

Vizügyi közlemények

1952.

## A KARSZTVÍZ FELTÁRÁSA<sup>1</sup>

Írta: DR. KESSLER HUBERT.

ETO. 628.112:551.444

Hazánk rohamos ipari fejlődése és az ivóvízellátás régen vajdó kérdésének mostani intézményes rendezése szükségessé tette, hogy egy eddig eléggé háttérbe szorított vízszervezési lehetőséggel foglalkozzunk. Ezt a vízszervezési lehetőséget Magyarország jelentős területén az újabban oly sokat szereplő karsztvíz biztosítja számunkra.

A karsztvíz feltárása olyan modern «vízfakasztás sziklából», amitől sokan valóságos csodákat várnak, mások viszont nem ismerik fel kellően a jelentőségét.

Dolgozatunk egyik célja, hogy eloszlassa a karsztvízhez fűzött túlzott és megokolatlan reményeket, de egyben rámutasson azokra a lehetőségekre, amelyek közt a kellő tudományos és műszaki felkészültséggel végzett karsztvízfeltárások a népgazdaság számára nagyjelentőségű eredményekre vezethetnek.

A karsztvíz-feltárás nemcsak műszaki probléma, hanem szorosan kapcsolódnak hozzá földtani, hidrológiai, morfológiai kérdések is. A karsztvízfeltárást vezető mérnöknek tehát ezekben a kérdésekben is tisztán kell látnia, hogy műszaki terveinél a természeti adottságokat kellően figyelembevehesse, és az elért eredményeket, kapott adatokat megfelelően értékelhesse. Természetesen éppen olyan fontos, hogy az érdekelt földtani szakemberek megfelelő műszaki ismeretekkel rendelkezzenek, és pontosan ismerjék azokat a műszaki lehetőségeket és nehézségeket, amelyek a szakvéleményük alapján megoldandó feladat végrehajtása során felmerülhetnek.

Alább a karsztvízkérdésnek a műszakiakat közvetve vagy közvetlenül érintő részéről kívánunk a legújabb tudományos kutatások és gyakorlati tapasztalatok alapján összefoglalást adni.

### A karsztosodás folyamata

A karszt mint morfológiai műszó nevét attól a hatalmas mészkőhegységtől vette, amelyik Trieszttől nagyjából az Adriai-tenger mentén Jugoszlávián, Albánián át egészen Görögországig terjed. A Dinári-alpoknak ezt a részét Karszt-hegységnek nevezik. Ezen a területen tanulmányozhatták először és a legjobban azokat a különös jelenségeket, amelyek a málladék nélkül oldódó kőzetekből álló hegységek sajátosságai. Ezek az ú. n. *karsztjelenségek* a következők:

1. A hegyek, fennsíkok tetején kerek vagy elliptikus bemélyedések — *töbrök*, *dolinák* — keletkeznek. Oldalaik néha függőlegesek, sziklásak, többnyire azonban lankásak, tölcserzerűek. Átmérőjük néhány métertől több kilométerig terjedhet.

<sup>1</sup> Közlemény a Vizgazdálkodási Tudományos Kutató Intézetből.

2. A csapadékvíz rövid felszíni folyás után víznyelőkön át eltűnik, majd — többnyire lényegesen megszaporodva — újra megjelenik a hegység lábánál bővizű karsztforrások alakjában.

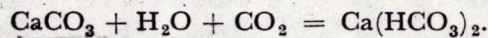
3. Kisebb-nagyobb sziklanyílásokon, barlangokon át be lehet hatolni a hegy belsejébe. Ezek a nyílások vagy a hegyoldalban vannak, vagy a hegyek tetejéről lehet néha többszáz méter mélységű aknabarlangokon, zsombolyokon át a mélységbe ereszkedni.

4. A felszínen szálaban álló sziklákon csatornaszerű oldási nyomok, barázdák (ördög-szántás) figyelhetők meg.

5. A karsztos vidéket általában — de nem mindig — csak vékony humusztakaró borítja.

A fent felsoroltakon kívül még számos, belőlük származtatható felszíni változatot találunk karsztvidéken, de mindezek a karsztjelenségek végeredményben arra vezethetők vissza, hogy a csapadékvíz a karszthegységet felépítő kőzeteket, elsősorban a mészkövet oldja, elkarsztosítja.

A csapadék a levegőből és a kőzetet takaró humuszrétegből széndioxidot abszorbeál. Az ily módon gyengén szénsavtartalmúvá vált víz behatol a hegyképző erők folytán keletkezett kőzethasadékokba, litoklázisokba, és az érintkező felületek mentén feloldja a mészkő egy részét. A kalciumkarbonát a széndioxid és a víz hatására átalakul kalciumhidrokarbonáttá:



A víz útja először általában függőleges vagy közelítően függőleges mindaddig, amíg a vízzáró rétegre nem akad, amely a vizet a hegység széle, a lecsapoló völgy felé vezeti. Az a víz, amely földalatti útjának nagyobb részét karsztosodó kőzetben teszi meg, a karsztvíz. Mindaddig amíg lefelé irányuló mozgásban van, leszálló karsztvíznek nevezzük. Ha a leszálló karsztvizet nem gátolja valamilyen vízzáró réteg, hanem eljuthat addig a kőzet összes hasadékait, hézagait kitöltő nagy víztömegig, amely a nagy mélységben — tehát a környező völgyek szintjénél mélyebben — települt kőzettömegben van, akkor a víz elérte a mélykarsztot.

A mélykarszt különböző mélységben lévő járataiban, hézagaiban tárolt víz a mélységtől függő nyomás alatt áll. Az egyes hézagokban lévő vízhez tartozó hidrosztatikus nyugalmi szintek elméletileg összefüggő felületet alkotnak, amelyet karsztvízszintnek nevezünk. Hangsúlyozzuk, hogy ez nagyobb területre értelmezve nem vízszintes sík, hanem különböző — később tárgyalandó — tényezők által befolyásolt, és elsősorban a lecsapoló völgyek hatása alatt álló torzfelület.

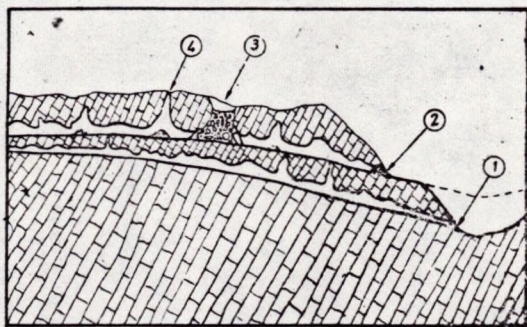
A víz először oldó, korrodáló hatásával tágítja a hegységben lévő tektonikus eredetű hasadékokat. Ha ezek már annyira kitágultak, hogy a bennük szállítandó víztömeg nagyobb sebességre tehet szert, a víz oldó hatásához hozzájárul, sőt túlsúlyba kerülhet a víz mechanikus, erodáló hatása. E két üregbővítő tényező együttes munkájával keletkeznek a karsztvízkutatás szempontjából oly fontos földalatti vízjáratok, barlangok. A víz erodáló hatása különösen akkor erőteljes, ha a felszínről besodort hordalék még fokozza. Pl. az Aggteleki-barlang hatalmas méreteit nagyrészt a felszínről besodort, a mészkőnél jóval keményebb kvarckavics koptató hatásának köszönheti.

A víz korrodáló és erodáló munkájával létesített földalatti járat egyre szélesebb, boltozata egyre laposabb lesz. A boltozat alakja végül már nem felel meg a szilárdságtani követelményeknek és beomlik, majd kialakul egy új, megfelelőbb szelvény. Ez a folyamat többször ismétlődik. A beomlások különösen ott érhetnek el nagy méretet, ahol a kőzet két tektonikus vonal, hasadék kereszteződése mentén amúgyis

meg van gyengítve. Ilyen helyen a fokozatos boltozatbeomlás egészen a felszínig felharapódzik. Így keletkeznek a nagymélységű függőleges *aknabarlangok*, *zsombolyok*, Hasonló eredetűek a függőleges falú *szakadékdolinák* is. A laposabb, tálalakú dolinák nem nagy barlangtermek beszakadásának következményei, hanem sok kis rés be- rogyásával, bezáródásával, tömörödésével kapcsolatosak.

A *zsombolyok* és *szakadékdolinák* alját legtöbbször teljesen eltorlaszolja a behullott törmelék, és így elzárja a vízszintes barlangrendszerhez vezető utat. A törmelék kitermelésével, esetleg tárohajtással hozzáférhetővé válhat a vízszintes barlangjárat.

A föld alatt valóságos *vízrendszerek* alakulnak ki. Földalatti csermelyek, patakok a fögyűjtőbe folynak, amelynek vize a lecsapoló völgyben fakadó karsztforrásokat táplálja. A földalatti patakok, folyók gyakran jól kialakult felső, középső és alsó-



1. ábra. Karsztosodott hegység metszete. 1-nél az aktív, vízvezető barlang forrása, 2-nél a régi, kiszáradt barlanggal kapcsolatos időszakos forrás, 3 = szakadékdolina, 4 = aknabarlang.

Abb. 1. Schnitt durch ein verkarstetes Gebirge.  
1. Quelle der wasserführenden Höhle. 2. Periodische Quelle der nur zeitweise wasserführenden Höhle in der Höhe der diluvialen Talsohle. 3. Einsturzdoline. 4. Schachthöhle.

rendszer egyre fejlődik, bővül. A régi, felső barlang fokozatosan elvészíti vizét, forrása elapad és eltorlaszolódik.

A völgyek süllyedésének következtében kialakuló új karsztvízszint nem párhuzamos a régivel, hanem a völgytől távolabb, ahol a leszívó hatás elenyészik, parabolikusan belesimul abba.

Az 1. ábrán metszetben látható alsó barlang szintje alatt a kőzet összes repedéseit víz tölti ki. Ez a mélykarszt. A régi kiszáradt barlang szintjét a szaggatottan rajzolt, jégkorszakbeli völgszint határozza meg.

A régi, felső barlangrendszer tehát fokozatosan kiszárad, de rendkívüli csapadék, vagy hirtelen hóolvadás levezetésére az új barlang keresztmetszete néha szűknek bizonyul. A benne lévő víz ilyenkor visszaduzzad, és a felső barlang újból vízvezetővé válik, eltömődött forrása pedig átmenetileg vizet szolgáltat. Ezeket az időszakos, magasan fakadó forrásokat tehát víznyerés szempontjából kellő óvatossággal kell értékelni, de támpontul szolgálhatnak vízvezető barlangjáratok felfedezéséhez.

A völgyek fentvázolt, geológiai korokban történt süllyedése nem ment végbe teljesen egyenletesen, hanem szakaszosan történt. Néha hosszabb idő állt rendelkezésre a barlangjárat kialakulásához, máskor viszont az erozióbázis gyorsabb süllyedése újabb barlang kialakulását eredményezte. A völgyek süllyedése folytán kialakult

szakasz jellegűek. De nemcsak vízszintesen, hanem függőlegesen is tagoltak ezek a földalatti vízrendszerek.

