

A KARSZTVÍZKUTATÁS 15 ÉVE A VITUKIBAN (1966-1981)

Dr. Böcker Tivadar

Bevezetés

1966 elején az a megtiszteltetés ért, hogy meghívtak a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet (VITUKI) Karsztvízkutató Osztályának vezetésére. A nagynevű elődöm, **dr. Kessler Hubert** által vezetett osztály munkásságát és eredményeit áttekintve elkészítettük „A karsztvízkutatás fejlesztésének iránya”^{**} című programot, melyet a VITUKI Tudományos Tanácsa 1966. VII. 15-én megvitatott és jóváhagyott. Ebben a jövőbeni munka irányait az alábbi, fő témakörökben foglaltuk össze:

a. A karsztvíz utánpótlódásának vizsgálata

Ebben a témakörben a különböző vízföldtani felépítésű és fedőkőzet-vastagságú területekre alkalmazható beszivárgás-számítás meghatározása a feladat. Itt bizonyos kísérleti területek létesítése szükséges, valamint a fedőből beáramló víz vizsgálatára nyomjelzéses kísérletek végzése kívánatos.

b. A karsztos kőzetekben végbemenő áramlás leírása.

Mivel a karsztos kőzetekben az áramlás leírása az analógia elvén alapul, ezért elsődleges feladat az azonos viszonyok térbeli elterjedésének vizsgálata. Ennek módszere a kőzetek részletes vízföldtani vizsgálata, a térbeli változások meghatározása és térképi ábrázolása. Előttünk álló feladat a *regionális megfigyelő-hálózat kiépítése* és az azonos kiképzésű kutakban hidrodinamikai mérések végzése. Az áramlási irány és a tényleges sebesség meghatározására nyomjelzéses kísérletsorozatra van szükség, melyre alapozva a hidrodinamikai jellemzőket kell megállapítani.

c. A megcsapolások által fakasztott vizek mennyiségi meghatározása, tehát a vízhozamszámítás és a vízemelés hatásainak vizsgálata.

A vízhozamszámítás égető szükségszerűsége a bányákban jelentkezett a várható vízhozam és hatásainak megállapítása érdekében. A kutatás feladata e téren is a

^{**} Földtani Kutatás, 1967. 2. szám

karsztos kőzet kifejlődésbeli változásának vizsgálata, hogy az azonos vízföldtani sajátosságúknak számító területeket le lehessen határolni. Ez a vízkivétel hatásainak megállapításánál is döntő jelentőségű.

d. A vízellátás szempontjából számításba vehető vízkészlet.

Meg kell határozni egy-egy karsztos területen a tárolt víz mennyiségét, valamint az utánpótlódó készletet, melynek csak egy-, feltehetően nagyobb része a beszivárgás. A vízgazdálkodási érdekeket szem előtt tartva ki kell munkálni, hogy milyen mértékben lehet mesterségesen beavatkozni a vízháztartásba és lehetséges-e a statikus készlet olyan fokú csökkentése, mely regionálisan veszélyezteti a források, kutak, vízművek működését.

e. A természetes, de főként a mesterséges megcsapolások által fakasztott karsztvíz legkedvezőbb felhasználása.

A jövőbeni feladat az igények és a lehetőségek jobb összehangolása, melynek előfeltétele az, hogy az Intézethez befussanak a vízkivételek, a vízszintek adatai, valamint a vízellátások szükségletei.

Összefoglalva az ismertetett témák két nagy csoportba sorolhatók:

- karsztvízföldtani és
- hidrodinamikai kutatások.

Az első csoportba tartozik a tárolókőzet földtani vizsgálata, pl. a karsztosodás fokának horizontális és vertikális feltárása, a felszíni karsztos jelenségek felvétele, a hézagterefogat vizsgálata stb.

A második csoportba tartozó munkák kiterjednek az áramlási irány és sebesség meghatározására (nyomjelzések), az analóg viszonyok között végbemenő áramlás modellkísérleteinek kidolgozására, a regionális megfigyelő-hálózat kiépítésére, valamint mindezen vizsgálatok és az első csoportban végzett vizsgálatoknak az egybevetett értékelésére.

A program rögzíti, hogy a tudományos vizsgálatoknak csak az esetben lehet konkrét gyakorlati haszna, ha ismereteinket hegységenként és azon belül karsztos típusonként rendszerezzük és bocsátjuk közre. *„Ezért a meglévő eredmények és adatok észlelése, regisztrálása, az egységes karsztvíz alapadattár létrehozása és kifejlesztése a jövőbeni munkánk döntő eleme. E munka során össze kell gyűjteni, rendszerezni, értékelni, és főként ki kell adni mindazon észlelési adatot, melyek mind a további tudományos vizsgálódásnak, mind a konkrét gyakorlati megoldásoknak elsődleges dokumentumát és alapját képezik.”*

A VITUKI Karsztvízkutatási Osztályának belső felépítése alkalmazkodott a fenti program végrehajtásához, így kialakult:

- a tudományos kutatók és a segéderők csoportja,
- az egységes adattári csoport,
- a mérő és hálózatüzemeltető csoport,
- a Gellérthegyi Kutató Állomás a budapesti hévforrások vizsgálatára
- a Jósvalói Kutató Állomás és kísérleti terület a vízháztartás és a karsztos folyamatok vizsgálatára.

Az osztálynak személyekre lebontott működési ügyrendje volt 1968-tól kezdődően. A stabil kutatók köréhez tartozott **Dénes György, Maucha László, Müller Pál, Pappné Vendl Anna, Rádai Ödön, Sárváry István.**

A jelen tanulmánynak nem célja az, hogy a karsztvízkutatás produktumait részletesen ismertesse, és egy-egy téma keretében elért eredményeket bemutassa, ábrákkal illusztrálja. Azt a célt tűztük magunk elé, hogy a fentebb ismertetett kutatásfejlesztési program alapján, az 1966 és 1981 közötti időszak karsztvízkutatási eredményeiről adjunk áttekintést. Ez az az időszak, amikor a karsztvízkutatás önállóan, osztály, vagy csoport szinten folyt az Intézetben.

