VISSZATÉRNEK-E A TATAI-FORRÁSOK?

Fogarasi Sándor[1]

Absztrakt

A Dunántúli-középhegység mélykarsztos forrásainak sorsa, aktuális állapota a nagy érdeklődés mellett komoly szakmai kérdéseket is felvet. Újraindulásuk, a karsztvízszint emelkedése hasonló nagyságú konfliktusok okozója lehet, mint egykori eltűnésük. A tanulmány a Tatai-források vízmérlegének meghatározását tűzte ki célul, és előrejelzést próbál adni annak leendő vízhozamára.

Kulcsszavak: beszivárgás, csapadék-extrapoláció, vízmérleg

Bevezetés

A Tatai források egykor büszkeségei voltak a "vizek városának" is nevezett településnek. Reprezentatív turisztikai célpontként már a század elején is komoly idegenforgalmat vonzottak a kisvárosba, ígéretes jövőt és megélhetést jelenthettek volna a közvetlen környéknek.

Ezeket a mélykarsztos eredetű forrásokat a Tatabányai-medencében a huszadik század elején kezdődő, igazán jelentőssé azonban csak a második világháború alatt váló bányavíz emelések apasztották el.

Miután a karsztvíz kitermelése a térségben a rendszerváltozást követően ugrásszerűen lecsökkent, a források vízrendszerének éves mérlege ismét pozitívvá vált, a víz szintje emelkedik.

2001. májusában feltört a Fényes-forráscsoport legalacsonyabban elhelyezkedő tagja, a Katona-forrás. A kérdés az, mennyire képes a jelenlegi vízkitermelés, illetve beszivárgás mellett a karsztvíz "eredeti" domborzata regenerálódni, az egykori források közül melyeknek várható újbóli működése. Ez a turisztikai tervezés mellett az emberi objektumok és maga a karsztvíz esetleges védelme szempontjából is érdekes.

A hangzatos cím a Tatai-források karsztjának vízmérleg vizsgálatát jelenti, amelyet a vizsgálati módszerek, elképzelések „kipróbálása" indokolt egy kisebb térségre, gyakorlati használhatósága mellett.

A Dunántúli-középhegység „főkarsztvize"

A Tatai források vízrendszere a fenti objektum része. Ez a víztest a mezozoikumi, nagy többséggel triász kőzetekben található és abban ma már többnyire egyetért a tudomány, hogy az Őrségi-ároktól a Zagyva-árokig egy egésznek tekinthető. Így amennyiben a forrásokat, azaz ennek a vízrendszernek kisebb részeit vizsgáljuk, néhány szóban jellemezni kell a nagy egységet is.

A Dunántúli-középhegység főkarsztján belül kijelölhetők ugyan kisebb részek, ezek azonban viszonylag önkényes lehatárolást jelentenek, nem tisztázott teljesen az ezek közötti kommunikáció mértéke. A munka során sikerült geológiai térképek és beszivárgás-számítások alapján egy, a környező karsztoktól meglehetősen zárt területet kijelölni.

[1] Fogarasi Sándor ÉDV Rt, Tatabánya, Sárberek 100, pf. 653., 2801. E-mail: fogarass@sol.cc.u-szeged.hu

Szintén probléma, hogy máig bizonytalan az egész főkarszt vízforgalma. Ennek oka az, hogy a pontos meghatározáshoz szükséges valamennyi paraméter bizonytalan (beszivárgási terület nagysága, csapadék mennyisége, források és karsztlápok eredeti hozama, stb.). A mérések hiányosak, gyakran már mesterségesen erősen befolyásolt állapotot örökítettek meg. Pótlásukra pedig olyan eljárások is szükségesek, amelyek megbízhatósága rövid intervallumokra vagy más helyszínekre került megállapításra (pl.: beszivárgás számításánál, felszín alatt be- vagy eláramló vízmennyiség megállapítására, de ide sorolhatjuk a munka során kidolgozott csapadék extrapolációkat is).

Számtalan tanulmány foglalkozott a XX. században ezzel a problémával egy-egy forrás vagy az egész vízrendszer kapcsán. A legfrissebbnek és legjelentősebbnek az ebben a témában megjelent utolsó két nagy összegző munka (*Lorberer, Á.,1986, Schmieder, A., et al., 1986*) tekinthető.

Jelenleg úgy tűnik, a Dunántúli-középhegység vízmérlege 600-750 m^3/perc nagyságrendű. A források eredeti hozama 440 m^3/perc lehetett. (Természetesen ezek az értékek erős szórással értendők.) Előbbieknél is lényegesen bizonytalanabb mennyiségű vizet adott át a főkarszt a környező rétegvizeknek (150-300 m^3/perc). Megemlítendő, hogy a bevételi, illetve a kiadási oldalról történő vízmérleg megállapítások között átlagosan mintegy 100 m^3/perc eltérés van, az utóbbiak javára. Ennek az oka lehet egyrészt a felszín alatt beáramló rétegvíz, de - és ez a valószínűbb, a tanulmány is ezt erősítette meg - a csapadék és így a beszivárgás alábecslése, a nem megfelelő csapadékadatok következtében.

A terület lehatárolása, geológia

A források tényleges beszivárgási területe az M 1:100000 bauxitföldtani térképen mintegy 87 km^2. Nagy vonalakban a Gerecse nyugati vonulata, a Nagy-Gerecse és az ettől délre és délkeletre elhelyezkedő kisebb rögök valamint a Vértes vízválasztójától északnyugatra eső területek tartoznak a hideg vizű betáplálási zónába (65 km^2). A meleg víz az Északi-Bakony felől érkezik (22 km^2), a tanulmány szerint a Gaja-Gerence vonaltól északra eső területek tartoznak ide. *(1. ábra)*

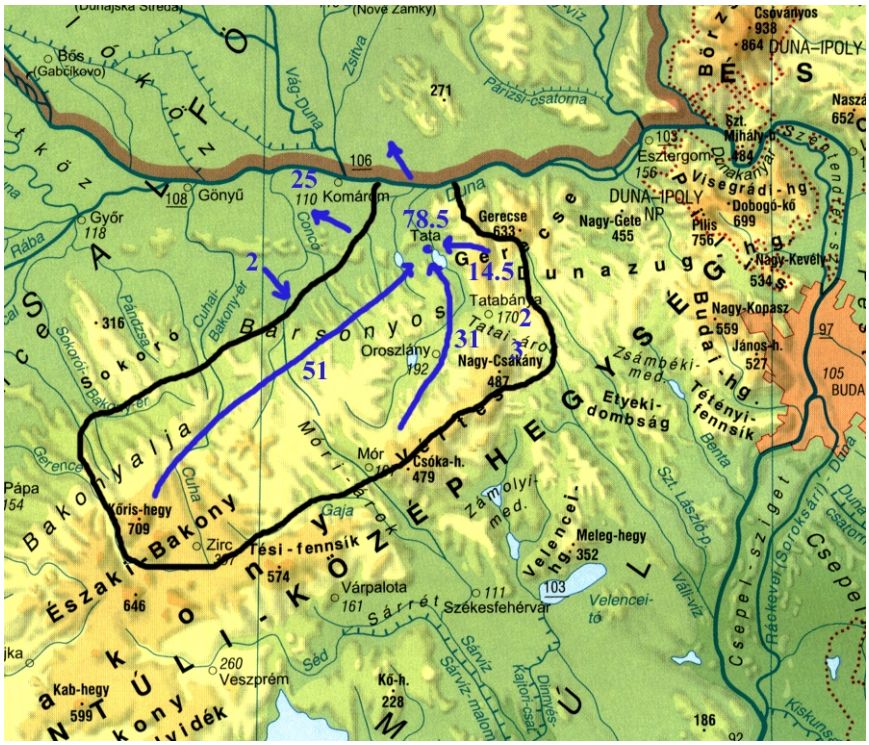
A Tatai-források "karsztcellájá"-nak szomszédai az egykori Sárisáp-Esztergomi, illetve a Magyaralmási-Zámolyi mélykarsztos forráscsoport, valamint az Által-ér felső szakaszán egykor eredő eocén-miocén fedőkarsztos források szerkezeti egységei. Utóbbiak hozama 12-120 l/perc volt és az oroszlányi bányászat apasztotta el őket.

