2,9756
15	5,8	0	
20	5,8	0	2,9757
30	5,8	0	2,9757
40	5,8	0	2,9757
50	5,8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



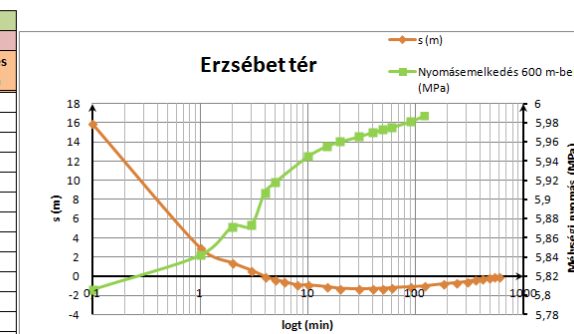
Közraktár			
nyugalmi vízszint (±m)	-0,67		
t (min)	d (m)	s (m)	Nyomásemelkedés 450 m-ben (MPa)
0,1	-5,58	4,91	4,467
0,5	-0,9	0,23	
1	-0,72	0,05	4,489
2	-0,66	-0,01	4,498
3	-0,59	-0,08	4,503
4	-0,59	-0,08	4,506
5	-0,59	-0,08	4,508
6	-0,57	-0,1	
8	-0,59	-0,08	
10	-0,59	-0,08	4,51
15	-0,62	-0,05	4,51
20	-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		



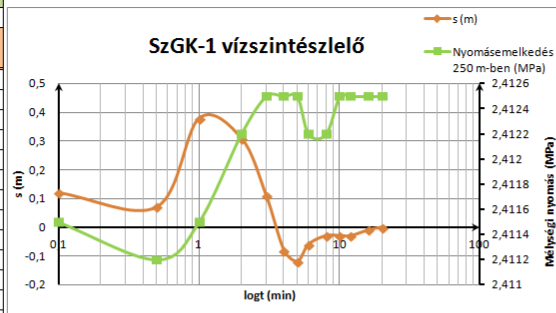
Paskál malom			
nyugalmi vízszint (±m)	6,2	extrapolált	
t (min)	d (m)	s (m)	Nyomásemelkedés 1350 m-ben (MPa)
0,1	1,5	4,7	13,056
1	5,75	0,45	13,059
2	6,75	-0,55	13,06
3	6,95	-0,75	13,06
4	6,95	-0,75	13,06
5	6,85	-0,65	13,06
6	6,85	-0,65	13,06
8	6,75	-0,55	13,06
10	6,75	-0,55	13,06
12	6,75	-0,55	13,06
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		



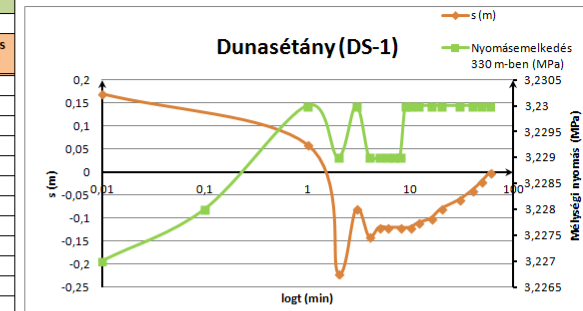
Erzsébet tér			
nyugalmi vízszint (±m)	-1,25	extrapolált	
t (min)	d (m)	s (m)	Nyomásemelkedés 600 m-ben (MPa)
0,1	-17,18	15,93	5,8056
1	-4,26	3,01	5,8415
2	-2,68	1,43	5,8715
3	-1,91	0,66	5,8727
4	-1,28	0,03	5,9068
5	-0,92	-0,33	5,9177
6	-0,73	-0,52	
8	-0,38	-0,87	
10	-0,37	-0,88	5,9444
15	-0,2	-1,05	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		