A kutatás fejlesztése

Ebben a fejezetben röviden bemutatjuk, hogy alapul véve a fejlesztési programot, milyen témakörökben végeztünk kutatásokat, és röviden összefoglaljuk azok eredményeit .

Karszthidraulika

Első lépésben ([Böcker T., 1967](#)) elektromos analóg modell segítségével vizsgáltuk a karsztos-hasadékos kőzetekben történő vízmozgás sajátosságait. Megállapítottuk, hogy:

- a megcsapolás környékének jelentős szerepe van a nyomásmegoszlás kialakításában; az utánpótlódási viszonyoktól függően a teljes nyomáscsökkenés 70-80 %-a a kút közvetlen környékén következik be,
- a vízmozgás főként a kisellenállású járatok mentén jön létre, a nagyellenállású szakaszokat az áramvonalak megkerülik.

Az elektromos analóg modellezést követte a karsztos-hasadékos kőzet makró és mikro szerkezetének tanulmányozása ([Böcker T., 1968](#)). Ennek révén arra a következtetésre jutottunk, hogy hazai, de *főként a dunántúli karsztvíztároló fiktív kőzetmodelljét* a három irányban egymásra merőleges és egymástól egyenlő távolságra elhelyezkedő, rés-keresztmetszetű vízjáratok jellemzik. A tervezett laboratóriumi kisminta kísérleteknél ebből a képzelt hasadékos kőzetből kell kiindulni.

A következő lépés a laboratóriumi kisminta (térbeli áramlási modell) megépítése és laboratóriumi vizsgálata volt ([Böcker T., 1969, 1971](#)). A megépített fiktív kőzetmodell paramétereinek tanulmányozása alapján kitűnt, hogy a fiktív hasadékos kőzet hézagterfogatát az

$$n = \frac{3x\delta}{h}$$

összefüggéssel közelíthetjük.

ahol δ = a repedések szélessége

h = a repedések közti távolság

A fiktív repedezett kőzet térbeli hidraulikai kismintáján végzett kísérletek alapján kiderült, hogy a $h = 5$ cm repedéstávolságú, közel simafalú repedésrendszer esetében, három

különböző résméret ($\delta= 1; 2; 3 \text{ mm}$) alkalmazásakor a lamináris tartomány felső határát jelző Reynolds-szám $R=100$.

A repedezett kőzetekben végbemenő áramlás mindenkor két határeset, a szemcsés kőzetekben és a simafalú csőben lejátszódó áramlás között van. A triortogonális, homogén repedésrendszer esetében a λRe függvénynek a két határeset között elfoglalt mindenkori helyét a repedéstávolság szabja meg. Ugyanis amikor a repedéstávolság a végtelen felől a zérus felé tart, akkor ez a feltétel a kőzetek felaprózódásának geológiai folyamatát reprezentálja. A folyamat két végén az egyedi repedéseket (csőszerű barlangjáratokat) tartalmazó kőzet, illetve a szemcsés kőzet helyezkedik el. A különböző „h” távolságokban levő repedésmetsződések hidraulikai szerepe olyan jellegű tehát, mint az egyedi rések érdekességéé. A repedésrendszer szivárgási tényezője egy olyan arányossági szám, amely megmutatja, hogy az adott repedés-eloszlású, vizsgált áramlási tér milyen szivárgási tényezőjű porózus kőzettel egyenértékű. Az így értelmezett szivárgási tényező:

$$k = A \frac{1}{h \cdot v} \delta^3$$

ahol v = kinematikai viszkozitás,

A = hidraulikai ellenállást jellemző, dimenzióval bíró állandó.

A vizsgálatokból kiderült, hogy triortogonális repedésrendszerek esetén a résszélesség és a réstávolság között logaritmikus kapcsolat áll fenn,.

A kutatás során végzett terepi feltárások eredményei alapján megállapítottuk, hogy a Dunántúli-középhegységben a hidraulikailag jellemző résméret a repedéseloszlás 20 - 25 %-ához tartozik. A mértékadó résméret milliméter, vagy alulról ahhoz közelálló érték és regionálisan ezek a repedések szabják meg az áramlás jellegét.

Vízháztartás

A karsztos területen kialakuló beszivárgás és lefolyás kutatási módszerének kidolgozása érdekében, a karsztvízháztartás jellemzőinek meghatározása céljából elemeztük ([Böcker T., 1974](#)) a karsztos beszivárgás típusait a karszthegységek hidrogeológiai feltételei alapján. Így az alábbi esetek lehetségesek:

- nyílt karsztos felszín,
- talaj- és növénytakaróval borított karsztos felszín,
- nem nagy vastagságú, áteresztő kőzettel fedett felszín,
- zárt karszt, ahol a karsztos felszín vízzáró kőzetekkel borított.

A karsztos kőzet lehetséges repedésméretei 7 nagyságrendnyi tartományban változhatnak és a kőzet vertikális áteresztőképessége a járatszélesség köbével arányos. A barlangi csepegésmérések elemzésével bevezették a határcsapadék fogalmát. Ez a fogalom annak a meghatározott időtartam alatt lehullott csapadéknak a mennyiségét jelöli, melynek meghaladása esetén megindul a beszivárgás folyamata. A határcsapadék hosszú idő átlagában állandónak vehető, míg adott időszak alatt függ a fedőtalaj nedvességtartamától, a felszíni lefolyástól, a növényzettől stb.

A beszivárgás kísérleti meghatározására javasoltuk

- a barlangi csepegésmérések kiterjesztését,
- a kopár karsztfelszín párologtató hatásának vizsgálatát,
- talaj- és kőzetnedvesség méréseket,
- karsztos liziméterek építését,
- kísérleti lefolyási parcellák létesítését,
- tanulmányi kútcsoportok telepítését,
- víznyelőkbe irányuló felszíni lefolyás hozammérését.

