



Építőmérnöki Kar

Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

Tata környéki források hidrológiai vizsgálata

Készítette:

Szilágyi Mariann *építőmérnök Bsc hallgató*

Konzulensek:

Dr. Hajnal Géza *egyetemi docens*

Karay Gyöngyi *doktorandusz*

Maller Márton *doktorandusz*

Tudományos Diákköri Konferencia

2014.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	3
2. Irodalomkutatás	4
Földtan	4
A források kialakulása	5
Vízgazdálkodás a XX. századig	5
3. A bányászat hatása a Tata környéki forrásokra.....	8
A források eredeti állapota	8
A bányavízemelés hatása a forrásokra.....	8
Visszatöltődés, jelenlegi állapot	10
4. Helyszíni és laboratóriumi vizsgálatok	11
Vízhozammérések	11
Vízkeimiai mérések	21
5. Korábbi előrejelzések vizsgálata.....	30
A Hydrosys Kft. által készített modellvizsgálat	30
A VITUKI által készített előrejelzés	32
Az előrejelzések jóságának vizsgálata.....	33
Értékelés	42
6. Szivárgási tényező értékének közelítő meghatározása próbaszivattyúzások segítségével .	43
Theis módszer a nyomás alatti víztartó vizsgálatára (<i>Theis 1935</i>).....	44
Theis módszer a visszatöltődés vizsgálatára nyomás alatti víztartóban (<i>Theis 1935</i>).....	45
Moench-féle módszerek repedezett víztartó esetén (<i>Moench 1984</i>)	45
Adatok kiértékelése	47
Következtetések.....	52
A fejezetben használt jelölések.....	56
7. Összefoglalás.....	57
8. Köszönetnyilvánítás	59
9. Irodalomjegyzék.....	60
Mellékletek	

1. Bevezetés

Tata város a Gerecse és a Vértes hegységeket elválasztó Által-ér völgyében fekszik. Nem véletlenül nevezik a „vizek városának”, hiszen az 1960-as évekig a város területén 40 nagyobb vízhozamú és több száz kisebb forrás fakadt. Részletes feljegyzés nem készült róluk, ezért pontos számukat nem ismerjük.

Emellett a környező településeken, köztük az általam vizsgált Dunaalmáson is találhatóak olyan források, melyek hasznosítása régre nyúlik vissza. A tatai Fényes-források, a dunaalmási Lilla-, illetve Strand-források fürdővízként való felhasználásának lehetőségét már elődeink is felfedezték.

A tatabányai bányászat történetében az 1950-es évektől figyelhető meg nagyobb arányú vízkitermelés. Ennek okán Tata térségében a karsztvízszint drasztikus mértékben csökkent, mígnem az összes tatai és dunaalmási forrás elapadt. A tatai városvezetés állandósultnak tekintette a helyzetet, így azokat a területeket, ahol korábban a források fakadtak, beépítették. A bányászati vízkitermelést 1990-ben befejezték, így elindult a karsztos víztárolóban egy visszatöltődési folyamat. Sorra jelentek meg a régi források, sőt néhány új helyen is megfigyelhető a forrástevékenység. Néhány ezek nagy problémákat jelentenek a város lakóinak illetve az önkormányzatnak, ahol a forrástevékenység helyén lakóépületek állnak.

TDK dolgozatomban egyrészt a korábbi irodalmakat, adatokat foglaltam össze. Munkámban nagymértékben támaszkodom *Maller Márton 2012-ben készített Tata városközpont forrásainak hidrológiai vizsgálata* című diplomamunkájára.

Rendszeres vízhozamméréseket és mintavételeket végeztem, melyek segítettek, hogy nagyobb rálátással legyek a források összetételére, viselkedésére. A helyszíni hozammérések másfelől jól összehasonlíthatóak voltak a korábbi eredményekkel, amik a vízhozam alakulására is engednek következtetni.

Korábban több előrejelzés is készült a karsztos visszatöltődés folyamatára. Azt vizsgáltam, hogy a tényleges karsztvízszintek mennyire kapcsolódnak ezekhez az előzetes becslésekhez. Mindemellett vizsgáltam három karsztvízészlelő kutat is. Ezeknél végeztek próbaszivattyúzásokot is, melyek eredményeit feldolgozva következtetek az ottani karsztos kőzetek szivárgási tényezőire. Ez azért fontos, hiszen a szivárgási tényezők a visszatöltődési folyamatot is nagyban befolyásolják.

2. Irodalomkutatás

Földtan

A város területén emelkedő Kálvária domb a mezozoós szigetrögével a Gerecse legnyugatibb megjelenésének tekinthető (Koch 1909).

A terület legidősebb földtani képződménye a felsőtriász dachsteini mészkő, ami néhol 1000 méteres vastagságot is elérhet. A fúrási adatok alapján a mészkő világosszürke, tömött, szabálytalan törésű (Csepregi – Izápy – Klecskó 2004).

Erre a kőzetre vöröses színű jura kori mészkövek települtek, melyek a vár környékén is megfigyelhetők, ahol a falak alapjait képezik. Ezek a képződmények gyakorlatilag nem karsztosodtak, helyenként meglehetősen repedezettek, ami a karsztvíz tárolására, illetve a felszíni mészkőkibúvások a karsztos beszivárgásra alkalmasak (Koch 1909, Sashegyi 1976).

125 millió évesnél idősebb alsókréta képződményeket csak a Gerecse északkeleti területein és a Duna mentén végzett fúrásokból ismerünk (Hydrosys Kft. – Monumentum Kft. – Equilibrium Bt. 1999).

A terület pannóniai üledékeinek lerakódása mintegy 9 millió éve kezdődött. Ezek a képződmények megtalálhatóak a Kálvária-domb, az Öreg-tó, és a tóvároskerti vasútállomás közelében. A többi helyen az utólagos lepusztulás miatt hiányoznak. A felsőpannon-felsőpleisztocén Hansági formáció jelentősen túlterjed az alsópannon összletén, a kiemelt rögök környékén pedig erőteljesen lepusztult. A Kálvária-dombot körülvevő kőzetek közül pliocén, pleisztocén, és holocén korúak találhatók. Pleisztocén korúak az édesvízi mészkő, a homok és a lösz. Az édesvízi mészkő nagy területen és kis mélységben van jelen a város belterületein és a vasútállomás közelében (Sashegyi 1976).

Már Horusitzky (1923) is megemlíti tanulmányában, hogy a források törésvonal mentén jöttek létre, a nagyobb hozamú forrásoknál vető-keresztveződéseket feltételezett. A legidősebb törések miocén korú ÉK-DNY és ÉNY-DK irányúak, míg a fiatalabbak pliocén korú É-D, és közel K-NY irányú kéregmozgások (fsz.bme.hu).

A térség geológiai sajátosságaként tekinthető, hogy az eocénben nagy kiterjedésű kőszéntelepek, majd a krétában ennél kisebb, de szintén jelentős bauxittelepek keletkeztek.

Mivel a szén és a bauxit az egykori öblözetekben jöttek létre, ezért a karsztvíznívó alá kerültek, ami a bányászat során szükségessé tette a karsztvízrendszerbe való beavatkozást (Fogarasi 2001).

A források kialakulása

Tata és Dunaalmás környékén már a levantei korból találunk forrásképződményeket. Ezek a források nagyjából 230 méteres tengerszint feletti magasságban működtek mindaddig, amíg az eróziós völgyek mélyebbek nem lettek. Ekkor a források is alábbszálltak. A mai források a pleisztocén kor elején jelentek meg ismét, kivéve a Fényes-forráscsoportot. *Horusitzky* szerint a tatai források a legutolsó vulkáni tevékenységek eredményének tekinthetők, kialakulásukat a földrengések idézték elő (*Horusitzky* 1923).

Későbbi tanulmányok során kiderül, hogy a források megjelenései nem hozhatóak kapcsolatba a vulkanikus tevékenységgel, mivel a hévforrások a karsztvidékek peremén mindenhol megjelennek, ahol a kőzetek elhelyezkedése erre lehetőséget ad. Viszont megjegyzendő, hogy a törésvonalak segítik a források kialakulását (*Hydrosys Kft. – Monumentum Kft. – Equilibrium Bt.* 1999).

A terület forrásai mind az említett törések mentén helyezkednek el. Ezt bizonyítja, hogy amikor a tatabányai bányák vízbetörései történtek, a tőlük 12-15 km-re lévő tatai források vízszintje rövid idő alatt leszállt, hozamuk teljesen, vagy részben elapadt (*Schmidt* 1969).

Horusitzky (1923) véleménye szerint a források vize közethasadékokon keresztül a vízzáró rétegig szivárog, ott felmelegszik és a gőzök nyomásától kerül a felszínre. Továbbá feltételezi, hogy egy 20 °C-os forrás nagyjából 310 m mélységből ered, ha a geotermikus gradienst 30 m/°C-nak veszi. Viszont a víz hőfoka nagyban változhat attól, hogy milyen rétegekből fakad a forrás, milyen rétegeken folyik keresztül, és hogy közben milyen vizekkel keveredik.

Vízgazdálkodás a XX. századig

A tatai mezozóos sziklarög állandó lakóhely volt már az őskori ember számára is. A tisztavízű langyos források és a három oldalról védő mocsarak nehezen kiismerhető útvesztői készítették a kőkorszaki embert, hogy letelepedjen ezen a területen (*Rados* 1964).

A rómaiak 15 km hosszú vízvezetékét építettek, ami a tatai Lo Presti-forrás vizét Brigetio, a mai Szőny városába vezette, ahol állandó római táborhely volt. Emellett hatalmas, kockakövekkel kirakott töltést emeltek, ami felduzzasztotta a vizet, hogy ellenséges támadás esetén eláraszthassák a város környékét. A honfoglalás után a területen bencés rendi apátság épült, mely szintén a forrásoknak köszönhetette létét. Több vízimalma is volt, ami a földművelés virágzására utal (*Rados 1964*).

A víz iránti érdeklődés a török korban sem csökkent. A törökök rövid tatai tartózkodásuk során két fürdőt is létesítettek. Az egyiket a volt bencés apátság telkén, amit barátfürdőnek neveztek, a másikat pedig a jelenlegi reumatológia helyén, ahol most is a Törökfürdő forrása fakad (*Horusitzky 1923*).

1727-ben gróf Eszterházy József vásárolta meg a területet. Az elmocsarasodott vidéket látva, és a terület felhasználását célozva elhatározta a mocsarak lecsapolását és vizek szabályozását. Erre a feladatra bízta meg 1747-ben Mikovinyi mérnököt, aki a tatai forrásvizek egy részét 600 holdas tóba gyűjtötte. Az Öreg-tótól és a Fényes-forrásoktól elárasztott területeket lecsapoltatta (*Rohrbacher 1888*). Emellett elkészítette Dunaalmás első részletes térképét, amelyen megjelölte a két Duna-parti gyógyforrás helyét.

Az ekkori létesített 4 km hosszú levezetőcsatorna ma is Mikovinyi nevét viseli, illetve Dunaalmáson utcanév és emléktábla őrzi emlékét. (*Horusitzky 1923, Tóth 2004*)



2.1. ábra Mikovinyi szobra az Öreg-tó partján

1886-ban a Tudományos Akadémia ülésén vetődött fel a Feszti Adolf által készített terv, ami a tata-tóvárosi források fővárosba vezetésével oldja meg a főváros vízellátását. A Tatán akkoriban feltörő 287000 m³ 20 °C-os víz véleményük szerint a 78 km-nyi úton élvezhető hőfokra hűlne le. Stoczek szerint a víz csak 15-17 °C-ot érte volna el, így a tervezetet elvetették (*Horusitzky 1923*).

Dunaalmás község vízgazdálkodása, hasonlóan Tata városéhoz, a forrásvizek jelenlétére épült. Már a római korban gyógyhatást tulajdonítottak a vízének.

1887-ben megnyílt a református templom melletti kénes forrásra épített gyógyfürdő. A vasútépítés miatt a fürdőt bezárták, viszont ekkor előtérbe került a Duna mellett fakadó másik kénes forrás. 1914-ben nyílt meg a strand. A forrás elapadása után még kis ideig működött, de mivel vezetékes vízzel való üzemeltetés gazdaságtalanná tette, ráadásul gyakran az árvíz is fenyegette, működése abbamaradt (*Tóth 2004*).

3. A bányászat hatása a Tata környéki forrásokra

A források eredeti állapota

Az első jelentősebb vizsgálatot Horusitzky végezte, tanulmánya (*Tata és Tóváros hévforrásainak hidrogeológiai és közgazdasági jövője, 1923*) hatalmas jelentőséggel bír. Ismertette az általa vizsgált források vízhozam és víz hőmérséklet adatait, foglalkozott a terület geológiai, tektonikai és hidrogeológiai viszonyaival.

Az 1900-as évek elején Tata város belterületén kb. 15 km²-es területen, 119-142 mBf fakadási szinten nagyjából 40 nagyobb vízhozamú és számtalan kisebb forrás fakadt. Ezek a források az alacsonyabban fekvő területeken nagyjából minden háznál megtalálhatóak voltak. Részletes feljegyzés nem történt róluk, ezért pontos számukat máig sem tudjuk. A két legjelentősebb a Fényes-fürdőnél feltörő Fényes-forráscsoport, és az Angol-parkban található forráscsoport (Ballabás 2004).

Emellett megemlítenédők még a Dunaalmás területén fakadó források, hiszen adottságaikban nagyon hasonlóak a tatai forrásokhoz.

Korábbi mérések alapján a tatai források sokévi átlagos vízhozama 115 ezer m³/nap lehetett. Csapadékosabb időben a vízhozam elérhette 200 ezer m³/nap értéket is. A karsztvíztároló rendszer hozamának majdnem a felét a Tata területén fakadó források jutatták a felszínre. Pontos mérésekkel csak az 1950-es évekből rendelkezünk, de ekkor már érződött a bányászati vízemelés hatása (Ballabás 2004).

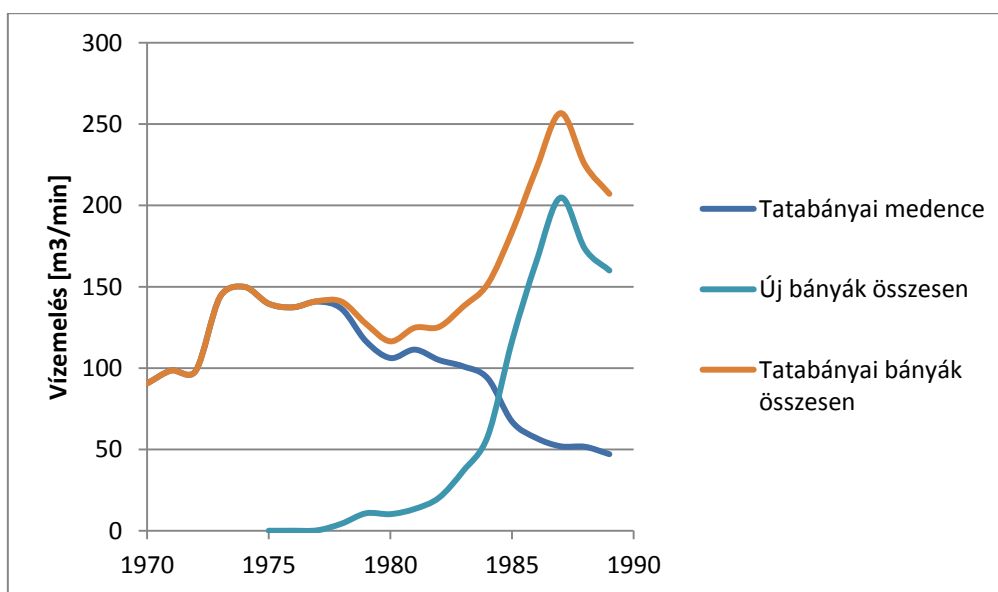
Vízminőségi szempontból langyos (15-22 °C-os), közepes keménységű (22-24 nkf), 600-800 mg/l összes oldott anyag tartalmú vizek fakadnak a városban. Kissé kloridos-szulfátos vizek, esetlegesen jelentős CO₂ és H₂S tartalommal jellemezhetőek (Hydrosys Kft. – Monumentum Kft. – Equilibrium Bt. 1999).

A bányavízemelés hatása a forrásokra

A bányászati vízemelés az 1930-as évektől vált jelentőssé. Addig a karsztvízszint felett elhelyezkedő szénmezőket bányászták, később viszont szükségessé vált a nagyobb mélységeken történő bányászat. A bányavidéken ekkor még csak 2-2,5 m³/s volt a vízkiemelési átlag. Az átmeneti háborús visszaesés után az 1950-es évektől figyelhető meg a

víztermelés nagyarányú emelkedése. (Csepregi – Izsáky – Klecskó 2004).) Az 1960-as években megindult az aktív vízvédő időszeke. Ennek hatására megfigyelhető volt a víznyomások folyamatos csökkenése, illetve a forráshozamok visszaesése, majd elapadása. Ekkor apadtak el a legmagasabban fekvő Pokol–Angyal-források (141,6 mBf) is. (Hydrosys Kft. – Monumentum Kft. – Equilibrium Bt. 1999)

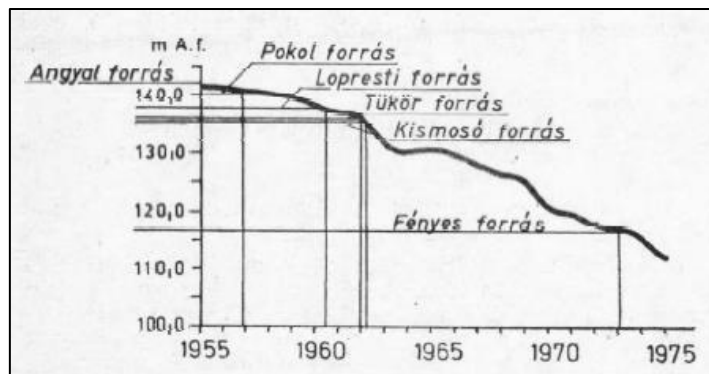
Nagy hatása volt a bányákban jelentkező vízbetöréseknek. Az 1962-es XV/b akna vízbetörése (ami 30 m³/nap vízhozamot ért el) valamennyi 125 mBf szinten fakadó forrást elapasztotta, 1963-ban a III/a akna vízbetörése a 134 mBf szinten fakadó források hozamát csökkentette. A szénmező zavartalan kitermelése érdekében megépítették a XIV/a és XV/c aknákat, az ezekből kiemelt víz 1974-ben elapasztotta a 119 mf szinten fakadó Fényes forrásokat és a dunaalmási forrásokat is (Csepregi – Izsáky – Klecskó 2004). A bányavízemelés ebben az évben érte el maximumát, 1987-től már csak ipari-lakossági célra termeltek vizet az aknákból.



3.1. ábra A Tatabányai bányák vízemelése 1970-1989 (Gerber 1989)

A bányászat nem fejeződött be, az 1970-ben indult eocén programban üzembe helyezték a nagyegyházi, csordakúti és mányi bányákat. Az ezekkel kapcsolatos víztermelés azt eredményezte, hogy a Tata térségi depresszió a terepszint alatti 27-28 méteres nyugalmi karsztvízszintet hozott létre. Az új bányáknál a vízemelési maximum 1987-ben volt, ami 70 %-kal túlszárnyalta az 1974-es tatabányai csúcsot. Működő forrás ekkor már nem volt (Fogarasi 2001).

Az eocén programot 1990 januárjában leállították. A vízemelések mértéke a korábbi évekhez képest jelentősen visszaesett, már csak ipari-lakossági vízemelések történtek, amik alig haladták meg a 60-65 m³/perc-et (Csepregi – Izsáky – Klecskó 2004).