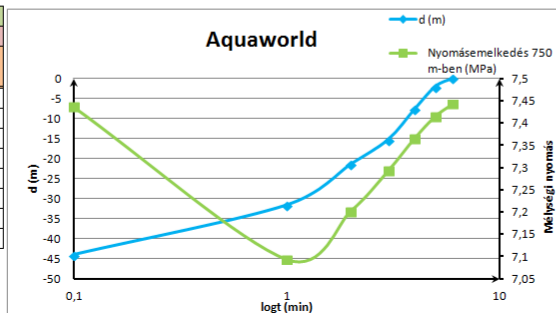
SzGK-1 vízszintészlelő			
nyugalmi vízszint ($\pm m$)	-1,91		
t (min)	d (m)	s (m)	Nyomásemelkedés 250 m-ben (MPa)
0,1	-2,03	0,12	2,4115
0,5	-1,98	0,07	2,4112
1	-2,29	0,38	2,4115
2	-2,22	0,31	2,4122
3	-2,02	0,11	2,4125
4	-1,83	-0,08	2,4125
5	-1,79	-0,12	2,4125
6	-1,85	-0,06	2,4122
8	-1,88	-0,03	2,4122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



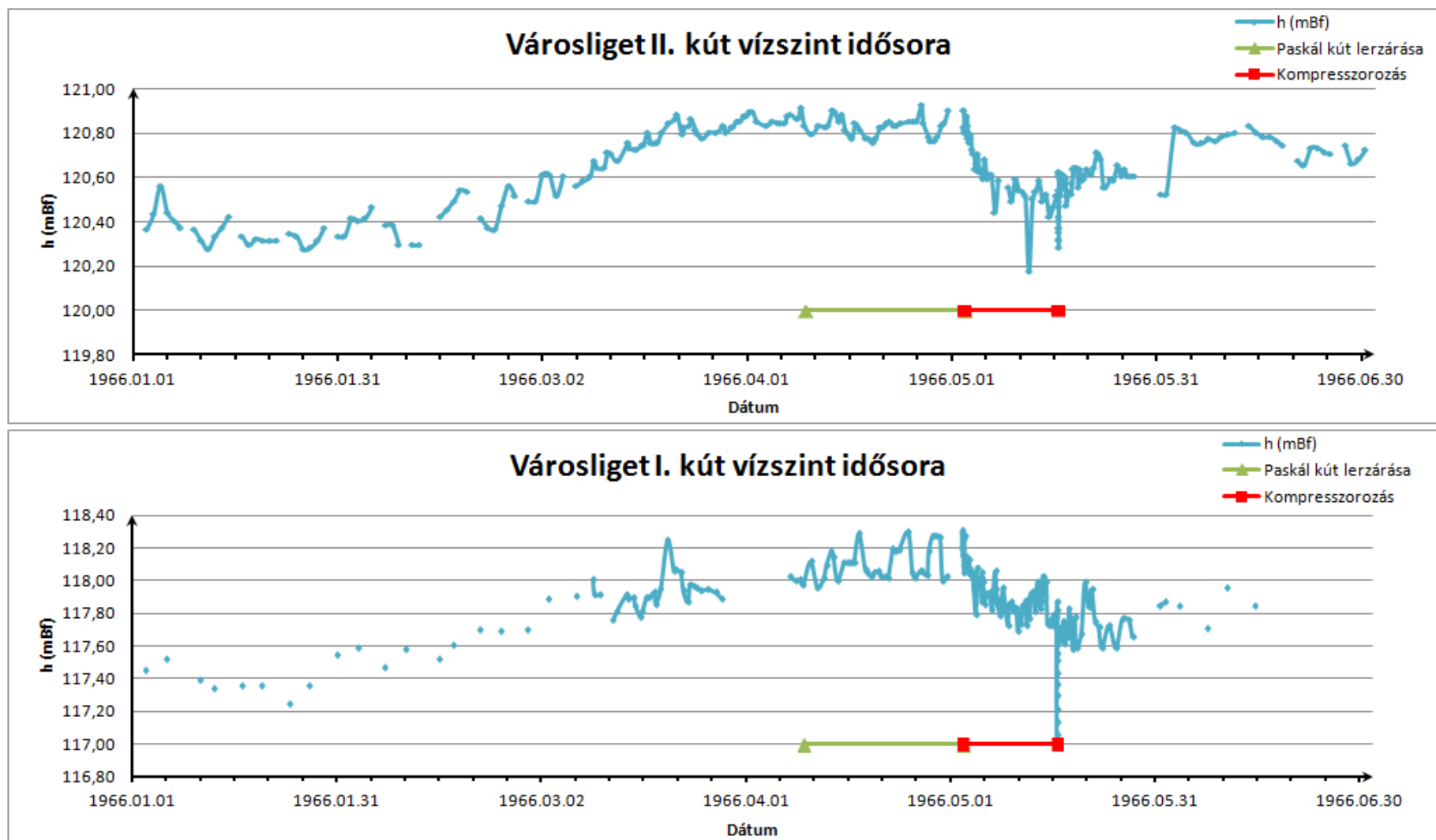
Aquaworld			
nyugalmi vízszint ($\pm m$)	extrapolált	túl rövid az idősor	
t (min)	d (m)		Nyomásemelkedés 750 m-ben (MPa)
0,1	-44,07		7,4369
1	-31,65		7,0932
2	-21,47		7,2015
3	-15,28		7,2925
4	-7,64		7,366
5	-2		7,4154
6	0		7,4425
Korreláció	0,355		