A karsztos víztárolókban történő vízszállítás és a geofizikai tényezők kapcsolatának feltárása érdekében a jósvafői források óránkénti vízhozamadatait, valamint a csapadék, légnyomás, felszíni hőmérséklet, luniszoláris gravitációs változások és a földrengések óránkénti adatait elemeztük, és összefüggéseket határoztunk meg a különböző tényezők között. ([Bélteky L - Böcker T.-Major P., 1973](#))

A Jósua-völgyi karszthidrológiai kísérleti területen ([Böcker T., 1974](#)) a karsztban tározott vízkészlet felderítése érdekében elemeztük a jósvafői Nagy- és Kistohonya-forrás apadási görbéit. Kitént, hogy az irodalmi adatokkal ellentétben a vizsgált források kiürülési görbéi nem írhatók le exponenciális függvények egyszerű összegével. A kutatási munkák során új

vízhozammérő állomásokat, valamint egy hó-vízgyenérték-regisztráló berendezést helyeztünk üzembe a jósvafői kísérleti területen.

Alkalmazott kutatás

Megfigyelőhálózat

A fejlesztési irányelvekben meghatározott regionális észlelőhálózat tervezése és építése a gyakorlati szükségleteknek megfelelően a Dunántúli Magyar Középhegység karsztvíz-megfigyelő hálózatával indult 1967-ben. A tervben rögzítjük, hogy a Dunántúli-középhegységben - mely Magyarország legnagyobb, összefüggő karszterülete - a legnagyobb karsztvízkivétel a nyersanyagbányászathoz kötött. A hegység vízkészletének jelentős részét alkotják a karsztból származó termál- és gyógyvizek, melyekre a hévízi, és a budapesti fürdőfejlesztési program alapul.

A VITUKI előterjesztése alapján az Országos Vízügyi Főigazgatóság, valamint a Nehézipari Minisztérium közötti tárgyalásokon jóváhagyták, hogy a közgazdasági megfontolások alapján készüljön el a Dunántúli-középhegység megfigyelő hálózatának terve. A tervet a VITUKI-ban elkészítettük. Az alap gondolat az volt, hogy az egységes karsztvízrendszer megköveteli a karsztvizekkel való egységes gazdálkodást és annak fokozott összehangolását, mivel az egyes vízkivételek az egész vízháztartást befolyásolják. A hideg karsztvizek erőltetett termelése kihat a hévízkarsztokra, szélső esetben azok elapadásához vezet.

A terv szerint kialakítandó megfigyelő-hálózatnak olyannak kell lennie, hogy

- a karsztvíz közvetlen és közvetett utánpótlódása, különböző természetes és mesterséges tényezőktől való függése meghatározható legyen,
- a karsztvízmozgás jelenségei, azt determináló és befolyásoló tényezők, a szerkezeti elemek hatása, a különböző hegységek, hegység részek, és karsztmeletek összefüggése megállapítható legyen,
- meghatározható legyen a karsztvízforgalom,
- követni lehessen a karsztos víztárolás és a statikus vízkészlet változásait.

A tervezett megfigyelő hálózat 4 új csapadékmérő állomásból, 9 hidrometeorológiai állomásból, a vízfolyások mérésére 13 új felszíni vízhozammérő helyből és a karsztvízszint

változásainak észlelésére 82 db új kútból áll. A terv a karsztrezervoárt megcsapoló források megfigyelésére további 150 forrás rendszeres észlelését írja elő. A tervezett hálózat megvalósítási költségét 33,3 millió forintban határozták meg. Elemezték a közgazdasági kihatásokat is.

A megfigyelő hálózat tervét az Országos Ásványvagyon Bizottság megvalósításra javasolta. Ennek alapján az érdekelt főhatóságok (Nehézipari Minisztérium, Központi Földtani Hivatal, Országos Vízügyi Főigazgatóság) megteremtették a beruházáshoz szükséges pénzügyi alapot a Keszthely-Hévíztől Budapestig terjedő megfigyelő hálózat telepítéséhez, melyet a VITUKI-hoz csoportosítottak az egységes és minél gazdaságosabb kezelés és pénzfelhasználás érdekében. A dunántúli észlelőhálózat 1968-1970 között lényegében megvalósult. A fúrások telepítésének módszere a légifotó-értelmezésre alapuló helyszíni kitűzés, mely minden esetben eredményes volt. A fúrások a kijelölt vetőzónában haladtak, amit a kőzet nagymértékben töredezett volta jelzett. Minden fúrás magfúrással készült és minden egyes magdarabot a kiépítésük sorrendjében, folyamatos sorszámmal láttak el, mely nagymértékben megkönnyítette a makroszkópos feldolgozást.

A hálózat elkészülte után értékelő jelentés készült ([Böcker T.,1976](#)). Ebben bemutattuk, a VITUKI-hoz csoportosított beruházási pénzek egységes kezelése lehetővé tette, hogy a tervezett 82 kút helyett 91 készüljön el.

Ebbenelemeztük:

- a földtani és tektonikai viszonyokat a légifotók és a kőzetmagok felhasználásával,
- a kőzet mikroszerkezetét a csiszolatok alapján
- a pórus- és réstérfogatok eloszlását,
- a hézagtérfogatot és transzmisszibilitást a kúthidraulikai vizsgálatokból.

Rendszereztük és értékeltük az 1968-70. között létesült dunántúli karsztvízmegfigyelő hálózat által szolgáltatott földtani, hidrogeológiai és hidrológiai adatokat. Mérési adatok alapján kimutattuk a karsztvízszint-változás okait, a természetes és mesterséges hatásokat, továbbá meghatároztuk a Dunántúli-középhegység vízmérlegét, valamint hőmérséklet szerinti bontásban a tárolt vízkészletet és annak változásait is.