3.2. ábra A tatai források elapadásának sorrendje 1955-1975 (Sashegyi 1976)

Visszatöltődés, jelenlegi állapot

Az 1970-es évek közepétől Tatán folyamatosan beépült a Május 1. út-Oroszlányi út-Komáromi út és a Kőkút köz által határolt terület. Ezek a területek a bányavízemelések előtt nem voltak beépített területek, sok helyen fakadtak források, a talajvízszint csaknem a terepszint közelében volt (Hydrosys Kft. – Monumentum Kft. – Equilibrium Bt. 1999).

A Fényes-forrás 2001-ben újra megjelent. Ez az esemény irányította a figyelmet az előbb megemlített területre, ahol 2010 nyarán (mely év rendkívül csapadékos volt) ismét karsztvíz jelent meg egyik napról a másikra a 45. számú tömbház pincéjében. Ugyanez történt a 43. számú ház alatt is. Sorozatosan jelentek meg az új és régi források, úgymint a Törökfürdő forrása, a Zsidó iskola kútjának forrása, a Lelkes-forrás vagy a Kastély vízvezetékének forrása (Maller 2012).,

Munkámban e forrásokat vizsgáltam, rendszeresen mértem vízhozamukat, és a laborvizsgálatok alapján elemeztem vízkémiai összetételüket.

4. Helyszíni és laboratóriumi vizsgálatok

Vízhozammérések

A dolgozatomban a Tata környékén működő források közül az alábbiaknál végeztem havi rendszerességgel vízhozam méréseket.

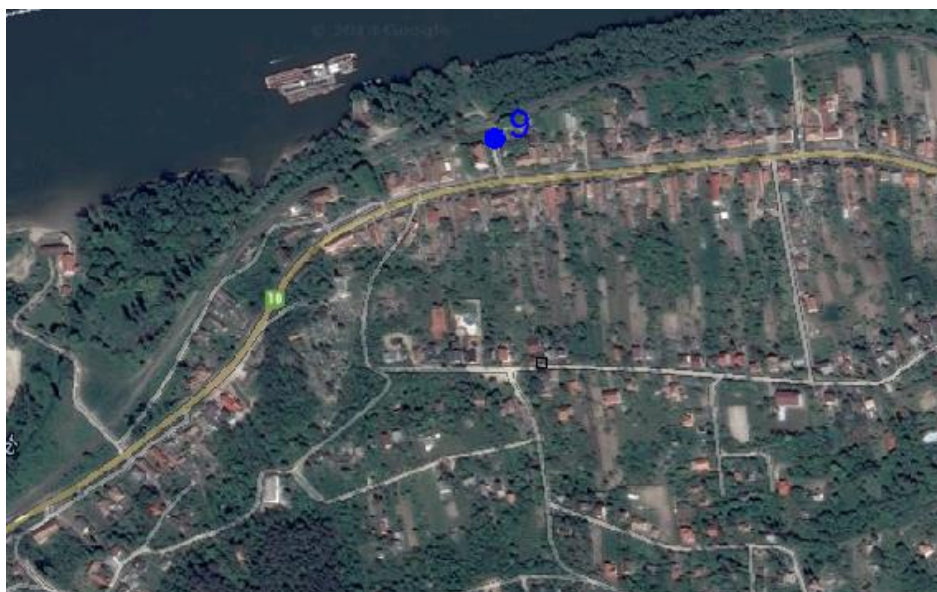
4.1. táblázat A vizsgált források csoportosítása (Horusitzky [1923] és Maller [2012] nyomán)

Csoport	A forrás elnevezése	Fakadási szint [m]
A tatai szirt Északi szélén	A kastély vízvezetékének forrása [6]	135,33
	A Törökfürdő forrása [1]	135,33
A tatai szirt Nyugati szélén	A zsidó iskola kútjának forrása [5]	136,00
Kénhidrogénes forrás	Büdös csorgó kút [8]	127,33
Újonnan megjelent források	Május 1. út 45. [2]	126,00
	Május 1. út 43. [3]	126,00
	Lelkes-forrás [4]	125,00
Dunaalmási forrás	Lilla-forrás [9]	154,33
Egyéb	Szent-Tamás forrás [7]	150,00

A források elhelyezkedését az 4.1 és 4.2. ábra jobban szemlélteti.



4.1. ábra Az általam vizsgált tatai források elhelyezkedése



4.2. ábra A dunalmási forrás elhelyezkedése

A helyszíni mérések során két módszert használtam.

A kilenc vizsgált forrásból nyolcnál (Törökfürdő forrása, Kastély vízvezetékének forrása, Május 1 út 45., Május 1. út 43., Lelkes-forrás, Zsidó iskola kútjának forrása, Büdös csorgókút, Szent Tamás-forrás) **köbözéssel** mértem vízhozamot, egynél pedig (Lilla-forrás) **kémiai vízhozamméréssel** – szózással – határoztam meg a hozamot.

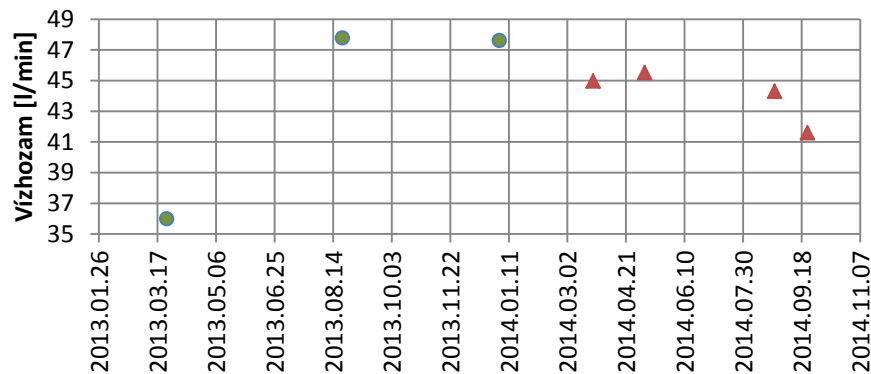
Az egyes forrásoknál kapott hozamadatoknál feltüntettem *Maller* (zöld színnel) korábbi méréseit is, így ezzel teljesebb képet kaphatunk a forráshozamok alakulásáról.

Az általam vizsgált időszakban a források közül hatnál (Május 1 út 45., Május 1. út 43., Lelkes-forrás, Zsidó iskola kútjának forrása, Büdös csorgókút, Szent Tamás-forrás) hatszor és háromnál (Törökfürdő forrása, Kastély vízvezetékének forrása, Lilla-forrás) ötször végeztem mérést.

A **Eszterházy-kastély területén fakadó forrás** 2013-ban jelent meg ismét. A vizét felhasználják öntözésre, illetve a Tatára érkező turisták a kastély látogatása közben a forrást is megtekinthetik.



4.3. ábra A kastély forrása



4.4. ábra A Kastély forrásának vízhozamai a vizsgált időszakban

A mérési eredményeket tekintve *Maller* első mérését leszámítva a forrás hozama csökkenést mutat. Viszont ez a csökkenés nem jelentős, mivel a relatív szórás 10,14 %, az általam mért időszakban 7,61 %. Ez lehet a csapadékmennyiség, illetve a mérési pontatlanságok következménye is.

1919-ben *Horusitzky* 60 l/min-re becsülte a forrás hozamát, így várható további hozamnövekedés a későbbiekben.

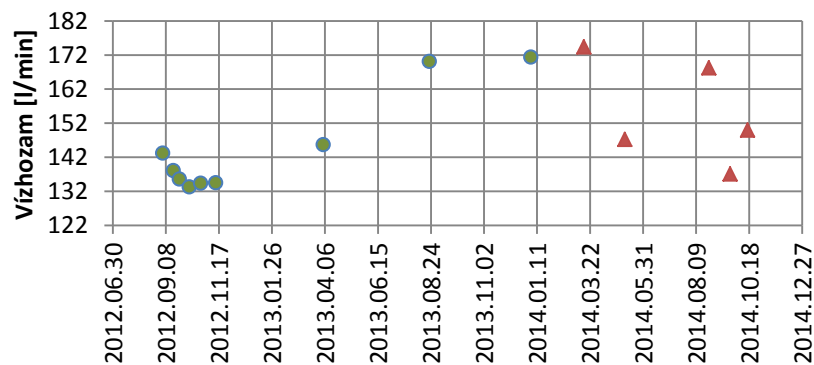
A **Törökfürdő forrása** a mai reumatológia épületében található. Valószínűleg már a rómaiak által ismert és használt fürdőhely volt.

Itt a forrástevékenység 2010 óta figyelhető meg. A víz egy gépészeti aknában jelent meg, majd az épület előtt található szennyvízártnába vezették be.

Horusitzky ezen forrásnak is becsülte a vízhozamát, ami akkor 210 l/min-re adódott.



4.5. ábra A Törökfürdő forrásának mérési helye



4.6. ábra A Törökfürdő forrásának vízhozamai a vizsgált időszakban

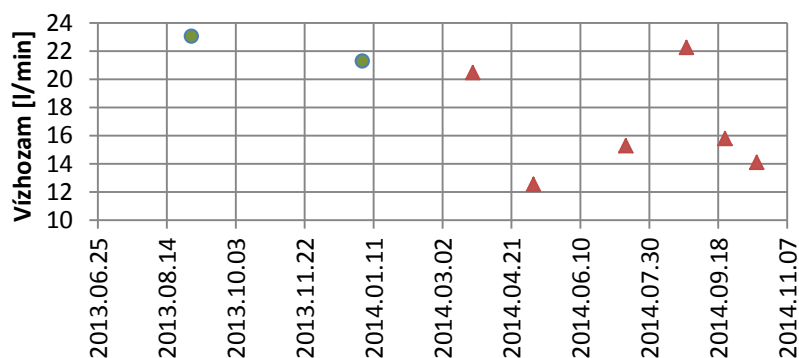
Látható, hogy a vízhozamok 132 és 173 l/min között alakulnak. 2014 elejéig viszonylag növekvő trendet figyelhetünk meg, majd onnantól kezdve jobban ingadozik. Ez hasonlóan, mint a kastély forrásának esetében, betudható a csapadék hatásának, illetve a mérés pontatlanságnak. A relatív szórás ebben az esetben 10,4 %.

A zsidó iskola kútjának forrása a Katona utca 4. számú háztelek mögött egy udvarban fakad. Horusitzky szerint 1923-ban csekély hozammal volt jellemezhető. Az akkori 12,5 °C-os hőmérséklete miatt a langyos forrásokhoz sorolta.

A víz itt is 2010-ben jelent meg az épület kazánházában, amit a tulajdonos csapadékelvezető aknába vezet.



4.7. ábra A Zsidó iskola forrása (Maller 2012)



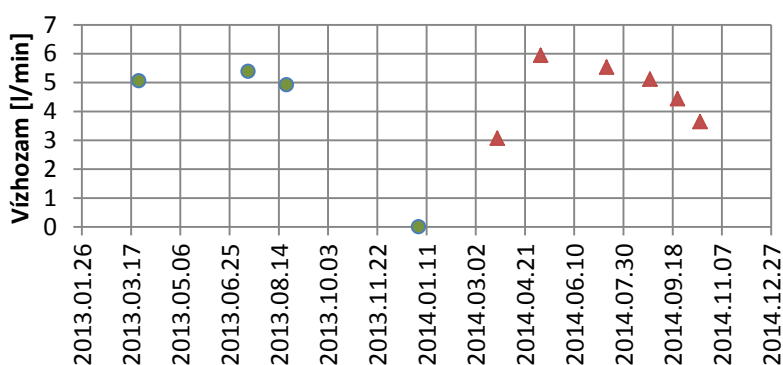
4.9. ábra A Zsidó iskola forrásának vízhozamai a vizsgált időszakban

Ez esetben nem figyelhető meg a hozamokban jelentősebb növekedés. A Törökfürdőhöz hasonlóan a 2014. május 7-én itt is elég kis hozamot mértünk, amit egy csapadékszegényebb két hónap előz meg. Ez esetben a relatív szórás 22.7 %, az átlag vízhozam 18,1 l/min. Ez azért lehet érdekes, mivel Horusitzky 18 l/min-re becsülte 1919-ben a forrás hozamát.

A **Büdös-csorgó kút** a Tóváros-rész határán található. Horusitzky tanulmányában juvenilis eredetre következtet, mivel kénhidrogén tartalma szerves bomlási anyag nélkül erre utalhat. 18 °C-os hőmérsékletével a langyos forrásokhoz sorolja. Dornyay szerint sok ember fogyasztotta gyógyhatása miatt is. Vízhozama függ az Öreg-tó vízszintjétől, a téli üzemvízszint (leürített állapot) mellett elapad a forrás.



4.8. ábra A Büdös-csorgó kút vízhozamának mérése



4.9. ábra A Büdös csorgó-kút vízhozamai a vizsgált időszakban

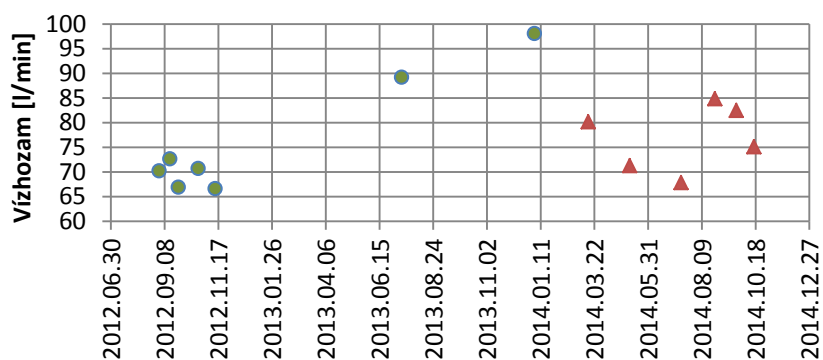
A vízhozam 0 és 6 l/min közé eset a vizsgált időszakban. A relatív szórása 40,52 %. Ez azért lehet olyan magas, mivel a tó vízszintje befolyásolja a forrás hozamát.

A Május 1. úttól nyugatra, a Komáromi út és a Keszthelyi út között lévő mélyfekvésű területen 2010 tavaszán jelent meg a víz. Mind a **43. számú**, mind a **45. számú háznál fakadó forrás** vizét a csapadékelvezető-aknába vezetik. A 4.10. ábrán látható összefolyásnál a bal oldali csövön érkezik a 43. számú ház előtt fakadó forrás, a jobb oldalin pedig a 45. számú ház előtt fakadó forrás vize.

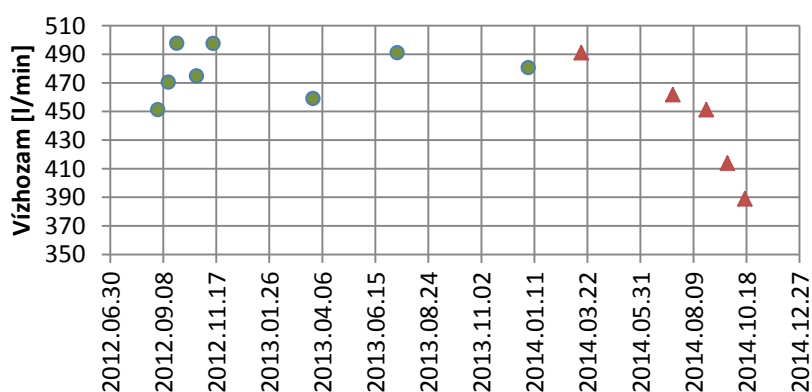
Mindkét forrás esetében fontos megjegyezni, hogy az esetlegesen megnövekedő hozamuk nem várt problémákat okozhat a csapadékvíz-elvezető hálózat üzemeltetése során, mivel a hálózat kiépítésekor egy ilyen igénybevételt nem vettek figyelembe.



4.10. ábra A Május 1. úti források összefolyása (Maller 2012)



4.11. ábra A Május 1. u. 45. forrásának vízhozamai a vizsgált időszakban



4.12. ábra A Május 1. u. 43. forrásának vízhozamai a vizsgált időszakban

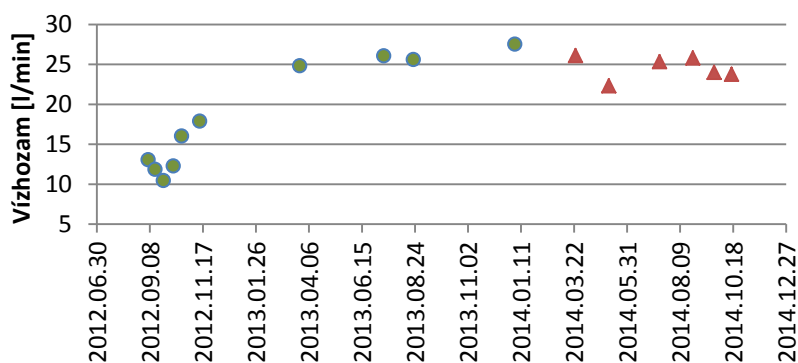
A 4.11. ábrán láthatóak a 45. számú ház forrásának eredményei. Itt a relatív szórás 7 %, 76,6 l/min átlagos vízhozammal. E pontatlanságokat – mivel a források a nagy hozam és a nehéz megközelíthetőség miatt nagyon nehezen köbözhetőek voltak - betudhatjuk a mérési pontatlanságoknak.

A 4.12. ábrán pedig a 43. számú ház forrásának eredményei tekinthetők meg. Az előzővel ellentétben itt az elején tapasztalható ingadozás, a 2014-es években csökkenő tendencia észlelhető. 2014-ig a hozamok nagyjából emelkedést mutatnak, majd 2014-ben eléggé ingadoznak. Ez esetben a relatív szórás 12,65 %, az átlag hozam 463,8 l/min.

A **Lelkes-forrás** a Kismosó pataktól nyugatra fakad egy magánház kertjében. Szintén 2010-ben jelent, meg a vizet gravitációsan vezetik a Kismosó-patakba. *Maller* azt az analógiát követve, hogy a tapasztalt karsztjelenséget a tulajdonos nevével illeti, Lelkes-forrásnak keresztelte az újonnan megjelenő forrást.



4.13. ábra A Lelkes-forrás kibővítése

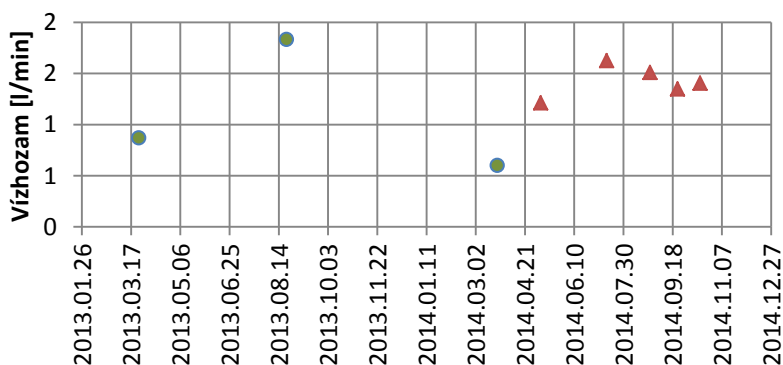


4.14. ábra A Lelkes-forrás vízhozamai a vizsgált időszakban

A forrás átlagos vízhozama 20,8 l/min, relatív szórása 29,3 %. Itt érdekes lehet még a saját méréseim relatív szórása, ami csak 5,9 %. Ezt az ábra is jól magyarázza. A forrás 2012-ben

növekvő trendet mutat, majd a 25 l/min hozam körül kezd ingadozni. Véleményem szerint várható, hogy a hozam a későbbiekben ismételten emelkedésnek indul.

A **Szent Tamás-forrás** a Remeteségpusztá külső részén fakad. Az erdő közepén a turista utat követve könnyen megtalálható. Egy kis tavat táplál, melyet már teljesen benőtt a nád, illetve a forrás közelében is eléggé elburjánzott a növényzet.