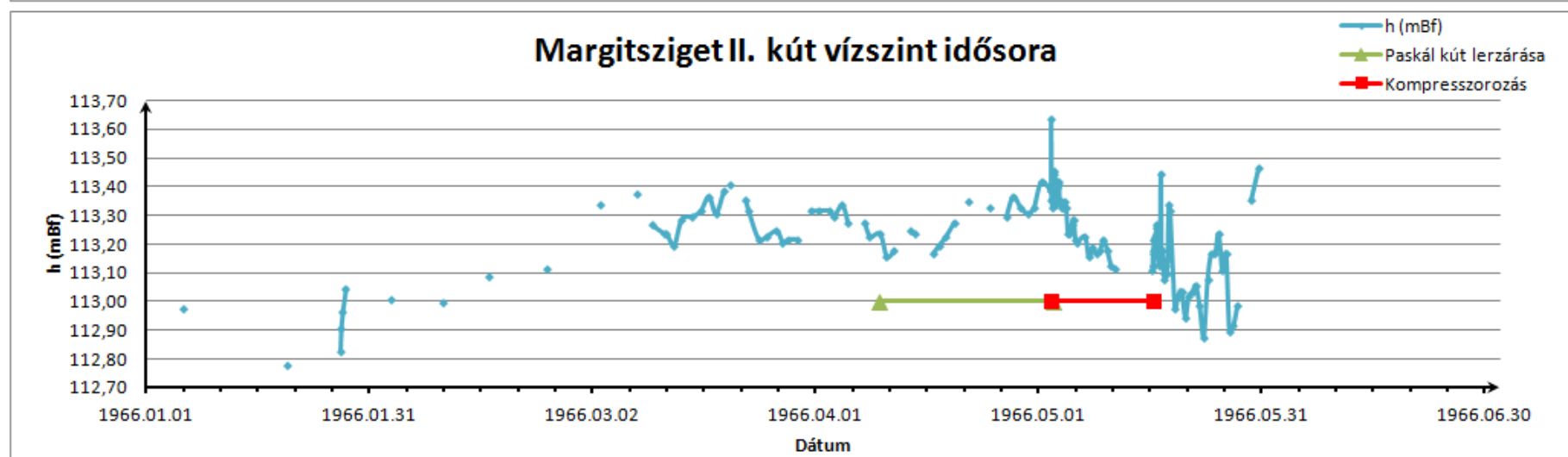
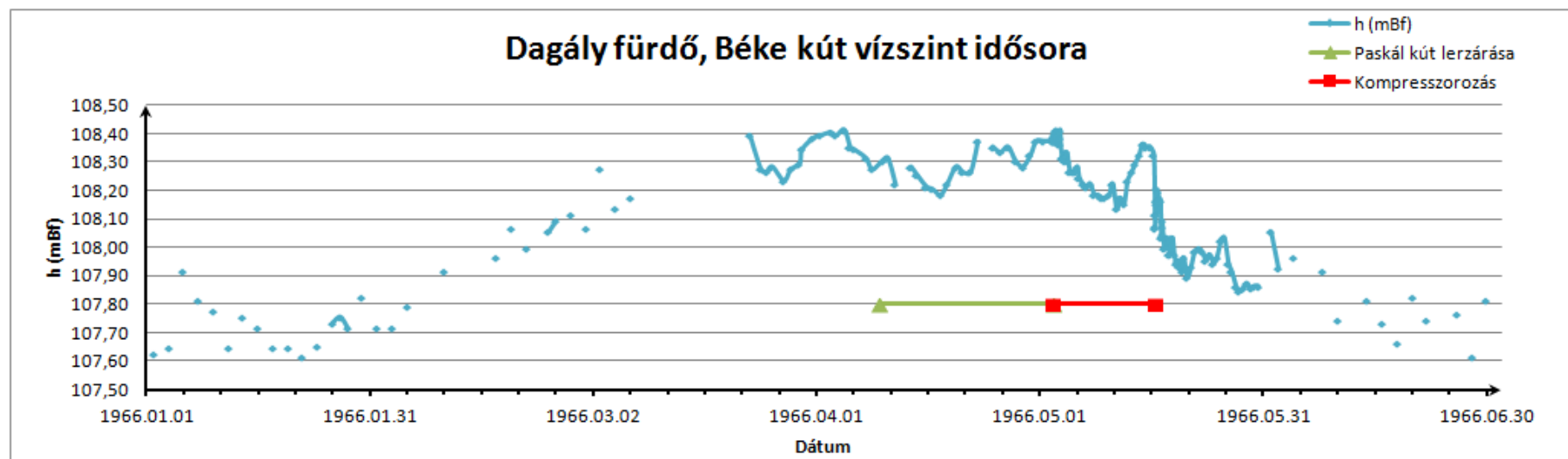