A hegység vizeit lecsapoló felszíni vízfolyás medre, völgye általában gyorsabban mélyül, mint a barlangi pataké, hiszen jóval nagyobb a víztömege és hordaléka. A folyó völgye tehát mélyül és egyidejűleg leszáll az általa meghatározott karsztvízszint is. Ebből az következik, hogy a barlangi patak nem követi többé teljes hosszában eredeti útját, hanem folyása közben vízének egy részét a barlangban lévő közethasadékokon és nyelőkön át az újonnan alakuló, mélyebb karsztvízszintre adja le.

Az újabb, mélyebb szinten új barlangrendszer alakul ki, mely vizét a régi karsztforrás szintjénél alacsonyabb szinten fakadó, fiatalabb karsztforrásnál hozza felszínre. Ez az alsó barlang-

szén a felszínig  
ingok, zombolyok,  
tálalakú dolinák  
sok kis rés be-

torlaszolja a be-  
utat. A törmelék  
tes barlangjárt.  
melyek, patakok  
karsztforrásokat  
középső és alsó-  
nemcsak vízszin-  
n is tagoltak ezek  
erek.

lecsapoló felszíni  
e általában gyors-  
a barlangi pata-  
obb a víztömege  
yó völgye tehát  
leszáll az általa  
vízszint is. Ebből  
a barlangi patak  
es hosszában ere-  
lyása közben vi-  
barlangban lévő  
nyelőkön át az  
élyebb karsztvíz-

bb szinten új bar-  
ki, mely vizét a  
jénél alacsonyabb  
labb karsztforrás-  
sz az alsó barlang-  
vesztí vizét, for-

ízszint nem pár-  
s elenyészik, para-

t összes repedéseit  
ggatottan rajzolt,

ndkívi csapadék,  
ete néha szűknek  
; újból vízvezetővé  
eket az időszakos,  
ossággal kell érté-  
lezéséhez.

nem ment végbe  
5 állt rendelkezésre  
yorsabb süllyedése  
folytán kialakult

emeletes barlangokat (barlangrendszereket) terraszbarlangoknak nevezzük, mert szintjük egy-egy régi folyami terrasz szintjére mérvadó.

De nemcsak a völgyek süllyedése, hanem egyes karsztrögök tektonikus hatásokra visszavezethető függőleges mozgása következtében is keletkezettek egymással közlekedő emeletes barlangrendszerek.

A geológiai harmadkorban, amikor a karsztosodó mészkörögök erőteljesebb mozgása végbement, egyes rögök emelkedtek és süllyedtek. Süllyedéskor az egész barlangrendszer a benne lévő vízzel együtt nagyobb mélységbe került. Fúrásokkal sikerült már ilyen, többszáz méter mélységbe süllyedt barlangrendszereket harántolni. Ezek okozták a széntermelésünket annyira megnehezítő vízbetöréseket.

A mélybe süllyedt karsztrögökben tárolt víz áramlása természetesen megszűnik és ezzel megszűnik a karsztosodás, üregképződés folyamata is. Sőt ellenkezőleg, a nyomás- és hőmérsékleti viszonyok változása folytán megindul a víz kalciumhidrokarbonáttartalmának kiválása. Ennek következtében a kisebb üregek, hézagok teljesen elcalcitosodnak, a nagyobbak falát pedig vastag kalcitkristályréteg vonja be. Ily módon *eltömődési folyamat* indul meg, amit számos fúrás is bizonyít.

A felszínről a barlangjáratokba kerülő víz földalatti útjában általában nem szűrődik. Ezért tavaszi árvizek vagy nagy intenzitású esők után a barlangokba sok lebegő hordalékot tartalmazó víz kerül.

Visszaduzzadások alkalmával a tágabb járatokban, tavakban a hordalék egy része leülepedik. Ily módon tekintélyes vastagságú *agyaglerakódások* keletkeznek, amelyek a mélyebben fekvő szakaszokat esetleg teljesen eltömhetik. Ezek az agyaggal kitöltött barlangjáratok veszélyeztethetik a mesterséges vízfeltárás sikerét.

A fentebb tárgyaltakból tudjuk, hogy a nagy karszttömegekben egymással összefüggő járatok, hézagok, hasadékok vannak. Az ezekben lévő víz tehát közlekedik, azonos hidrosztatikus nyomás alatt áll. Ha a karsztvíztömeg abszolút nyugalomban lenne, vagyis a csapadékvíz nem szaporítaná és természetes vagy mesterséges megcsapolás nem csökkentené, tökéletesen sík karsztvízszint alakulhatna ki.

A valóságban azonban ez a *karsztvízszint nem vízszintes sík*. A karsztvíztömeg ott kapja a legtöbb utánpótlást, ahol legtöbb a csapadék, tehát általában a legmagasabb hegyek alatt. A karsztvízszint itt feldomborodik. A hegység szélén, ahol a karsztvíz források alakjában nyíltan, vagy láposodás alakjában rejtve felszínre bukkan, a karsztvízszint elég hirtelen lesüllyed.

A vízszint alakulásában erőteljesen közrejátszik még a karsztosodó kőzetek járatainak nagysága, keresztmetszete, ami a víz áramlási sebességét befolyásolja. Ott, ahol a karsztvíz tág hasadékokban, nagyméretű barlangokban áramlik, mint általában a mészkőben, hamar kiegyenlítődik a csapadékutánpótlásos és a lecsapolóhelyek közötti vízszintkülönbség. Egészen más a helyzet viszont szűk járatokban, hajszálrepedésekben, pl. dolomitban, közlekedő víz esetében. Itt mindig nagy a különbség a csapadékfelvétel hely és a lecsapolóhely környékének vízszintje között. Ezt igen szembevetően láthatjuk pl. a Bakony dolomitjánál, ahol a csóri források a +122 m-es szinten fakadnak, de már Veszprém környékén a karsztvízszint a +200 m-es szinten alakult ki. Ezzel szemben a mészkőből felépített, nagy kiterjedésű dorog-tatai területen, ahol a karsztvíz tág járatokban közlekedhet, nagyjából a +130 ÷ 140 m-es szint képviseli a karsztvíznívót.

Itt meg kell még említenünk, hogy az összefüggő karsztvízszint még sokak által vitatott probléma. Az ellentétes vélemények azonban, megítélésünk szerint, a karsztvízszint fogalmának nem elég egyöntetű értelmezéséből erednek.

Az egységes karsztvízszint ellenzői azt állítják, hogy ha létezne egy ilyen vízszint, akkor a karsztos kőzetben bárhol e szint alá fúrva, vizet kellene kapni, mint pl. a

homokban vagy kavicsban. Ilyen értelmezésben természetesen nem létezik egységes karsztvízszint, hiszen a karsztvíz csak különböző mélységben lévő járatokban található, ahol a mélységtől függő nyomás alatt áll. Szabatosan kifejezve, tehát csak egy *elméleti hidrosztatikus nyugalmi karsztvízszint* létezik. Ennek ismeretében tehát nem azt lehet megmondani, hogy milyen mélységben érhető el a víz, hanem azt, hogy a megfűrt karsztjáratban talált víz milyen magasságban fog megállapodni. A magunk részéről ilyen értelmezésben használjuk a karsztvízszint fogalmát.

### A karsztforrások

A karsztvíz ott, ahol a terep a mélykarszt nyugalmi szintjét vagy pedig a karsztosodó kőzet és a vízzáró réteg határát metszi, karsztforrás alakjában felszínre tör. Vannak ettől eltérő esetek is, mint pl. az Adriai-tenger mentén, ahol a karsztvíz a tenger alatt jelenik meg. Néha nem forrásban, hanem nagykiterjedésű láposodásban bukkan felszínre. Ezek az esetek azonban víztermelés szempontjából nem jelentősek.

Víztermelés szempontjából lényeges különbséget kell tennünk a leszálló karsztvízből táplálkozó, a nyugalmi karsztvízszint felett fakadó források és a karsztvízszint alatti, mélykarszteredetű források között.

A leszálló karsztvízből eredő forrásokra általában jellemző, hogy magasan a völgytalp felett fakadnak. Vízhozamuk közvetlenül a csapadék hatása alatt áll, tehát erősen ingadozik. Különösen mészkőből eredő forrásoknál szembevetendő ez az erős hozamingadozás. A mészkőben lévő tág hasadékok, jól kialakult barlangjáratok gyorsan, nagyobb ellenállás nélkül vezetnek le a csapadékvizet. Itt természetesen szűrődésről nem lehet szó. Nagyintenzitású csapadék vagy hirtelen hóolvadás után a víz zavarosan jelenik meg a forrásnál. Ilyenkor a bakteriológiai fertőzés veszélye is igen nagy, tehát leszálló karsztvízből táplálkozó, mészkőben lévő forrásoknál a védterület kijelölésére különös gondot kell fordítani és a forrásvizet — ha ivóvízellátási célokat szolgál — szigorú bakteriológiai ellenőrzés alatt kell tartani.

Kedvezőbbek általában a leszálló karsztvíz dolomitból eredő forrásai. A kevésbé karsztosodó dolomit keskenyebb járataiban, hajszáltrepedéseiben, lassabban folyhat a víz. A forrás tehát nem érzi meg oly közvetlenül a csapadékot, a csapadék okozta hozamtöbblet csak hosszabb időre eloszta, egyenletesebben jelentkezik. Ugyancsak kedvezőbbek dolomitban a szűrődési lehetőségek is. Zavarosodást, bakteriológiai fertőzést jóval ritkábban tapasztalunk.

Lényegesen megbízhatóbbak a völgyek mélyebb pontjain, a mélykarsztból fakadó források. Végeredményben ugyan ezek is a csapadék hatása alatt állnak, de rendszerint igen távoli vidék csapadékát érzik csak meg közvetve. A nyugalmi karsztvízszint a csapadékos helyen feldomborodik, ezáltal nagy területen megnő a hidrosztatikus nyomás és ennek hatása alatt növekszik a forrás vízhozama. Tehát nem az akkor leesett csapadékvíz jelentkezik a forrásban, hanem a forrás környékén, többnyire mélyreható törésvonal mentén régebben tárolt és már jól megsűrűt víz. Az ilyen források tartaléktere jóval nagyobb, a csapadék okozta hatás közvetettebb, ezért vízhozamuk sokkal kiegyensúlyozottabb. Zavarosodást tisztán mélykarsztból eredő forrásoknál nem észleltek.