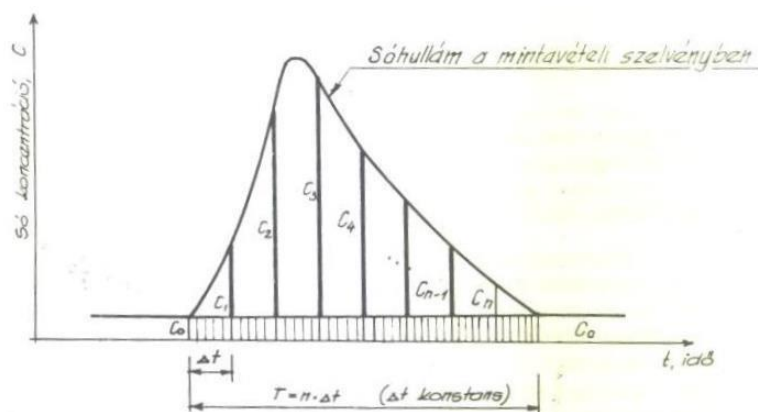
4.15. ábra A Szent Tamás-forrás vízhozamai a vizsgált időszakban

A forrás vízhozamai 2014 előtt elég nagy ingadozást mutattak, de az utóbbi időben az 1,5 l/min érték körül mozognak. Az átlag vízhozam ebben az esetben 1,3 l/min, relatív szórása 30,9 %.

A **Lilla-forrás** Dunaalmáson, a református templom melletti vasúti átjárónál fakad. Amikor a töltést építették, a forrást eltömedékeltek, de pár évre rá újra fakadt, ezért egy egyszerű cementfoglalat építettek neki. *Emszt (1929)* egy csekély vizű, langyos forrásként említi, amit a helyiek főzésre és mosásra használnak. Vizsgálatai alapján a kénhidrogén tartalmú egyszerű hévizek csoportjába sorolja. Továbbá megemlíti, hogy vegyi összetétele csak a kénhidrogéntartalomban különbözik a tatai forrásokétól, ami nem meglepő, hiszen ugyanazon a törésvonal mentén fakadnak.

E forrás esetén **kémiai vízhozammérést** – sózást – **alkalmaztunk**.

Általában 0,5 kg sóval és nagyjából 7 l vízzel oldatot készítettünk, majd a forrás egy felső szelvényében beleöntöttük az oldatot, egy alsó szelvényben pedig konduktométerrel mértük a vezetőképességet.



4.16. ábra A sóhullám levonulása

A sóhullám a 4.16. ábra szerint vonul le a forrás által kialakított vízfolyáson. A vezetőképességet bizonyos Δt időközönként mértük. Az időköz 3 s volt, mert ekkor tudtuk legjobban észlelni a sóhullám tetőzését.



4.17. ábra Vezetőképesség mérése a Lilla-forrásnál

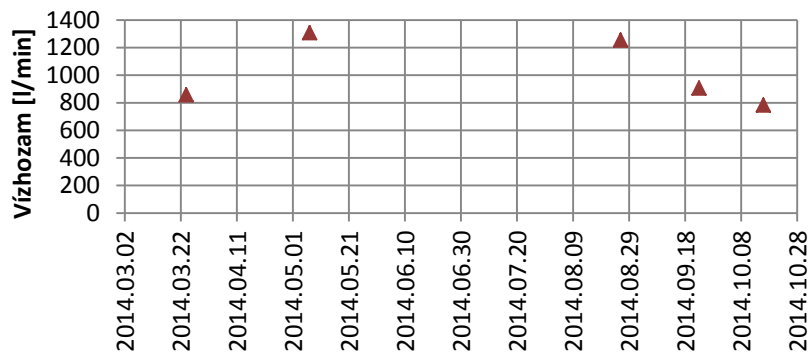
A vezetőképesség értékek diagram segítségével só koncentrációvá alakíthatóak, majd a 4.1. képlet alapján számíthatunk vízhozamot.

$$S = Q \cdot n \cdot \Delta t \cdot \frac{C_1 + C_2 + \dots + C_n}{n} \quad (4.1)$$

ahol

S	a beadagolt só mennyisége	[g]
C_i	az i-edik időpontban vett koncentráció	[g/l]

Δt	a mérések közötti konstans időköz	[s]
Q	a forrás ismeretlen hozama	[l/s]
n	a mérések száma	[-]



4.18. ábra A Lilla-forrás hozamai a vizsgált időszakban

A forrás hozamáról két helyen találtam adatot: Az egyik a VITUKI 1955-es jelentése, amely szerint egy hat éves észlelési időtartamban a maximális mért hozam 866 l/perc, a legkisebb mért hozam 90 l/perc. Egy későbbi vélemény (*Fogarasi 2001*) a korábbi szakirodalmakra hivatkozva a forrás hozamát 120-140 l/min-re becsülte.

Az általam végzett mérések a VITUKI jelentésében említett értékekkel azonos nagyságrendű eredményeket adtak. A forrás hozama 800 és 1300 l/min közé esik. Az első két mérés során a hozamok növekvő trendet, viszont az utolsó három csökkenést mutat. Az átlag vízhozam ebben az esetben 1021,5 l/min, a relatív szórás 23,63 %.

Vízkémiai mérések

Vízkémiai mintavételeket az alábbi forrásoknál végeztünk, melyet a BME VKKT laborja elemzett számunkra:

- Lo Presti-forrás [1]
- Törökfürdő [2]
- Május 1. út 43. [3]
- Május 1. út 45. [4]
- Lelkes-forrás [5]
- Büdös-kút [6]
- Zsidó iskola [7]

- Szent Tamás-forrás [8]
- Büdös csorgó kút [9]
- Tükör-forrás [10]
- Kastély vízvezetékének forrása [11]
- Mennich-kút [12]
- Lilla-forrás [13]

Ezek a források nem teljes mértékben fedik le azokat a forrásokat, melyeknél vízhozamméréseket végeztem. Ezért az eddig még nem említett források elhelyezkedéséről egy vázlatos ábrát is közlök (4.19. ábra).



4.19. ábra A Lo Presti-forrás, a Büdös-kút, a Mennich-kút és a Tükör-forrás elhelyezkedése

A **Lo Presti-forrás** [1] a Fürdő utca 11. szám alatt egy raktárhelységben található. Nevét a Lo Presti családról kapta, akik a terület tulajdonosai voltak. A forrásfoglalást egy 4x4 m-es vasbeton medencével alakították ki, amit az elapadás után törmelékkal töltöttek fel. 2010-ben a terület tulajdonosa eltávolította a törmeléket, a vízszint azóta egyértelműen emelkedik. A forrást felszerelték DATAQUA műszerrel, ami folyamatos mérést biztosít.



4.20. ábra Mintavétel a Lo Presti forrásból

A **Büdös-kút** [6] a THAC futballpálya előtt található. A forrás kénhidrogén tartalmú, melynek magyarázata *Horusitzky* szerint a talajban található bomló szerves anyagok lehetnek. *Maller* 2012 szeptemberében fedezte fel, hogy az aszályos időszak ellenére az elapadtnak hitt forrás környékén víz jelent meg az árokban.

A **Tükör-forrás** [10] az Angolparkban található, a Cseke-tó nyugati partjától nem messze. Egy fedlap jelzi a helyét. 2010-től folyamatosan emelkedik a víz szintje.



4.21. ábra A Tükör-forrás

A **Mennich-kút** [12] A Május 1. u. 24-26-28 számú háztömbök mögött helyezkedik el a Fürdő utca találkozásánál. A forrásfoglalást elkészítését dr. Mennich János főorvos rendelte el 1898-ban.

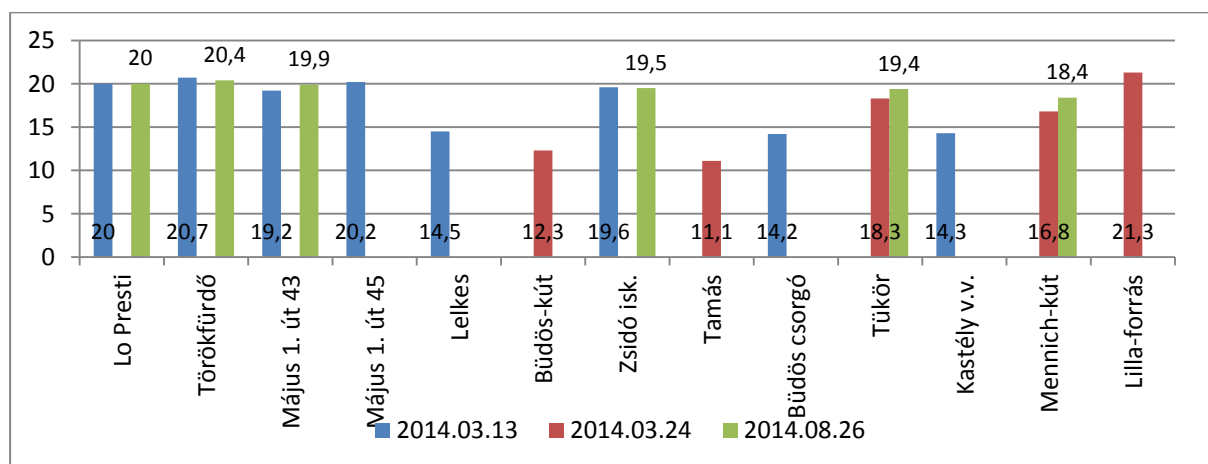
A vízkémiai mérések során az alábbi komponenseket vizsgáltuk:

- hőmérséklet,
- pH,
- vezetőképesség,
- kémiai oxigénigény,
- ammónium,
- nitrit,
- nitrát,
- oldott orto-foszfát,
- klorid,
- összes keménység,
- zavarosság,
- oldott oxigén,
- oxigén telítettség,
- összes vas.

Az általam vizsgált időszakban az MFGI 2014. 03.13-án szintén vett vízmintákat. Az ő általuk mért adatok közül egyedül a vezetőképesség, a pH és a hőmérsékleti értékek összehasonlíthatóak a mi méréseinkkel, mivel az egyes komponenseket más módszerekkel vizsgálták. E vizsgálatok eredményeit az ábráimon két színnel jelölöm.

A források fizikai jellemzői közül az egyik legfontosabbnak a **hőmérsékletet** tartom.

Az 4.22. ábrán láthatóak az általam vizsgált források hőmérsékleti adatai.



4.22. ábra A vizsgált források hőmérsékletének alakulása

Látható, hogy azon források esetében, ahol mind a kétszer vettünk vízmintát, sokat a vizek hőmérséklete nem sokban különbözik a két mérés során.

A legalacsonyabb hőmérséklete a Szent Tamás-forrásnak, a Büdös kútnak, a Büdös csorgó kútnak és a Kastély forrásának van. *Maller (2012)* megállapítása szerint ennek oka az, hogy a források vize keveredik talajvízzel, vagy, hogy e források mérése nem épületben, vagy aknában történt, így a légköri hőmérséklet befolyásolta a forrásvizek hőmérsékletét.

Ennek ellent mond a Lilla-forrás esete, hiszen annak ellenére, hogy szabad ég alatt mértük, a legmagasabb hőmérsékleti értéket mutatta. Valószínűleg azért, mivel ez a forrás eredetileg is melegebb, mint a többi, illetve teljesen karsztos eredetű.

A többi vizsgált forrás esetében a hőmérséklet nagyjából a 20 °C-os érték körül ingadozik.

A források hőmérsékleti csoportosítására *Papp-Gaál-Hódos (1957)* adnak egy lehetőséget.

4.2. táblázat A források csoportosítása hőmérséklet szerint (*Papp-Gaál-Hódos [1967]*)

Hideg források	< 20 °C
Hűvös források	20-25 °C
Langyos források	25-32 °C
Meleg források	32-40 C
Forró források	> 40°C

Ebből látható, hogy az általam vizsgált források közül a Lo Presti, a Május 1. u. 45., a Törökfürdő és a Lilla forrás a hűvös források csoportjába sorolhatóak, a többi pedig a hideg forrásokéba.

A vizek karsztos voltára az **összes keménység** és a **fajlagos vezetőképesség** ad választ. *Maller* szerint a Dunántúli-középhegységben a karsztvíz vezetőképessége 466-720 $\mu\text{S}/\text{cm}$, az összes keménység 77-383 mg/l lehet. Az ennél magasabb vezetőképesség, illetve alacsonyabb keménység értékek azt jelentik, hogy a forrás talajvízzel keveredik.

A II. számú melléklet alapján belátható, hogy két kivételtől eltekintve karsztforrásokról beszélhetünk. A Büdös-kút, a Lelkes-forrás és a Szent Tamás-forrás esetében a karsztvíz valószínűleg nagymértékben keveredik talajvízzel.

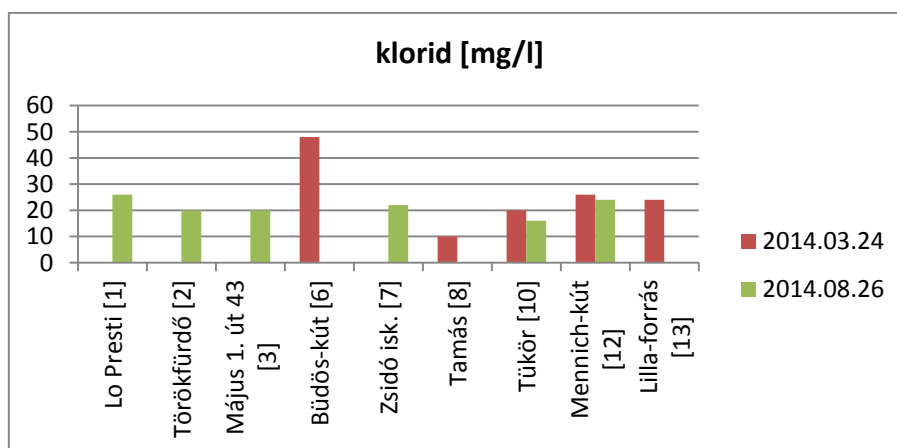
Az összes keménység alapján Juhász (2002) szerint az alábbi módon csoportosíthatóak a vizek:

4.3. táblázat A vizek osztályozása keménység szerint (Juhász [2002])

< 2,0 nkf	igen lágy víz
2,1-5,0 nkf	lágy víz
5,1-15,0 nkf	kissé kemény víz
15,1-30,0 nkf	kemény víz
> 30,0 nkf	nagyon kemény víz

Az nkf az a német keménységi fokot jelenti. 1 nkf=10 mg/l CaO tartalmat jelent. Tehát a legtöbb forrás a kemény vizű kategóriába tartozik, a Büdös-kút és a Tamás-forrás vize nagyon kemény.

A vizek **klorid** tartalmának meghatározása nagyon fontos számunkra. A klorid tartalom egy olyan komponens, mely nem bomlik le és nem tapad hozzá a talajszemcsékhez, tehát mennyisége állandó. Ez segíthet abban, hogy meghatározzuk, az egyes források vajon ugyanabból a víztestből származnak-e.

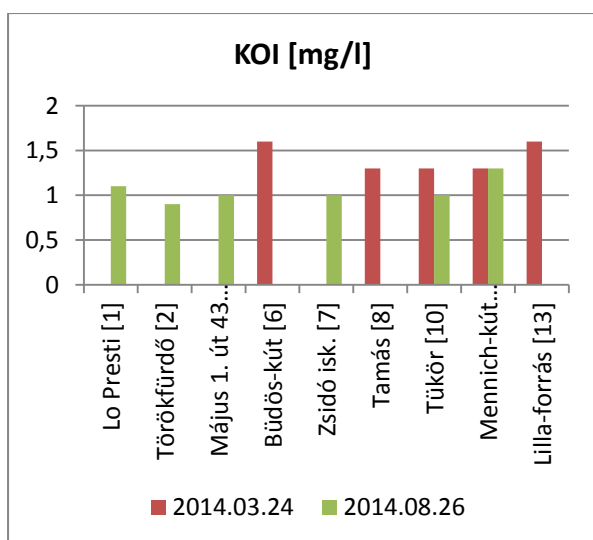


4.23. ábra A klorid-tartalom alakulása

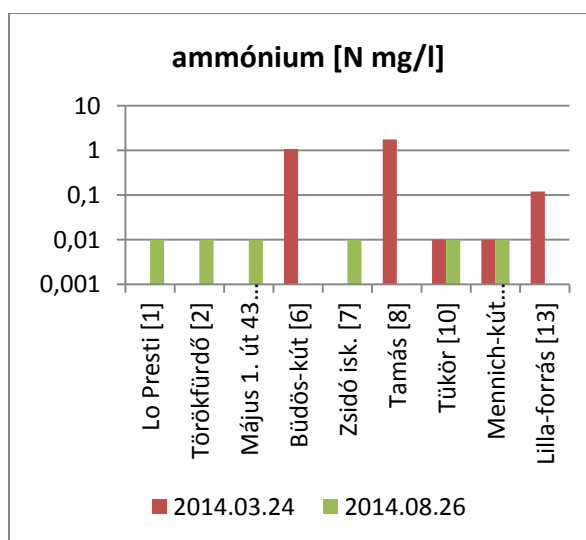
Láthatjuk, hogy itt is az 1, 2, 3, és 7. számú források klorid tartalma nagyjából hasonlóan alakul, így feltételezhető, hogy egy víztestből származnak.

A **kémiai oxigénigény** az az oxigénmennyiség, mely a vízben lévő szerves anyagok oxidációjához szükséges. Minél magasabb ez az érték, a vízminta annál több szerves anyagot tartalmaz.

A 4.24 ábra alapján belátható, hogy a Lelkes-forrás, a Büdös-csorgó kút és a Kastély forrásának vize a többinél több szerves anyagot tartalmaz. Megjegyzendő még, hogy a 6., 8., 10., 12, és 13. számú minták is jelentősebb szerves anyag tartalommal rendelkeztek a márciusi vizsgálat idejében. Ez arra utalhat, hogy a forrásvizek a magas szerves anyagú talajjal érintkeznek, illetve szennyvízzel vagy szennyezett talajvízzel keverednek.



4.24. ábra A kémiai oxigénigény alakulása



4.25. ábra Az ammónium-tartalom alakulása

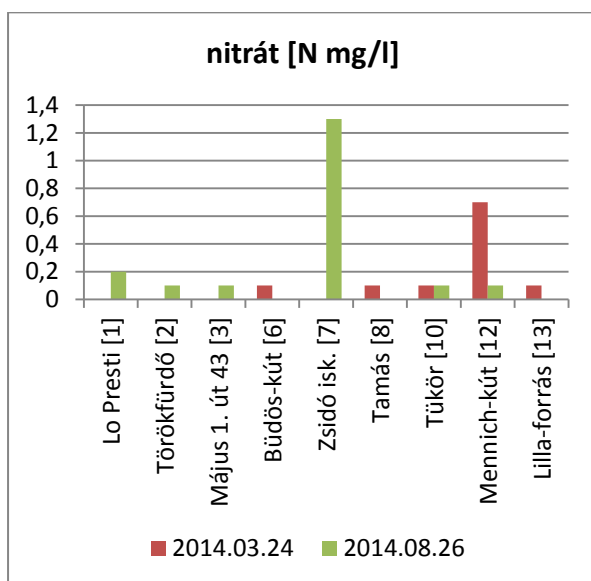
A minták ammónium, nitrit és nitrát tartalma a nitrifikáció folyamata miatt fontos.

A folyamat során először az ammóniumból nitrit, majd nitrát keletkezik. Ezen komponensek jelenléte szennyvízzel való keveredésre utalhat, hasonlóan a KOI-hez.