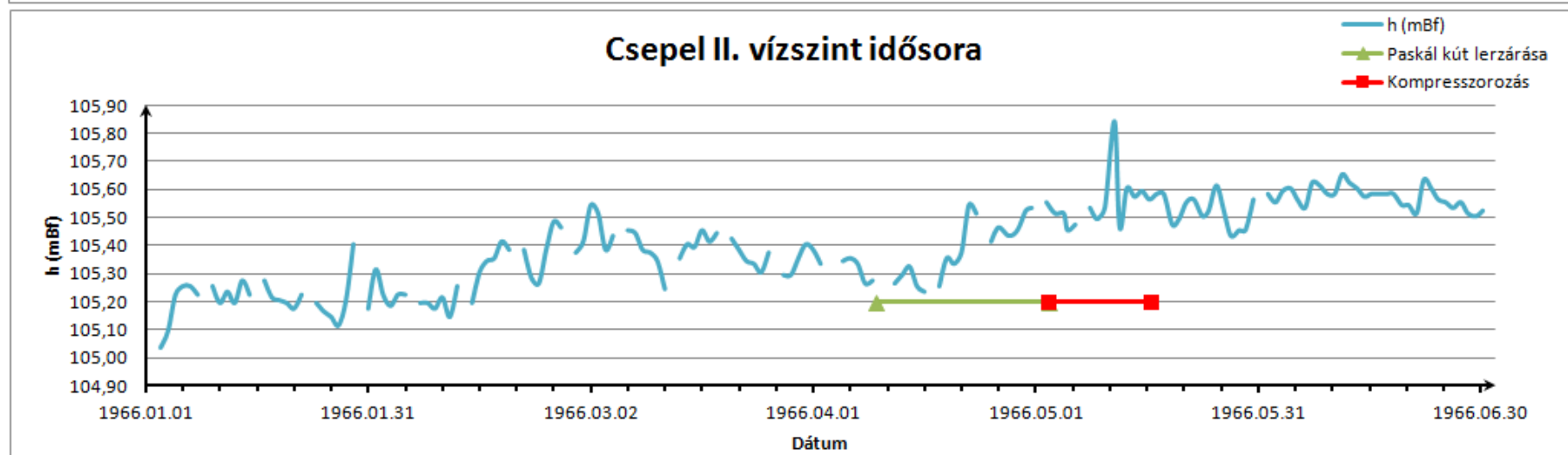
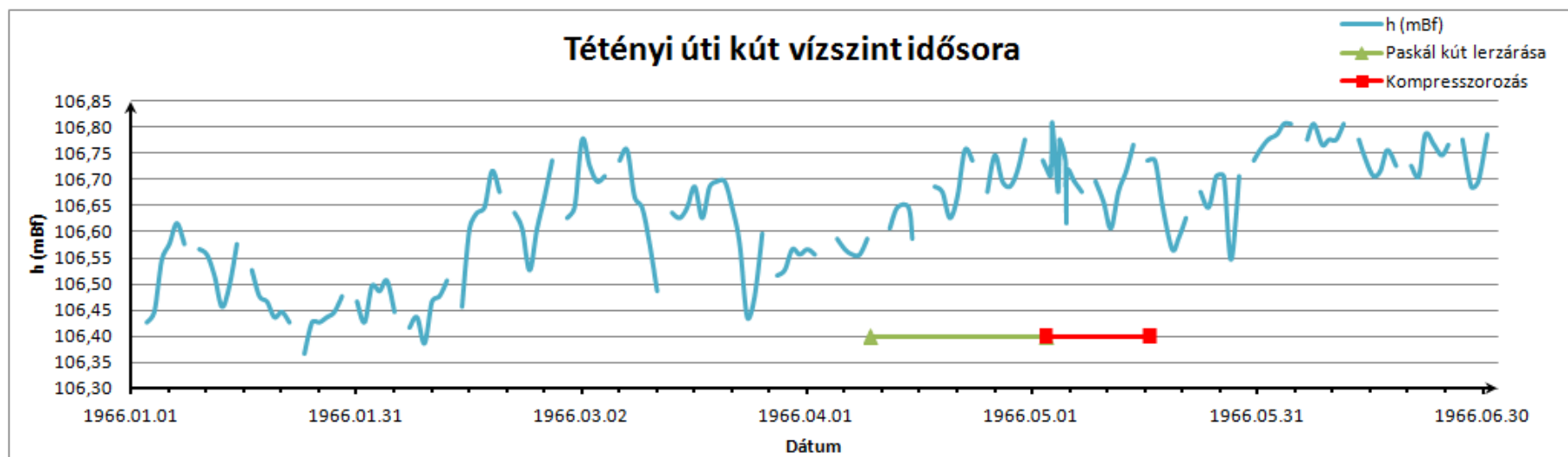
2. melléklet: Numerikus modellezéssel nyert visszatöltődés adatsorok