Előfordulhat, hogy egy mélykarsztból eredő forrás járataiba a leszálló karsztvíz járatai is betorkollanak. Ez esetben a csapadék már megbolygathatja a hozam egyenletességét. Igen érdekes példa erre a jószafoi Jószaforrás. Ez általában az aggteleki mélykarszt vizét szolgáltatja. Ilyenkor vízhozama elég egyenletes, vize tiszta és baktériummentes. Csapadékos időben azonban felveszi az aggteleki barlangban végigfolyó zavaros vizeket is. Ezek földalatti víznyelőkön keresztül jutnak a barlangi patak-

zálló  
forrás  
között  
en  
für  
zálló  
forrás  
dolomit-  
ban  
értőbb  
élykarszt  
fakadó  
szűrődés

létezik egységes  
okban található,  
csak egy *elméleti*  
nem azt lehet  
hogy a megfűrt  
magunk részé-

pedig a karszto-  
an felszínre tör.  
ahol a karsztvíz  
sú láposodásban  
nem jelentősek.  
leszálló karszt-  
a karsztvízszint

magasan a völgy-  
alatt áll, tehát  
tűnő ez az erős  
barlangjáratok  
tt természetesen  
tán a víz zavarosan,  
re is igen nagy,  
védterület kijelölé-  
slokat szolgál —

kevésbé karszto-  
n folyhat a víz.  
k okozta hozam-  
Ugyancsak ked-  
iológiai fertőzést

lykarsztból fakadó  
k, de rendszerint  
karsztvízszint a  
a hidrosztatikus  
t nem az akkor  
ékén, többnyire  
t víz. Az ilyen  
vetettebb, ezért  
l eredő források-

eszálló karsztvíz  
a hozam egyen-  
ban az aggteleki  
ze tiszta és bak-  
rlangban végig-  
barlangi patak-

ból a forrás járataiba, hirtelen megnövelik vízhozamát és vizét zavarossá teszik. Különösen télen, hóolvadás alkalmával lehet megfigyelni, hogy a forrás mélykarszt-eredetű, tiszta, kb. 10 C fokos víz felett hogyan jelenik meg a közvetlenül felszíni eredetű, 3—4 fokos zavaros barlangi víz. Igen erős hóolvadáskor a forrásjáratok nem képesek levezetni a rendkívüli vízmennyiséget. Ilyenkor a víz visszaduzzad, és régi elhagyott forrásjárataiban, 12 méterrel a Jósvaforrás felett, jelenik meg időszakos forrás alakjában.

Ha a terepszint a törésvonalat, amely mentén a karsztos rög a mélybe süllyedt, a nyugalmi vízszint alatt metszi, a nagy mélységben lévő karsztvíz a törésvonal mentén felszínre tör. Az ilyen, *nagyobb mélységből feltörő karsztvíz* a geotermikus gradiensnek megfelelően felmelegszik és mint *langyos vagy hévforrás* jelenik meg. Ha a törésvonal elég mélyreható, a karsztforrás vize karsztos kőzetekben elő nem forduló anyagokat, rádiumemanációt is tartalmazhat, mint pl. a budai hévforrások. Ez azonban még nem bizonyíték e források juvenilis eredete mellett, hanem postvulkanikus exhalációkra vezethető vissza. A karsztforrások vízhozamának csapadékkal való többé-kevésbé közvetett összefüggése kétségtelen bizonyíték a karsztvíz felszíni eredete mellett.

Egyes elméletek szerint a karszt legmélyebb rétegeiben lévő víz ősi eredetű, a mészszipa kőve szilárdulása alkalmával «kiizzadt» víz. Más elméletek szerint a karsztrög süllyedése alkalmával még a kőzet járataiban tárolt vízről van szó. Véleményünk szerint erről a kérdéstről még sokat lehet vitatkozni, eldöntése azonban tisztán elméleti jelentőségű és víztermelés szempontjából lényegtelen. Lényeges csak az, hogy ezek a nagy mélységben lévő vízrétegek a fúrások tanúsága szerint közlekednek a felszínközeli karsztvízrétegekkel és velük azonos a nyugalmi vízszintjük.

A budai hévforrásoknál a Duna közelsége miatt nem figyelhető meg ugyan a csapadékkal való összefüggés, de más hegyszeremi töréseknél fakadó mélykarszt-eredetű langyosforrásoknál, mint pl. a tatai forrásoknál, a Csóri, Iszkaszentgyörgyi forrásoknál, a hévizi tó forrásánál behizonyosodott a forrás vízhozamának a csapadékkal való összefüggése. Ez az összefüggés természetesen csak havi, néha évi átlagokban mutatható ki. Pl. a tatai Pokolforrás 1949-ben megérezte az előző évek téli csapadékhiányát és teljesen elapadt. Hasonló okból apadt ki az egyébként bővizű, az évi középhőmérsékletnél magasabb hőfokú Zámolyi-forrás is.

A mélykarszt vize nincsen teljesen nyugalomban, hanem a hegység magasabb részei felől, ahol a csapadékutánpótlás a legnagyobb, igen lassú áramlással halad a hegység széle felé és törésvonalak mentén, felmelegedve kerül felszínre. A karsztosodó kőzet szerkezeténél fogva a vízvezető járatok különböző mélységekben torkolnak a törésvonalba. A bennük lévő víz tehát különböző mértékben felmelegedve tör a felszínre. Ez okozza azt a különös jelenséget, hogy ugyanazon törésvonal mentén különböző hőfokú források fakadhatnak. De ezzel magyarázható az a körülmény is, hogy a hidegebb forrásoknál, amelyek kevésbé mély rétegekből erednek és jobban a csapadék hatása alatt állnak, nagyobb vízhozamingadozás észlelhető.

*Valamely karsztforrásnak a vizellátásba való bekapcsolása, foglaltása, előtt legfontosabb kérdés, hogy milyen határok között ingadozik a vízhozama, milyen tartósságúak a jellemző hozamértékek? Erre a kérdésre a legtöbb esetben még a közelmúltban sem tudtunk választ adni, mert a könnyen hozzáférhető budai hévforrásokon kívül csak a pécsi Tettye-forrásnál végeztek rendszeres vízhozamméréseket. Az ország többi forrásáról nem voltak rendszeres hozammérési vagy kémiai elemzési adataink. Még szakleírásokban is találkozunk sokszor a téves felfogással, hogy egy karsztforrás hozamát egyetlen mérési eredménnyel jellemezni lehet. A mérés napjának közlése nélkül a vízhozam-adat teljesen értéktelen. Valamely forrás vízadókéességét csak akkor tudjuk jól megítélni, ha a maximális és minimális hozamát ismerjük. Ehhez természetesen folyamatosan végzett mérések szükségesek, amivel eddig nem rendelkezünk.*

E rendkívüli hiány pótlására vízrajzi szolgálatunk 1950-ben elhatározta az ország összes forrásainak nyilvántartásba vételét és egyelőre a jelentősebb források rendszeres vizsgálatát, mérését. Ennek köszönhetjük, hogy ma már legalább a nagyobb karsztforrásainkat elég jól ismerjük, vízhozamingadozásukról, minimális hozamukról megbízható képet szereztünk. A legutóbbi évek nagy létesítményeinek tervezésénél már eddig is nagy hasznát vettük ennek a forráskataszternek.

A kataszter igazi értéke azonban évek múlva fog jelentkezni. Ha már évekig gyűjtött adatokkal rendelkezünk, akkor ezek alapján bevezethetjük a források megbízhatósági osztályozását. Minden forrás megbízhatóságát számszerű értékkel, a megbízhatósági indexszel tudjuk jellemezni.

A forrás megbízhatóságát elsősorban vízhozam szempontjából kell megvizsgálni. A nagy vízhozamingadozású forrásoknak nincs elegendő tartatékerük, forrásjárataik rövidek és vízgyűjtőterületük aránylag kis kiterjedésű. A csapadékvíz nem tárolják hosszabb időre, hanem a csapadék lehullása után gyorsan leadják. Az ilyen nagy-ingadozású forrásoknak még az is hátrányuk, hogy tág járataikban nincsen megfelelő szűrési lehetőség, a bakteriológiai fertőzés és a zavarosodás lehetősége tehát fokozott. Ha a maximális vízhozamot a minimális vízhozammal elosztjuk, kapjuk a vízhozam ingadozási számát:

$$I_Q = \frac{Q_{\max}}{Q_{\min}}$$

A vízhozam megbízhatósága szempontjából e számtól függően 6 csoportba osztályozhatjuk a forrásokat. A továbbiakban a csoportok rangszámát fogadjuk el jellemzőül és megbízhatósági indexnek ( $\mu_Q$ ) nevezzük. Ha a

| Vízhozamingadozás<br>( $Q_{\max}/Q_{\min}$ ) | Megbízhatósági index<br>$\mu_Q$ |
|--|---------------------------------|
| 1,0 – 3,0                                    | 6 (kitűnő)                      |
| 3,1 – 5,0                                    | 5 (igen jó)                     |
| 5,1 – 10,0                                   | 4 (jó)                          |
| 10,1 – 20,0                                  | 3 (mérsékelt)                   |
| 20,1 – 100,0                                 | 2 (rossz)                       |
| > 100  | 1 (igen rossz)                  |

A vízhozamingadozáson kívül lényeges a forrásvíz hőmérsékleti változásainak ismerete is. Ha a forrásvíz hőmérséklete erősen követi a levegő hőmérsékletét, arra lehet következtetni, hogy járatai a felszín közelében alakultak ki, tehát könnyen átveszik a levegő és a csapadék hőmérsékletét. Nagy mélységben lévő forráserekkel rendelkező forrás kevésbé érzi meg a külszíni hőmérsékletváltozásokat, mint a felszínhez közelálló érhálózatból táplálkozó forrás. A forrás megbízhatóságának értékelésénél tehát a hőmérsékleti ingadozást is figyelembe kell venni.

A vízrajzi szolgálat forrásnyilvántartásával kapcsolatban végzett számos mérés alapján hőmérsékleti megbízhatóság szempontjából az alábbi osztályozás javasolható:

| Hőmérsékleti<br>ingadozás<br>( $t_{\max}/t_{\min}$ ) | Megbízhatósági<br>indexek<br>( $\mu_t$ ) |
|--|--|
| 1,00 – 1,15  | 6 (kitűnő)                               |
| 1,16 – 1,25  | 5 (igen jó)                              |
| 1,26 – 1,35  | 4 (jó)                                   |
| 1,36 – 1,45  | 3 (mérsékelt)                            |
| 1,46 – 1,55  | 2 (rossz)                                |
| > 1,55   | 1 (igen rossz)                           |

elhatározta az ország  
források rendszeres  
a nagyobb karszt-  
imális hozamukról  
veinek tervezésénél

ni. Ha már évekig  
tjük a források meg-  
rű értékkel, a meg-

jából kell megvizs-  
artafétkerük, forrás-  
í. A csapadékvizet  
in gyorsan leadják.  
ogy tág járataikban  
zavarosodás lehető-  
ozammal elosztjuk,

iggően 6 csoportba  
számát fogadjuk el

rsékleleti változásainak  
hőmérsékletét, arra  
ki, tehát könnyen  
n lévő forrásokkal  
változásokat, mint a  
megbízhatóságának  
venni.