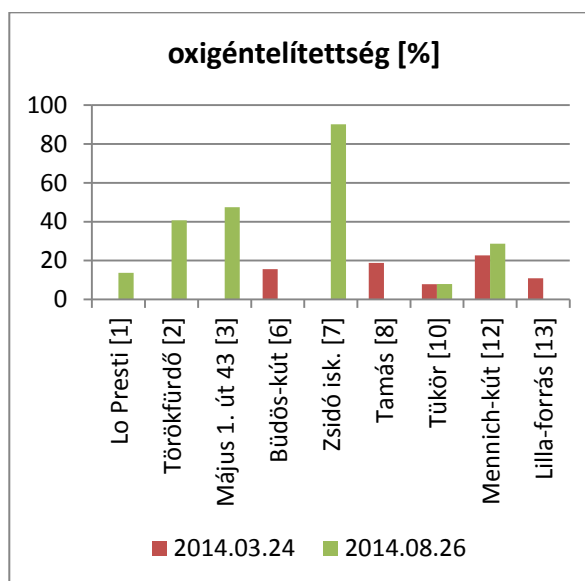
A nitrifikációhoz nagy mennyiségű oxigénre van szükség, ezért érdemes az oxigéntelítettséget összekötni az előbb említett komponensekkel.

Az **ammónium** tartalom az 1, 2, 3, 7 források esetében hasonlóan alakul, mivel a márciusi és az augusztusi mintavételek alapján az ammónium tartalom csökken. A 6. és 8. jelű források rendelkeznek a legnagyobb értékekkel, ami a KOI-hez hasonlóan alakul. A többi forrás ammónium-tartalma nem jelentős.

A összes forrásvízben minimális a **nitrit** tartalom (<0,01 mg/l), ami annak a jele, hogy a vízben található annyi oxigén, ami segít a nitrit nitráttá alakulásában.



4.26. ábra A nitrát tartalom alakulása



4.27. ábra Az oxigéntelítettség alakulása

A **nitrát** tartalom az 1, 2, 3 források esetében ismét csökken a vizsgált időszakban, viszont az 7. forrásnál ez nem olyan mértékben tapasztalható.

Itt érdemes az oxigéntelítettség ábráról is következtetéseket vonni. Látható, hogy a 2, 3 forrás esetében nő az oxigéntelítettség, ami magyarázhatja a N tartalmú összetevők csökkenését. A Zsidó iskola esetében figyelhető meg, hogy az oxigéntelítettség majd 4-szerese a két mérés esetében. Ez szintén az ammónium, nitrit, nitrát komponensek csökkenését okozza.

Fontosnak tartom vizsgálni, hogy a meghatározott komponensek hogyan viszonyulnak az ivóvíz határértékhez, hiszen nagyon fontos lenne e források valamiféle hasznosítása. Természetesen ahhoz, hogy azt mondhassuk egy forrásvízről, hogy iható, nem csak a táblázatban megjelölt határértékek teljesülése szükséges, hanem további vizsgálatok elvégzése is.

4.4. táblázat Vízminőségi határértékek (201/2001. (X. 25.) Korm. rendelet)

pH	6,5-9,5
vezetőképesség	2500 μ S/cm
kémiai oxigénigény	3,5 mg/l
ammónium	0,2 mg/l
nitrit	0,1 mg/l
nitrát	50 mg/l
klorid	100 mg/l
összes keménység	50-350 mg/l CaO
összes vas	0,2 mg/l

A 4.4 táblázat alapján látható, hogy a pH, a vezetőképesség és a nitrát határértékeknek mindegyik forrás megfelelt.

A kémiai oxigénigény a Büdös csorgó-kút esetében haladja meg a határértékeket.

Az ammónium tartalom a vizsgált időszakban a Büdös-kút és a Szent Tamás forrás esetében volt túl magas, rendre 1,35 mg/l és 1,12 mg/l értékekkel.

A klorid tartalmat a Lelkes-forrás esetében találhatjuk túl magasnak a 122 mg/l-es értékkel.

Továbbá az összes keménység a Büdös-kút (541 mg/l), és a Tamás-forrás (397 mg/l), illetve a vas tartalom a Tamás-forrás (1,17 mg/l) esetében haladta meg a maximumot.

Szem előtt tartva, hogy az összes ivóvíz minőségi komponenst nem vettem figyelembe, és hogy további vizsgálatok szükségesek, nem jelenthető ki, hogy azon források, melyeket az előző bekezdésben nem vizsgáltam, ihatóak lennének. Csak a mért komponensek határértékekhez való viszonyulását vettem szemügyre.

5. Korábbi előrejelzések vizsgálata

Mivel a múltban több előrejelzés is készült a karsztvízszintek alakulásáról, fontosnak tartom ezek számba vételét és vizsgálatát, összehasonlításukat a tényleges állapottal.

A Hydrosys Kft. által készített modellvizsgálat

1999 áprilisában Tata Város Önkormányzata egyfordulós nyílt pályázatot írt ki a cselekvési program elkészítésére. A Hydrosys Kft. által beadott pályamű lett a nyertes. A részletes helyszíni bejárások után készítették el az alábbi vizsgálatot, amit dolgozatomban részletesen elemzek.

A források visszatérésének és a főkarsztvíztároló visszatöltődési folyamatának vizsgálatánál sok körülményt figyelembe vettek.

Mivel a tatai tárolórész a főkarsztvíztároló lokális forrása, ezért az ott kialakuló karsztvízszint több tényező függvénye. Ilyenek a beszivárgási területek karsztvízszintje, illetve a mesterséges vízkivételek depressziós terének nagysága. A peremfeltételek definiálásához a regionális modell 1*1 km-es felbontású változatát használták fel, ami tartalmazta a csapadék- és klíma adatokat, illetve a karsztvízkivételek illetve forráshozamok idősorait 1951 és 1998 között.

A modell pontosságának ellenőrzésére először egy szimulációs futtatást készíttek az 1970-1998 közötti időszakra, majd az 1970-1998 közötti beszivárgások mellett egy nyomásváltozásokra vonatkozó előrejelzés készült 2040-ig a középhegység egészére.

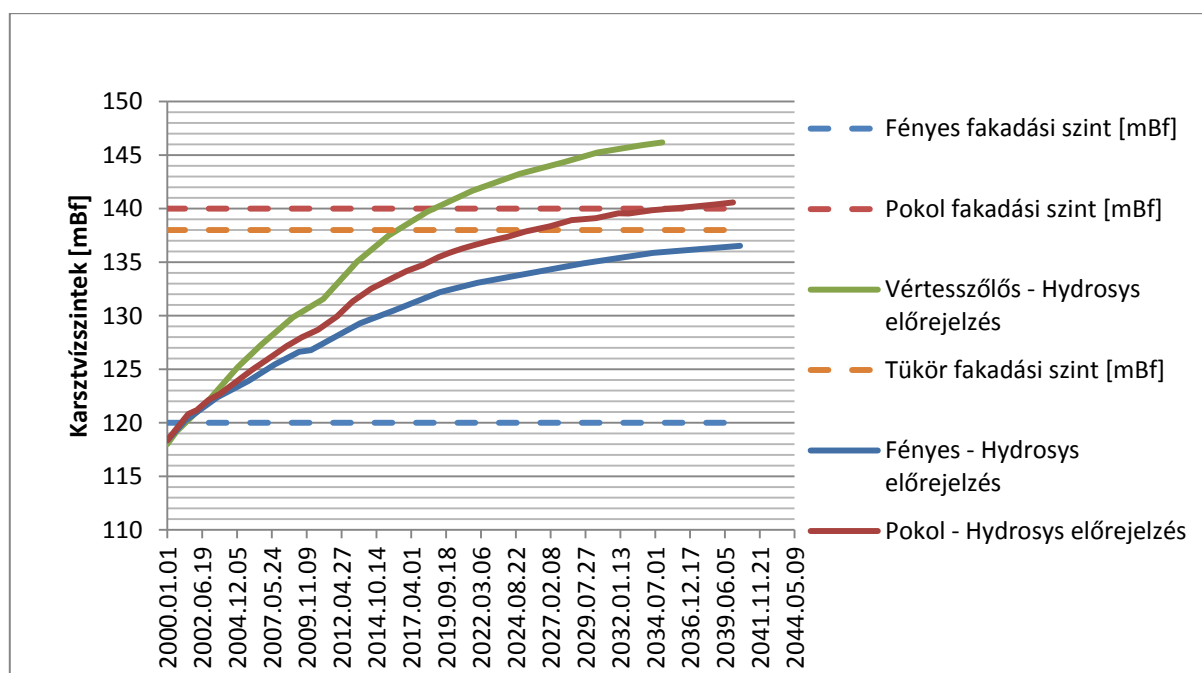
Ami számunkra érdekes lehet, az a Tata környékére 14*14 km-es 100*100 m-es rácsfelbontás mellett készített lokális modell. Ez a modell felhasználta a regionális modell nyomásváltozásait, de pontosabban tartalmazta a vízkivételek és forráshozamok helyét.

A modell megalkotásához az alábbi jelentősebb vízemeléseket vették figyelembe.

Dorog Lencsehegy	15 m ³ /min	2003-tól leáll
Mány 1/a	4 m ³ /min	2003-tól leáll
Tatabánya XV/C	8 m ³ /min	ivóvízkivétel
Tatabánya XIV/A	20 m ³ /min	ivóvízkivétel
Rákhegy (Kincsesbánya)	15 m ³ /min	ivóvízkivétel
Bitó (Kincsesbánya)	8 m ³ /min	2000-től leáll

Az előrejelzésnél több körülményt nem tudtak figyelembe venni. Egyrészt a csapadékviszonyok előrejelzésére nincs biztos módszer. Másrészt a vízkivételek esetében a vízigények alakulását is csak egy becslés alapján tudták felvenni. Azzal a feltételezéssel éltek, hogy a vízigények 2010-ig történő csökkenése megáll, és a 40 éves időszak egy újbóli növekedést eredményez majd.

A beszivárgás esetében két változatot használtak fel. Az első változatot tekintették mértékadónak, ahol az elmúlt években készült előrejelzésekhez hasonlóan az 1970-től 1998-ig tartó beszivárgással számoltak. A második előrejelzés az 1951-1998-as időszak átlag beszivárgás értékével készült. De mivel a két beszivárgási érték nagyon hasonló előrejelzési értékeket ad, ezért elég volt csak az egyiket vizsgálnom. (*Hydrosys Kft. – Monumentum Kft. – Equilibrium Bt. 1999*)



5.1. ábra A Hydrosys Kft. által készített előrejelzés

Az 5.1. ábrán a Hydrosys Kft. által elkészített 2. számú előrejelzés látható. Ábrázoltam a Pokol, a Fényes, illetve a Tükör forrás fakadási szintjeit. A Tükör-forrás azért lehet érdekes, mivel Pokol-forráshoz nem messze található.

Így már tisztán látszik, hogy a Pokol forrás megindulása a 2030-as években várható, a Tükör forrásé pedig nagyjából a 2020-as évek közepére tehető. A Fényes forrás esetében az előrejelzés rendben van, hiszen az 2001-ben jelent meg újra.

A VITUKI által készített előrejelzés

A VITUKI szintén készített egy előrejelzést 1989-ben.

Az előrejelzést hatféle változatban készítették el. Az 1-5 változatok az 1990-2000-es évekre terjednek ki, a 6. számú változat pedig az 1990-2020-as évekre.

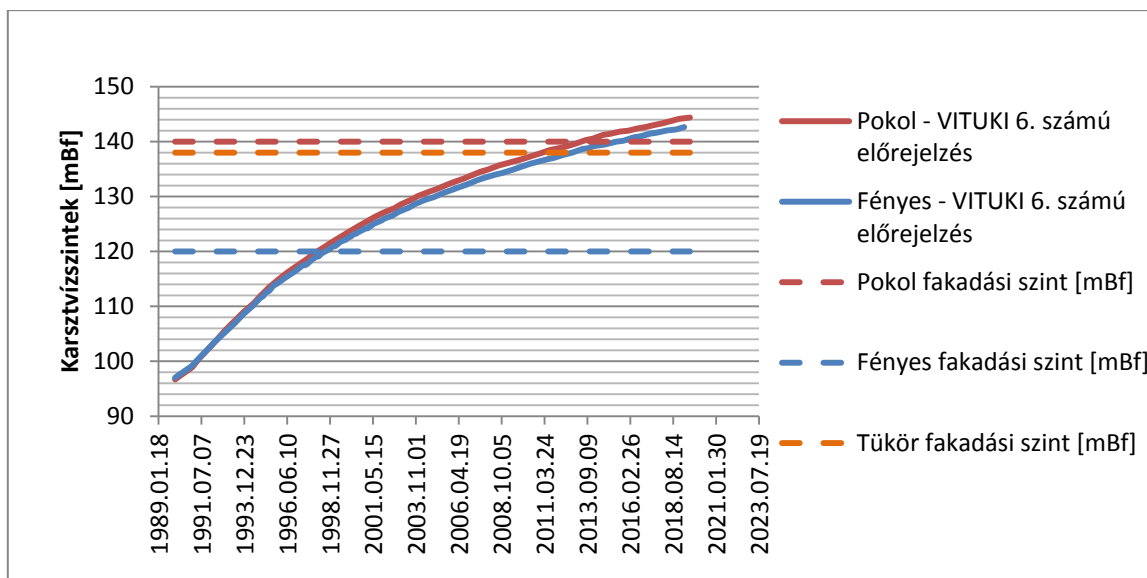
A modell elkészítésében az egyes változatoknál az alábbi vízemelési feltételeket vették figyelembe:

5.1. táblázat A VITUKI által készített előrejelzések feltételei

Az előrejelzés sorszáma	Bányavízemelés a Mátyás I/a aknán	Visszatáplálás
1.	max. 40 m ³ /min (1994-2000)	Csordakút
2.	max. 40 m ³ /min (1994-2000)	Csordakút-Budajenő
3.	bányászati vízemelés nincs	-
4.	max 20 m ³ /min (1994-1996)	Csordakút
5.	max 20 m ³ /min (1994-1996), de a XIV/a, XV/c és XV/b aknák esetében a vízutánpótlás leáll	Csordakút
6.	minden bányászati vízemelés megszűnik 1990-től	-

Az 5. és 6. változat kivételével a többi változatban az ivóvízkivétel kb. 50 m³/min. Az Által-ér pótlására 30 m³/min vízkivétel történik 1990-1992 között. (Gerber 1989)

Ebben az esetben a Fényes és a Pokol-észlelőkutakra készült 6. számú előrejelzést tartottam fontosnak ábrázolni a fakadási szintekkel.



5.2. ábra A VITUKI által készített 6. sz. előrejelzés

Az 5.2 ábra alapján látható, hogy a Fényes források visszatérését 1997. a Tükör illetve Pokol források esetében pedig a 2000-es évek végére, illetve a 2010-es évekre jósolták.

Az előrejelzések jóságának vizsgálata

A dolgozatomban e részben azt vizsgáltam, hogy az egyes előrejelzések mennyire felelnek meg a tényleges változásoknak, illetve, hogy a későbbiekben mely előrejelzéseket érdemes figyelembe venni.

A mért és előrejelzett karsztvízszinteket három kút esetében vizsgáltam, melyek az 5.3. ábra szerint helyezkednek el.

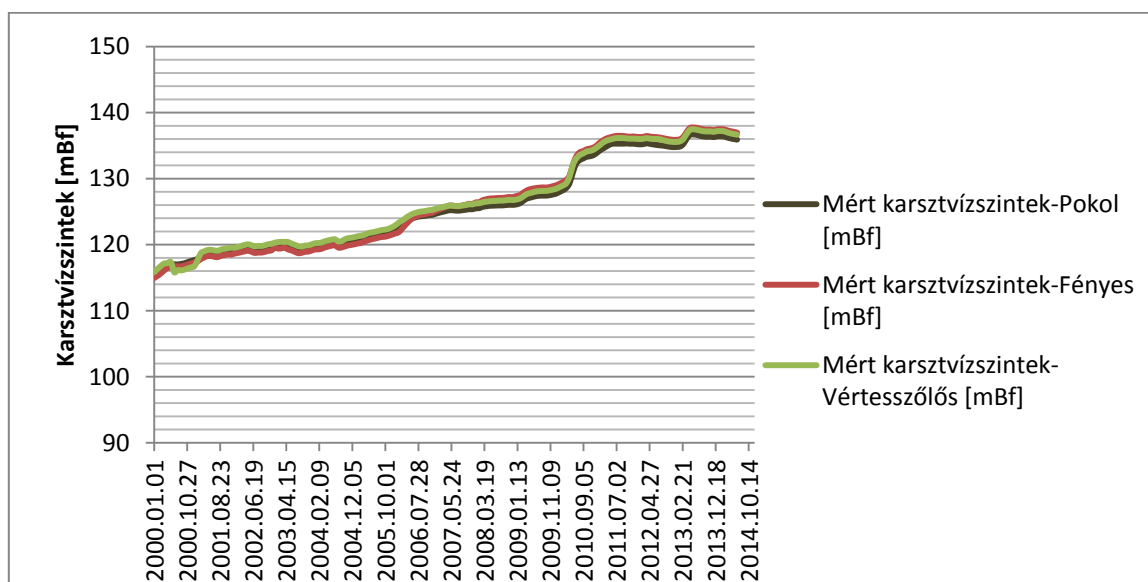


5.3. ábra A vizsgált karsztkutak elhelyezkedése (A: Fényes, B: Pokol, C: Vértesszőlős)

A számításaimhoz az ÉDUVIZIG által mért karsztvízszint idősorokat használtam fel. Ezeket az adatokat DATAQUA műszerrel mérték. Korábban napi egyszeri, az utóbbi időben pedig óránkénti felbontású adat áll rendelkezésre.

Az adatsorok vizsgálata során néhol problémákba ütköztem, mivel voltak olyan időszakok, amikor nem mértek karsztvízszinteket. Ez a legtöbb esetben a műszer meghibásodása miatt volt.

A hiányzó adatok pótlására azt a megoldást választottam, hogy a többi kút idősorából próbáltam következtetni a hiányzó adatokra. Ez egy jó megoldás lehet, mivel az 5.4. ábrán is látható, hogy az egyes kutak esetében a karsztvízszintek változásai nagyon jól követik egymást.



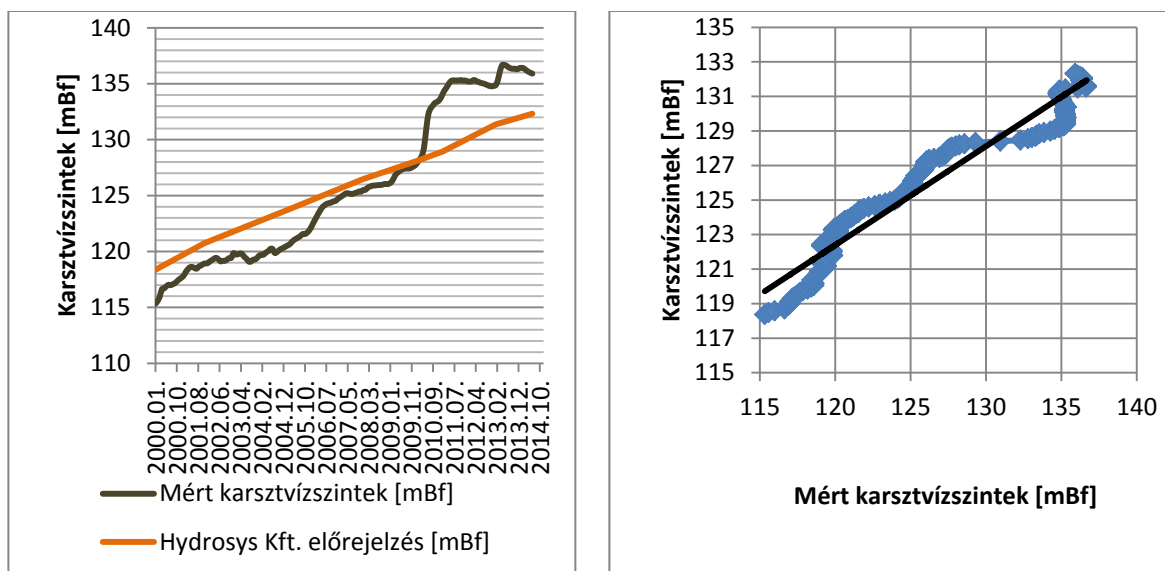
5.4. ábra A mért karsztvízszintek alakulása a vizsgált karsztvízészlelő kutakban

A vizsgálatokat **korrelációs számítással** végeztem.