A dunántúli észlelőhálózat elkészülte után a VITUKI Karsztvízkutatási negyedévi rendszerességgel érkeztek a bányavállalatok kútjainak mérési adatai, az emelt vízhozamok, valamint a vízművek hozam- és vízszint-adatai. Az adatok közkincsé tétele érdekében 1970-től kezdve minden évben kiadtuk a DKH karsztvízszint térképét 1:100 000, majd később 1:200 000 méretarányban. A kezdeményezés hazai és nemzetközi vonatkozásban egyaránt figyelemre méltó, hiszen első ízben ad évenkénti tájékoztatást a vízszintek alakulásáról egy több ezer km² kiterjedésű karszterületen. A területek eltérő földtani, hidrológiai adottságai miatt a vízszintek maximuma és minimuma eltérő időben jelentkezik (februártól novemberig). A beszivárgás hatása az emberi beavatkozás alatt álló területeken is kimutatható (különösen májusban) az általános süllyedő tendenciából kiemelkedő vízszint-csúcsokkal.

1970-ben tanulmányt készítettünk egy országos karsztvízszint-észlelő hálózat létesítésére. A hazai karsztos kőzeteket elhelyezkedési viszonyaik alapján 13 karsztos, vagy karsztos kőzetet tartalmazó területbe soroltuk. Az anyagban részletesen bemutattuk a hálózat kialakításának alapelveit és a fúrások eloszlását. Ebből 1975-ben elkészült a Bükk-hegységre vonatkozó észlelőhálózati terv. Ebből a hegység keleti részére tervezett négy kút valósult meg a hetvenes évek végén. Sajnos az országos hálózat kiépítése abbamaradt.

Áramlásmérések, légifelvételek, vízkor

A főkarsztvíz áramlási sebességének nyomjelzéssel történő meghatározására a dunántúli bányászat érdekében került sor Dorog-Tokod, valamint Nyirád térségében, 1967-68-ban. A kimutatott átlagsebességek deciméter/óra nagyságrendűek voltak. Az áramlástanai modellezés során kapott összefüggések felhasználásával számítottuk a mértékadó résméretet, mely milliméter alattinak adódott.

A légifelvételeket 1968-ban kezdtük el karszthidrológiai és vízföldtani szempontok szerint értékelni a dunántúli megfigyelő-hálózat kútjainak kitűzésekor. Ezt követően került sor az űrfelvételek, a fotogrammetriai célból különböző időpontokban készült légi mérőképek és a vizsgálat céljára felvett multispektrális légifotók értelmezésére a felszíni és felszínalatti vizek hidrogeológiájával kapcsolatos elemek meghatározására. Elkészült a Dunántúli-középhegység ÉK-i részének és a Siklós-Villányihegység egészének lineációs (a szerkezeti vonalakkal kapcsolatba hozható vonal-) térképe. Az Észak- magyarországi VIZIG területén az archív és

új légifelvétel alapján értékeltük a beépítettséget, a művelési ágakat, a geomorfológiai viszonyokat. Különböző területeken vizsgáltuk a tározási lehetőségeket is ([Böcker T., 1978](#)).

A felszínalatti vizek természetes ^{14}C tartalmának meghatározása 1972-ben kezdődött, amikor is 3 különböző helyről származó vízminta ^{14}C tartalmát határozták meg a Hannoveri Kutató Intézetben. Ezek közül igen érdekes volt a nyirádi bányavíz, melynek kora 12 000 évnél adódott.

A karsztforrások trícium tartalmának meghatározása 1975-ben kezdődött. 110 minta megvizsgálása után megállapítottuk, hogy három, jól elkülöníthető forráscsoport létezik:

- a TU érték 0 – 20 közötti, ez a mélységi, idős vizekre jellemző,
- a TU érték 50 körül ingadozik, mely a kevert vizeket reprezentálja,
- a TU érték 50-nél nagyobb, mely a friss csapadékvizeket felszínre hozó karsztforrásokra jellemző.

A továbbiakban az egyes karsztvidékekre vonatkozó vizsgálatok kerülnek bemutatásra. Természetesen bizonyos tematikai átfedések fellelhetők, hiszen mind a kutatásfejlesztés, mind az alkalmazott kutatások terén a hazai területek képezték a vizsgálatok alapját.

Dunántúli-középhegység

Bányászat és a karsztvíz

A Dunántúli-középhegység karsztvizeivel kiemelten foglalkoztunk és ennek oka elsősorban a bányászati tevékenységhez kapcsolódó vízemelés mértéke volt. Ennek következtében veszélybe kerültek az ivóvízkivételek, kutak, valamint a termális karsztvizek is. Egy 1967-ben készült értékelés azt mutatta, hogy a Középhegység egész területére vonatkozó vizsgálat szerint a karsztvízszint a megelőző hét évben a bányászati vízelvonás következtében nagymértékben süllyedt, és csak néhány kisebb, elszigetelt, zavartalan területen emelkedett. Az emberi tevékenység és a természeti tényezők hatásának szétválasztására egy addig nem használatos módszert dolgoztak ki. Ennek felhasználásával megállapítható, hogy a túlzott vízkivételek következtében a Bakony-hegység egész területén megkezdődött a leszáradási folyamat.

Tájékoztató készült a Dunántúli Magyar Középhegység vízgazdálkodási helyzetéről ([Böcker T., 1969](#)). Ebben összefoglaltuk a Dunántúli-középhegységre vonatkozó VITUKI-tanulmányokat. Bemutattuk a Dunántúli-középhegység területén a bányászat hatására kialakult vízhelyzetet és elemeztük a várható következményeket.