égett számos mérés  
tályozás javasolható:

Igen lényeges végül a forrásvíz kémiai összetételének állandósága. Tökéletes kémiai állandóság egyik forrásvíznél sem tapasztalható, tehát a források elemzési adatainak közlésénél tulajdonképpen mindig meg kellene adni a mintavételnél mért vízhozamot is. Nagyobb mélységből eredő forrásoknál, tehát általában megbízható forrásoknál, ahol a vízhozamingadozás is csekély, a kémiai összetétel ingadozása is elhanyagolható.

Ha a forrás felszinközeli vagy tág, tehát szűrődést nem biztosító járatokból ered, a csapadék hatására hamar «fellágyul» a víz, az oldott alkatrészek mennyisége, a víz keménysége csökken. Ezek a tág járatokra valló források megbízhatatlanabbak bakteriológiai szűrődés szempontjából is. A kémiai összetétel ingadozása tehát ugyan csak jellemző a forrás jóságára.

Természetesen igen nehézkes lenne a forrásvíz minden egyes alkatrészének ingadozását nyilvántartani és ingadozási arányukat egyetlen számban kifejezni. Ehelyett sokkal egyszerűbben járunk el, ha a kémiai összetétel változását az ionkoncentrációtól függő elektromos ellenállás változásával fejezzük ki és ennek ingadozási aránya alapján fejezzük ki a  $\mu_R$  megbízhatósági indexszel a forrás kémiai megbízhatóságát.

Az eddig végzett ellenállásmérések alapján kémiai megbízhatóság szempontjából az alábbi osztályozás közelíti meg a gyakorlati követelményeket:

| Az elektromos ellenállás<br>ingadozása<br>( $R_{max}/R_{min}$ ) | Megbízhatósági<br>index<br>( $\mu_R$ ) |
|---|--|
| 1,00 – 1,05   | 6 (kitűnő)                             |
| 1,06 – 1,10   | 5 (igen jó)                            |
| 1,11 – 1,15   | 4 (jó)                                 |
| 1,16 – 1,25   | 3 (mérsékelten jó)                     |
| 1,26 – 1,35   | 2 (rossz)                              |
| > 1,35  | 1 (igen rossz)                         |

Valamely forrás megbízhatósága legjobban a felsorolt három megbízhatósági index együttes figyelembevételével ítéltető meg. Arra gondolhatnánk, hogy a három index értéke alapján egy általános megbízhatósági indexet számítsunk ki. Ez azonban gyakorlati szempontból nem lenne célravezető, mert aszerint, hogy milyen követelményeket támasztunk a forrással szemben, más-más a súlya az egyik vagy másik indexnek.

A források végleges megbízhatósági besorolása természetesen csak igen hosszú időn keresztül rendszeresen végzett megfigyelések, mérések alapján lehetséges. Közelítő tájékoztatást azonban már a forrásnyilvántartás 1950 óta végzett mérései is adnak.

Az eddigi tapasztalatok szerint a vízhozam-megbízhatósági index többnyire befolyásolja a két másik indexet is, ezt azonban nem lehet általánosítani. A túladali táblázatban például közlünk néhány érdekesebb értéket.

Kétségtelen, hogy általában a vízhozam-megbízhatósági index súlya a legnagyobb. Ebből a szempontból pl. a táblázatban a Tettye-forrás egyike a legrosszabbaknak. E hátrány ellenére is be kellett állítani Pécs vízellátásának szolgálatába. Megbízhatatlansága miatt természetesen más vízszervezési lehetőségekről is gondoskodtak, ezért ezt a forrást csak az év egy részében veszik igénybe.

Igen jó osztályzatot kap a lillafüredi Anna-barlangban fakadó I. számú forrás, amelyet bekapcsolnak Nagy-Miskolc vízellátásába.

| A forrás neve                    | Q <sub>max</sub> | Q <sub>min</sub> | J <sub>Q</sub> | μ <sub>Q</sub> | t <sub>max</sub> | t <sub>min</sub> | J <sub>t</sub> | μ <sub>t</sub> | R <sub>max</sub> | R <sub>min</sub> | J <sub>R</sub> | μ <sub>R</sub> |
|----------------------------------|------------------|------------------|----------------|----------------|------------------|------------------|----------------|----------------|------------------|------------------|----------------|----------------|
|                                  | liter/perc       |                  |                |                | C°               |                  |                |                | ohm              |                  |                |                |
| Garadna<br>(Bükk)                | 12800            | 934              | 13,8           | 3              | 8,5              | 7,0              | 1,21           | 5              | 3207             | 2726             | 1,20           | 3              |
| Anna-<br>barlang I.<br>(Bükk)    | 1980             | 1098             | 1,08           | 6              | 10,0             | 9,0              | 1,11           | 6              | 2760             | 2260             | 1,21           | 3              |
| Anna-<br>barlang II.<br>(Bükk)   | 4212             | 228              | 18,6           | 3              | 13,0             | 8,1              | 1,60           | 1              | 3090             | 2450             | 1,27           | 2              |
| Abaligeti<br>barlang<br>(Mecsek) | 4020             | 279              | 14,5           | 3              | 11,0             | 9,0              | 1,21           | 5              | 2664             | 2171             | 1,23           | 3              |
| Tettye<br>(Mecsek)               | 33000            | 155              | 212,9          | 1              | 15,8             | 13,0             | 1,22           | 5              | 1795             | 1500             | 1,20           | 3              |

### A karsztvíz minősége, összefüggése a csapadékkal

A karsztvíz kémiai összetétele egészségügyi, tehát ivóvízellátási szempontból általában teljesen megfelelő. A víz kalcium- és magnéziumiontartalmától eredő keménysége, nagy megközelítéssel, 15–24 német keménységi fok között ingadozik, tehát közepesen kemény víznek mondható.

Az összes keménységet meg kell különböztetni a keménységnek attól a részétől, amit a hidrokarbonátmaradékhoz kötött kalcium és magnézium mennyisége okoz. Ezt nevezzük karbonátkeménységnek. Általában összetévesztik a változó keménységgel, amely a víz felforralása után maradó és az összes keménység közötti különbség. Ez azért nem egészen azonos a karbonátkeménységgel, mert forralás következtében nem bomlanak el az összes kalcium- és magnéziumhidrokarbonátok. Ipari vízellátás szempontjából inkább a változó keménység értéke a mértékadó, ezért a karsztvizeknél a gyakorlatban ezt és az összes keménységet vizsgálják meg.

Eddig nem sikerült olyan törvényszerűséget találni, melynek alapján a víz kémiai összetételéből minden kétséget kizáróan a karszt-eredetre lehetne következtetni. Eléggő jellemző a karsztvizekre, hogy az összes keménység legnagyobb részét a változó keménység adja. A kettő közötti különbség, az állandó keménység, többnyire csekély. Például szolgáljanak az alábbi értékek:

| A karsztvíz eredete  | Összes keménység<br>(német keménységi fok) | Változó keménység |
|----------------------|--|-------------------|
| Dorogi bánya         | 24,4                                       | 20,4              |
| Aggteleki barlang    | 13,6                                       | 12,9              |
| Diósgyőr tavi forrás | 17,1                                       | 16,5              |
| Zámolyi forrás       | 18,76                                      | 17,8              |

Eruptív kőzetekből fakadó vizeknél — azon kívül, hogy jóval lágyabbak — a kétféle keménység közötti különbség általában nagyobb. Műszaki szempontból kellemetlen lehet néha a karsztvíz szabad szén-sav tartalma.

A karsztvizek keménységük miatt sokkal üdítőbbek, mint a lágyabb — más eredetű — forrásvizek. Helytelen felfogás, hogy keménységük golyvaképződést idéz elő. Ez nem a víz keménységével függ össze, hanem a magyarországi vizekre sajnos eléggő jellemző

| $R_{min}$ | $J_R$ | $H_R$ |
|-----------|-------|-------|
| 726       | 1,20  | 3     |
| 260       | 1,21  | 3     |
| 450       | 1,27  | 2     |
| 171       | 1,23  | 3     |
| 500       | 1,20  | 3     |

szempontból  
almától eredő  
ött ingadozik,

tól a részétől,  
nyisége okoz.  
keménységgel,  
tti különbség.  
következtében  
pari vízellátás  
a karsztvizek-

n a víz kémiai  
következtetni.  
észét a változó  
nyire csekély.

yabbak — a  
szempontból

ás eredetű —  
elő. Ez nem  
éggé jellemző

jódhiány következménye, amit jódozott konyhasó bevezetésével kívánnak ellensúlyozni.

Az egyes karsztvíztípusoknál változik a kalcium- és magnéziumtartalom aránya. Ez felhasználás szempontjából ugyan lényegtelen, de az arányból következtetni lehet arra, hogy a víz földalatti útjában főleg mészkövön vagy dolomiton haladt-e át? A dunántúli, főleg dolomiteredetű karsztvizeknél a kalcium-magnézium arány közelítőleg 1:1 és 1:5 között váltakozik. A Bükk-hegység főleg mészkőeredetű karsztvizeinél ez az arány kb. 1:10.

Ha a karsztvíz keménysége ivóvíz szempontjából nem is kifogásolható, annál nagyobb gondot okoz ipari felhasználás esetében, ahol a víz ilyenfokú keménysége gyakran már nem kívánatos. Ha azonban lágyításra kerül sor, a lágyítóberendezésekkel kapcsolatos műszaki okokból megkívánják, hogy a víz kémiai összetétele, elsősorban keménysége állandó legyen.

A mesterségesen kitermelt és a nagyobb mélységből eredő karsztvizeknél ez a követelmény kielégíthető. A karsztvíz ilyen esetben hosszabb földalatti utat tesz meg; nem változik közvetlenül a csapadék mennyiségével és ezért egyenletesen oldja a mészkőből és dolomitból a keménységet befolyásoló kalcium- és magnéziumionokat. Az ilyen vizekkel táplált ipartelepek lágyítóberendezései tehát egyenletesen működhetnek.

Más a helyzet a leszálló karsztvízből táplálkozó források esetében. Ezek a források közvetlenül a felszínre hullott, a csapadékviszonyoktól függő sebességgel haladó és ennek megfelelően különböző mennyiségű kalciumot, magnéziumot oldó, erősen fluktuáló keménységű vizet szolgáltatnak. Nagyobb vízhozam esetén nemcsak az oldásra rendelkezésre álló idő csökken, hanem a víz mennyiségéhez képest csökken az oldási felületet nyújtó nedvesített keresztmetszet is. A vízhozam növekedésével egyidejűleg tehát lágylul a víz. Ezt a keménységváltakozást az ilyen forrásokból táplált ipartelepek lágyítóberendezésének tervezésénél figyelembe kell venni.

A fentiekhez szorosan kapcsolódik a karsztforrások vízhozamának és a csapadékkal való összefüggésnek kérdése is. Azok a leszálló karsztvízből táplálkozó források, amelyek mészkőből erednek, másképpen reagálnak a csapadékra, mint a dolomitból eredők.