A forrásrendszer túlfolyójaként a szakirodalom szerint a Dunaalmás térségében egykor és most már újra fakadó források szolgáltak. (Lilla 120-140 l/perc, Nagy forráscsoport 300 l/perc hozam.)

Hidrogeológiai jellegű probléma, hogy a megfelelő helyre telepített, ma is működő karsztvízészlelő kutak éppúgy hiányoznak, mint a meteorológiai mérőállomások. A bányák megszűnését követően ugyanis a világviszonylatban is kiemelkedő megfigyelőhálózat 3/-4-e megszűnt.

A Dunántúli-középhegység, és így a térség geológiai sajátossága, hogy az eocénben nagy területen vastag és viszonylag jó minőségű szén-, korábban, a krétában pedig kisebb kiterjedésű, de szintén műrevaló karsztbauxit telepek alakultak ki. A szén (és részben bauxit-) telepek a térségben a hegyek közötti medencékben, egykori öblözetekben helyezkednek el. Ennek az a következménye, hogy többségük a karsztvíznívó alatt van, így kitermelésük a vízrendszerbe való beavatkozást is jelentett.

1. ábra: A Tatai-források vízgyűjtője és vízforgalma a tanulmány szerint



A beszivárgás éghajlati adottságai

Éghajlati osztályozás szerint a beszivárgási területek túlnyomó többsége a Móri-ároktól északra C3 (mérsékelten hűvös-mérsékelten nedves), a Gerecse 500 m feletti területei a D3 (hűvös-mérsékelten nedves) kategóriába tartoznak. A Bakonyban található beszivárgási területek viszont általában C4 (mérsékelten hűvös-nedves), az 500 m feletti csúcsok D4 (hűvös-nedves) besorolást kaptak.

A beszivárgás éghajlati körülményeinek kutatását, meghatározását nagymértékben megnehezíti, hogy orográfiailag kiemelt, nagy tengerszint feletti magasságban elhelyezkedő mérőállomás gyakorlatilag nincsen sem a Gerecsében, sem a Vértesben. Sőt, az utóbbi évtizedekben az állomások "levándorlása" figyelhető meg a hegyvidéki települések elnéptelenedésével. (A Gerecsében a Nagy Gerecse tövében, Pusztamaróton volt a térség legmagasabban elhelyezkedő mérőállomása, A.sz.f. 355 m-en. A hegy túlsó oldalán, Tardosbányán 295 m magasan szintén volt egy. Mindkettő megszűnt, illetve áthelyezésre került az 1960-as évek közepén. A Vértesben Várgesztesen mértek, 274 m magasságban, de 1996-ban ez is megszűnt.) Ez a jelenség a teljes Dunántúli-középhegységben megfigyelhető, de a legtöbb helyen (pl. a Bakonyban) az OMSZ új mérőállomásokat létesített a hegycsúcsokon az utóbbi években. A Vértes és Gerecse térségében azonban még fennáll ez a probléma.

A tanulmány a Gerecsében elhelyezkedő Gombáspuszta (250 m), Pusztamarót (355 m) és Tardosbánya (295 m), a Vértesben Felsőgalla (202 m), Mór (202 m), Pusztavám (218 m) és Várgesztes (274 m), a Bakonyban pedig Bakonyszentkirály (280 m) éghajlati adataira támaszkodott. A - részben egymásból - kiegészített csapadék-adatsorokkal 100 év beszivárgása került meghatározásra.

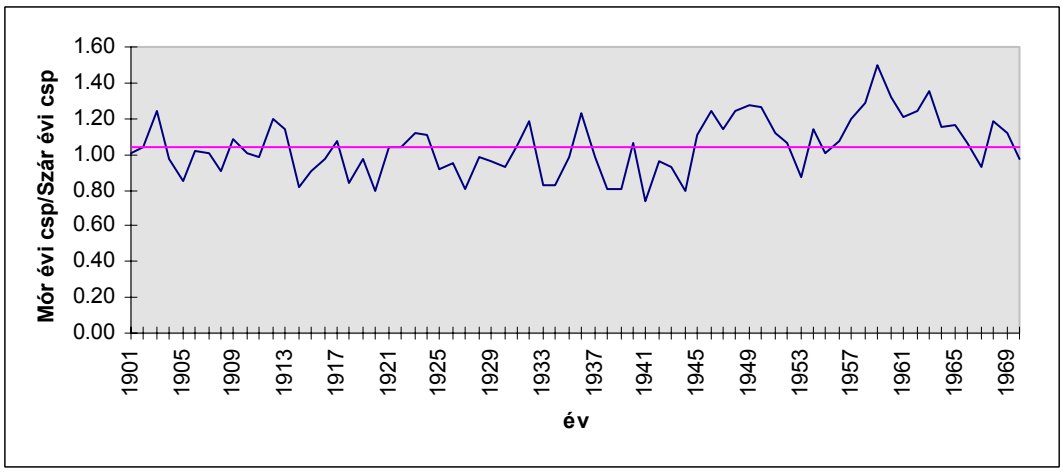
A korábbi időszakokra vonatkozólag a térség orográfiai csapadék különbségeire Péczely György (*Péczely, Gy., 1986, 525. p.*) próbált meg összefüggéseket keresni. Munkája nagy hiányt pótol, azonban csak átlagos évi csapadék szintjén, tájékozódó jelleggel szabad

eredményeit használni, mert a munka során kiderült, hogy két állomás közötti összefüggés nemcsak az egyes csapadéktípusok esetében, hanem gyakorlatilag minden aktuális csapadéknál más és más. Az átlagos összefüggéstől való eltérés például az éves csapadék szintjén 1,5-szeres sávban szóródik egy évtizeden belül is. Ez a változékonyság az azonos kitettségű állomások (pl.: Mór és Pusztavám) között is fennáll, az ellentétes oldalakon elhelyezkedőket pedig gyakorlatilag nem lehet megfeleltetni egymással. Az egyetlen lehetőség egymáshoz viszonylag közel fekvő, azonos kitettségű állomások között kapcsolatot keresni. Ezeket az összefüggéseket - természetesen megfelelő korrekciókkal - aztán fel lehet használni olyan, a közelben fekvő területeknél, ahol csak egy, hegylábi állomás található.

A munka során sikerült kapcsolatot kimutatni az egyes oldalak különböző magasságú állomásai között. Érdekesség, hogy a csapadék gradiens az északnyugati oldalakon magasabb, ami azt jelenti, hogy ezek a területek váltak jellegzetesen "lee"-oldalakká az elmúlt évtizedekben. (Általában jellemző a Dunántúli-középhegységre, hogy a "luv" oldal egyenletesen emelkedő csapadékát egy „fennsík", majd a "lee" oldal gyorsan csökkenő értékei követik.) Az északnyugati és délkeleti oldalak közötti különbség különösen a téli félévben mutatkozott meg. (Ennek nyilván makroszinoptikai okai vannak). Szintén különös megfigyelés volt a munka során, hogy a téli csapadék gradiens az északnyugati oldalaknál az éves értékeknél kevesebbnek mutatkozott, szemben Péczely megfigyeléseivel.