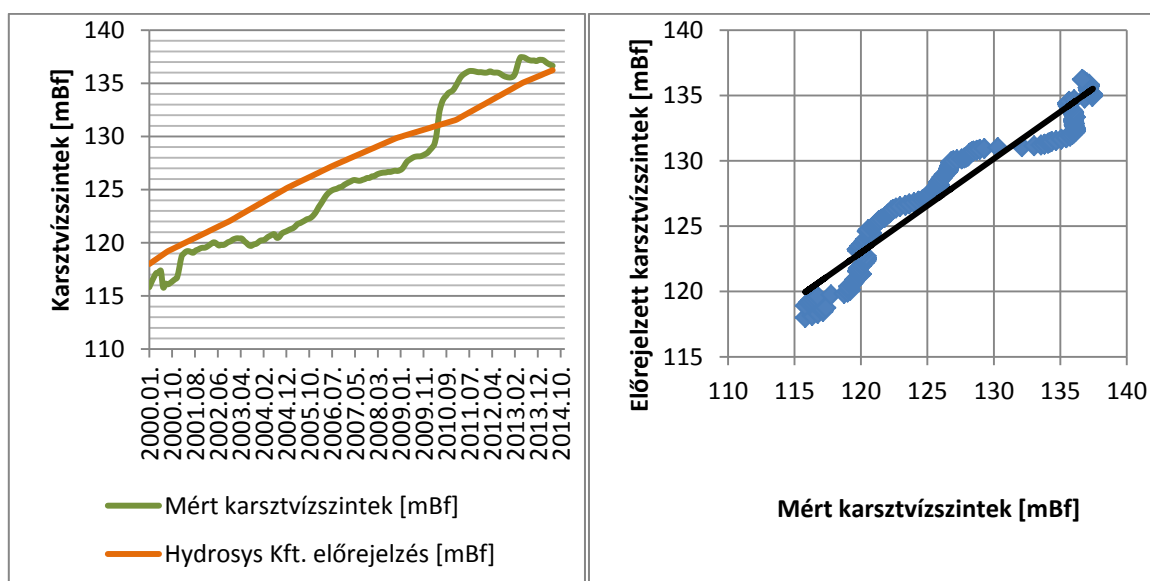
A **Hydrosys Kft.** által készített előrejelzések esetében látható, hogy az egyes korrelációs tényezők között százados nagyságrendi eltérések tapasztalhatóak. A legjobb közelítést a Pokol-észlelőkút esetében sikerült elérni. Itt az 5.5 ábra alapján is látható, hogy a mért illetve az előre jelzett görbék viszonylag jól közelítik egymást

A vértesszőlősi karsztkutak esetében a mért és előrejelzett egyenesek között szorosabb egyezést fedezhetünk fel, mint a Pokol esetében. Ez a regressziós egyenest tartalmazó ábrán is megmutatkozik (5.5-5.6. ábra és 5.7-5.8 ábra). Az előrejelzés a Fényes esetében adódott a

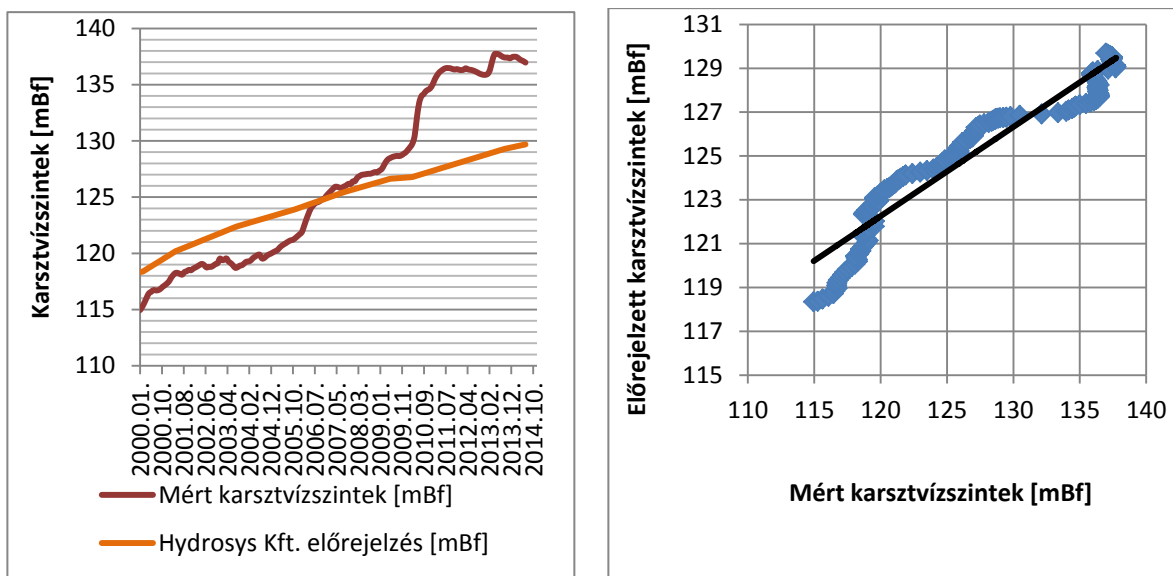
legpontatlanabbnak $r=0,949$ korrelációs tényezővel (5.9-5.10. ábra). A kis eltérések ellenére megállapítható, hogy ez az előrejelzés mindhárom kút esetében hasonló eltérésekkel rendelkezik a mért értékektől.



5.5-5.6. ábra A mért és a Hydrosys Kft. által előrejelzett karsztvízszintek alakulása a Pokol észlelőkút esetében $r=0,963$



5.7.-5.8. ábra A mért és a Hydrosys Kft. által előrejelzett karsztvízszintek alakulása a Vértesszőlői észlelőkút esetében $r=0,956$



5.9-5.10. ábra A mért és a Hydrosys Kft. által előrejelzett karsztvízszintek alakulása a Fényes észlelőkút esetében $r=0,949$

A **VITUKI** által készített hat különböző változat közül az alábbiakkal foglalkoztam:

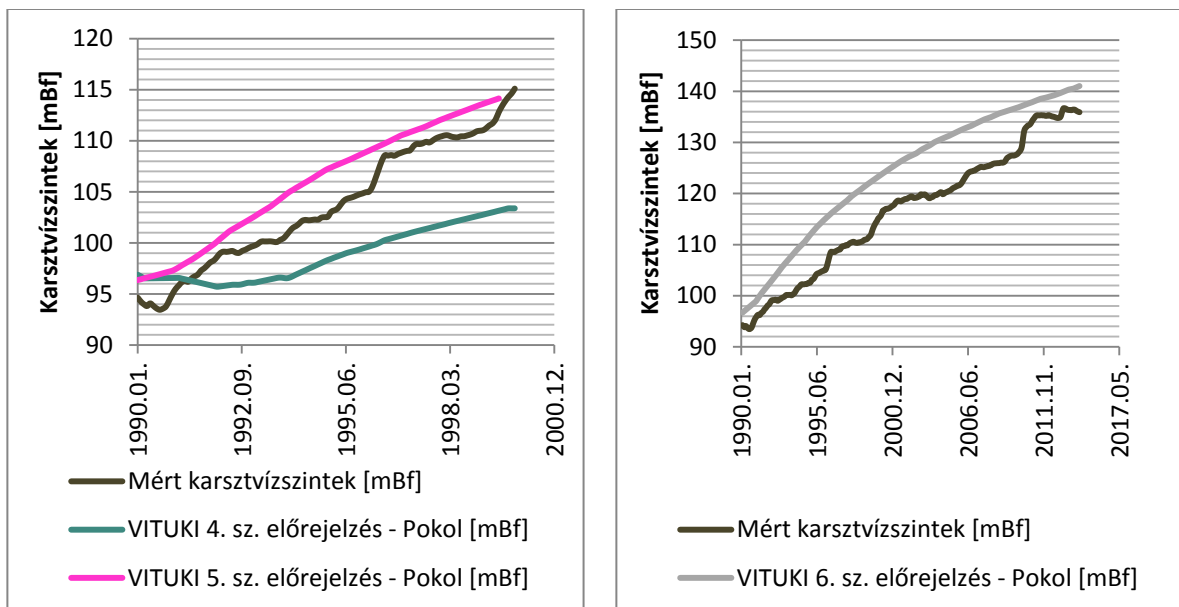
5.2. táblázat A **VITUKI** által készített változatok

Tata-Pokol	4. változat	1990-2000
	5. változat	1990-2000
	6. változat	1990-2014
Tata-Fényes	1. változat	1990-2000
	2. változat	1990-2000
	3. változat	1990-2000
	4. változat	1990-2000
	5. változat	1990-2000
	6. változat	1990-2014
Vértesszőlős	4. változat	1990-2000
	5. változat	1990-2000

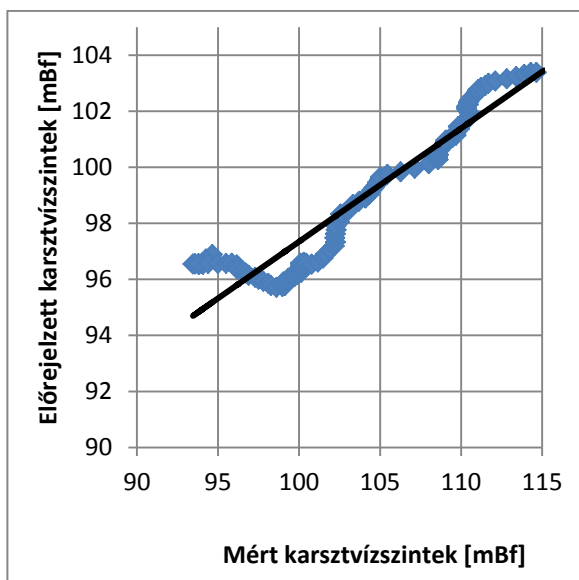
Ebben az esetben is ugyanazokat a karsztvízszint adatokat használtam, mint a Hydrosys Kft. által készített előrejelzéseknél.

A **Pokol-észlelőkút** esetében látható, hogy a korrelációs számítás eredményeként az 5. számú előrejelzést vehetjük a legpontosabbnak, hiszen itt a korrelációs tényező 0,977. A

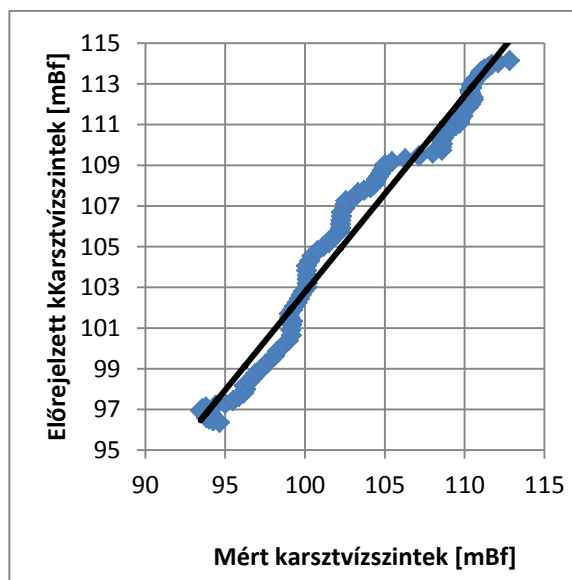
legpontosabban pedig a 6. számú $r=0,929$ korrelációs tényezővel. Ez nem meglepő, hiszen ebben az esetben minden karsztvízszint megfigyelése beleértve az ivóvízkivételt is. Ez persze a későbbiekben nem így történt.



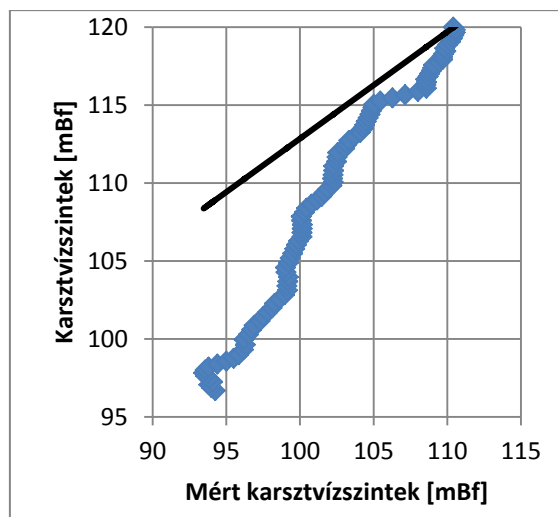
5.11.-5.12. ábra A mért és a VITUKI által előrejelzett karsztvízszintek alakulása a Pokol észlelőkút esetében



5.13. ábra VITUKI 4. sz. előrejelzés – Pokol
 $r=0,937$

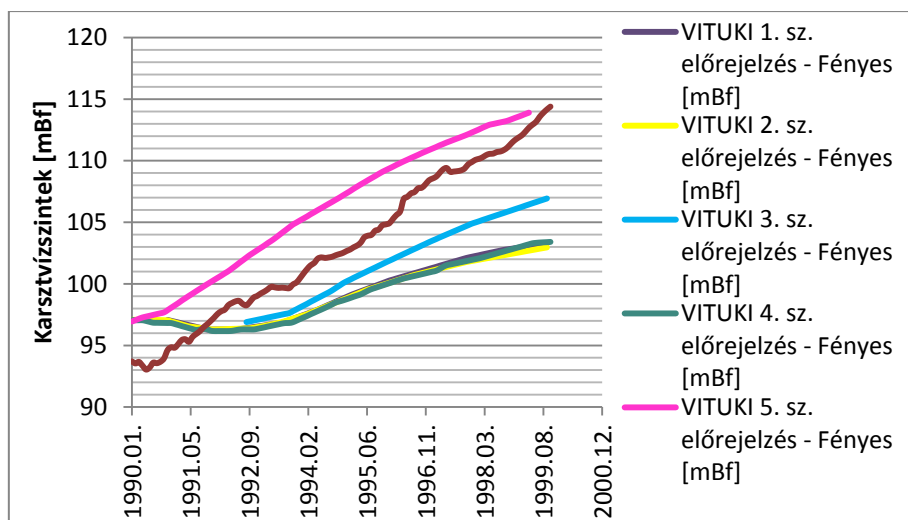


5.14. ábra VITUKI 5. sz. előrejelzés – Pokol
 $r=0,977$

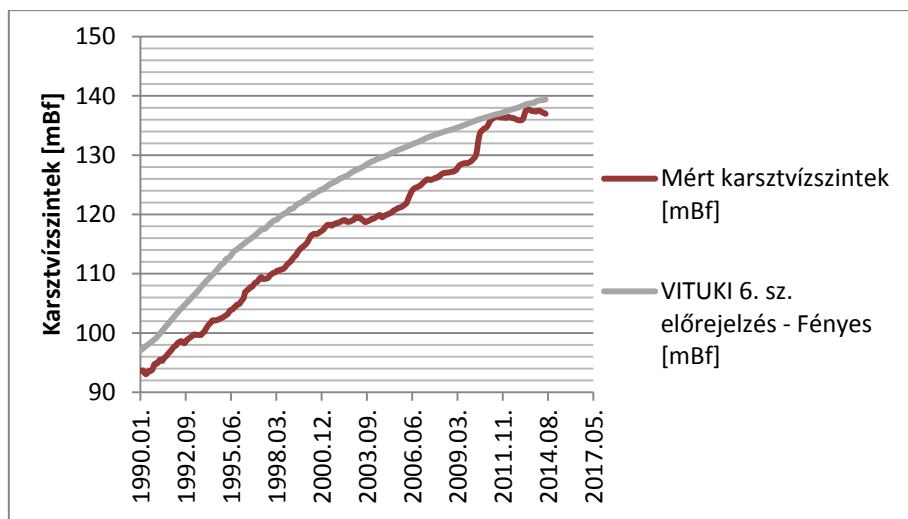


5.15. ábra VITUKI 6. sz. előrejelzés - Pokol $r=0,929$

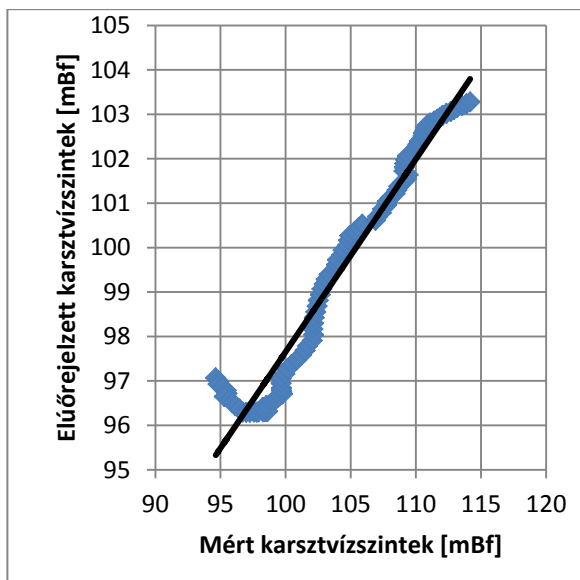
A **Fényes észlelőkút** esetében mind a hat előrejelzést vizsgáltam. A legpontosabb előrejelzést a 3. és az 5. számú előrejelzés adta, ahol a korrelációs tényezők rendre $r=0,982$ és $r=0,981$. Az egyezés oka az lehet, hogy a két görbe hasonló mértékben becsli alul, illetve felül a mért görbét. A 5.19. és 5.21. ábrák alapján látható, hogy a 2. és a 4. számú előrejelzések hasonló eredményeket adnak. Ebben az esetben is a 6. számú előrejelzés adta a legpontatlanabb eredményt, a már fent említett okok miatt.