A mészkőből eredő források általában igen rövid idő alatt — néhány órától 4–5 napig terjedő időn belül — érzik meg a csapadékot. Ezeknek a forrásoknak többnyire jól kialakult barlangjárataik vannak, amelyek a levezetendő vízmennyiséggel szemben nem fejtenek ki nagyobb ellenállást. A nagyobb csapadék okozta víztöbblet tehát gyorsan, akadálytalanul folyhat a forrás felé. Ilyen esetben szűrődésről természetesen nem lehet szó. Ha a víz a felszínről zavarosan érkezik a földalatti vízrendszerbe, nem tisztul meg lényegesen, hanem zavarosan ömlik a forrásból.

De akkor is lehetséges a víz megzavarosodása, ha a csapadékvíz a felszínről tisztán érkezik a forráshálózatba. Az aktív forrásjáratok ugyanis esetleg nem tudják a megnövekedett víztömeget elég gyorsan elvezetni, amiért a víz egy része a magasabban levő, régi, kiapadt járatokba kényszerül és felzavarja az agyagos lerakódásokat. Ilyen időszakos zavarosodások sok kellemetlenséget okoznak néhány régebben tervezett vízműnél.

Kedvezőbbek a dolomitból eredő források. Dolomitban ritkák a tág barlangjáratok. A víz inkább szűk hasadékokban, a dolomit kataklázisos szerkezetéből származó hajszálerékben, nagy sűrűlódási ellenállást legyőzve közlekedik. Itt nincsen lehetőség olyan nagyfokú vízhozamemelkedésre, mint a mészkőben. A víz zavarosodásától sem kell tartani. A nagyobb csapadék okozta vízhozamtöbblet csak nagy keséssel jelentkezik.

Bár kétségtelen a karsztforrások hozamának a csapadékviszonyokkal való összefüggése, eddig nem sikerült erre szigorú, törvényszerű szabályosságot kimutatni.

mélyből  
vize  
kemén

leszálló  
karsztvíz  
források  
lágylul

hozam  
↓  
mészkő  
tág  
barlang  
járatok

dolomit  
szűk  
járatok  
kevesebb  
de tiszt  
víz

Nemcsak a különböző források érzik meg más-más módon a csapadékot, hanem még ugyanaz a forrás is a legváltozatosabb módon reagál azonos csapadékmennyiségekre. Ugyanis nemcsak a csapadék mennyisége, hanem hevessége (intenzitása), vagyis az időegység alatt leesett csapadékmennyiség is fontos tényező ebben a bonyolult összefüggésben. Döntő végül az a körülmény, hogy a csapadék előtt mennyire volt a járatrendszer, illetve az altalaj átítatva? Hosszú csapadékos periódus után már aránylag kis csapadékmennyiség is hatalmas hozamemelkedést eredményezhet, szárazság után pedig még tekintélyes csapadék sem emeli lényegesen a forrás vízhozamát. Az összefüggések kutatásánál tehát mindig az előzetes csapadékviszonyokra is figyelemmel kell lenni.

A mélykarsztból fakadó forrásoknál az összefüggés törvényszerűségének kimutatását megnehezíti az, hogy nem ismerhetjük pontosan a vízgyűjtőterületet, tehát nem tudjuk, hogy melyik csapadékmérőállomás adatait vehetjük alapul. Ezen kívül ilyen forrásoknál a légnyomás is befolyásolja a vízhozamot.

A fent tárgyaltak alapján könnyen lehet a karsztvizek bakteriológiai viszonyaira is következtetni. Az eddigi megfigyelések szerint a leszálló karsztvízből közvetlenül táplálkozó forrásoknál, elsősorban a mészkőből eredőknél, gyakran észleltek kolifertőzést, amely különösen csapadékos időben, fokozott vízhozam mellett, nem kívánatos mértékre emelkedett. Az ilyen források járataiban alig van szűrődési lehetőség, ezért foglálásuknál, felhasználásuknál különös tekintettel kell lenni a vízgyűjtőterület szennyezőképességére és gondoskodni kell klórozóberendezésről. A nagy vízhozam-ingadozású források tehát közegészségügyi szempontból is megbízhatatlanabbak, mint a kiegyensúlyozottak.

Dolomitból eredő, valamint mélykarsztból táplálkozó forrásoknál eddig alig észleltek kolifertőzést. Általában bakteriológiailag tisztának minősíthetjük a nagyobb mélységből mesterségesen kitermelt karsztvizet is.

Évekkel ezelőtt, amikor Budapest ivóvízellátásával kapcsolatban előtérbe került a karsztvízkérdés, viták keletkeztek arról, hogy a karsztvíz fertőzött-e vagy sem? Amint látjuk, nem lehet a kérdést ilyen általánosságban feltenni és megválaszolni, hanem minden esetben külön meg kell vizsgálni.

A karsztvíz elnevezésével kapcsolatban meg kell jegyeznünk, hogy az elnevezés szabatos fogalmazását illetően még nem alakult ki teljesen egyöntetű vélemény. Gyakorlati szempontból azonban tökéletesen kielégítő, ha azt a vizet nevezzük karsztvíznek, amely földalatti útjának nagyobb részét karsztosodó közelben teszi meg.

A karsztvizet — főleg bányászaink — triászvíznek is szokták nevezni, mert nálunk főleg triászkorú mészkőben és dolomitban fordul elő. Ez az elnevezés azonban nemcsak azért helytelen, mert nemcsak triászkorú, hanem karbon-, jura-, kréta- és harmadkorú karsztosodó és víztartó kőzetek is vannak, hanem azért is, mert az elnevezés azt a látszatot kelti, mintha nem a kőzet, hanem a víz korát határozná meg.

### A magyarországi karsztvidékek

Az alábbiakban összefoglaló áttekintést kívánunk adni azokról a legfontosabb magyarországi területekről, ahol a felszínen vagy gazdaságosan elérhető mélységben karsztvíznyerési lehetőségek vannak.

Az aggteleki karsztvidék. Hazánk északi részében, de határainkon túlterjedően emelkedik a Gömör-tornai mészkőhegység, a legjellegzetesebb karsztvidékek egyike. Minden karsztjelenségnek valóságos mintapéldányait találhatjuk itt meg. Hatalmas barlangok, búvópatakok, víznyelők, bővizű karsztforrások, dolinák és zsombolyok a karszt igazi iskolapéldájává avatják ezt a hegységet, melynek magyar része magában foglalja az aggteleki barlang egy részét is.

padékot, hanem még  
padékmennyiségekre.  
tenzitása), vagyis az  
n a bonyolult össze-  
ített mennyire volt a  
periódus után már  
ést eredményezhet,  
egyesen a forrás víz-  
csapadékvizonyokra

rűségének kimutatá-  
területet, tehát nem  
alapul. Ezen kívül

teriológiai viszonyaira  
ztvízből közvetlenül  
akran észlelték kolin  
n mellett, nem kívá-  
szűrődési lehetőség,  
ni a vízgyűjtőterület  
A nagy vízhozam-  
egbizhatóbbak,

rásoknál eddig alig  
síthetjük a nagyobb

tban előtérbe került  
rtözött-e vagy sem?  
ni és megválaszolni,

k, hogy az elnevezés  
gyöntetű vélemény.  
vizet nevezzük karszt-  
szi meg.

okták nevezni, mert  
iz elnevezés azonban  
arbon-, jura-, kréta-  
m azért is, mert az  
orát határozná meg.

ról a legfontosabb  
elérhető mélységben

rainkon túlterjedően  
arsztvidékek egyike.  
k itt meg. Hatalmas  
linák és zsombolyok  
agyar része magában

A hegység szerkezetét általában nem bontják meg vízzáró rétegek, ezért itt hazánk határain túlterjedő egységes karsztvízszint alakulhatott ki. Magyar területen a mélyen bevágott Jósva- és Bódva-völgy csapolja le itt a karsztvizet. A 190 és 210 m tengerszint feletti magasságban fakadó karsztforrások közt a legbővebb a Jósvaforrás, az aggteleki barlangrendszer vízének a kifolyása. Vízhozama 100 és több ezer liter/sec között ingadozik. Ha rendkívül csapadékos időben az alsó barlangrendszer nem győzi a megnövekedett vízhozamot elvezetni, még 12 m-rel magasabban is nyílnak időszakos források. A 210 m-es szint alatt még számos más bővizű forrás is fakad, amelyek együttes hozama kb. 300 liter/sec.

A hegység bódvavölgyi peremi törésvonala mentén nagyobb mélységből is fakadnak langyos karsztforrások, amelyeknek a hőmérséklete a 24 fokot is eléri, pl. a Tornanádaska, Bódvaszilás és Szalonna községnél fakadó források.

A hegység nagy kiterjedése, továbbá fennsíksterű felépítése miatt, amely a csapadékvíz legnagyobb részének a mélybe való szivárgását lehetővé teszi, ezen a területen igen nagy vízfeltárási lehetőségek nyílnak.

A Bükk-hegység. Az előbbi hegységtől délre emelkedik az iparosodás szempontjából jóval jelentősebb Bükk-hegység. A kettő között találjuk még a kisterületű ú. n. upponyi sziget-hegységet, melynek jelentősége azonban csak alárendelt.

A Bükk-hegység legkiemelkedőbb része, a Bükk-plató és közvetlen környéke is karsztos terület, de nem a szónak abban a klasszikus értelmében, mint az előbbi vázolt hegység. A karsztosodásra kiválóan alkalmas triászkorú mészkő karsztosodásra kevésbé alkalmas karbonképződményekkel váltakozik, és ezeket a települési viszonyokat közbeékelte vízzáró palák teszik még bonyolultabbá. Ennek következményeként nem szólhatunk itt nagy kiterjedésű karsztvíztömegekről és egységes karsztvízszintről. Itt csak több kisebb, többé-kevésbé független, önálló karszttegység alakulhatott ki, mindegyik a maga önálló földalatti vízrendszerével. Ez természetesen a forrásokra is rányomja bélyegét, amelyek a legkülönbözőbb, 180-tól 600 m tengerszint feletti magasságban fakadnak.

A források közül a miskolci vízművet ellátó miskolc-tapolcai forrásokon kívül a Garadna- és Szinavölgyi-források a legfontosabbak, amelyek a rohamosan fejlődő iparvidék vízellátása szempontjából nagy jelentőségűek. Ez utóbbiaknál is észlelhetjük azt az általános érvényű jelenséget, hogy a magasabban fakadó források vízhozama szélsőségesebb határok között ingadozik, így megbízhatóbbak, mint az alacsonyabban fakadók. Ez a magasabban fakadó források kisebb vízgyűjtőterületével, továbbá tágabb és ezért gyorsabb lefolyást biztosító érhálózatával magyarázható.

A 490 m magasságban fakadó Garadna-forrás eddig mért legszélsőségesebb vízhozamai 930 és 12 800 liter/perc. A 200 méterrel alacsonyabban fakadó I. sz. Anna-barlangi forrás vízhozama viszont csak 1100 és 1980 liter/perc között ingadozik, megbízhatósági indexe tehát jobb.