A tanulmány szerint a csapadék magassági növekedése a Péczely által középhegységi átlagnak számítottól jelentősen eltért. A *Gerecsében* is valamivel nagyobbnak adódott, a hegység erős tagoltsága, azonban itt - úgy tűnik - megnehezíti a nagy területen létrejövő, jelentős magassági csapadéknövekedés kialakulását, vagy legalább is annak egzakt bizonyítását. A *Vértesre* szintén kidolgozásra került egy *csapadékrendszer séma*. Itt valószínűleg nemcsak a Dunántúli-középhegységben, de talán az egész Kárpát-medencében a legkedvezőbbek az orográfiai viszonyok a magassági csapadéknövekedéshez. 100 m-re viszonyítva a déli-délkeleti oldalakon 10-13%-kal, az északi-északnyugati oldalakon 17-18%-kal nőtt az évi csapadék. Megfigyelhető a 100 éves idősoron a csapadékosabb oldal áthelyeződése a délies oldalakra. *(2. Ábra)*. A Bakonyra a több helyütt is meglévő, magasabban fekvő mérőállomások miatt nem került sor ilyen rendszer kidolgozására, bár a későbbiekben ez is indokoltnak látszik.

2. ábra Mór és Szár éves csapadékának egymáshoz viszonyított aránya a XX. században



A Péczely által megfigyelt másik jelenség, a nyugat-keleti irányú csapadékcsökkenés a munka során is tapasztalható volt. Az egész Dunántúli-középhegységre vonatkozó gradiens megállapítása azonban szintén csak tájékoztató jelleggel történhet. A részletes kutatás azt mutatja, hogy a csapadék sokévi átlagának változása egy adott tengerszint feletti magasságban nem lineárisan, hanem ugrásszerűen történik. Ebben az esetben a Vértes délnyugati fennsíkja, illetve annak környezete, Mór környéke már a Bakonyhoz hasonló módon viselkedik csapadék szempontjából (éves csapadékok, jelentős csapadékok nagysága, bekövetkezése, stb.).

A legnagyobb bányavíz emelés időszaka egyébként egybeesett egy alacsony beszivárgású periódussal, bár a csapadékhiány inkább a középhegység délnyugati területeire volt jellemző.

A források

A vízfeltörések a jelenlegi Tata (akkor Tata és Tóváros) közigazgatási területén helyezkedtek el 119, illetve 146 méter közötti Balti-tenger feletti fakadási szinttel. Fakadási magasságuknak minden irodalomban más-más értékeit találjuk, 0-8 m között mozog ez a "bizonytalansági intervallum". Az eltérések egyik oka nyilván a viszonyítási alap megváltozása: az Adriai- helyett a Balti-tenger lett 1945 után.

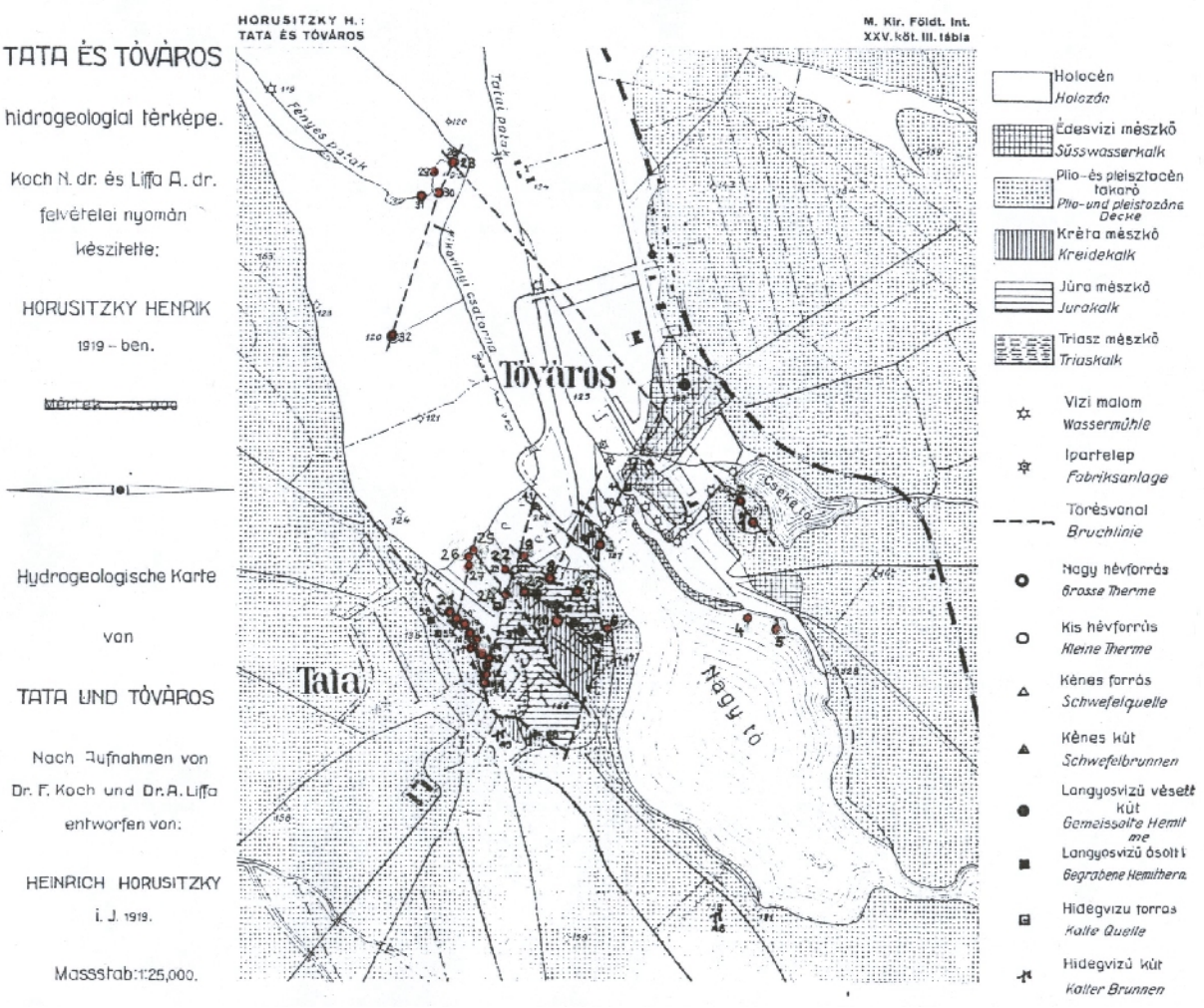
Kialakulásuk oka a karsztos kőzetek hirtelen elvégződése a területen, illetve a térség vetődésekkel való sakktábla-szerű tagoltsága. Ezek mellett a vetődések mellett fakadtak fel a források, így sorokba, csoportokba rendezhetők. Jellemző, hogy minél nagyobb törésvonal mellett fakadtak, annál bővebb vizűek, melegebbek és szénsavdúsabbak voltak. A legkomolyabbak vetődések kereszteződésénél alakultak ki. A források a pontusi kor végén-levantei elején kezdtek el működni, eredeti fakadási szintjük a jelenlegi 230 m-es magasság volt. Fokozatosan "süllyedtek" le, a pleisztocénre már elérték elapadásuk előtti fakadási szintjüket. Hőmérsékletük többnyire 18-22 C° között változott, de volt 12 C°-os is, így alapvetően és többségükben a „langyos”, esetenként a „hideg” kategóriába voltak sorolhatók. Általában jellemző volt egy-egy forráscsoportra, hogy vizük milyen hőmérsékletű, bár éves szinten ez néhány fokot ingadozhatott. (Az elapadás időszakában a megszokottól merőben eltérő, erősen ingadozó hőmérsékletek fordultak elő, de ez mesterséges hatásra történt.) Vizük összetétele enyhén ásványosnak volt mondható, a karsztvizekre jellemző $CaCO_3$ és $MgCO_3$ mellett szabad szénsavat és H_2S-t is tartalmazott (utóbbi leginkább a később szóba kerülő Dunaalmási forrásokra jellemző), enyhén radioaktív volt. Területileg és a vízutánpótlás szempontjából is elhatárolható, több forráscsoportot képeztek. Hozamuk egymáshoz képest is nagyon különböző volt és időben is változott, a legmagasabbak túlfolyó jellegűek voltak és időnként elapadtak már a vízemelések előtt is.