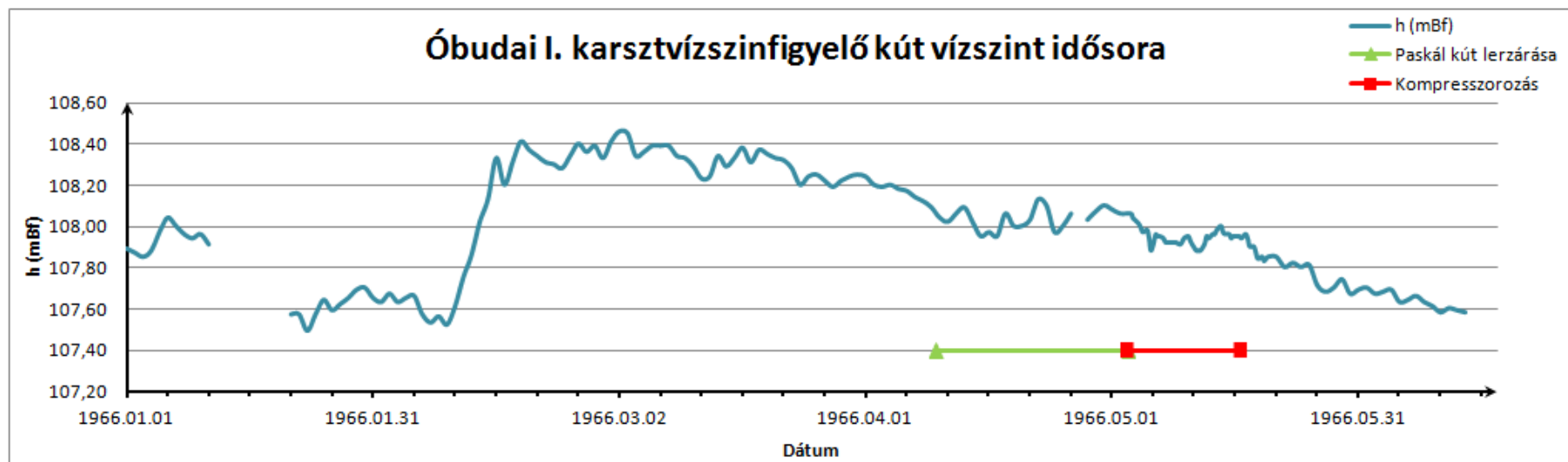
Szt. Gellért rakpart Árpád IV.				Budai alsó rakpart DM-5. Fúrás				Erzsébet tér			
Mért értékek		Modellezett		Mért értékek		Modellezett		Mért értékek		Modellezett	
t (min)	s (m)	t (min)	s (m)	t (min)	s (m)	t (min)	s (m)	t (min)	s (m)	t (min)	s (m)
0,01	3,19	0,576	1,665	0,01	3,13	0,58	2,78	0,1	15,93	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