A Bükk déli peremi törése mentén igen bővizű, részben langyos források fakadnak, amelyek közül a legjelentősebbek a miskolc-tapolcai hideg- és melegforrások. A hidegforrások egy részét a miskolci vízmű használja fel, nagy része azonban ma még felhasználatlanul folyik a Hejőbe. A 31 fokos melegforrásokat fürdési célokra használják.

Az említett törésvonallal kapcsolatosak még a latoruti Vízfő, a kácsi hideg- és melegforrások és az egeri melegforrások. Valószínű, hogy a felnémeti mesterséges karsztvízfeltárással is a mélykarsztot sikerült megcsapolni.

Az eddigi kutatások és megfigyelések alapján alig remélhető, hogy a Bükk-plató közvetlen környékén nagyobb karsztvízmennyiséget lehessen mesterségesen feltárni.

Bükk  
triász-  
mészkő  
karbon-  
képződ-  
mennyék  
vízzáró  
palák

A fensíkra hullott csapadéknak a mélybe szivárgott része majdnem teljes egészében újra megjelenik a platószéli forrásoknál. A Bükk többi, főleg déli részére hullott csapadék egy része a már említett déli langyosforrásokban jelenik meg, másik igen tekintélyes része azonban beszivárog a bükki karsztnak támaszkodó harmadkorú alföldi rétegekbe. Ennek az elszivárgó karsztvíznek egy része a bükki déli törés mentén, megfelelő helyeken telepített aknákkal mesterségesen kitermelhető lenne.

*A Dunántúli karszthegység.* Magyarország legnagyobb összefüggő karsztosodó hegysége a Dunántúli-Középhegységnek a Pilissel és Budai hegyekkel kezdődő, majd a Gerecsén, Vértesen, Bakonyon és Balatonfelvidéken át egészen a Keszthely-hegységig terjedő mészköves, dolomitos része. Bár nem tartozik földrajzilag a Dunántúlhoz, hidrológiai szempontból valószínűleg összefügg az említett karszthegységgel a Cserhát DNY-i részében levő néhány mészkőbukkanás, különösen a Nagyszál környékén Szendehelynél és a kódsi bányában talált karsztosodott mészkő.

A föld középkorában, a mezozoikumban, az országot nagykiterjedésű tenger, a Thetys borította. Ez több mint ezer méter vastagságú mészkő- és dolomitüledéket hagyott hátra. Később ezek az üledékek nagy tektonikus mozgások következtében a fent felsorolt hegységekre, tönkökre tagolódtak, amelyekben kiemelkedésük után, a mindenkori erozióbázis mentén, a karsztosodás megindult. E tönkök többé-kevésbé szakaszos emelkedése, süllyedése következtében a legkülönbözőbb szintekben találunk ma karsztosodást a +700 m-es és a -300 m-es magasságok között.

Az említett terület északi részén, a *dorogi szénmedencében*, a karsztosodó mészkő a dorogi Kősziklánál, a Geténél, a Hegyeskőnél stb. felszínre bukkan, de legnagyobb része a föld alatt rejtőzik. Jelenlétét itt a bányászattal kapcsolatos számtalan fúrás és az annyira veszélyes bányavízbetörések mutatták ki. A földalatti karszt, illetve az abban tárolt víz itt állandóan veszélyezteti a széntermelést, mert a mélyen a nyugalmi vízszint alatt folyó széntermelés gyakran megközelíti a mészkő vízvezető járatait, ahonnan a hatalmas nyomás alatt álló karsztvíz a bányákba törhet. Az eddigi kutatófúrások ugyan azt látszanak igazolni, hogy a nagyobb mélységben levő karsztjáratok kisebbek, ami a már említett elkarstosodásra vezethető vissza, de a vízbetörés veszélye mégis igen nagy, mert a kisebb keresztmetszetet ellensúlyozza az itt uralkodó hatalmas, 30—40 légkörös nyomás. Nekünk azonban, víznyerés szempontjából, fontos tudnunk, hogy nagyobb mélységben csökken a karsztüreg harántolásának valószínűsége.

A nyugalmi karsztvízszint ezen a területen 127—132 m között alakult ki. Ezt nagyobb bányavízbetörésekkel kapcsolatos erőteljesebb megcsapolások néha helyenként lesüllyesztik. Nagyjából azonban állandónak mondható ez a szint, amit a csapadék is csak kis mértékben befolyásol. A karsztvíz itt a mészkőben kialakult tág barlangjáratokban közlekedik, a csapadék okozta szintkülönbségek tehát gyorsan kiegyenlítődnének.

A bányaművelésnek köszönhetjük, hogy a területen elég jól ismerjük a különböző szinteken a karsztosodás mértékét. A bányászatnak ugyanis érdeke, hogy a harántolt karsztjáratokat minél jobban eltömje, és ezzel csökkentse a bányavízbetörés veszélyét. Ezért minden kutatófúrást, amely üreget harántol, egyúttal preventív tömítőfúrásnak is felhasználnak. A karsztosodás mértékére a különböző mélységekben talált üregekbe benyomott cementáló anyag mennyiségéből lehet következtetni.

*Albel Ferenc* adatai szerint a +130 és a +100 méteres szint között egy fúrás átlagosan 23 000 m<sup>3</sup> cementálóanyag jut. A -150 és -200 méteres szint között ez lecsökken 320 m<sup>3</sup>-re, ezen alul pedig már csak 70 m<sup>3</sup> anyagot tud egy tömítőfúrás felvenni.

A szomszédos *Pilis-hegység* karsztvizére vonatkozóan nem sok adattal rendelkezünk. A völgyek itt nem vágódtak be a nyugalmi karsztvízszint alá, ezért nincsenek itt jelentősebb karsztforrások. A felszínre emelkedett mészkőrögök eléggé elvannak karsztosodva, számos barlangot ismerünk. Valószínű, hogy a ma még hozzáférhetetlen mélységben is nagy a karsztosodás foka és jelentős víznyerési lehetőséggel számolhatunk. A mélykarsztvíz áramlását a Duna felé meggátolja a vízzáró, vulkanikus Dunazug-hegység, ezért valószínű, hogy a víz nagy részének áramlása a dorogi medencén keresztül történik. Ennélfogva a nyugalmi vízszintnek is magasabbnak kell lennie. Emellett tanúskodnak a Pilisszentiván és Pilisvörösvár mellett feltárt +138 méteres szintek is.

Budapest felé, a *Budai-hegységben*, ez a szint a Duna közelsége miatt rohamosan csökken. Így Mária-Remeténél 117 m, Római Fürdőnél és a budai hévforrásoknál 103—104 m körül alakult ki a karsztvíz nyugalmi szintje.

Budapest vízellátásának karsztvízből történő részbeni fedezése régi kérdés. Már több ízben végeztek erre vonatkozó vizsgálatokat, és alkalmas kutatási helyeket is jelöltek ki. Feltárásokra azonban eddig nem került sor. Közismertek a budai hévforrások, amelyek a Dunántúli Középhegységnek az Alföld felé való letörésénél fakadnak. A karszthegység a Duna—Tisza közén már mélyen a felszín alatt, több ezer méteres mélységben folytatódik, és a nagy mélységű fúrások, kezdve a margitszigeti fúrástól egészen a hajdúszoboszlói mélyfúrásig, közvetlenül vagy közvetve, ennek a mélységbe zökkent karszthegységnek a vizét tárják fel.

Budapesthez legközelebb a budai hegyekhez csatlakozó *Csiki-hegységben* történt nagyobb mesterséges karsztvízfeltárás Törökbálint közelében. A karsztvíz nyugalmi szintje itt 125 m-en alakult ki. Ez a Dunának mint lecsapolónak nagyobb távolságával és a dolomit szűkebb járataival, tehát a nagyobb áramlási ellenállással magyarázható. Budaörsnél is kínálkozik kedvező vízfeltárási lehetőség, bár itt mindenütt termális hatásokkal is kell számolni. A víz hőfoka 18—20 C° körüli értéket is elérhet.

Az előbb említett területhez csatlakozik DNY felé a *Gerecse-hegység*. Hatalmas mészkőtömege fedetlenül a felszínre emelkedik, és nagy felvevő-felületet nyújt a csapadékvíznek. A hegységnek felszínre emelkedő részén számos karsztjelenséget, barlangot ismerünk. Jelenlétük valószínű a mélyebb szinteken is. A hegység középső részén nem ismerjük a karsztvízszint alakulását, de déli peremén számos kutatófúrást, mesterséges vízfeltárást végeztek, amelyek szerint a +135 méteres magasságot fogadhatjuk el átlagos nyugalmi karsztvízszintnek. Régebbi adatok szerint évekkel ezelőtt 3 méterrel magasabban alakult ki a nyugalmi szint, és valószínűleg a sorozatos téli csapadékhiányos évek folytán szállt le a mostani értékre. Emiatt csökkent annyira a már régen mélyített tatabányai vízakna hozama, és ezért apadt el 1949-ben az addig bővíző Pokol-forrás.

A Dunától való elég nagy távolság miatt alacsonynak látszik a szint, de figyelembe kell vennünk, hogy a 122 m-es szinten fakadó bővíző tatai Fényesforrások erőteljesen megcsapolják a Gerecse karsztvizét. Ezek a források mélyreható törésvonal mentén fakadnak, a csapadékkal való összefüggésük kétségtelen, ezért esetleges juvenilis eredetük szóba sem kerülhet.

A Gerecséhez délről csatlakozik a *Vértess-hegység*, amelynek uralkodó kőzete már nem a mészkő, hanem a dolomit. Ennek megfelelően itt kevesebb karsztjelenség található. A dolomitot nehezebben oldja a víz, ezért kevesebb benne a barlang, karsztjárat. Ezt ellensúlyozza a dolomitban, főleg a felsőtriászkorú földolomitban lévő számos hajszálér, amelyeknek elég nagy a víztárolóképessége.

A Vértessben nincsenek a nyugalmi karsztvízszint alá mélyülő völgyek, amelyek a mélykarsztot megcsapolhatnák. Csak déli szegélyén, Zámoly közelében tud a karsztvíz néha, csapadékos időben, 152 méteres szinten felszínre bukkanni. Csapadék-

hiányos években azonban ennél lejjebb száll a karsztvízszint, és az egyébként bővizű forrás elapad. A gánti vizaknában 158 m körül ingadozik a vízszint. Az aránylag magas szint a lecsapolóvölgyek nagyobb távolságával és a dolomitban folyó víz nagyobb áramlási ellenállásával magyarázható.

A Vérteshoz csatlakozó *Bakony* is óriási felületről táplálja a karsztvíztömeget. A hegység peremi törései mentén hatalmas források csapolják meg ezt a vizet.

A bodajki, 146 m-es szinten fakadó források hozama átlag 200 liter/sec. Délebbre fakadnak a fehérvárcurgói, iszkaszentgyörgyi, majd az ugyancsak 200 liter/sec hozamú csóri források, amelyek mind 10–14 C°-kal melegebbek az átlagos évi középhőmérsékletnél. A csapadékkal való összefüggésük kétségtelen.