Az első ilyen forráscsoport az *Angolparkban* eredő Tükör (1; az "eredeti" vízhozam kb. 1/3-át szolgáltathatta) és Pokol-Angyal (2) források voltak. *(3. ábra)* Egy másik, előbbivel párhuzamos tektonikai vonalra fűzhetők fel a *Nagy(Öreg)-tó* forrásai (vár alatti Nagyforrás 3, part menti kisebb források, 4-5). Vízhozamuk előbbieknél lényegesen kisebb volt. Tatán a legtöbb forrás az egykor Tatai szirtnek, ma Kálvária-dombnak nevezett mészkőtömb szerkezeti vonalai mellett fakadt. Ez az erősen karsztosodott kőzetkibúvás maga is aktív beszivárgási terület. A *tatai szirt északkeleti peremén* fakadó források (Csorgó kút 6, Kastély forrás 7, Török fürdő forrás 8, Piarista kert forrás 9, Lo Presti forrás 10) magas szinten fakadtak, hozamuk előbbieknél is gyengébb volt és ugyanez mondható el a dombot *délnyugatról* határoló törésvonal mentén fakadó forrásokról (Kis Mosó források 11, Komáromi úti források, 12-21). A Kálvária-domb *északnyugati* részén található források (22-24) egy főtörésvonal és az északkeleti források haránttörésének találkozásánál fakadtak. Előbbiekkel párhozamosan helyezkedtek el az ún. *"Laposkerti források"*, (25-27).

A legbővízűbb a Tata és Tóváros határában elhelyezkedő, legalacsonyabban eredő *Fényes-forráscsoport* volt (28-32). Az angolpark és a Nagy-tó forrásait létrehozó két harántvető által közbezárt főtörésvonal mentén fakadtak. Öt forrás tartozott ide, de ezek közül gyakorlatilag csak három szolgáltatott jelentős mennyiségű, átlagosan 22 C°-os vizet. Hozamuk az összhozam 45-50%-a lehetett.

A langyos vizű forrásokon kívül 19 feljegyzett *hidegvízű* forrás (ezek főleg a Tatai szirt nyugati oldalán helyezkedtek el), illetve *vésett* (júra-kréta mészkőre szűrőzött) és *ásott* (fiatalabb üledékekbe mélyített) kút is működött a városban, de a langyos forrásoknál nagyságrendekkel kisebb hozamokkal.

3. ábra A források elhelyezkedése Tatán



Meg kell említeni a Tatai-források túlfolyójának tekintett, Dunaalmás térségében fakadó forráscsoport tagjait is. (Csokonai forrás 107 mAf, Lilla forrás, Keleti-féle forrás 155 mAf, Király kút 174 mAf; adatok szerint a Csokonai forrásnak 120-140 l/perc, a többinek együtt - Nagy forráscsoport - 300 l/perc hozama volt.)

A Tatai-források egy részét az Által-ér, nagyobb részét a Fényes-, illetve Mikovonyi-patakok vezették le.

Vizüket a század elején Budapestre akarták vezetni, de egyrészt hőfokuk, másrészt keménységük miatt kétséges volt, megvalósul-e a terv. A forrásokból eredő patakok vizének Által-érrel történő egyesítésével mély merülésű hajók számára is megközelíthetővé akarták

tenni Tatát. A tervezgetéseknek az első világháború vetett véget, mely gyakorlatilag székhelyével együtt kettévágta a megyét.

A források hozamának, különösen „eredeti" hozamának meghatározása nehézkes. Egyrészt az „eredeti hozam" fogalma karsztoknál meglehetősen problémás, hiszen vadózus jellegüknél fogva mindig aktuális vízkészletről beszélhetünk, amely természetes állapotban is jelentősen ingadozott. A karsztvíz szintjének alsó határértéke volt csak (a mélykarsztos források fakadási magasságánál - emberi időben számolva - nyilván nem süllyedhetett lejjebb a vízszint), a felső határt viszont az aktuális csapadék jelentette, amely elméletileg akármekkora lehetett. A források vízhozamát első ízben Balló Mátyás említi 1886-ban. (Erre a munkára *Horusitzky* hivatkozik, de nem sikerült megtalálni. Az irodalomjegyzékben szerepeltetett cikk egy vízkémiai elemzése a Budán és környékén található különböző vizeknek, de a Tatai forrásokról nem esik benne szó. *Balló, M., 1882*) Az első részletes felmérés (*Horusitzky, H., 1923*) aktuális jellegű volt, két évtizedes kihagyás követte (*Lenkei, T., 1943*) és csak az 1950-es évek elejétől kezdődtek rendszeres mérések, az akkor megalakult VITUKI (Vízügyi Tudományos Kutató Intézet) részéről. További probléma, hogy már az első felmérés sem a természetes állapotot tükrözte, ez nyilván még inkábbb elmondható a későbbiekről. Ráadásul a VITUKI jelenlegi kutatói méréstechnikai okokra hivatkozva Horusitzky méréseit mintegy 40%-ban (*Csepregi, A.*), az 1950-es évek felméréseit mintegy 10%-ban (*Lorberer, Á.*) eltúlzottnak tartják. Az 1940-es évek rendelkezésre álló adataival kapcsolatban szintén megfogalmazódtak az előbb említett kifogások, ráadásul egy szokatlanul csapadékos időszak hozamait örökítették meg.

A Tatai források eredeti hozamára vonatkozó becslések tehát a Dunántúli-középhegységben a legnagyobb szórásúak (117-155 m^3/perc, de Horusitzky 175 m^3/perc-nek mérte.). Ennek oka az is lehet, hogy miután a legbővizűbbek voltak, vízhozamunk jobban ingadozott. Abban egyetértenek a különböző irodalmak, hogy minimálisan 90 m^3/perc vízhozamuk volt. A legvalószínűbbnek a 103,2 m^3/perc-es, tehát 100 m^3/perc körüli érték tűnt a szakirodalom alapján. (A Budai forrásokra ugyanez a becslés: 41,1 m^3/perc.)

A vízforgalom teljes képéhez jelentős túlfolyókat (Dunaalmás) és Dunai kommunikációt feltételez a szakirodalom.

Az emberi tevékenység, a bányák

A vizsgált terület régtől fogva lakott volt. Már az elő- és ősember is megtelepedett itt, a csiszolt kőkorszak mellett a bronz-, a római- és a népvándorláskor leletei is nagy számban kerültek elő a környéken. A felfakadó forrásokat az ember régtől fogva használta praktikus és kultikus célokra egyaránt. Ezt bizonyítja a Vértesszőllősi előember lelet a forrásmészkőben, a római kori fürdők a tatai Öreg-tó forrásainál ("Locus Felix"-nek nevezték az itt létesített települést) vagy Mátyás és Zsigmond királyok palotái ugyanitt. Számos „szentkút" ismert, melyeknek pogány előzményeik voltak, de a kereszténység is átvette őket. (Egy, a Tatai forrásokhoz hasonló, mélykarsztos forráscsoportra települt például a híres bodajki Mária kegyhely)

Az ember azonban, jóllehet felhasználta a források vizét, évezredekig nem tudott komolyabban beleavatkozni azok vízháztartásába, egészen a XX. század elejéig. Eddig az időpontig a karsztos területeken nem volt olyan emberi tevékenység, amely komoly változásokat hozott volna létre a beszivárgás szempontjából. (A hamuzsír főzés céljából történő erdőirtás a XVIII. századtól főleg a Bakonyra volt jellemző, de inkább az alacsonyabb térszíneken.) A települések a beszivárgási területeken kívül helyezkedtek el, a többnyire erdővel borított hegyekben fakitermelés folyt, amely a tulajdonosok (Esterházyak) jóvoltából mai szóval élve "fenntartható" volt.