Egyedi bányászati fejlesztések véleményezésére is felkérték a Karsztvízkutatási Osztályt. Így pl. a Nagygyeháza-Csordakúti tervezett depresszió vízgazdálkodási hatásainak vizsgálata 1973-ban igen lényeges feladat volt. A tanulmány szerint a Nagygyeházi-medencében létesítendő, -100 méter Adria feletti szintre tervezett, II. variáns esetében is a budapesti hévforrások üzemi szintjének maximálisan 20 méteres süllyesztése válna szükségessé, ami a dunavíz jelentős beáramlását eredményezné a karsztrendszerbe. Így a budapesti gyógyfürdők megóvása gyakorlatilag megoldhatatlan feladatnak látszik. A változások nyomán követésére bővíteni kell az észlelő hálózatot. Ennek várható költsége kb. 90 millió forint. A lencsehegyi karsztvízszint-süllyesztés gazdasági hatásainak analógiája alapján várható, hogy a nagygyeházi bányászat, még a 20 millió tonnával megnövelt szénvagyonra vetítve sem lesz gazdaságos, ezért az felülvizsgálatra szorul.

A bányászkodás folytán beállott vízkárokat és azok közgazdasági hatásait a Péti Nitrogénműveknél is tanulmányoztuk 1975-ben. Az Iszkaszentgyörgy és Pét között elhelyezkedő terület karszthidrológiai elemzése alapján megállapítottuk, hogy az Ősküi-forráscsoport térségében a karsztvízszint 9.3 métert süllyedt az 1968-1974 közötti időszakban. A vízszint természetes körülmények közötti süllyedése ugyanebben az időben 4.3 méter volt, így a bányászat hatására a vízszint 5 métert süllyedt. Elemeztük a vízpótlás közgazdasági hatásait is.

A tervezett nyirádi vízemelés környezeti hatásának vizsgálatát is elvégeztük 1979-1980-ban az 1990-ig terjedő időszakra. Vízháztartási módszerrel elemeztük a nyirádi vízemelés várható hatását 1990-ig a megadott vízhozamidősről alapján. Eszerint a tápterületnek oly módon kell növekednie, hogy az 330 m³/min utánpótlódó vízhozamot biztosítson. Ennek megfelelően 287 más víztermelő objektumot ér kisebb-nagyobb kedvezőtlen hatás.

Külön, kiemelt vizsgálat tárgyát képezte a Hévízi-tó és a nyirádi bauxitbánya vízemelésének vízföldtani kapcsolata.

Hévízi-tó

1967-ben készítettük el az első felmérést és előrejelzést, miszerint a bányászati vízemelések várható, rohamos növekedése kedvezőtlen hatással lehet a hévízi tóforrásra. Javaslat is készült olyan helyi észlelési rendszerre, mely a hatások terjedésének mértékét nyomon követi. 1975-ben elemeztük a nyirádi aktív víztelenítés várható hatását, különös tekintettel a hévízi tóforrásra. A nyirádi bauxitbányától nyugatra eső karsztos terület áramlási rendszerét vizsgálva előrejelzés készült a várható vízemelésre, valamint ennek hatására 2000-ig. Vizsgáltuk a Hévízi-tó utánpótlódási lehetőségeit, a víz korát és felméréssel állapítottuk meg a felfedezett forrásbarlang méreteit, a hideg és melegvíz fakadási helyeit. (A forrásbarlangot **Plózer István**, az Amphora bűvárklub bűvára fedezte fel. A barlang és a barlangban fakadó források feltérképezését e tanulmány szerzője tervezte meg és irányította a helyszínen.) Javaslat készült a Hévízi-tó védelméhez szükséges intézkedésekre. A vízkor-vizsgálatok az alábbiakat mutatták:

Hely	vízhőm. korrekcióval	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	^{14}C kor (év)	^{14}C kor ^{13}C
Nyirád-6	11.7	12.0	8 800	4 100
Hévízi-tó meleg	38.0	8.4	13 900	6 200
Hévízi-tó hideg	17.0	15,0	8 800	5 900

A Hévízi-tóval kapcsolatos kutatási tervtanulmány, mely 1976-ban készült a fentebb bemutatott előrejelzésen alapult. Javaslat készült a Hévízi-tóval kapcsolatos kutatásokra

annak érdekében, hogy a tóforrás és a nyirádi bauxitbányászat kapcsolata tisztázható legyen.

A terv előíranyozza:

- a terület geológiai viszonyainak tisztázását,
- a vízhozammérés megoldásának módját,
- vízállásméréseket és kútvizsgálatokat,
- új megfigyelő kutak létesítését,

- a kialakított hálózat üzemeltetését,
- a tókráter térképezését és tisztítását.

A munkálatok költsége 32 millió forintra becsülhető.

A terv alapján indultak meg a feltárások és vizsgálatok, valamint elkészült a Hévízi-tó környéki észlelőhálózat, melynek költségeit a bányakár-keret fedezte.

Az elvégzett vizsgálatokról összefoglaló jelentés készült. A Hévízi-tó mintegy 10 000 km²-es körzetére vonatkozóan 1:100 000-es kéziratos vízföldtani térkép- és szelvénytársorozatot készítettünk, valamint szerkezeti-, földtani-, geohidraulikai, geotermikai és hidrokémiai vizsgálatokat végeztünk a tóforrás utánpótlódásának és a nyirádi víztelenítés hatásának megismerése céljából. Ezen részletes hidrogeológiai, geotermikus, vízkémiai, vízkor-analízis alapján lehatároltuk a Hévízi-tó felszín alatti vízgyűjtő területét. Részletes vízhozam-mérésekkel meghatároztuk a tóforrás vízhozamát. Megállapítottuk, hogy a tóforrás vízhozamát 17%-kal csökkentette a nyirádi bauxitbányászat vízemelése. A kutatás során tisztáztuk az alap- és fedőhegységi képződmények hidrodinamikai kapcsolatát. Rámutattunk, hogy a fedőhegységi képződményekben a vízmozgást a Hévízi-tó megcsapoló hatása, az ezekbe beáramló karsztvíz és a dombtetőkön történő beszivárgás, valamint a völgyek csapoló hatása határozza meg. A tóforrás utánpótlódását jelentő melegvíz Kehidánál és a Hévíz 7. fúrás környezetében áramlik be a felsőpannonba. Ílymódon a mezozoós alaphegység felszíne felett egy nagy hőmérsékletű víztest mozog a megcsapolás irányába.