Csörtől Veszprém felé egyre emelkedik a karsztvízszint. Az inotai források 146 m-es, a péti források 150 m-es, az ösküi források 168 m-es, a kádártavi források 190 m-es, a Laczkó-források Veszprémnél pedig már 210 m-es szinten fakadnak. Különös, hogy a hegység legmagasabb részén, a dudari fennsík alatt fúrással megütött karsztvízszint 170 m-es magasságban van, holott az általános tapasztalat szerint mindig a legmagasabb, tehát legcsapadékosabb felszín alatt alakul ki a karsztvízszintben a legnagyobb feldomborodás. Itt tehát még behatóbb vizsgálatnak kell azt eldöntenie, hogy az előbb említett magas szintek nem jelzik-e valamely különálló, ú. n. sekélykarsztnak a szintjét? Pl. a 400 m magas Zircen is ismerünk egy igen bővizű karsztforrást, amely azonban nem jelzi a mélykarszt szintjét, hanem egy, a kréta-mészkövet triászrétegektől elzáró márgás rétegnek köszönheti magas fakadási szintjét.

Ajkán pl. a Jolán-aknában 234 m-en alakult ki a nyugalmi karsztvízszint.

A Bakony pápai oldalán a karsztvíz a 185 m-es szinten igen bővizű — néha 1000 liter/sec hozamú — források alakjában jelenik meg (tapolcafői és atyai források). Ezt a magasságot a mélykarszt nyugalmi szintjétől fogadhatjuk el. Ezek a források is melegebbek az átlagos évi hőmérsékletnél.

A Bakonyhoz délen csatlakozik a *Balaton-felvidék* karsztos része, melynek vizét a felsőörsi, balatonkövesdi, arácsi és balatonfüredi bővizű karsztforrások 190–220 m A. f. magasságban csapolják meg. Ezeknek a forrásoknak magas fakadási szintjét a dolomit alá és elé települt vízzáró márgák és más képződmények befolyásolják. Ez viszont kihat a Bakony karsztvíznívójára, amely Veszprém környékén aránylag igen magas. A veszprémi vidéki Bakony karsztvízszintjét tehát nem a Balaton, hanem az itteni karsztforrások küszöbszintje határozza meg.

Délnyugat felé, felszíni karsztos összeköttetés nélkül következik a *Keszthelyi-hegység*. Bár a föld felett hiányzik, a mélyben bizonyára megvan az összeköttetés a Bakonnyal, amit a tapolcai Tavasbarlang langyos, karsztosjellegű vize is sejtet. Ez ugyan szarmatakorú mészkőből fakad, de eredete valószínűleg a mélyebben települt dolomitban van.

A Keszthelyi-hegység nagy felületen nyeli és vezeti a csapadékot a mélykarsztba. Túlfolyásait a Keszthely és Balatongyörök közötti Balatonparton fakadó forrásoknál találjuk, a 105–110 m-es szinten. Valószínűleg nagyrészt karsztvíz az ezen a szinten fakadó, postvulkanikus hatásoknak is kitett hatalmas Hévíz-forrás is. Azonos magasságban van az új hévízi vízművet ellátó mesterséges karsztvízfeltárás is.

A Dunántúl déli részén már csak a *Mecsek-hegységben* találkozunk jelentősebb felszíni karszttal. A Mecsek-hegység és a benne tárolt víz azonban nem függ össze az előbb vázolt terület karsztvizével. A Mecsek kristályos alapközeze valósággal körül fogja a rátelepedett karsztosodó mészkövet, és maga a mészkőhegység is eléggé tagolt, vízzáró rétegekkel bolygatott. A Mecsekben ezért nem beszélhetünk összefüggő karsztvíztömegekről.

egyébként bővízü szint. Az aránylag omiban folyó víz

karsztvíztömeget. ezt a vizet.

liter/sec. Délebbre csak 200 liter/sec nek az átlagos évi en.

Az inotai források kádártavi források szintén fakadnak. Itt fúrással megüött tapasztalat szerint kul ki a karsztvíz-izsgálatnak kell azt valamely különálló, ink egy igen bővízü nem egy, a kréta- magas fakadási

ni karsztvízszint. en bővízü — néha i és attyai források). el. Ezek a források

észe, melynek vizét tforrások 190—220 gas fakadási szintjét nyek befolyásolják. környékén aránylag a a Balaton, hanem tkezik a *Keszthelyi* az összeköttetés a legű vize is sejtet. túleg a mélyebben

kot a mélykarsztba. i fakadó forrásoknál karsztvíz az ezen a víz-forrás is. Azonos ztvízfeltárás is.

lkozunk jelentősebb an nem függ össze pközete valósággal kőhegység is eléggé élhetünk összefüggő

A hegység földalatti vízrendszerei egymástól függetlenek, amit forrásainak kis távolság mellett is különböző kiömlési magassága is igazol. Ez okozza, hogy a források erősen a csapadék hatása alatt állnak, hiszen nincs elég nagy kiegyenlítő vízterük. A Mecsek-hegység forrásai közül legjobban tanulmányozott a szélsőséges vízhozam-ingadozásairól közismert Tettye-forrás, amely Pécs vízszükségletének egy részét fedezi. Ezt a forrást, meg a többi nagyobb hozamú mecseki forrást, pl. az abaligeti barlang forrását, az Orfűi-forrást és a mánfai Kőlyuk forrását is jellemzi, hogy nagy vízhozamok alkalmával megzavarosodnak.

A Mecsektől délre, Délbaranyában is ismerünk még néhány kibukkanó kisebb karsztosodott mészkörögöt Siklós, Nagyharsány, Kistapolca és Beremend környékén. A mészkörögök járataiban lévő, nagyrészt langyos víz nyugalmi szintje 96—98 m A. f. magasságban alakult ki.

Magyarország jelentősebb karsztforrásairól az I. táblázat ad áttekintést.

Magyarország jelentősebb karsztforrásai

| Község                         | A forrás neve         | Tszf. magasság méter | Szélső mért vízhozamok az. 1950—52. években liter/perc | Hőfok C°  | Összes keménység ném. fok. | Fajlagos ellenállás 16°-on Ohm/ccm |
|--------------------------------|-----------------------|----------------------|--|-----------|----------------------------|------------------------------------|
| <b>Bükk és északi felvidék</b> |                       |                      |  |           |                            |                                    |
| Hámor                          | Annabarlang I. forrás | 264                  | 1098—1980  | 9,0—10,0  | 13,6—15,9                  | 2260—2760                          |
|                                | Annabarlang II. „     | 264                  | 230—4212   | 8,1—13,0  | 11,8—15,7                  | 2450—3090                          |
|                                | Szinvaforrás          | 329                  | 3120—17000   | 8,5—9,5   | 12,8                       | 1960—2320                          |
| Jósvafő                        | Jósvaforrás           | 224                  | 4800—23700   | 6,0—12,4  | 16,0—20,4                  | 2140—2440                          |
| Kács                           | Fürdőforrások         | 207                  | 8520—9850  | 15,0      | 17,4—18,9                  | 2136—2314                          |
|                                |                       |                      |  | 23,0      | 16,8—18,0                  | 2146—2348                          |
| Latorut                        | Vízfő                 | 209                  | 3800—4730  | 16,0—16,3 | 18,6                       | 2110—2183                          |
| Miskolc-Görömböly              | Hidegforrások         | 122                  | 17500—43500  | 11,0      | 16,8—17,9                  | 1956—2405                          |
|                                | Melegforrások         | 122                  | 13050—22400  | 31,0—31,5 | 16,2—17,7                  | 1761—2102                          |
| Monosbél                       | Vízfő                 | 345                  | 300—865  | 14,0—14,5 | 15,4                       | 2398—2418                          |
| Ómassa                         | Garadnaforrás         | 499                  | 934—12800  | 7,0—8,5   | 12,1—13,1                  | 2726—3207                          |
|                                | Margitforrás          | 335                  | 1260—6540  | 9,0—10,8  | 11,3—14,3                  | 1909—3515                          |
| Szilvásvár                     | Szalajkaforrás        | 470                  | 180—18100  | 7,6—8,5   |                            | 2585—3738                          |
|                                | Sziklaforrás          | 405                  | 550—4980   | 10,0—12,2 | 11,5                       | 2400—2713                          |
| <b>Bakony és Vértes</b>        |                       |                      |  |           |                            |                                    |
| Attyamajor                     | Vízfő                 | 178                  | 7422—10650   | 1,40      | 20,2—21,4                  | 1645—2380                          |
| Bodajk                         | Fürdőforrások         | 147                  | 1260—4300  | 16,1—18,2 | 21,0—23,7                  | 1665—1850                          |
|                                | Nádastavi forrás      | 140                  | 4540—10250   |           |                            |                                    |
| Csór                           | Csabafővíz            | 118                  | 7600—14760   | 14,0—18,0 | 16,0—20,6                  | 1649—2235                          |
| Inota                          | Felső forrászk        | 146                  | 6540—11580   | 11,3—14,8 | 19,1—20,0                  | 2320—2480                          |
| Iszka-szentgyörgy              | Duzzogóforrás         | 130                  | 510—2250   | 23,1—24,6 | 26,0                       | 1499                               |

| Község                 | A forrás neve          | Tszf. magasság méter | Szélső mért vízhozamok az 1950—52. években liter/perc | Hőfok C°  | Összes keménység, ném. fok. | Fajlagos ellenállás 16°-on Ohm/ccm |
|------------------------|------------------------|----------------------|---|-----------|-----------------------------|------------------------------------|
| Kádártó                | Források               | 205                  | 5210—9850   | 10,5      |                             |                                    |
| Öskü                   | Hármasforrás           | 165                  | 11500—19300   | 11,0      |                             | 1875—2100                          |
| Pét                    | Kékerü tó források     | 153                  | 11540—18000   | 14,0—15,5 | 23,8                        | 1670—1920                          |
| Tapolcafé              | Taviforrások           | 180                  | 34000—76800   | 15,0—18,0 | 18,4—21,1                   | 1695—1985                          |
| Tata                   | Fényesforrások         | 120                  | 17600—39600   | 23,4      | 20,4—24,4                   | 1448—1860                          |
|                        | Tükörforrás            | 139                  | 13100—20200   | 20,5      | 20,0—23,3                   | 1230—1603                          |
| <b>Balatonfelvidék</b> |                        |                      |   |           |                             |                                    |
| Csopak                 | Nosztori völgyforrásai | 245                  | 804—2300  | 9,5—10,5  | 21,6                        | 1586—1745                          |
| Felsőörs               | Malomvölgy forrásai    | 210                  | 834—2318  | 10,5      | 20,7                        | 1606—1623                          |
| Hévíz                  | Tóforrás               | 121                  | 26160—46200   | 33,0—34,1 | 19,0                        |                                    |
| Nagyvázsony            | Melegvíz               | 265                  | 600—1470  | 10,0—11,0 |                             | 2204—2860                          |
| Pécsely                | Zádorkút               | 297                  | 354—1140  | 9,5—10,4  | 19,9                        | 1816—1830                          |
| Pula                   | Kolostorforrás         | 260                  | 400—1410  | 9,3       |                             | 1800—1861                          |
| Tapolca                | Malomforrás            | 120                  | 24000—31200   | 16,0—16,5 | 21,9—22,8                   | 1549—1560                          |
| <b>Mecsek</b>          |                        |                      |   |           |                             |                                    |
| Abaliget               | Barlangforrás          | 210                  | 279—4000  | 9,0—11,0  | 16,2—17,6                   | 2171—2664                          |
| Orfű                   | Vízfő                  | 180                  | 852—19500   | 10,5—11,7 | 11,9—18,8                   | 1613—2585                          |
| Pécs                   | Tettyeforrás           | 233                  | 155—33000   | 13,0—15,0 | 20,2—21,4                   | 1500—1795                          |

### A karsztvíz kutatása

A karsztvíz kutatása három lényeges kérdésre kíván feleletet adni:

1. hol,
2. milyen mélységben és
3. milyen mennyiségben lehet karsztvizet találni?