Ebben az állapotban hozott gyökeres változást a szénkitermelés megjelenése a térségben. Három bányászati centrum is kialakult a forrásokhoz tartozó "karsztblokk"-ban, illetve annak peremén: a tatabányai (1894), az oroszlányi (1937) és a dorogi (1780). Az első kettő több szempontból is (területileg, szervezetileg, stb.) összefonódik egymással. Oroszlány térségében soha nem volt számottevő karsztvíz kiemelés, és ennek is nagyobb része fedőkarsztos eredetű volt. A Dorogi-szénmedence vízkitermelése pedig nem nagyon érintette a Tatai-források karsztrendszerét, a Duna völgyének szerkezeti vonalán keresztül hatolt be depressziója a területre, de csak az északkeleti peremeket érintette, a Dunaalmás-Neszmély-Tardosbánya vonalig. Ezek alapján elmondhatjuk, hogy a Tatabányai szénmedencében (majd később ettől keletre) folyó vízkitermelések apasztották el a forrásokat.

A források vízgyűjtője az ún. "B3-as" vízgazdálkodási egységbe (Komárom-Esztergom megye, illetve Pest megye a Budai hegység gerincéig, Fejér megye két északi járása, Szob környéke) tartozott, melyre a 90-es évek második felére 32,9 m^3/perc kitermelést engedélyezett a szakhatóság (egykor 160 m^3/perces engedély is volt!).

A három fő kitermelési körzet részletesebb ismertetése előtt érdemes megjegyezni, hogy a bányászat az egyes ásványtelepeknek megfelelően területileg meglehetősen dekoncentrált volt. A felsorolt három település mellett tucatnyi helyen folyt még hosszabb-rövidebb ideig kisebb-nagyobb szénkitermelés. Kezdetben a vízszint felett elhelyezkedő telepeket fejtették le, később, ezek kimerülésével a bányászat kénytelen volt mind lejjebb és lejjebb hatolni. Idővel a művelési területeket védő fekü egyre vékonyabbá vált, majd már csak „aktív vízvédelemmel", azaz folyamatos víztelenítéssel lehetett művelni a telepeket. A vízbetörések száma folyamatosan nőtt.

Kronológiailag az első bányák *Dorog* tágabb környékén nyíltak meg. 1781-ből származnak az első írásos emlékek. A korábbi feltételezéseket, mely szerint *csak áttételes hatást* gyakoroltak a Tatai-forrásokra, a tanulmány megerősítette. A bányák részletesebb ismertetésére így nem kerül sor.

Oroszlány mellett, Vértessomlón 1780-ban indult meg a szénbányászat. Magán Oroszlányban 1937-től folyik kitermelés. A bányavidéken azonban a legmagasabb éves vízkiemelési átlag is csak 2-2,5 m^3/perc volt, jelenleg 0,5 m^3/perc.

Tatabányán 1894-ben indult meg a szénbányászat, így a vízemelés időbeni kiindulópontjának a XIX. század vége tekinthető. Gyakorlatilag azonban az 1930-as évektől vált jelentőssé a bányászatnak a tájra a karsztvízrendszerre gyakorolt hatása. Az átmeneti, háborús visszaesés után az 1950-es évek elejétől figyelhető meg a vízkitermelés nagyarányú felfutása a kibontakozó iparosítás és technológiai fejlődés hatására. Az 1960-as évek elején, a védőréteggel bíró széntelepek kimerülésével megkezdődik az "aktív vízvédelem" korszaka, ennek "eredményeként" az évtized közepére lényegében felborul a karsztvíz-rendszer természetes állapota. A fokozódó emberi beavatkozás nyomán fellépő víznyomás csökkenést a forráshozamok visszaesése, illetve fokozatos megszűnése jelezte. 1972-től, a víztermelő aknák üzembe helyezésével egy újabb ugrás figyelhető meg a vízkivételben. A Tatabányai-szénmedencében a legnagyobb problémát a vízbetörések szempontjából a forrásokhoz közel, az ún. "nyugati sasbérc"-en, a főkarsztvíz áramlási pályáján elhelyezkedő bányák jelentették (Síkvölgyi-, XV/b-, és XV/c akna). Ezekre az a jellemző, hogy kezdettől fogva nagy mennyiségű vizet kellett emelniük, folyamatosak voltak bennük a vízbetörések és egy idő után fel kellett őket adni. A Tatabányai medence vízemelésének maximuma 1974-ben volt, 1987-től (az ezt megelőző évben zárt be a Tatabányai-medence utolsó szénbányája) már csak ipari-lakossági célra emelnek vizet.

Ez azonban nem jelentette a bányászat megszűnését, hiszen az lényegében csak áthelyeződött a keletebbre fekvő szénmedencékbe (Csordakút, Mány, Nagyegyháza). A főként az "eocén-program" részeként, az 1970-es évek végén, 1980-as évek elején megindult bányák kezdettől fogva vízveszélyesek voltak, ezért gyorsított lefejtésben művelték őket.

Működésük időszaka jelenti a legnagyobb vízkiemelést a vizsgált területen, 1987-es maximummal, amely mintegy 70%-kal túlszárnyalta az 1974-es csúcsot és közelítőleg háromszorosa volt az egykori forrásrendszer összhozamának. Ezek a bányák összességében a Tatabányai Bányák Vállalat több mint 100 éves vízkiemelésének mintegy 1/4-1/5-öd részét "adják", de ez gyakorlatilag 10 év alatt valósult meg. Ennek az a jelentősége, hogy a térségben nagyon mély depresszió keletkezett (67-68 m Bszf; a forrásoknál csak 96-98 m Bszf volt a minimum). Működő mélykarsztos forrás ugyan ekkor már nem volt, azonban jelentősen kitolta ez az időszak azok visszatérésének időpontját.

A Tatai-források szempontjából jelentős dátum 1988, Mány I/a, 1989, Nagyegyháza, illetve 1992, Csordakút bezárása. A Tatabányai Bányák Vállalat 100 éves tevékenysége alatt mintegy 1,5 milliárd m^3 vizet emelt ki.

Az eredeti karsztvízszintet a térségben mintegy 140-141 m-re tehetjük az Adria felett. Ez a források közvetlen környezetében a vízkiemeléseket követően is viszonylag tartósan megmaradt, hosszú ideig nem csökkent lényegesen (137 m körül volt). Ennek fő oka az volt, hogy a vízemelések elsősorban a keleti szerkezeti egységben történtek és ennek hatása késleltetve jelentkezett Tata térségében. Ha a források fakadási magasságára tekintünk, látható, hogy néhányat már ez a csökkenés is érintett, ezek gyakorlatilag már az 1950-es évek elejétől-közepétől szárazak voltak (pl. Pokol-Angyal forrás). Az igazi határt a vízrendszer felborulásában az 1960-as év jelenti. Ebben az évben a már említett, „nyugati sasbércen", azaz a források közvetlen utánpótlási területén nagyon súlyos vízbetörés jelentkezett a XV/b aknán, melynek hatása napok alatt megmutatkozott Tatán is. (Itt kétszer akkora volt a vízszint csökkenés, mint a fele akkora távolságban, de keleti irányban lévő X. aknán.) A vízbetörés elhárítására, illetve egy lehetséges későbbi kiküszöbölésére megindított vízkiemelés egy év alatt 128 m-re csökkentette le a karsztvízszintet a forrásoknál, így gyakorlatilag már csak két csoportjuk működött. Miután ezt követően is folyamatosan csökkent a vízszint, 1968-ban a Nagy-tó partján lévő források, 1972-ben pedig a Fényes-források is végleg elapadtak.