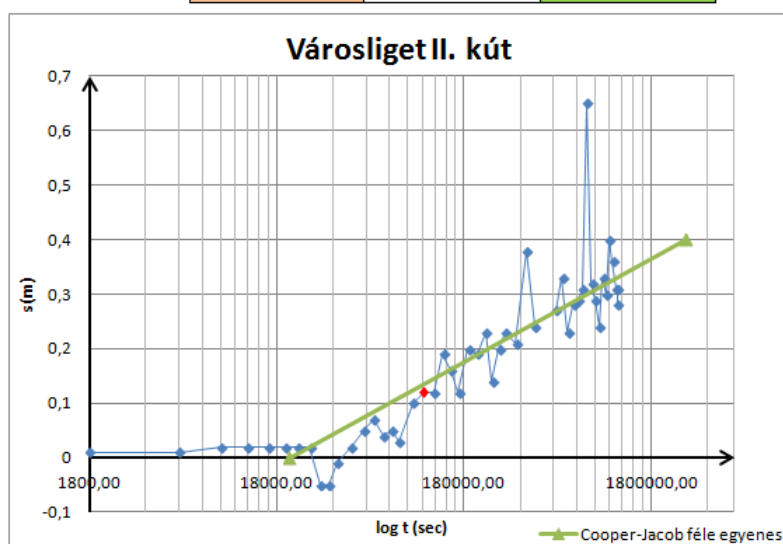


4. melléklet: Paskál malmi adatsor analitikus kiértékelése

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 ³ /sec)	0,02845	
Egyenes egyenlete	Kiugró értékkel $y = 0,2138x - 0,9462$	Kiugró érték nélkül $y = 0,189x - 0,8169$
R ²	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 ₀ (óra)	7,40	5,83
t ₀ (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 ² /sec)	2,44E-02	2,76E-02
S		1,04E-04

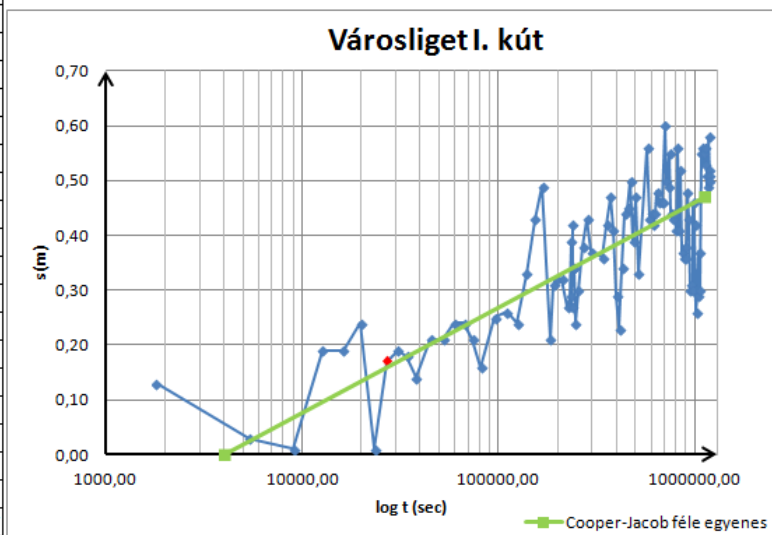


kiugró érték

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 (m ³ /sec)	0,02845
Egyenes egyenlete	$y = 0,1923x - 0,6927$
R ²	0,5337
a	0,1923
b	-0,6927
r (m)	4030,7
s (m)	t (sec)
0	4001,143
0,47	1112453,460