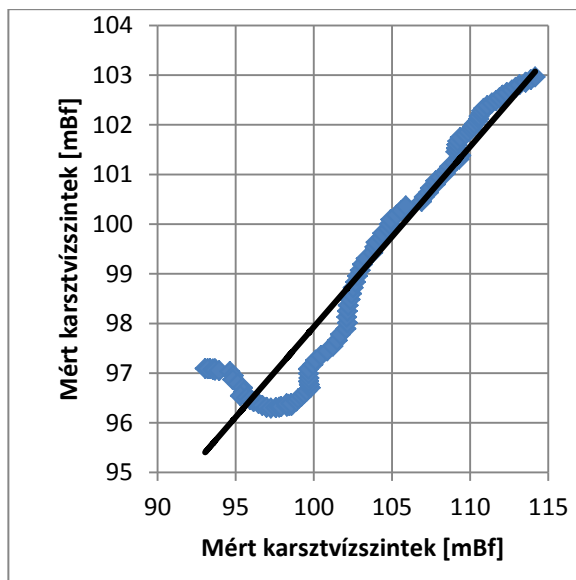
5.16. ábra A mért és a VITUKI által előrejelzett karsztvízszintek alakulása a Fényes észlelőkút esetében



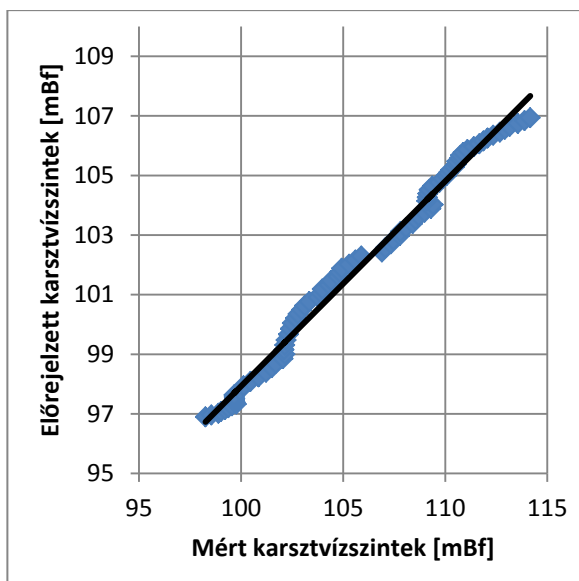
5.17. ábra A mért és a VITUKI által előrejelzett karsztvízszintek alakulása a Fényes észlelőkút esetében



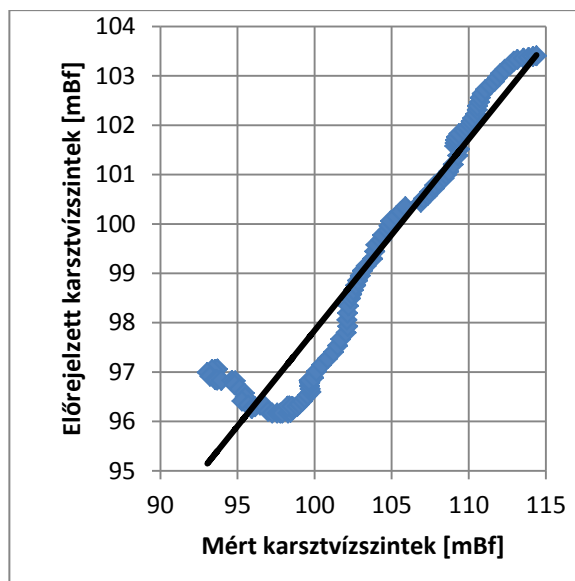
5.18. ábra VITUKI 1. sz. előrejelzés – Fényes
 $r=0,968$



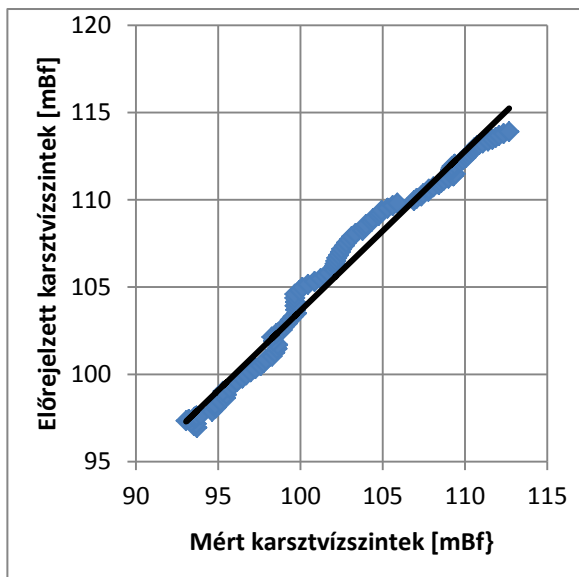
5.19. ábra VITUKI 2. sz. előrejelzés – Fényes
 $r=0,945$



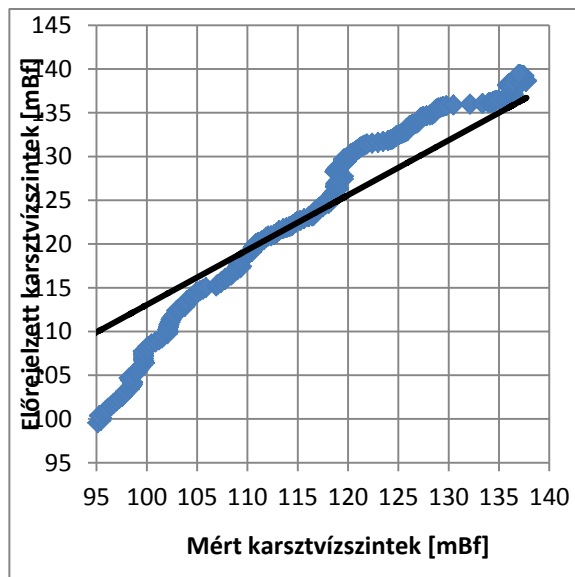
5.20. ábra VITUKI 3. sz. előrejelzés - Fényes
 $r=0,982$



5.21. ábra VITUKI 4. sz. előrejelzés - Fényes
 $r=0,947$



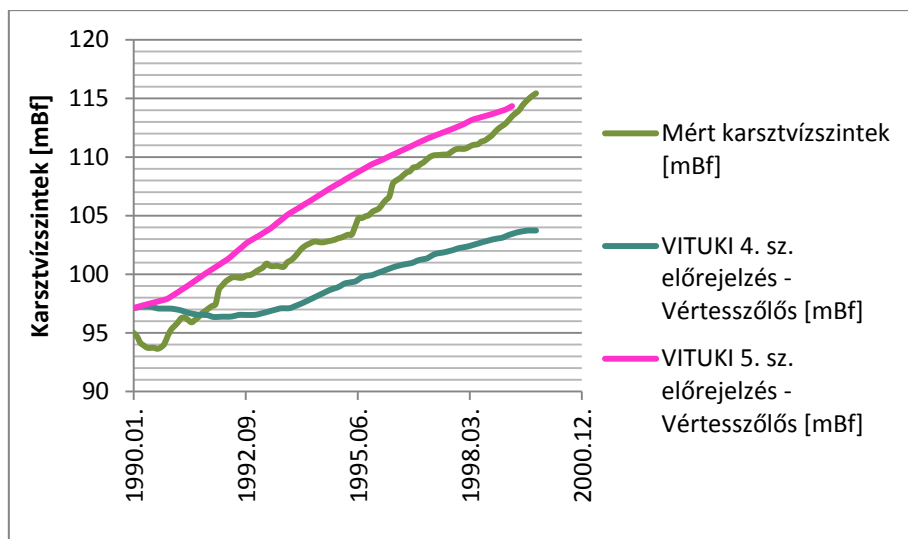
5.22. ábra VITUKI 5. sz. előrejelzés - Fényes
 $r=0,981$



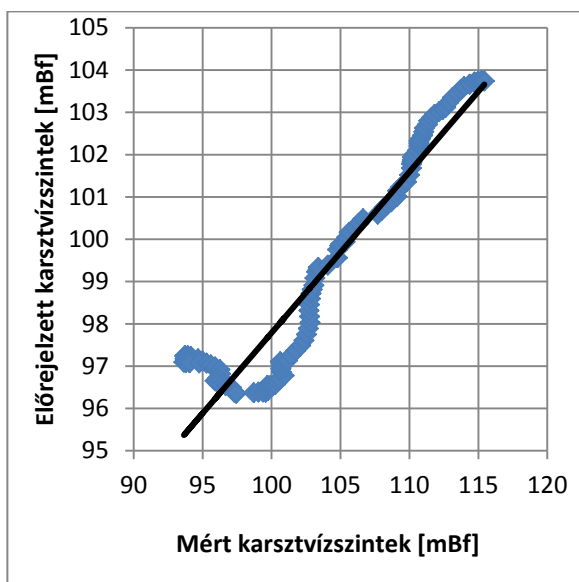
5.23. ábra VITUKI 6. sz. előrejelzés - Fényes
 $r=0,927$

A **vértesszőlősi karsztkút** esetében két előrejelzésre számoltam korrelációs tényezőt. A 4. és az 5. előrejelzésre.

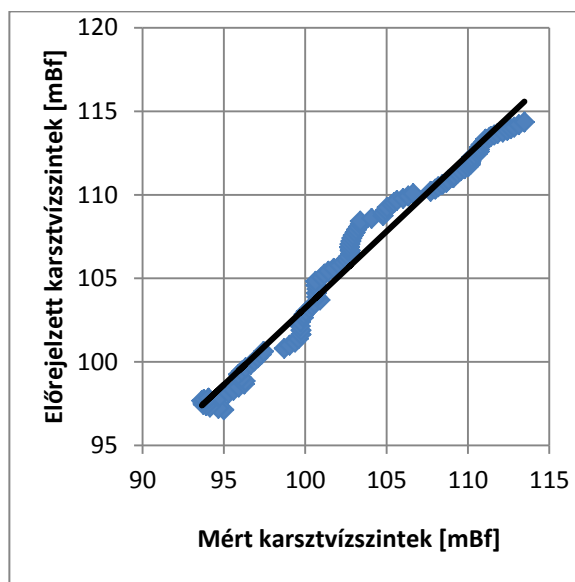
Itt is, mint az előző esetben az 5. számú adott nagyobb értéket, ami az 5.25-5.26. alapján is könnyen belátható. Tehát ebben az esetben az 5. előrejelzés tekinthető pontosabbnak $r=0,979$ -es értékkel.



5.24. ábra A mért és a VITUKI által előrejelzett karsztvízszintek alakulása a vértesszőlősi észlelőkút esetében



5.25. ábra VITUKI 4. sz. előrejelzés - Vértesszőlős $r=0,939$



5.26. ábra VITUKI 5. sz. előrejelzés - Vértesszőlős $r=0,979$

5.3. táblázat *Eredmények összefoglalása*

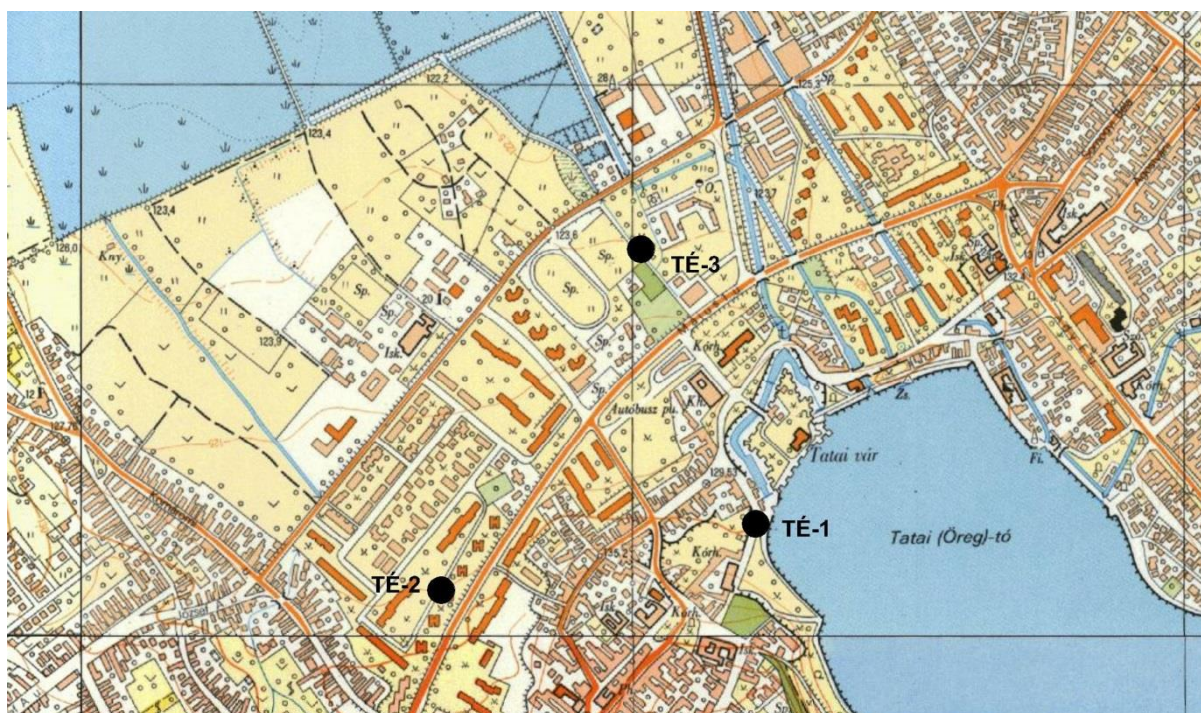
Modellvizsgálatok		Hydrosys Kft. modellvizsgálata	VITUKI által készített előrejelzések					
		2. előrejelzés	1. sz. előrejelzés	2. sz. előrejelzés	3. sz. előrejelzés	4. sz. előrejelzés	5. sz. előrejelzés	6. sz. előrejelzés
Időtartam		2000-2040	1990-2000	1990-2000	1990-2000	1990-2000	1990-2000	1990-2020
Vízemelések		Dorog: 15 m ³ /min (2003-ig), Máty: 4 m ³ /min (2003-ig), Tatabánya: 28 m ³ /min ivóvízkivétel, Rákhegy: 15 m ³ /min (ivóvízkivétel), Bitó: 8 m ³ /min (2000-ig)	max. 40 m ³ /min (1994-2000)	max. 40 m ³ /min (1994-2000)	bányászati vízemelés nincs	max 20 m ³ /min (1994-1996)	max 20 m ³ /min (1994-1996)	minden bányászati vízemelés megszűnik 1990-től
			Ivóvízkivétel 50 m ³ /min, Által-ér pótlás 30 m ³ /min (1990-1992)				-	
Korrelációs tényezők	Tata-Pokol	0,963	-			0,937	0,977	0,929
	Tata-Fényes	0,949	0,968	0,945	0,982	0,947	0,981	0,927
	Vértesszőlős	0,956	-			0,939	0,979	-

A fenti vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a Hydrosys Kft. által végzett előrejelzések közelítik jobban a mért karsztvízszinteket. Ennek oka véleményem szerint egyrészt az, hogy mivel ők 1999-ben készítettek előrejelzést, akkor szoftveres támogatottság sokkal fejlettebb volt, mint 1989-ben, így pontosabb eredményekhez juthattak. Emellett valószínűleg a kiindulási adataik is pontosabbak voltak.

6. Szivárgási tényező értékének közelítő meghatározása próbaszivattyúzások segítségével

A Magyar Földtani és Geofizikai Intézet Adattárában történt kutatások során olyan tatai karsztvízszint-észlelő kutak adatait találtam meg, melyeknél végeztek próbaszivattyúzásokat. Ebben a fejezetben a szivattyúzási hozam értékeket és visszatöltődési adatsorokat felhasználva következtetek a szivárgási tényező közelítő értékeire.

Ezek a kutak Tata városközponti részén találhatóak, nem messze az Öreg-tótól. A források nagy részének vizsgálatát is a város e részén végeztem, ezért érdemes velük foglalkozni.



6.1. ábra A kutak elhelyezkedése

A próbaszivattyúzásokat a VITUKI, illetve a Hydrosys Kft. végezte 2004-ben.

A vizsgálati módszerek bemutatása előtt fontosnak tartom definiálni az egyes meghatározandó paramétereket.

A **szivárgási tényező** a Darcy-törvényből levezethető arányossági tényező. Az 6.1-es képlet alapján látható, hogy a v szivárgási sebesség egyenesen arányos az I eséssel (Kovács 1972).

$$v = k \cdot I \quad (6.1)$$

A **transzmisszivitás vagy vízzállítási tényező** a b vastagságú vízáadó réteg vízzállító képességét jelenti (Juhász 2002).

Homogén izotróp porózus közet esetében az 6.2. képlet szerint alakul.

$$T = b \times k \quad (6.2)$$

A **tárolási tényező** (S) (Theis) az egységnyi nyomásesés hatására egységnyi területű nyomás alatti víztartóból felszabaduló víz térfogatát jelenti. Dimenziómentes mennyiség.

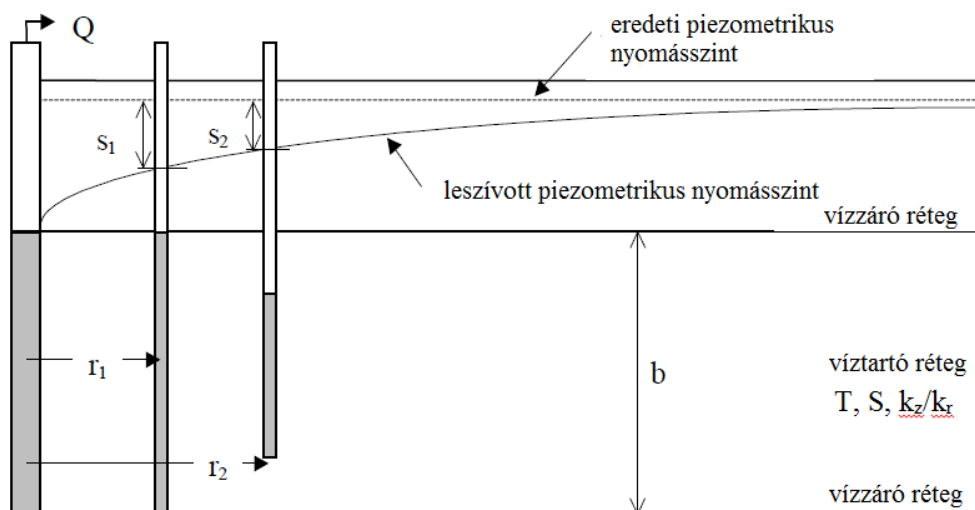
A **fajlagos tárolási tényező** (S_s) ezzel szemben az egységnyi nyomásesés hatására egységnyi térfogatú nyomás alatti víztartóból felszabaduló egységnyi térfogatú víz. Mértékegysége 1/m.

Theis módszer a nyomás alatti víztartó vizsgálatára (Theis 1935)

A Theis módszer a legegyszerűbb összefüggés, amelyet a nempermanens vízmozgások vizsgálatakor alkalmazhatunk.

Theis alábbi egyenlete a vízszint változását határozza meg, miközben a nyomás alatti vízáadó réteget szivattyúzzuk.

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du \quad (6.3)$$



6.2. ábra A Theis módszer jelölései nyomás alatti víztartó /Theis (1935) nyomán/

A próbaszivattyúzások konstans hozammal történnek, eközben pedig rögzítik a vízszint értékeit az idő függvényében. Ezen adatok alapján a 6.4 egyenlettel tudjuk számolni a T és S értékét.

A módszerkülönböző **feltételezéseket**, egyszerűsítéseket tesz. A víztartót végtelen kiterjedésűnek, homogénnek, izotrópnak és egyenletes vastagságúnak feltételezi. A teljes kút esetében az áramlás iránya horizontális és nempermanens. A kút átmérője kicsi, így elhanyagolható a kútban a tározás.

Theis módszer a visszatöltődés vizsgálatára nyomás alatti víztartóban (Theis 1935)

A Theis módszer egyik módosításával a visszatöltődési folyamat alapján lehet meghatározni a vízáteresztő képességi együtthatót és a tárolási tényezőt.

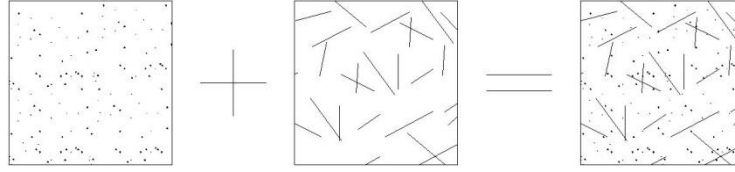
$$s' = \frac{Q}{4\pi T} \left[\ln\left(\frac{t}{t'}\right) - \ln\left(\frac{S}{S'}\right) \right] \quad (6.7)$$

Az s' függvényében szemi-logaritmikus koordináta rendszerben megrajzolhatóak a $\log(t/t')$ értékeket. Ha az adatokra egy nagyjából 0-ba tartó egyenest illesztünk, meghatározhatjuk a T és az S/S' értékeket.

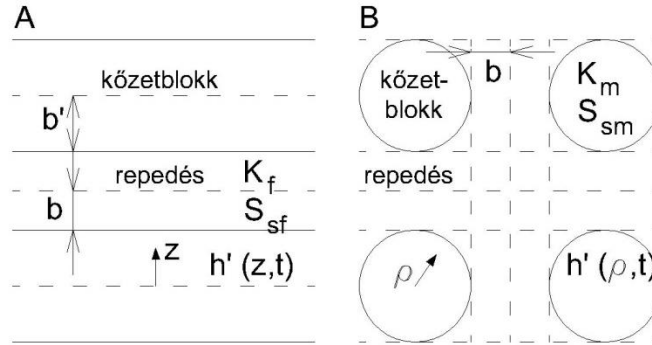
A feltételezések ugyanazok, mint a Theis módszernél.