Az 1990-es évek végétől a vízkitermelés a bányák leállásával és az ipari-lakossági fogyasztás visszaesésével nagymértékben csökkent. Jelenleg mindhárom bányavidéken 1-1 akna működik még, vízemelésük azonban nem jelentős. Tatabányához kapcsolható Mány I/a (1 m^3/perc), Oroszlányhoz Márkushegy (0,5 m^3/perc, és ez – mint már szóba került – a fedőkarsztot érinti), a források vízgyűjtőjét csak áttételesen befolyásoló Doroghoz pedig Lencsehegy II. (10 m^3/perc). Ezek az értékek az elkövetkező években tovább csökkennek, mert 2003 után valószínűleg csak Márkushegy működik majd.

Ugyanakkor mintegy 200000 ember vízellátását oldják meg ma is a Tatai-forrásokhoz tartozó szerkezeti egységből. A források vízgyűjtőjét, sőt, környéküket is ellátó regionális ivóvízrendszer háromnegyed részt a Tatabánya közigazgatási területén található, egykor vízvédelmi céllal létesített XIV/a, illetve XV/c aknákból táplálkozik. (Napjainkban nemcsak a regionális ivóvízrendszer, hanem a vízkitermelő aknák is az *Észak-Dunántúli Vízmű Részvénytársasághoz* tartoznak.) Ezenkívül természetesen vannak helyi kutak is.

Beszivárgás és forráshozamok, illetve vízemelések alakulása, kapcsolatuk

A pontos vízmérleg meghatározása azért is nehéz, mert a járulékos vízkiáramlások több helyütt is betáplálássá váltak, és ennek következményeként a ténylegesen a főkarsztba került vízmennyiség nagyobb lehet a számítottnál. Csak a Gerecse térségében 60 km^2 (ma már csak 25-30 km^2) kiterjedésű felszín vált "szabadtükrűvé". Ez a hegység északnyugati peremén, Tatától északra elhelyezkedő zóna 15%-kal növelte meg a térség lehetséges beszivárgási területét. Ez természetesen nem azt jelenti, hogy itt feltétlenül történik is beszivárgás, hanem azt, hogy a karszt negatív nyomású, azaz képes vizet befogadni. Itt például pannon

rétegsorokból történik a vízátadás a főkarsztba. (Bár valószínűleg már nem jó a jelen idő, mert az utóbbi években a legtöbb, bányászati vízszintsüllyesztés következtében létrejött járulékos vízutánpótlás megszűnt vagy már előjelet is váltott.)

Először is a beszivárgás és az „eredeti" forráshozamok kérdése vetődött fel. Kiindulópontnak 90 m^3/percet vett a tanulmány, azt, hogy ennél kevesebb nem lehetett a forráscsoport összhozama. Az 1950-es, VITUKI mérések alapján megállapított, „eredeti" hozamok a mértnél ugyanis maximum 10%-kal lehetnek kevesebbek. Miután a területen már akkor is jelentős mennyiségű vízkivétel történt, és felszín alatti eláramlás is kellett, hogy legyen, feltételezhető volt, hogy ennél is nagyobb a terület vízforgalma.

Az is látszott az adatsorokon, hogy a beszivárgást és a forráshozamokat csak egy viszonylag rövid időintervallumban lehet egymással megfeleltetni, mert az 1945 előtt mért forráshozam adatok túlzottak, 1960 után pedig már nem beszélhetünk természetes vízforgalomról a nagy mértékű vízkiemelések miatt.

A beszivárgás éghajlat-kapcsolati módszerrel történő (*Maucha, L. 1990*) meghatározásánál, mindjárt a munka elején kiderült, hogy nem elég csak a főkarszt kibúvásait (87 km^2, M 1:100000 bauxitföldtani térkép, MÁFI) utánpótlási területnek venni, mert így irreálisan kevés vízforgalom adódott. Egy 1989-ben, a VITUKI és a Tatabányai Bányák Vállalat szakembereinek közreműködésével készült tanulmány (*Gerber, P., et al. 1989*) 236 km^2-re teszi a források vízgyűjtőjét, a területek pontos elhelyezkedését nem részletezve. A terület növelése mellett szólt, hogy az említett tanulmány az „eredeti" (azaz a fent említett, átlagosan 90 m^3/perces) forráshozamok értékeit a megállapított területről 39-54%-os beszivárgási hányadossal tudta megfeleltetni, ami a Kárpát-medencei karsztok esetében túlzottnak tekinthető. Ez az irodalom és a munka során végzett beszivárgási számítások is a beszivárgásból valamilyen oknál fogva hiányzó tételt mutattak.

A szakirodalomban (*Schmieder, A., et al., 1987*) felmerült vélemény, mely szerint a Dunántúli-középhegységre jobban alkalmazható a *„mértékadó csapadékszázalék"* módszer (*Kessler, H. 1954*), magasabb, 36-38%-os beszivárgási hányadosa miatt, nem nyert bizonyítást. A tanulmány szerint ezzel az eljárással az "éghajlat-kapcsolati" módszernél is *alacsonyabb (25% körüli) beszivárgások* jönnek létre. Így ebben az esetben nem volt használható, a beszivárgás számítási módszer megváltoztatása sem tudta produkálni a hiányzó vízbevételt. (Több más tanulmány, például *Loreberer, Á., 1986* is alátámasztotta a másik módszer nagyobb megbízhatóságát a térség karsztvíz beszivárgásának számításánál.)

A beszivárgásból hiányzó tétel azonban nemcsak a terület alábecsült jellegéből, hanem a hegylábi állomások figyelembevételéből is adódhat. A munka a már említett, 1986-os VITUKI témajelentés területeit használta fel. Ez 193,5 km^2 volt, amely azonban, ha a fedőkarsztos és egyéb, nem főkarsztos kőzetekre vonatkozó beszivárgási hányadost (csökkentő tényezőt) is figyelembe veszzük (ezeket akkor használják, ha az adott kőzetfolt beszivárgási tulajdonságai gyengébbek a főkarsztra általában jellemzőeknél), 159,7 km^2-re csökken. A tanulmány mindkét értéket figyelembe vette, azonban a számított, beszivárgott vízmennyiség egyik esetben sem érte el a mértékadónak tekintett „eredeti" forráshozamot.

A csapadékértékek alábecsléséből eredő hiba kijavításával tűnt lehetségesnek az „eredeti" forráshozam megtalálása. Az éghajlati feltételeknél már említett munka során kidolgozott, *extrapolált csapadék- és beszivárgás értékekkel* sikerült a minimális forráshozam eredetét meghatározni.

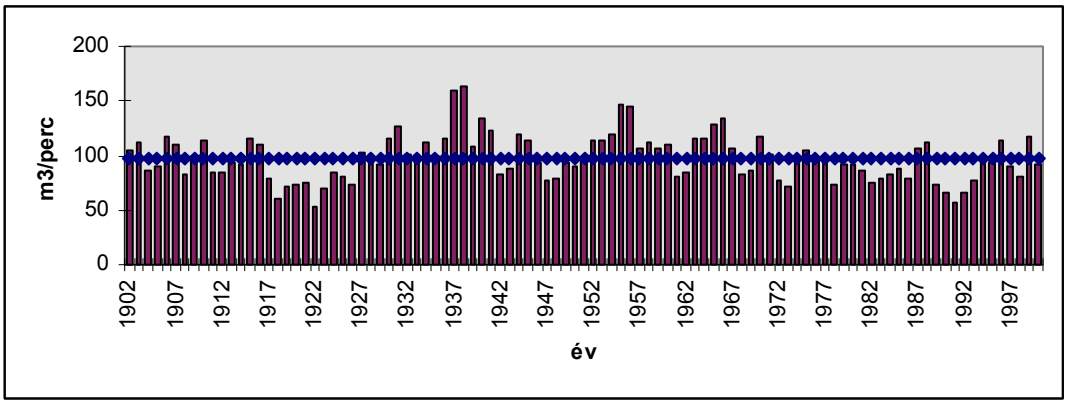
A beszivárgott víztömeg a csapadékkorrekciót követően is kevésnek bizonyult a VITUKI által mért, elfogadott forrásadatokhoz képest. A fedőkarsztok kiterjedésével csökkentett beszivárgásnál a kiadási oldal 4-13 m^3/perc-cel több. Ez csak elméletileg képzelhető el, hiszen ebben az esetben a források karsztvize negatív nyomású lett volna környezetéhez képest. Ezen kívül ebben az esetben a bevételi és a kiadási oldal csak nagy ingadozásokkal feleltethető meg egymással. Ez azt jelentené, hogy a főkarszt és környezetének vízkommunikációja évről évre