Budapesti termálvizek

A Dunántúli-középhegység keleti végénél található a Budapest fürdőváros jellegét meghatározó termálkarsztvíz-rendszer. A termálvizek vizsgálata, a melegvizet feltáró kutak egymásrahatásának megállapítása különös fontossággal bírt az újabb kutak üzembeállíthatósága szempontjából. 1966-ban a budapesti hévízkutak kapcsolatának felderítésére a zuglói kút kompresszorozásával és az 1965-ben kiépített mérőhálózat felhasználásával vízszint-, illetőleg víznyomás-mérések folytak az Óbuda I, a Margitsziget II, Dagály utcai, a Tétényi úti, a Csepeli II, továbbá a Városliget I és II kutakban.

A mérések alapján megállapítottuk:

1. A vízemelés hatása kimutatható a Városliget I. és II. kutakban, továbbá követhető a Szabadság-fürdő (Dagály), valamint a Margitsziget II. kútnál.
2. A hatás 33,5 cm vízoszlopnomásnak megfelelő átlagos nyomáscsökkenést okozott a pesti nyomás alatti karsztvízben, mely azonban nem tette kétségesé a Paskál-malmi termálkút szabad kifolyással történő hasznosítását.
3. Budapesten a világtól kedvező irányban eltérő geotermikus anomáliák csak a „Budapesti termális háromszög” területén belül, szerkezeti vonalakhoz kötötten találhatók

A tanulmány szerint a hévízkutak, a források összefüggésére és a kapcsolatuk minden kérdést kielégítő módon történő megválaszolására tovább kell folytatni a rendszeres méréseket.

A budapesti termálkarszt-rendszer kutatásának külön érdekessége volt a Gellért-hegyi szökevényforrások feltárása. A szökevényforrások felderítésére a Gellért-hegy előtti Dunaparton, valamint az un. Páva-kertben 7 kutató fúrást mélyítettünk Igen kedvező, alacsony vízállás mellett, 723 órán át próbaszivattyúztunk. Ennek alapján megállapítottuk, hogy alacsony dunai vízállás idején a Gellért fürdő és a Rudas fürdő forrásainak befolyásolása nélkül a szökevényforrásokból napi 2300 m³ gyógyvíz termelhető, ami a Gellért fürdő vízhiányának fedezésén kívül elegendő lenne a tervezett tabáni gyógyszálló vízellátására is. A fluoreszcénes nyomjelzési kísérlet során beigazolódott, hogy a kutatófúrások vize kommunikál a Duna medrében fakadó szökevényforrásokéval. A Gellért-hegy tövében mélyített fúrásokkal a szökevényforrások vize kitermelhető, ami a Gellért fürdőnek és az esetleg létesítendő tabáni fürdőnek a Duna vízállásától független vízellátási bázisa lehet. A víz minősége, vegyi összetétele és hőmérsékletének stabilitása kedvezőbb a Gellért fürdőt tápláló forrásokénál.

A budai szennyvízfogyójtó-csatorna tervezéséhez szakvélemény készült. A szökevényforrások mederszéli kilépési helyeit termovíziós felvételekkel határoztuk meg. A munka előreláthatóan max. +320 cm dunavízállásig (Vigadó téri mérce) végezhető vízbetörés nélkül. A csatorna munkaárok-mélyítések az árokban korábban kitermelt 1450 l/min vízhozam többszörösére kell majd számítani. A vízhőmérséklet elérheti a 44 °C-ot, a víz nagy CO₂ tartalma miatt erősen agresszív.

Bükk-hegység

A Bükk-hegységben a karsztvízkutatás lényegében a hegység keleti részére szorítkozott és elsősorban gyakorlati, vízellátási feladatok megoldását célozta.

A Miskolci Vízművek és Fürdők által üzemeltetett Tapolcai Vízmű közelében végzett vízfeltáró kutatások ([Böcker T., 1967](#)) célja a korábban kimutatott üregek és a hidegvíz-vezető járatok feltárása volt. A feltárt kis vízhozam mennyiségét a megnyitott járatok kis felülete indokolja. A teljes vízmennyiség kitermeléséhez a hegyoldallal párhuzamosan haladó vágat szükséges, amely keresztirányban harántolja a vízvezető járatrendszert.

1968-ban a Miskolc vízellátására foglalt források vízhozamainak tartóssági vizsgálata azt mutatta, hogy az év bizonyos kritikus szakaszában a 90%-nál nagyobb tartósságú, kis vízhozamokra lehet csak számítani. Ebből fakadóan a tanulmány a vízhozam mesterséges növelését javasolta. Ennek érdekében az alábbiak jöhettek számításba:

- a meglévő forrásfoglalások átalakítása,
- kísérlet a forráshozamok mesterséges növelésére,
- hozamkiegyenlítés felszíni, vagy felszínalatti tározással,
- új karszterületek felkutatása vízbeszerzés céljából.

A javaslatok közötti választás és a lehetőségek felmérése érdekében további vízföldtani és szerkezetani, hidrológiai és hidraulikai feltárássra van szükség.

A korábban megkezdett munkálatok folytatásaként 1969-1970-ben elemeztük a Bükk - hegység keleti területének vízföldtani és szerkezeti viszonyait, az eddig feltárt barlangrendszereket és a karszthidrológiai viszonyokat. A vizsgálatok eredményeként megállapítottuk, hogy lehetőség kínálkozik a felszín alatti tározás megvalósítására, továbbá kb. 4 millió m³-es felszíni tározó létesítésére a Szinva-Garadna patakok együttes vizének alagúton történő átvezetésével.