Moench-féle módszerek repedezett víztartó esetén (Moench 1984)

Moench analitikus megoldást adott a szivattyúzás hatására történő vízszintváltozásokra repedezett víztartó esetében. A modell kettős porozitást feltételez. Ennek lényege, hogy a kőzet jellemezhető egy elsődleges porozitással, amelynél a kőzetmátrix pórusos és ez a kőzet keletkezésekor alakult ki, továbbá egy másodlagos porozitással, mely a repedéseket jelenti, és a tektonikai mozgások hatására jön létre (Juhász 2002) (6.3. ábra). Mindemellett a módszer a kőzet mátrixot egyik esetben lapszerű, a másik esetben gömbszerű blokkokból építi fel (Moench 1984) (6.4. ábra).



6.3. ábra A kettős porozitás sematikus ábrája



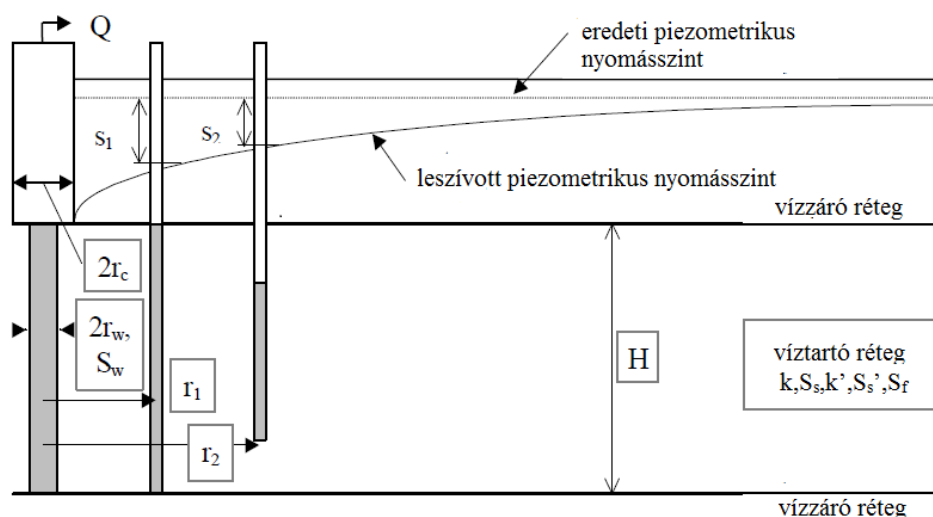
6.4. ábra A Moench módszer lapszerű illetve gömbszerű közetblokkjának sematikus ábrája
/Moench (1984) nyomán Karay (2012)/

A termelőkút dimenzió nélküli leszívása az 6.8. képlet szerint számolható:

$$\overline{h_{wD}} = \frac{2[K_0(x) + xS_w K_1(x)]}{p\{pW_D[K_0(x) + xS_w K_1(x)] + sK_1(x)\}} \quad (6.8)$$

A megfigyelőkút leszívása pedig az 6.9. képlet szerint:

$$\overline{h_D} = \frac{2[r_D x]}{p\{pW_D[K_0(x) + xS_w K_1(x)] + sK_1(x)\}} \quad (6.9)$$



6.5. ábra A Moench módszer jelölései repedezett kőzetek vizsgálata esetén (Moench [1984] nyomán)

A Moench módszer szintén tesz különböző feltételezéseket. A víztartó kiterjedése végtelen és egyenletes vastagságú. A szivattyúzott és a megfigyelő kút lehet teljes vagy részleges. A repedezett víztartó által képviselt kettős porozitású rendszer alacsony áteresztő képességű elsődleges porozitású részekből és magas vízáteresztő képességű másodlagos porozitású részekből épül fel. Az áramlás e módszer esetében is nempermanens.

Adatok kiértékelése

Az adatok kiértékelésére az Aqtesolv for Windows Pro 3.5 verzióját használtam.

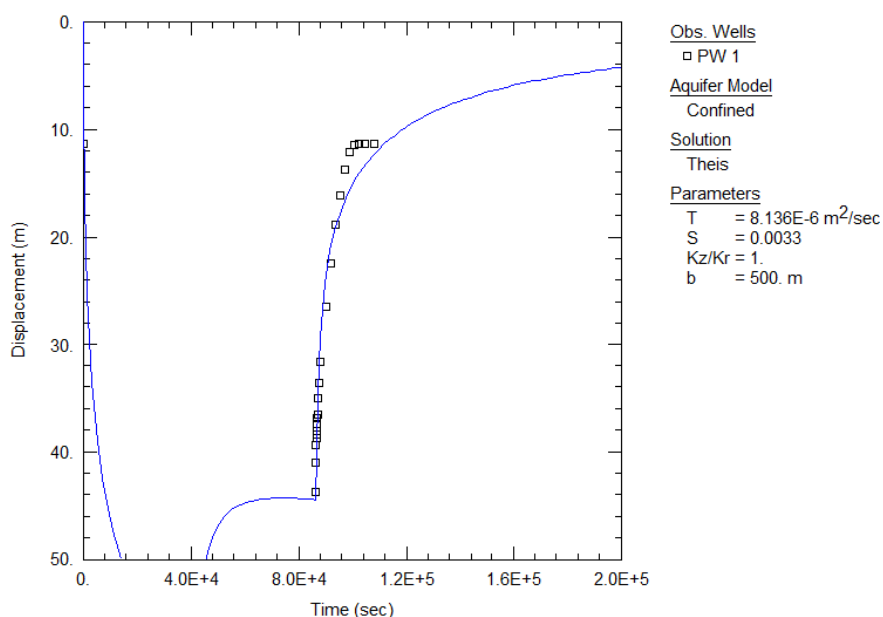
Ez a közismert program könnyen használható, kezelőfelülete átlátható, az adatok bevitele egy varázsló segítségével történik. Ha esetleg valamilyen adatot rosszul írunk be, vagy kihagyunk, egy külön nézetben megtekinthetők a hibák, illetve később könnyen módosíthatóak, javíthatóak.

A TĚ-1-es észlelőkút esetében mind a két Theis-féle módszer kipróbáltam.

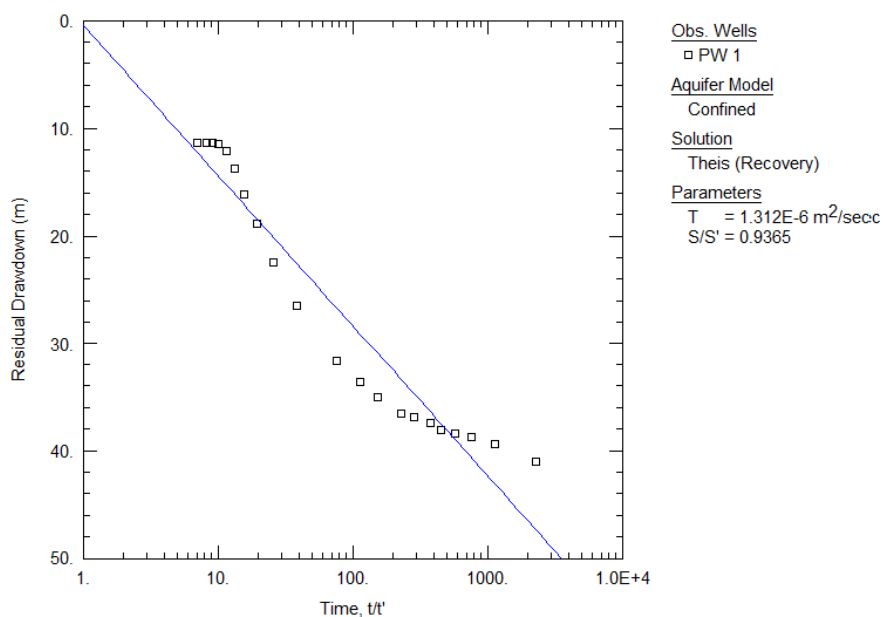
Az ábrák alapján látható, hogy csak tűrhető egyezéseket sikerült elérni. Ennek fő oka, ami a további kutaknál is problémát jelent, hogy a leszívási szakasz esetében csupán a nyugalmi vízszintet, a leszívás utáni vízszintet, illetve a leszívási hozamot ismertem.

E kút esetében a nyugalmi vízszint -11,4 m volt, amit 12 órán keresztül 10 l/s-os hozammal, majd szintén 12 órán keresztül 6 l/s-os hozammal szivattyúztak. Ekkor -43,8 m-re csökkent a

vízszint. A visszatöltődési folyamatot 6 órán keresztül figyelték. A vízszint már 270 perc elteltével visszatért az eredeti 11,4 m-es szintjére.



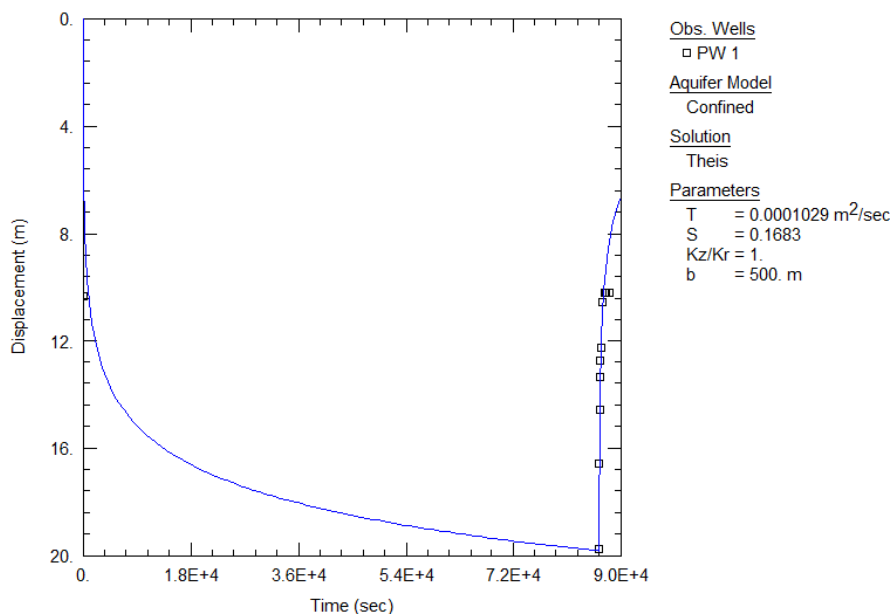
6.6. ábra A TÉ-1 kút szivárgásának meghatározása hagyományos Theis módszerrel



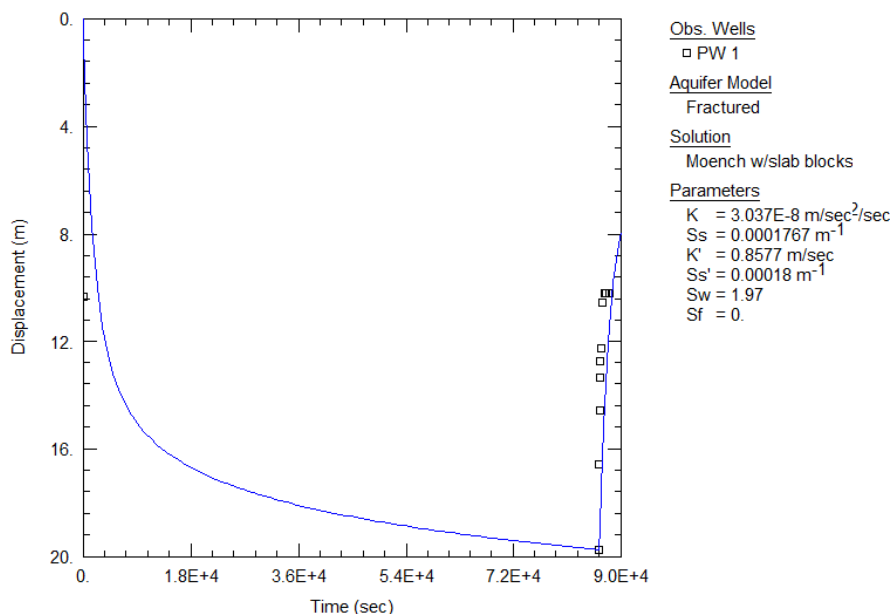
6.7. ábra A TÉ-1 kút szivárgásának meghatározása Theis módszerrel, a visszatöltődési szakaszt vizsgálva

A **TÉ-2** számú észlelőkút esetében mind a Theis, mind a Moench módszereket is alkalmaztam.

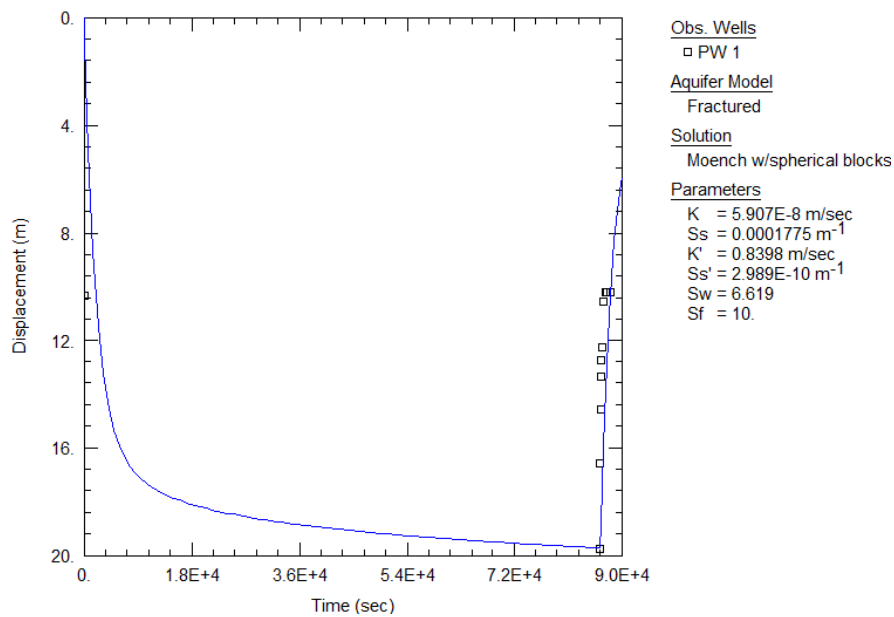
A szivattyúzás e kút esetén szintén 24 órán keresztül történt, konstans 20 l/s-os hozammal. A szivattyúzás előtti vízszint -10,2 m volt, amit -19,75 m-re csökkentettek. A visszatöltődést 60 percen keresztül vizsgálták, viszont már 15 perc után visszatért eredeti szintjére a víz.



6.8. ábra A TÉ-2 kút szivárgásának meghatározása hagyományos Theis módszerrel



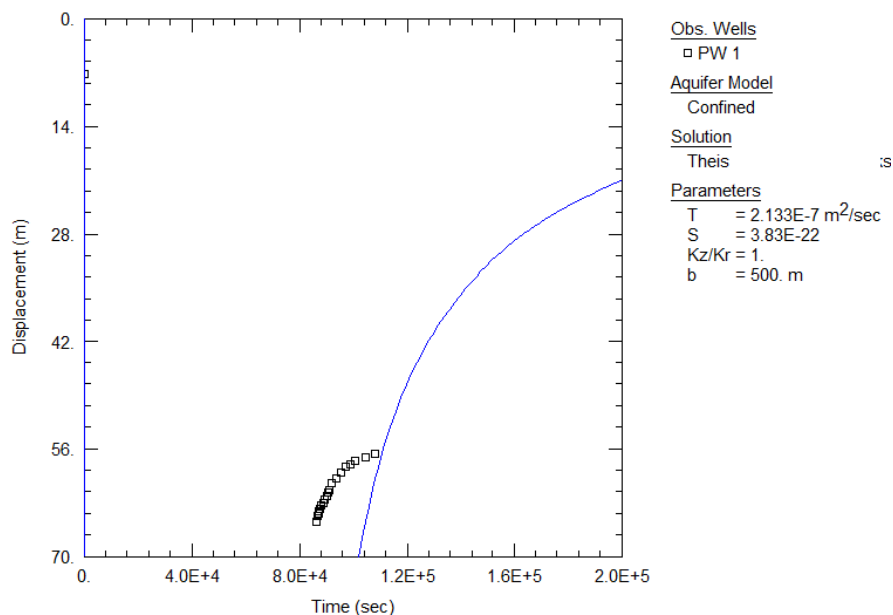
6.9. ábra A TÉ-2 kút szivárgásának meghatározása Moench módszerrel, lemez alakú blokkokat feltételezve



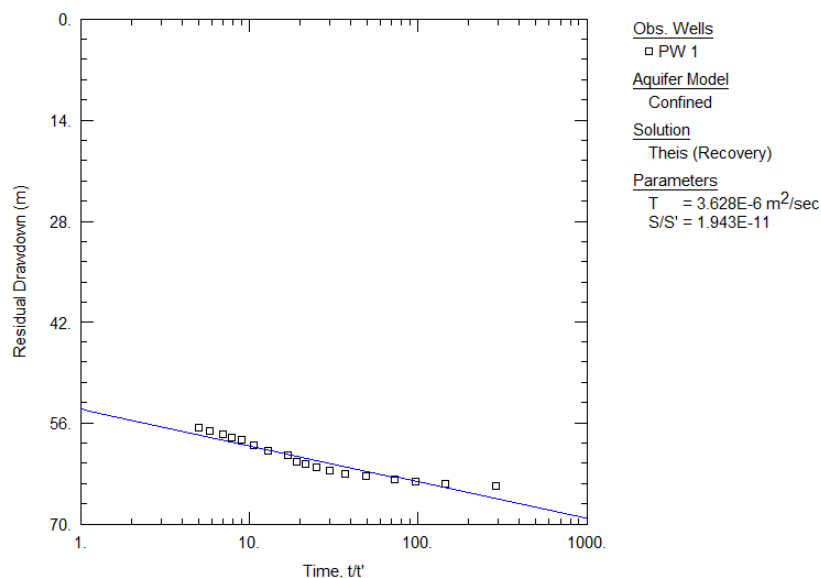
6.10. ábra A TÉ-2 kút szivárgásának meghatározása Moench módszerrel, gömb alakú blokkokat feltételezve

A 6.8, 6.9 és 6.10. ábrák alapján látható, hogy a mindhárom módszerrel viszonylag hasonló görbéket kaptam.

Jól látható, hogy a Theis módszerrel végzett vizsgálatok során a görbe és a pontok illeszkedése pontosabbnak bizonyul, mint a Moench módszerekkel végzettek során.



6.11. ábra A TÉ-3 kút szivárgásának meghatározása hagyományos Theis módszerrel



6.12. ábra A TÉ-3 kút szivárgásának meghatározása Theis módszerrel, a visszatöltődési szakaszt vizsgálva

A harmadik, **TÉ-3** észlelőkút során csak a Theis módszert alkalmaztam, viszont ennek mindkét fajtáját.

Ebben az esetben nem sikerült még tűrhető egyezést sem létrehozni. Ennek oka a mérési eredmények csekély száma lehet.

Itt a leszívást 12 órán keresztül végezték 6 l/s-os hozammal, a visszatöltődést szintén 6 órán keresztül vizsgálták. A nyugalmi vízszint a szivattyúzás előtt -7,3 m volt a szivattyúzás után -65,5 m-re csökkent. A visszatöltődési folyamatot nem vizsgálták végig, mivel a 6 órás észlelési idő után a vízszint csak 56,7 m-re töltődött vissza, ami elég nagy eltérés a 7,3 m-es nyugalmi szinttől. A 6.12. ábrán láthatjuk, hogy a pontokra illesztett egyenes sem jó, hiszen nem a függőleges tengely 0 értékétől indul.