nagyon szeszélyesen váltakozott, vagyis a csapadékmennyiség ingadozásának függvényében erősen változó mennyiségű vízutánpótlás érkezett volna. Csakhogy a felszín alatti vízáramlás - alacsonyabb szinten lévén a forrásoknál - később reagál a vízkészlet változásaira, mint a források. Értéke egyfajta standard, legalábbis működő források, azaz "természethez közeli állapot" mellett. Ez az oka annak, hogy sem ez a verzió, sem a 10%-kal csökkentett forráshozam adatokkal történő megfeleltetés nem bizonyult helytállónak.

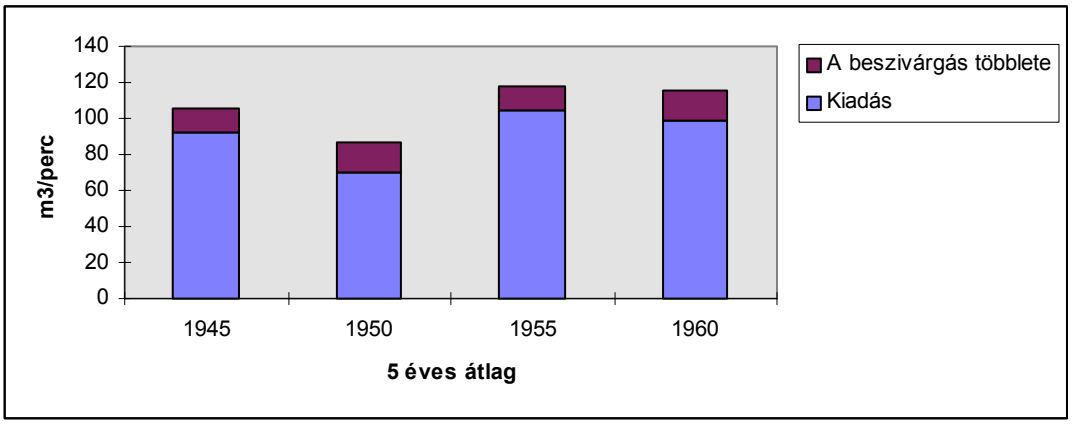
Felvetődött a csapadék számítottnál kisebb, a mérthez közelebbi értéke és ezzel egy kisebb beszivárgás lehetősége is. Amennyiben ugyanis a bevételi és a kiadási oldal egymáshoz való viszonya stabilabb lett volna ebben az esetben, elméletileg mégiscsak lehetséges a források vízrendszerének környezethez képesti negatív szaldója. Az ingadozások azonban ebben az esetben is megmaradtak volna, így a tanulmány ezt a lehetőséget kizárta.

A vizsgálat szerint a *fedőkarsztokat teljes egészében beszámító területtel* lehet csak megfeleltetni a főkarszt vízmérlegét. *(4. ábra)* Így *a vízbevételi oldal nagyobb volt a kiadásinál*, *többlete* pedig *meglehetősen stabil*, amely szintén alátámasztja ennek a lehetőségnek a realitását. *(5. ábra)*

4. ábra "Éghajlat-kapcsolati" módszerrel, extrapolált csapadék adatokkal, fedőkarsztos területekkel számolt beszivárgás a Tatai-források vízgyűjtőjére 1902-2000 között



5. ábra "Éghajlat-kapcsolati" módszerrel, extrapolált csapadék adatokkal, fedőkarsztos területekkel számolt beszivárgás és a vízkiadás



Az, hogy a Tatai-források vízmérlegének mindössze 28-30%-a származott a források MÁFI térkép szerinti, főkarsztos kőzetkibúvásain történő beszivárgásból, több következtetést vonhat maga után.

Egyrészt a tényleges beszivárgási terület ennek nyilvánvalóan legalább kétszerese, tehát át kell gondolni a *főkarsztos kőzetkibúvás fogalmát*.

Ugyanakkor felértékelődik a más típusú vízbevételek szerepe.

A korábbi nézetektől eltérően a beszivárgási területekhez számíthatjuk a *vékony, áteresztő üledékrétegekkel* (pl. felső-oligocén üledékroncsokkal, lösszel) *fedett főkarsztos felszíneket* is.

Át kell értékelni a nem főkarsztos jellegű betáplálások szerepét is. Közöttük valószínűleg a legnagyobb tételt a *fedőkarsztos* (elsősorban eocén) kőzetek vízutánpótlása jelenti. Ez különösen a *Vértesben*, a már említett „szomszédos" szerkezeti egység felől történhet, amelyet a munka végül is a *források betáplálási területének* vett.

A nem karsztos területekről érkező, koncentrált betáplálású, ún. „béta" karsztvizek jelentősége szintén jelentős lehet a térségben. Itt elsősorban a *Galla-patak* és különösen balparti mellékágainak az „elnyelődése" jöhet szóba, illetve a különösen a Gerecsében, de helyenként a Vértesben is megtalálható *víznyelők* betáplálása.

A szakirodalomban megjelenik az Északi-Bakony, a Vértes, a Gerecse és a Duna közötti területen a valószínűleg természetes állapotban is meglévő *rétegvíz betáplálás* (Császár-Szák-Dad-Kocs térsége).

Geológiai térképek és a vízmérleg vizsgálatával sikerült még néhány területi kérdést is tisztázni.

A *Bakonyból* szakirodalmak szerint 60-70 m^3/perces, de legalább 20 m^3/perces vízutánpótlás érkezett. A tanulmányban ez a terület a különböző geológiai térképek és a beszivárgás számítások alapján 85,6 km^2-nek, a belőle származó víz 51 m^3/perc-nek, adódott.

Szintén területi jellegű észrevétel, hogy miután a Gerecse nyugati vonulatának északi fele egy szerkezeti vonal révén meglehetősen határozottan elkülönül a Tatai források vízgyűjtőterületétől, ugyanakkor a *Dunaalmási források* innen kapják utánpótlásukat, célszerű tehát utóbbiakat nem a tatai vízrendszer túlfolyójaként, hanem *önálló egységnek* tekinteni.

A vizsgálat során kiderült, hogy mind *Horusitzky*, mind *Balló*, mind *Lenkei* forráshozam értékei *erősen eltúlzottak*. Az *1950-es évek VITUKI* mérései *nem feltétlenül* tekinthetők *túlbecsültnek,* de ez elképzelhető. A dolgozat szerinti forráshozam az ezen időszak méréseire alapozott, feltételezett „eredeti" értéknél *több mint 10%-kal* kisebb.