1971 és 1975 között a Garadna-forrás lehetséges foglálásának előkészítése volt a feltárások célja. A forrás környékéről részletes vízföldtani felmérés és térképezés történt. A térképezés alapján kijelölt ponton fúrást mélyítettek a forrás közelében. Ennek eredményei igazolták azt a feltevést, hogy a karsztosodott üregek a forrás fakadási szintje alatt is megtalálhatók. Így a forrásküszöböt képező, meredeken álló vízzáró rétegek alulról való átfúrása esetén a szükséges tárolótér rendelkezésre áll. A Garadna-völgyi vízhozam hossz-szelvények, valamint a forráshozamok elemzéséből kiderült, hogy az így létesítendő felszín alatti tározó napi 5000 m³ vizet tud majd szolgáltatni Miskolc vízellátására, anélkül, hogy a Hámori-tó vízutánpótlódása csökkenne. Ezt követően tervtanulmány készült a Garadna-forrás foglálásának vízjogi létesítési engedélyéhez. A forrás javasolt vízszintsüllyesztéses foglálása a mai forrásszáj szintje alatt 36 m-re indított vágatból áll, mely áthatol a vízzáró agyagpalákon, megcsapolja a víztározó karsztos kőzetet, s ezzel csaknem 40 méteres leszívás lehetőségét teremti meg. A foglálás tervezésénél 3 szempontot kellett figyelembe venni;

- a patak élővíz jellegének a megtartását,
- a pisztrángos tavak vízigényét, és
- a Hámori-tóba vezetendő vízhozamokat.

A vizsgálat megállapította, hogy a patak élővíz jellege a tározott vízmennyiség tört részének felhasználásával egész éven át fenntartható, s a vízmennyiség többi része vízellátási célra vehető igénybe. A pisztrángos tavak vízigénye vízjogilag rendezendő, de a javasolt foglálási mód lehetővé teszi, hogy a természetes minimumoknál nagyobb hozamot kapjon a gazdaság. A Hámori tóba vezetendő víz mennyiségét szintén vízjogilag tisztázni kell.

Végezetül elkészült a

- kutatótáró bányászati kiviteli terve,
- a megfigyelőkutak kiviteli terve,
- a Garadna-táróban és a patakon végzendő hidrológiai kutatások terve,
- a kutatómunkálatok pénzügyi terve.

A Miskolc város vízellátásába bekapcsolt karsztforrások védőidomának kimunkálása 1974-ben kezdődött és a védőidom végleges terve 1983-ban készült el. A munkálatok során mértük a források vízhozamát, kémiai elemzéseket végeztünk és meghatároztuk a forrásvíz trícium

tartalmát. Elkészült négy új vízszintészlelő kút (Kisgyőr, Bükkszentkereszt, Tebepuszta, Nv-8), így a garadnai kúttal együtt 5 helyen volt lehetőség a vízszint mérésére. Több víznyelő nyomjelzése történt meg a forrásokkal való kapcsolat megállapítása érdekében. Felmértük a kijelölt védőidom területén a szennyező forrásokat.

Elkészült a védőidom

- topográfiai,
- hidrogeológiai,
- hidrológiai, és
- szennyeződés érzékenységi térképe, továbbá
- a kommunális szennyvíz és hulladék térkép,
- az állattartás térképe,
- az erdő- és mezőgazdasági szennyezők térképe
- az ipari szennyezők térképe.

Az intézkedési terv meghatározta:

- a védőidom részeit és határait,
- a védendő vízhozamot (évi átlagban $92\,100\text{ m}^3/\text{nap}$; ebből $83\,800\text{ m}^3/\text{nap}$ ivóvíz és $8\,300\text{ m}^3/\text{nap}$ termálvíz),
- a védőidom kataszteri kimunkálását,
- a javasolt intézkedéseket védőidom-részenként az alábbi területeken folytatták:
 - a vízgazdálkodás és szennyvízelhelyezés,
 - a mező- és erdőgazdaság és állattenyésztés,
 - az ipar, a beépítés és lakótelepek,
 - a közlekedés, szállítás, üdülés,
 - a hidrogeológiai adottságokat befolyásoló egyéb tevékenység.

A védőidom tervet az illetékes Vízügyi Igazgatóság 1987-ben hagyta jóvá.

1975-ben új módszert vezettünk be a karsztos hegységekből távozó vizek megállapítására. Ez volt az un. „körbemérés”. Ezen az értendő, hogy az év különböző hónapjaiban, közel

egyidőben megmértük a hegységet elhagyó kisvízfolyások hozamát a fakadási helyükhöz legközelebbi mérőhelyen. A Bükkhegységben, pl. 1975 és 1982 között 13 alkalommal mértük meg a hegységből eltávozó hozamot. A minimum 1975 júniusában volt ($27\,390\text{ m}^3/\text{nap}$), míg a maximumot 1977 februárjában mérték ($325\,300\text{ m}^3/\text{nap}$). A vizsgált időszak átlagos hozama $155\,000\text{ m}^3/\text{nap}$ volt. A hegységre vonatkozó, összes „kivett” vízmennyiséget úgy kapjuk meg, hogy a körbemérési hozamokhoz hozzáadjuk a Bükk-hegységi vízművek adott időszaki termelését.

Alsóhegy

Az északi határmentén elhelyezkedő Alsóhegy vizsgálata három, elkülönült, de egymással mégis kapcsolatban álló témakörbe sorolható. Ezek az alábbiak:

Az Alsóhegy vízföldtani vizsgálata

Ennek keretében litológiai, tektonikai, geomorfológiai és hidrológiai kutatások folytak. Ezek során felderítettük és térképeztük a terület közet-előfordulásait, a vizsgált terület földtani felépítését, a karszt-hidrogeológiáját meghatározó tektonikai viszonyokat, geomorfológiai felvételeken rögzítettük a terület tektonikusan preformált többsorait, víznyelőit, zsombolyait és karsztforrásait. Sorozatos vízfestésekkel meghatároztuk a víznyelők és a karsztforrások hidrográfiai összefüggéseit. Ezek alapján megközelítőleg lehatárolták a vizsgált karsztforrások vízgyűjtő területeit és a felszínalatti vízvásztók valószínű nyomvonalait. A forrásvizek trícium tartalmának meghatározása alapján jellemeztük az egyes források vizeinek származását, valamint egyes forrásoknál a szubtermális vizek keveredési arányát.