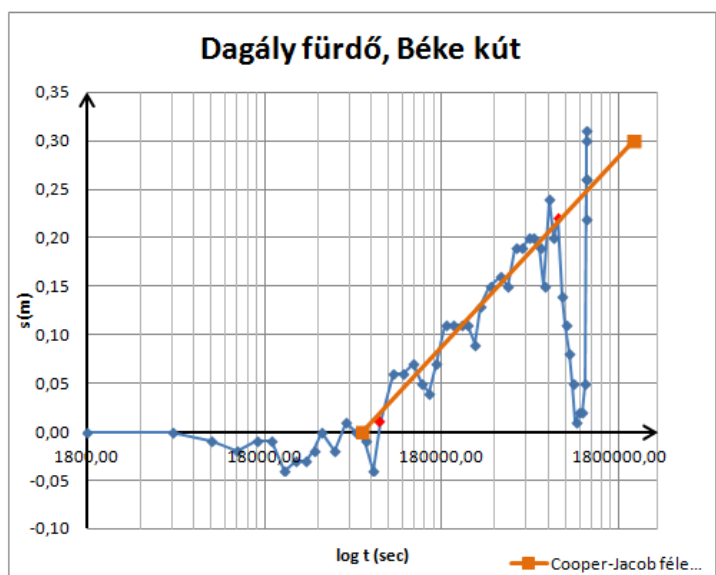
t ₀ (óra)	1,11
t ₀ (sec)	4001,14
s(t=10000)	0,08
s(t=100000)	0,27
Δs	0,19
T(m ² /sec)	2,71E-02
S	1,50E-05



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 ³ /sec)	0,02845
Egyenes egyenlete	y = 0,1955x - 0,9394
R ²	0,9028
a	0,1955
b	-0,9394
r (m)	5715,1
s (m)	t (sec)
0	63843,265
0,3	2185958,656

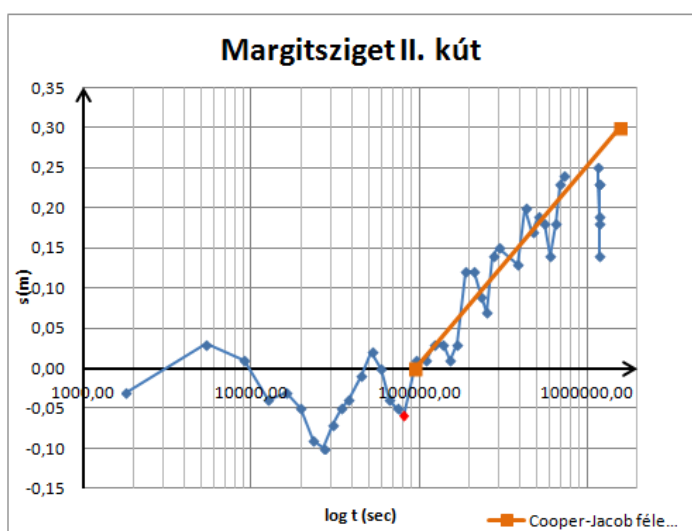
t ₀ (óra)	17,73
t ₀ (sec)	63843,27
s(t=10000)	-0,16
s(t=100000)	0,04
Δs	0,20
T(m ² /sec)	2,66E-02
S	1,17E-04