Vízmérleg, prognózisok, összegzés

Az összesített vízmérleghez figyelembe kell vennünk a víznyelők (2 m^3/perc) és patakok (3 m^3/perc) betáplálását, valamint a csekély, lokális rétegvíz betáplálást (2-3 m^3/perc) is. A zárójelben lévő értékek arra utalnak, hogy korábbi szakirodalmak és a vízmérleg már ismert tételei alapján a tanulmány megkísérelte számszerűsíteni a járulékos bevételeket. A reális adatokkal és még "természethez közeli" állapottal jellemezhető, mintegy *20 éves időszakban* a karsztba bekerült, átlagosan mintegy *114 m^3/perc* vízmennyiség egyrészt forráshozamként jelentkezett. (Ehhez számította a tanulmány a vízemeléseket is, így az 1950-es évek 10%-kal csökkentett forráshozamai mellett 86,2 *m^3/perc*, a meghagyott forráshozamok mellett 91,2 m^3/perc adódott). Másrészt (a fentebb már említett két verzió alapján 25-29 m^3/perc vagy *21-25 m^3/perc*) *átadódott környezetének*. (Inkább az utóbbi tűnik reálisnak.) A *100 éves beszivárgás* átlaga a területen azonban *96,5 m^3/perc*. (A tanulmány szerint 14,5 m^3/perc a Gerecséből, 31 m^3/perc a Vértesből, 51 m^3/perc a Bakonyból érkezett. Utóbbi területről a víz mozgását az útjába eső, a vízgyűjtő többi részénél 2-4-szer nagyobb szállítási tényezőjű mészkő segítette.) Így a források "eredeti" hozama a 100 éves, átlagos beszivárgás és a rövid idősorból kiszámított felszín alatti eláramlás (mivel ez viszonylag konstans érték) különbsége. Így *69,5 m^3/perc*, illetve *73,5 m^3/perc* adódott a *Tatai-források "eredeti" hozamának*.

Az egykori előrejelzések szerint a Fényes-források zéró vízkiemelés mellett még a XX. században újra indultak volna, 2010-ig a Nagy-tóban lévő források is működésbe lépnek és 2032-ig minden forrás újraéled. Az akkori realitásokat (vízemelés, beszivárgás, hidrogeológiai realitások, stb.) figyelembe véve 2000 körül gondolták a Fényes-források újraéledését, 2040-ig pedig a többi forrását. Gyakorlatilag minden előbb felsorolt körülmény a vízszint vártnál nagyobb mértékű növekedésének kedvezett, ez azonban mégsem volt megfigyelhető, a prognózis tehát optimistának bizonyult.

Ebben *hidrogeológiai okok* is szerepet játszhattak, főleg a már említett, Tatabányától keletre kialakult, mély depresszió, amelynek feltöltődése valószínűleg hosszú időszakra nagy kiterjedésű beszivárgási területeket kapcsolt ki a források térségének táplálásából.

Korábban már felvetődött, hogy a Szomód-Dunaalmási források 1940-42-es felmérése az akkor tapasztalt, nagyon csapadékos időszak következtében túlbecsült volt. Ugyanez az oka annak is, hogy a Tatai források vízmérlege kisebb a mérések alapján korábban gondoltnál. A rendelkezésre álló, természeteshez közeli állapotot megörökítő, mindössze szűk két évtizedes adatsor (amely még hiányos is, mert 1958-ban forrásfeltárás volt a Fényesnél) ugyanis egy átlagosnál jóval nagyobb beszivárgásokat produkáló időszak értékeit örökítette meg. Ez, tehát a *korábban gondoltnál kisebb vízforgalom* lehet a másik oka a számítottaknál kisebb mértékű vízemelkedésnek.

A *jövőben* ez *még lassúbb lesz*, mert a megindult forrás már lecsapolja a növekmény egy részét.

A számítások alapján tehát a terület vízmérlege kisebb a korábban gondoltnál. A jelenlegi, 23-25 m^3/perc-es térségi vízemelés és átlagos csapadék mellett 45-*50 m^3/perc* körüli forráshozam várható Tatán. Ez az "eredeti", azaz *természetes forráshozam 61-66%-a.*

A források egykori, mért és becsült hozamadataiból következtetve a tanulmány szerint a 139-140 m Bszf magasságban elhelyezkedő *Tükör-forrás* a karsztrendszer új egyensúlyi állapotában sokévi átlagban a korábbiakhoz képest lényegesen csökkent hozammal fog működni (eredeti vízmennyiségének valószínűleg töredékét produkálja csak), és megindulása után is *gyakran száraz lesz*. Az *egykor 140 m Bszf felett fakadó vízfeltörések* (Angyal-Pokol, Lo Presti, Kis Mosó) pedig csak túlfolyó jelleggel, időszakosan kelnek majd esetlegesen új életre. (A 100 éves idősor alapján ez kb. minden nyolcadik évet jelenti, tehát a főkarszt tulajdonságait ismerve nagy valószínűséggel egyáltalán *nem lesz vízhozamuk*). Ugyanakkor a tanulmány alapján a *főkarsztvíz szintje* egészen az *139 m Bszf-i magasságig tartósan felemelkedik* a források közvetlen környezetében.

Irodalom:

Balló, M., (1882): Budapest Főváros ivóvizei egészségi szempontból és néhány ásványvíz elemzése; Értekezések a természettudományok köréből, II. kötet, 11. szám, Budapest

Einzinger, F., (1932): Esztergom melegforrásai; Hidrológiai Közlöny, 12. sz.

Gerber, P., et al. (1989): A Tatabányai Bányák karsztvíz kiemelésének alakulása és hatása a környezet nyugalmi vízszintjére, Tatabánya

A magyar bányászat évezredes története, I-II. kötet; Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület, Budapest, 1996

Fogarasi, S. (1995): A Dunántúli-középhegység karsztvízrendszerének modellje - Modellek a természetföldrajzban, Acta Geographica Szegediensis különszáma, JATE Természetföldrajzi Tanszék, Szerk. Mezősi Gábor

Fogarasi, S. (1999): Változások az Által-ér vízrendszerében; "A táj és az ember- geográfus szemmel"-II. Geográfus PhD konferencia, Szeged; CD publikáció

Hajósy, F., Kakas, J., Kéri, M. (1975): A csapadék havi és évi összegei Magyarországon, a mérések kezdetétől 1970-ig; OMSZ Hivatalos Kiadványai XLII. kötet, Budapest

Juhász, J. (1987): Hidrogeológia; Második, átdolgozott kiadás, Akadémiai Kiadó, Budapest

Horusitzky, H. (1923): Tata és Tóváros környékének hidrogeológiája és közgazdasági jövője; A Magyar Kir. Földtani Intézet Évkönyve, XXV. kötet, 3. füzet, Magyar Tudományos Társulatok Sajtóvállalata Rt., Budapest

Kessler, H. (1954): A beszivárgási százalék és a tartósan kitermelhető vízmennyiség megállapítása karsztvidéken; Hidrológiai Közlöny, 5-6. szám

Lenkei, T., (1943): A tatai langyos források 1941 és 1942 évi hozam és hőmérséklet mérése; Hidrológiai Közlöny, 23. évf., 7-12.

Lorberer, Á., et al. (1986): A Dunántúli-középhegység karsztvízföldtani és vízgazdálkodási helyzetfelmérése és döntéselőkészítő értékelése, VITUKI témajelentés, 7611/1/62

Lorberer, Á. (1997): A karsztvízszint és a karsztvíz-háztartás elemzése a Dunántúli-középhegységben; A VITUKI Rt. Hidrológiai Intézete kutatási jelentése, témaszám: 714/1/4074

Maucha, L. (1990): A karsztos beszivárgás számítása; Hidrológiai Közlöny, 70. évf., 3. szám

Sárvári, I. (1990): Előzetes szakértői vélemény az Által-ér vízminőség javítása tárgyában - VITUKI

Schmieder, A., Szilágyi, G., Kesserü, Zs., (1986): A Dunántúli-középhegység főkarsztvíztároló rendszerének vízforgalma; Központi Bányászati Fejlesztési Intézet, Munkaközi anyag, 237.005.5

Schréter, Z., (1921): Az Esztergomi barnaszénterület karsztvize; Hidrológiai Közlöny, 1.sz.