Fontos megjegyezni, hogy a vizsgálatok során sem a vízáadó réteg vastagságára, sem a repedések távolságáról nem volt információ. Ezért e paraméterekre érzékenységi vizsgálatot végeztem. A IV. számú melléklet tartalmazza az erre vonatkozó eredményeket.

Látható, hogy a rétegvastagságok, illetve a repedések távolsága a szivárgási tényezőket nem befolyásolta nagy mértékben.

Mivel fontosnak tartottam, hogy az egyes kutaknál azonos rétegvastagságot illetve repedéstávolságot használjak – hogy a szivárgási tényezők jól összehasonlíthatóak legyenek, a 6.1. táblázatban szereplő értékekkel dolgoztam. Másfelől a görbék és a mérési pontok illeszkedése is ezen esetekben volt a legjobb.

Következtetések

6.1. táblázat A vizsgálatok összefoglaló táblázata

Összefoglaló táblázat								
Észlelőkút	Hagyományos Theis módszer				Theis módszer visszatöltődés vizsgálatára			
	Vízadó réteg vastagsága	Tárolási tényező	Transzmisszivitás	Szivárgási tényező	Vízadó réteg vastagsága	Tárolási tényezők hányadosa	Transzmisszivitás	Szivárgási tényező
	b [m]	S [-]	T [m ² /s]	k [m/s]	b [m]	S/S' [-]	T [m ² /s]	k [m/s]
TÉ-1	500	3.30E-03	8.14E-06	1.55E-08	500	9.37E-01	1.32E-06	2.63E-08
TÉ-2	500	1.68E-01	1.03E-04	2.06E-07		-		
TÉ-3	500	3.83E-22	2.13E-07	4.27E-10	500	1.94E-11	3.63E-06	2.63E-08
Észlelőkút	Moench - lemez alakú blokkok feltételezésével							
	Vízadó réteg vastagsága	Repedések távolsága	A blokkok fajlagos tárolási tényezője	A blokkok szivárgási tényezője	A repedések fajlagos tárolási tényezője	A repedések szivárgási tényezője	A repedés "skin"je	A kút "skin"je
	b [m]	H [m]	S _s [1/m]	k [m/s]	S _s ' [1/m]	k' [m/s]	S _f [-]	S _w [-]
TÉ-1					-			
TÉ-2	500	10	1.77E-04	3.04E-08	1.80E-04	8.56E-01	0	1.97
TÉ-3					-			
Észlelőkút	Moench - gömb alakú blokkok feltételezésével							
	Vízadó réteg vastagsága	Repedések távolsága	A blokkok fajlagos tárolási tényezője	A blokkok szivárgási tényezője	A repedések fajlagos tárolási tényezője	A repedések szivárgási tényezője	A repedés "skin"je	A kút "skin"je
	b [m]	D [m]	S _s [1/m]	k [m/s]	S _s ' [1/m]	k' [m/s]	S _f [-]	S _w [-]
TÉ-1					-			
TÉ-2	500	10	1.78E-04	5.91E-08	2.99E-10	8.40E-01	10	6.6619
TÉ-3					-			

A 6.1. táblázat alapján könnyen összehasonlíthatóak az értékek.

Látható, hogy a TÉ-3 észlelőkút Theis módszerrel végzett vizsgálatán kívül mindegyik módszer hasonló nagyságrendeket adott. Egyedül a TÉ-2 észlelőkút esetére meghatározott szivárgási tényező mutat egy nagyságrenddel kisebb értéket, de én ezt betudtam a kevés próbaszivattyúzási adatnak, illetve a mellékletben látható rétegrendnek, ugyanis a TÉ-2 kút ismert rétegrendjében a legvastagabb réteg márga.

A **TÉ-3 kút** esetében a 6.11. és 6.12. ábrákon is jól látható volt, hogy még tűrhető egyezést sem sikerült elérni. Ez a meghatározott szivárgási tényezőkben, illetve tárolási tényezők

esetében is jól mutatkozik. Nagyságrendileg a hagyományos Theis módszerrel végzett vizsgálatok adnak nagyon eltérő eredményeket. Ez a tárolási tényező esetében a TÉ-2 kúttal összehasonlítva nagyjából húsz nagyságrend, ami különösen nagy. Ennek oka a korábban is említett adathiány. Sem a szivattyúzási szakaszcól, sem a visszatöltődési szakaszcól nincs elég információnk.

A **Moench módszer** esetében mind a repedések, mind a blokkok esetére határoztam meg fajlagos tárolási tényezőket, illetve szivárgási tényezőket.

„A kettős porozitás elmélete feltételezi, hogy a kőzetben átszivárgó vízhozamok legalább 10%-át az egyik és 90 %-át a másik fajta póruscsoport vezeti.” (Juhász 2002) Emiatt a repedések szivárgási tényezői nagyságrendekkel nagyobbak, mint a blokkok szivárgási tényezői. A görbe és a pontok jó egyezése esetén ez nem is lehet másképp, hiszen a módszer alacsony áteresztő képességű elsődleges porozitású részekből és magas vízáteresztő képességű másodlagos porozitású részekből épül fel. (Moench 1984) Ezt az analógiát követve pedig a tárolási tényezőknek éppen ellentétes relációt kell mutatniuk.

Ez jelentkezik a Moench módszerrel vizsgált **TÉ-2 kút** esetében. Mind a lemez alakú, mind a gömb alakú blokkot feltételező modellnél a repedések szivárgási tényezője 7 nagyságrenddel nagyobb. A tárolási tényező esetében csak a gömb alakú blokkot feltételező módszer esetén kaptam nagyobb különbségeket, a lemez alakú blokkot feltételező módszernél azonos nagyságrendet, viszont valamivel kisebb értéket adott a vizsgálat a repedések tárolási tényezőjére.

E kút esetében érdemes összehasonlani a Theis és a Moench módszerek által kapott szivárgási tényezőket. A két Moench módszer hasonló értékeket ad, a Theis módszerrel viszont egy nagyságrenddel kisebb értéket számítottam. Ez valószínűleg a módszerek egyszerűsítéseiből adódhat.

Érdemes még azt vizsgálni, hogy ez az átlagosan kapott 10^{-8} nagyságrendű szivárgási tényezők milyen más talajtípusok szivárgási tényezőivel egyeznek meg.

A 10^{-8} nagyságrendű szivárgási tényező a homokos iszap, illetve iszapos homok tartományába esik. Ez a jó vízvezető képességű talajok alsó határán található. (www.gtt.bme.hu)

E szakaszban megemlítendő még *Krizsán Zsolt* 2012-ben készült munkája, melyben Tata, városközponti részére alkotott egy szivárgáshidraulikai modellt. Mivel az általam vizsgált

karsztvízszint-észlelő kutak is ezen a területen találhatóak, érdemes összehasonlítani a Krizsán modelljében használt szivárgási tényezőket és az általam meghatározottakat.

6.2. táblázat Krizsán (2012) modelljében használt szivárgási tényezők

Talajok [m/s]	
Humusz	3,5E-03
Feltöltés	2E-03
Homok	3E-04
Iszap	1E-07
Kavics	2E-03
Agyag	8E-09
Mészke	1E-05

Látható, hogy a mészke vízáteresztő képessége együtthatójára 10^{-5} értéket használt. Ez az általam megállapított értékeknél három nagyságrenddel nagyobb.

Ez a különbség az alábbiakkal magyarázható:

Egyrészt a Krizsán által használt rétegszelvények 2,0-12,5 m vastagságig terjednek. Az általam vizsgált karsztvízszint-észlelő kutak pedig 60-75 m mélységűek, a mészke rétegek függőleges kiterjedése ezekben az esetekben sokkal nagyobb. Feltételezhető, hogy ez nagyban befolyásolja a szivárgási tényező értékét.

Másrészt Krizsán modelljében az érzékenységvizsgálat során tapasztalható volt, hogy az egyes talajok szivárgási tényezőinek változtatására másképpen reagált a modell. Két szélső esetét mutatok a 6.3 táblázatban. Látható, hogy a humusz szivárgási tényezőjére sokkal érzékenyebb a modell, mint a mészkejére, ez is mutatja, hogy az ő modellje inkább a felszín közeli szivárgásra vonatkozik.

6.3. táblázat A humusz és a mészke szivárgási tényezőjének érzékenysége Krizsán (2012) modelljében

Humusz 3,5 E-3 m/s		Mészke 1,0 E-5 m/s	
Érték (m/s)	RMS (%)	Érték (m/s)	RMS (%)
1,0E-02	22,00	1,0E-04	1,12
5,5E-03	19,80	5,5E-05	0,92
1,0E-03	8,80	1,0E-03	0,70

Fontosnak tartok párhuzamot vonni a 4. szakaszban végzett helyszíni mérések és a meghatározott szivárgási tényezők között.

A vizsgált források közül a Lilla-forráson és a Tamás-forráson kívül mindegyik Tata városközponti részén található. Durva közelítéssel élve alkalmaztam azt a módszert, hogy összeadtam a források átlagos hozamát – a nagyon kiugró értékeket elhanyagolva -, majd ezt elosztottam a *Maller (2012)* által kijelölt városközponti rész területével.

A források hozamának összegére $0,013 \text{ m}^3/\text{s}$ értéket kaptam, a lehatárolt területre pedig $0,744 \text{ km}^2$ -t. E kettő hányadosaként $1,78 \cdot 10^{-8}$ értékű szivárgási tényező adódott. Megvizsgáltam még azt, hogy a hozam, illetve terület nagyságának változtatása mennyire befolyásolja a kiszámított hozamot. A 6.4. táblázat alapján mind a hozamok növelése, mind a terület mértékének növelése, vagy csökkentése nagyságrendileg nem túl nagy mértékben változtatja a szivárgási tényezőt. A forráshozamok növelése azért lehet érdekes, mivel a városközponti részben feltörő források közül nem mindnek tudtam mérni a hozamát, így valószínűleg nagyobb forráshozamokról beszélhetünk ebben az esetben.

6.4. táblázat A szivárgási tényező értékének alakulása a forráshozam és a terület nagyságának változtatásával

Forráshozamok összege	Terület nagysága	Szivárgási tényező
0,01326 m^3/s	744388 m^2	1,78133E-08 m/s
0,02652 m^3/s	744388 m^2	3,56266E-08 m/s
0,01326 m^3/s	1488776 m^2	8,90665E-09 m/s
0,01326 m^3/s	372194 m^2	3,56266E-08 m/s

A fejezetben használt jelölések

Q	szivattyúzott hozam	$[m^3/s]$
T	transzmisszivitás	$[m^2/s]$
S	tárolási tényező	$[-]$
s'	maradék vízszint különbség	$[m]$
t	a szivattyúzás kezdetétől eltelt idő	$[s]$
t'	a szivattyúzás végétől eltelt idő	$[s]$
S	a tárolási tényező a szivattyúzás alatt	$[-]$
S'	a tárolási tényező a visszatöltődés alatt	$[-]$
r	észlelés távolsága	$[m]$
t	a szivattyúzás kezdetétől eltelt idő	$[s]$
K_0, K_1	módosított Bessel függvények	
S_f, S_w	a repedések skinjei	
p	Laplace transzformációs tényező	
W_D	a kút tárolási tényezője	
S_s	fajlagos tárolási tényező	$[1/m]$

7. Összefoglalás

Dolgozatom elkészítése során áttekintettem korábbi, kapcsolódó irodalmat, összefoglaltam a terület földtani, hidrológiai sajátosságait. Emellett kitértem a Dunántúli-középhegység szénbányászatának Tata környéki forrásokra gyakorolt hatására.

Rendszeres hozammérésekkel és vízkémiai vizsgálatok elemzésével következtettem a környék forrásainak tulajdonságaira.

A vízhozammérések során az általam vizsgált időszakban nagyobb hozamnövekedést nem tapasztaltam, az esetleges ingadozásokat a csapadék hatásának tulajdonítottam. A Május 1. u. 43. forrás hozamának átlaga 464 l/min értékre, A dunaalmási Lilla-forrásé 1021 l/min-re adódott, ezek voltak a legbővízűbb vizsgált források. A közepes hozamú források a Május 1. u. 45 (77 l/min), a Törökfürdő forrása (148 l/min) és a Kastély vízvezetékének forrása (45 l/min). Kisebb hozamúnak ítélem a Lelkes-forrást (20 l/min), a Zsidó iskola kútjának forrását (18 l/min) a Büdös csorgó-kút (4,3 l/min) és a Szent Tamás-forrás (1,3 l/min). Véleményem szerint a Lelkes-forrás és a Kastély forrásának hozama a jövőben növekedni fog. A Kastély forrásának hozamát *Horusitzky* 1919-ben 60 l/min-nek becsülte, a jelenlegi átlagos hozama 45 l/min, így várható további növekedés. A Lelkes forrás esetében a relatív szórás érték mutatkozott nagynak. Mivel ez egy könnyen köbözhető forrás, így a kimagasló relatív szórás értékek későbbi hozamnövekedésre utalhatnak.

A vízkémiai mérések alapján megállapítottam, hogy a mintázott források közül a Büdös csorgó-kút, a Szent Tamás-forrás, illetve a Büdös-kút kivételével mind karsztos eredetűek, ezek közül a Lo Presti-forrás a Törökfürdő forrása, a Május 1. u. 43. és a Zsidó iskola forrása azonos víztartóból származik.

A vízkémiai mérések eredményei összehasonlíthatóak voltak az ivóvíz határértékekkel. Ez alapján nem jelenthető ki, hogy az egyes források ihatóak, mivel további vizsgálatok szükségesek. A Zsidó iskola kútjának forrás, a Május 1. út 43., a Tükör-forrás és a Mennich-kút értékei adódtak a határértékek alá.

Érdekesnek tartottam értékelni a Tata környéki karsztkutak karsztvízszintjeit előrejelző modellvizsgálatokat. A VITUKI 1989-ben készített előrejelzését, és a Hydrosys Kft. 1999-ben készített modellvizsgálatát hasonlítottam össze korrelációs számítás segítségével a

tényleges karsztvízszint értékekkel. Ez alapján a Hydrosys Kft. modellvizsgálatát találtam pontosabbnak. Valószínűleg a pontosabb kiindulási adatok, és a fejlettebb szoftveres támogatottság is meghatározta az előrejelzések pontosságát.

A Tata városközponti területén található TÉ-1, TÉ-2 és TÉ-3 karsztvíz-észlelő kutak esetében a 2004-ben készített próbaszivattyúzások segítségével következtettem a szivárgási tényezőkre. A Theis és a Moench módszereket alkalmazva 10^{-8} m/s nagyságrendű szivárgási tényezőket kaptam. Mivel a próbaszivattyúzások viszonylag pontos vizsgálatok, ezért ezt az értéket elfogadhatónak ítélt meg. A vizsgálatokat megnehezítette, hogy kevés adat állt rendelkezésemre, de az Aqtesolv programmal készített ábrák esetében elfogadható egyezéseket sikerült elérnem. Hasonló szivárgási tényezőt kaptam a vízhozamok összegzésével annak területtel való leosztásával.

8. Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom elsősorban konzulenseim felé, akik iránymutatásaikkal lehetővé tették, hogy dolgozatom elkészülhessen.

Köszönöm Dr. Hajnal Géza egyetemi docensnek, aki témavezetőként elindította és végigkísérte munkámat, mindeközben hasznos tanácsokkal, és elméleti tudnivalókkal látott el.

Köszönöm Karay Gyöngyi doktorandusznak, hogy bővítette tudásomat a közetekben való szivárgás ismeretkörében, illetve segítségét az Aqtesolv program használatának elsajátításában.

Köszönöm Maller Márton doktorandusznak, hogy koordinálta és segítette a helyszíni méréseimet, illetve helyismeretével, korábbi méréseinek eredményeivel és gyakorlati tanácsaival megalapozta munkámat.

Nem utolsó sorban köszönöm Rehák András tanszéki mérnöknek a helyszíni mérések során nyújtott segítségét.

9. Irodalomjegyzék

- Maller, M. 2012: Tata, városközpont forrásainak hidrológiai vizsgálata, Diplomamunka
- Hydrosys Kft., Momentum Kft., Equilibrium Bt. 1999: A tatai források visszatérésével kapcsolatos vizsgálatok és cselekvési program, Tata Város Önkormányzata, Tata
- Horusitzky, H. 1923: Tata és Tóváros hévforrásainak hidrogeológiája és közgazdasági jövője, A M. Kir. Földtani Intézet Évkönyve, XXV. köt. 3. füz., Budapest
- Dornyay, B. 1925: Tata-Tóváros hőforrásai és közgazdasági jövőjük, Engländer Ferenc Könyvnyomdája, Tata
- Rados, J. 1964: Tata, Műszaki könyvkiadó, Budapest
- Rohrbacher, M. 1888: Tata története, Engländer Ferenc Könyvnyomdája, Tata
- Tóth, F. 2004: Dunaalmás visszatekintő, Primus Bt., Dunaalmás
- Fogarasi, S. 2001: Visszatérnek-e a tatai források?, Földrajzi Konferencia, Szeged, 2001
- Sashegyi, L. 1976: A karsztforrások megszűnése utáni állapot Tata térségében, Hidrológiai Tájékoztató, 1976, p. 29-32.
- Tóth, M. 2002: A tatai források visszatérésének prognózisa, Vízügyi Közlemények, 2002, p. 194-213.
- Csepregi, A - Izápy, G. - Klecskó, B. 2004: A tatai források és vízműutak vizsgálata, Hidrológiai Tájékoztató, 2004, p. 52-58.
- Schmidt, E. R. 1969: Tata környékének vízföldtani viszonyai, Hidrológiai Tájékoztató, 1969, 1. sz., p. 92-95.
- Koch, N. 1909: A tatai Kálváriaudomb földtani viszonyai, Földtani Közlöny, 1909, 5. füzet, p. 255-275.
- Emszt, K. 1929: A dunaalmási langyos források vegyi vizsgálata, Hidrológiai Közlöny, 1929, p. 104-106.
- Ballabás, G. 2004: Visszatérő karsztforrásokkal kapcsolatos településfejlesztési és környezetvédelmi lehetőségek és veszélyek Tata város példáján. Geográfus Doktoranduszok VIII. Országos Konferenciája, Szeged, 2004
- Becker, F. – Cserba, E., et al. 1994: A tatabányai szénbányászat története, Tatabányai Bányák Vállalat, Tatabánya
- Gerber, P., et. al. 1989: A Tatabányai Bányák karsztvízemelésének alakulása és hatásai a környezet nyugalmi vízszintjére, Tatabányai Bányák Vállalat, Tatabánya

- Krizsán, Zs. 2012: Tata hidrogeológiai modellezése, Diplomamunka
- Juhász, J. 2002: Hidrogeológia, Akadémiai Kiadó, Budapest
- Kovács, Gy. 1972: A szivárgás hidraulikája, Akadémiai Kiadó, Budapest
- Papp, Sz. – Gaál, L. – Hódos, Gy. 1957: Ásvány- és gyógyvizeink csoportosítása, Hidrológiai Közlöny, 1957, 1. sz., p. 61-66.
- VITUKI 1955: Beszámoló a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet 1954. évi munkásságáról. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, p. 122.

Internetes hivatkozások:

- Dunaalmás község honlapja
http://dunaalmas.hu/index.php?option=com_content&task=view&id=370&Itemid=147
- Talajmechanika előadásdiák - Vízmozgás talajokban, egydimenziós szivárgás alapösszefüggései 2013
http://www.gtt.bme.hu/gtt/oktatas/feltoltesek/BMEEOGTAT13/tm12132_05_atereszto_kepesseg.pdf
- Tatai karszt felépítése és tektonikai viszonyai
<http://www.fsz.bme.hu/mtsz/barlang/4tinfo/mo/gerecse/karsz2.htm>
- 201/2001. (X.25.) Kormányrendelet az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről
http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A0100201.KOR