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

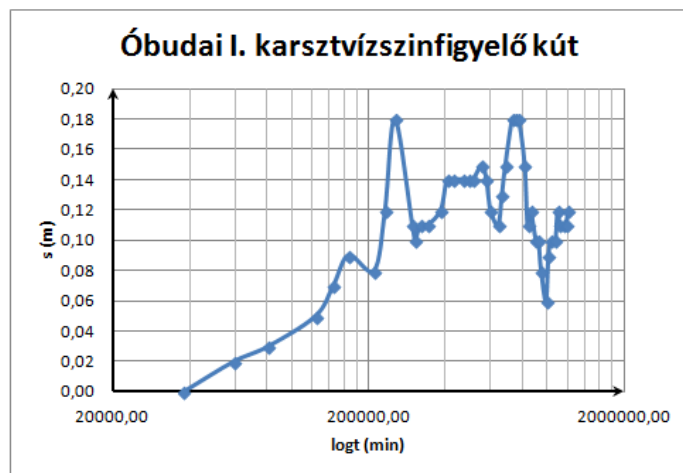
Margitsziget II. kút	
Cooper-Jacob féle egyenes	
Q (m ³ /sec)	0,02845
Egyenes egyenlete	y = 0,246x - 1,2246
R ²	0,8608
a	0,246
b	-1,2246
r (m)	6587,2
s (m)	t (sec)
0	95071,157
0,3	1576017,282

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



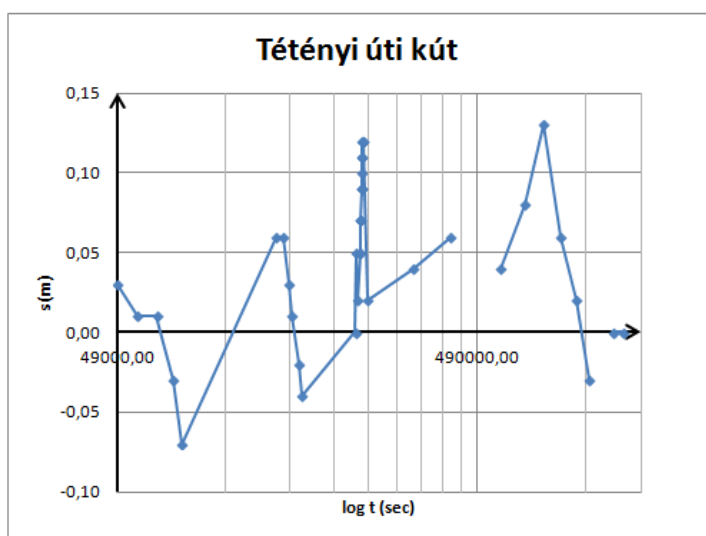
Eltelt idő (óra)	s (m)	t (sec)	log(t) (sec)
10,50	0,00	37800,00	4,57749
16,50	0,02	59400,00	4,77379
22,50	0,03	81000,00	4,90849
34,50	0,05	124200,00	5,09412
40,50	0,07	145800,00	5,16376
46,50	0,09	167400,00	5,22376
58,50	0,08	210600,00	5,32346
64,50	0,12	232200,00	5,36586
70,50	0,18	253800,00	5,40449
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



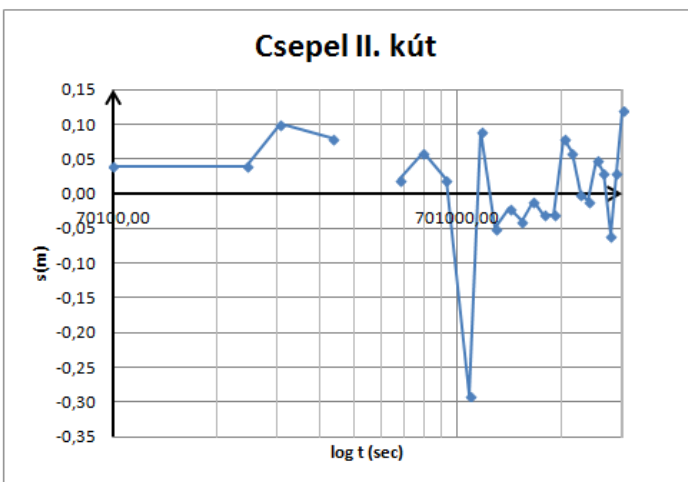
Eltelt idő (óra)	s (m)	t (sec)	log(t) (sec)
13,67	0,03	49200,00	4,69197
15,50	0,01	55800,00	4,74663
17,50	0,01	63000,00	4,79934
19,47	-0,03	70080,00	4,84559
20,47	-0,07	73680,00	4,86735
37,68	0,06	135660,00	5,13245
39,47	0,06	142080,00	5,15253
40,92	0,03	147300,00	5,16820
41,57	0,01	149640,00	5,17505
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