A Jósvafői Kutató Állomás

1968-ban vette át a VITUKI. Attól kezdődően az Állomás bekapcsolódott a karsztvízkutatási programba. Elsősorban a vízháztartás (forráshozamok, beszivárgás, felszíni lefolyás) vizsgálata volt a feladat. Kísérleti parcella létesült a talajjal fedett karsztos felszín lefolyási viszonyainak megismerésére. Összehasonlító elemzés készült a korábbi beszivárgási számítási eljárások ellenőrzésére. Megállapították a beszivárgás sebességét is. Általánosítható eredmény az volt, hogy a magyarországi, nyílt karsztos területen a beszivárgás sokévi átlagban alig haladja meg a csapadék negyed részét.

„A határmenti területek vizsgálata a Csehszlovák füllel közösen” című kutatási téma keretében az Alsóhegy közös vizsgálatára került sor 1967 és 1976 között. A kutatás során nyomjelzési kísérletekkel tisztáztuk az Alsóhegy felszínalatti áramlási viszonyait, melynek alapján kijelöltük az északi (szlovák oldal) és a déli (magyar oldal) forráscsoportok felszíni és felszínalatti vízvázlatát. A speleológiai feltárások kiterjedtek a legnagyobb aknabarlangok vízföldtani tanulmányozására. Többek között megállapítható volt, hogy az Alsóhegy karsztfennsíkja alatti vízdomborzati púp 240 méternél mélyebben helyezkedik el a felszín alatt. Az Alsóhegy légifelvételének interpretációja alapján kimutattuk, hogy a közel függőleges törésvonalak alul (hegyláb felé) a forrásokhoz, felül a töbörökhöz csatlakoznak. Az értékelés alapján kijelöltük a vízvezető törésvonalakat. Geofizikai mérésekkel meghatároztuk a felszínközeli aljzat rétegtani és tektonikai viszonyait. Az Alsóhegy középső részén 1000 méternél vastagabb karsztos összletet mutatott ki a frekvencia-szondázás. A geoelektromos mérések feltárták a Bódva völgyében a völgyfenék morfológiai viszonyait. A források trícium tartalma alapján, az Alsóhegy D-i letörése mentén három, egymástól elszigetelt mélykarsztos zónát lehetett kimutatni. A forrásvizek mennyiségi vizsgálata lehetővé tette a dinamikus vízkészlet meghatározását. A források hasznosítása érdekében meghatározták a vizek kémiai jellemzőit is.

Befejezés

A fentiekben bemutatottakat részletesen kifejtve, mintegy 100 kutatási jelentés tartalmazza, melyek megtalálhatók a VITUKI tanulmánytárban. A kutatási, vizsgálati témák megválasztását meghatározta az általunk 1966-ban kidolgozott fejlesztési program, míg az egyes kutatók által összefogott témákban elért eredmények a Karsztvízkutatási Osztály kutatóinak, technikusainak és segéderőinek kollektív munkájával jöttek létre. A megkezdett munkák egy része 1981 után is folytatódott, így pl. a Dunántúli-középhegység karsztvízszint térképeinek szerkesztése és kiadása; a vízháztartás vizsgálatok, modellezés; a jósvafői kísérleti terület munkálatai stb.

Szemelvényes irodalom

Böcker T. (1967):

A karsztvízkutatás fejlesztésének iránya. - *Földtani Kutatás* 1967. 2. sz.

Böcker T. (1967):

A Dunántúli Magyar Középhegység karsztvízmegfigyelő hálózatának terve. - *VITUKI Beszámoló*

Böcker T. (1969):

Karstic Water Research in Hungary. - *Bulletin of the IASH*, XIV, 4 – 12

Böcker T. (1971):

A karsztvizek mozgásviszonyai természetes körülmények között. - *II. Anyag- és Energia Áramlási Ankét. Akadémiai Kiadó.*

Böcker T. (1971).

Felszínalatti vízáramlás karsztos kőzetekben. - *Kandidátusi disszertáció. Kézirat. Akadémiai Könyvtár.*

Böcker T. (1972):

Hdraulic Model Study for Investigating Karstic Water Movement. - *Proc. 14th Congress of IAH*

Böcker T. (1973):

Theoretical model for karstic rocks. - *Karszt és Barlangkutatás* 7. sz.

Böcker T. (1973-74):

Dynamics of Subterranean Karstic Water Flow - *Karszt és Barlangkutatás* VIII.

Bélteky L.-Böcker T.-Major P. (1973):

Felszín alatti vízkészlet becslése a 10. sz. északmagyarországi területi vízgazdálkodási keretterv egység területén. - *VITUKI Közlemények*

Böcker T. et al. (1975):

Underground Water Flow on Karstic Terrain. - *In: Hydrogeology of Karstic Terrains.* Paris. IAH

Böcker T. (1975):

Változások a Dunántúli Középhegység természetes karsztvízháztartásában. - *Vízügyi Közlemények*

Böcker T. és szerzőtársai (1975):

A felszínalatti vízforgalom elemzése a Bükk-hegység déli előterében. szerzőtársai - *Vízügyi Közlemények*

Böcker T. (1976):

Balatonkörnyéki karsztvizek mennyiségi és minőségi védelme. - *Proc. Balatoni Ankét. Keszthely*

Böcker T.-Dénes Gy. (1976-77):

Hidrogeológiai vizsgálatok a Keleti-Bükkben, és az ott foglalt források védőidomának meghatározása. - *VITUKI Közlemények*

Böcker T. (1977):

A hazai karsztvízkutatás gazdasági jelentősége. - *Karszt és Barlang I-II*

Böcker T. (1977):

Economic Significance of Karst Water research in Hungary. - *Karszt és Barlang Special Issue*

Böcker T. (1978):

A magyar karszt és barlangkutatás húszéves eredményei. - *Karszt és Barlang I-II.*

Böcker T. (1979):

A Hévízi tóforrás vízföldtana. - *Proc. MHT Országos Vándorgyűlés, Keszthely*