A két első kérdésre mai ismereteink alapján kellő körültekintéssel elég pontos választ adhatunk. A harmadik kérdés, a víz mennyiségének megállapítása azonban — ha nem is teljesen — nagyrészt a jószerencsétől függ. Minden karsztvízfeltárás tehát mindaddig kutatójellegű, amíg a teljes kívánt vízmennyiséget el nem értük. Ezt városok, ipartelepek telepítésénél mindig szem előtt kell tartani, és a szükséges vízfeltárásokat mindig idejében el kell indítani. Előzetes, tájékoztatójellegű kutatások eredményéből nem lehet a véglegesen, tartósan kitermelhető vízmennyiségre következtetni.

Vizsgáljuk meg ezután az egyes kérdéseket.

| es<br>rség,<br>ok. | Fajlagos<br>ellenállás<br>16°-on<br>Ohm/ccm |
|--------------------|---|
|                    | 1875—2100                                   |
| 8                  | 1670—1920                                   |
| 21,1               | 1695—1985                                   |
| 24,4               | 1448—1860                                   |
| 23,3               | 1230—1603                                   |
| 6                  | 1586—1745                                   |
| 7                  | 1606—1623                                   |
|                    | 2204—2860                                   |
| 9                  | 1816—1830                                   |
|                    | 1800—1861                                   |
| 2,8                | 1549—1560                                   |
| 7,6                | 2171—2664                                   |
| 8,8                | 1613—2585                                   |
| 1,4                | 1500—1795                                   |

adni:

ssel elég pontos  
pítása azonban  
karsztvízfeltárás  
el nem értük.  
, és a szükséges  
ellegű kutatások  
nyiségre követ-

*Hol lehet karsztvizet termelni?* Nagymennyiségű karsztvíz tartós kitermelésére ott lehet reményünk, ahol nagy területen, összefüggő, jól karsztosodó kőzetet találunk. Ilyen kőzetek a földközépkori (mezozoos) mészkövek és dolomitok, magyarországi viszonylatban főleg a felsőtriászkorú dachsteinmészkő és földolomit. Az előbbi igen jól karsztosodik, nagykiterjedésű barlangjáratok képződésére alkalmas. Az utóbbi ugyan nem karsztosodik olyan nagy mértékben, de kataklázisos szerkezetével kapcsolatos hajszálereinek köszönheti nagy víztartókéességét. Mindkét kőzet tekintélyes vastagságban települt Magyarországon.

A fiatalabb mészkövek is jó víztartók, de pl. a krétamészkövek közé gyakran vízrekesztő márgák települtek, amelyek az egyes karsztvizeket egymástól elszigetelik és — mint pl. a Bakonyban. — egymástól függetlenül szintekre tagolják. A harmadkorú mészkövek nagyobb agyagtartalmuknál fogva kevésbé karsztosodnak, bár helyenként ezekben is kínálkoznak nagyobb víznyerési lehetőségek.

Ha a víznyerésre kiszemelt karszttönk nem elég nagykiterjedésű, szükséges, hogy a vele érintkező kőzetek vízáteresztők legyenek, és elég nagy vízgyűjtőterületük legyen. Szükséges tehát, hogy a karszttönk a rátelepülő más kőzetekkel nagy felületen érintkezzék, és így sok vizet tudjon azokból átvenni. De az is lehetséges, hogy a kis felületen felszínre emelkedő mészkő- vagy dolomitszirt a föld alatt más, nagyobb kiterjedésű karszttömegekkel van összekötöttségben. Ilyen kedvező esetekkel számolhatunk a Dunántúli Középhegységben, ahol egy-egy kisebb, látszólag magában álló karszttönk vízgyűjtőterülete azonos az egész Dunántúli karszt vízgyűjtőterületével. Ez esetben tehát nyugodtan gondolhatunk vízfeltárássra kisebb felszínre bukkanó karsztterületen is.

Ha a fenti szempontok alapján a kiszemelt területet kedvezőnek találtuk, következik a vízfeltárás pontos helyének kijelölése.

A karsztosodás, járatképződés feltétele a tektonikus preformáció, vagyis a földkéregmozgások által előidézett hasadékok, törések jelenléte. (1. kép.) Ezek mentén tudja a víz oldó-vájó munkáját legjobban kifejteni. Az ilyen hegyszerkezeti vonalak felismerése a tapasztalt geológus, tektonikus feladata. Gyakran csak igen elmosódottan, nehezen felismerhetően jelentkeznek ezek a szerkezeti vonalak. Jó támpontot nyújtanak a meredek sziklafalak. Óvatosabban ítélendők meg a völgyek, vízmosások által meghatározott vonalak.

Ha valamely törésvonalat jelző sziklafalban ráadásul még határozott harántrepedéseket, hasadékokat is látunk, már elég biztató helyet találtunk. Ahol két szerkezeti vonal vagy litoklázis keresztezi egymást, ott alakulhattak ki a legjobban kifejlett karsztjáratok, tehát ott lehet reményünk a legnagyobb vízhozamra. Lehetőleg ilyen támpontot kell keresnünk. Ha ennek mentén a mélységbe hatolunk, majdnem biztosan megtaláljuk az aktív, vízvezető barlangjáratot.

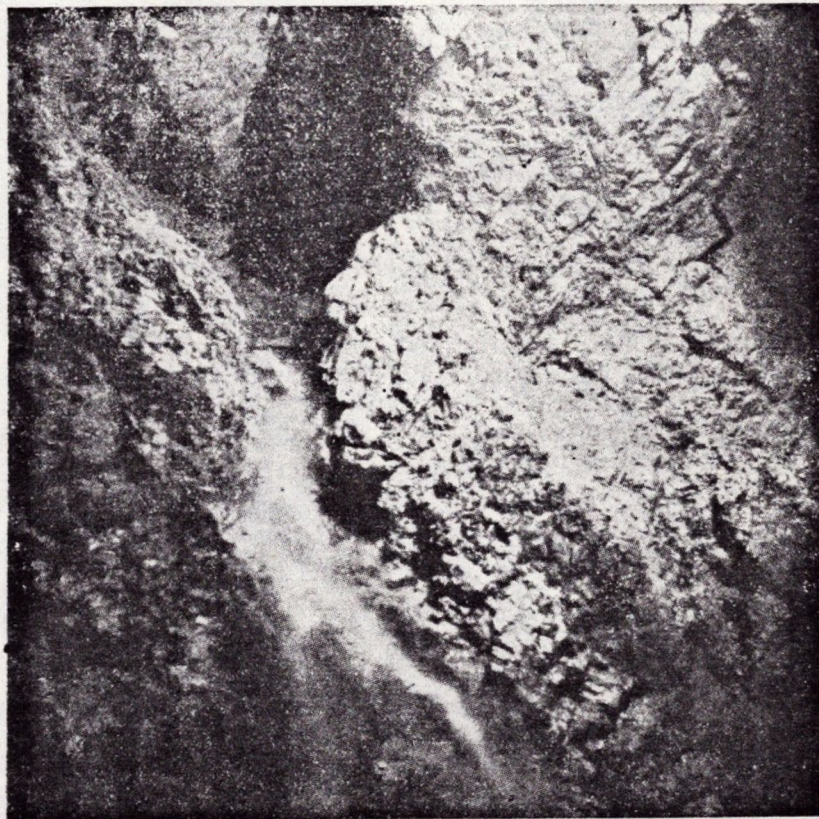
A felszínen látható hegyszerkezeti vonalat a mélyben természetesen nem kereshetjük a kijelölt hely függőlegesében. Ezért a dőlés és csapásirány meghatározásával kell a mélységbeli helyzetet megállapítani. A feltárandó mélységnek a karsztvízszint alatt kell lennie. Ezzel elérkeztünk a második kérdéshez:

*Milyen mélységből kell a karsztvizet kitermelni?* Az összefüggő karsztvízszinttel foglalkozó fejezetben rámutattunk arra, hogy minden karszttömegekben összefüggő felületet határoznak meg a mélykarszt járataiban levő vízhez tartozó nyugalmi szintek. Pl. a Dunántúli-Középhegység karsztjának nyugalmi vízszintje olyan torzfelület, amelynek számos pontját már ismerjük. Ennek alapján kellő óvatossággal végzett interpolálás segítségével ezen a területen bárhol, gyakorlatilag kielégítő pontossággal, egy-két méteren belül, előre megbecsülhetjük a karsztvízszintet.

Ha tehát az összes tényező mérlegelésével a kijelölt helyen meghatároztuk a valószínű karsztvízszintet, ennek alapján megállapíthatjuk, hogy a karsztvízszint

hol metszi a szerkezeti vonalat, és hol harántolhatjuk azt a megkívánt depresszió mellett.

Arra is figyelemmel kell lennünk, hogy a karsztvízszint a csapadék hatására függőleges ingadozást végez, melynek szélső értéke a 3 m-t is elérheti.



1. kép. A hidegvölgyi karsztakna egyik hasadékából eredő vízfakadás. (A szerző felvétele.)  
Bild 1. Wassereinbruch aus einer Spalte im verkarsteten Dolomit.

*úrás  
akna  
itakna*  
A terepviszonyok, műszaki felkészültség, költségek és vízigény dönti el azután, hogy a vízfeltárás fúrással, aknával vagy lejtaknával történjen. Ennek megfelelően kell a feltárandó mélységet megválasztani.

Általában arra kell törekedni, hogy a víznyerésre kiszemelt törésvonalat a nyugalmi vízszint alatt minél mélyebben harántoljuk. Minél mélyebben a nyugalmi szint alatt csapoljuk meg a karsztvizet, annál nagyobb vízmennyiségre számíthatunk, és annál kevésbé befolyásolja a csapadék okozta vízszintingadozás a vízhozam egyenletességét. A nagy mélységbe való lehatolásnak — különösen akna esetében — bizonyos határt szabnak a felmerülő műszaki nehézségek, amelyek a mélység növekedésével hatványozottan jelentkeznek. Erre, valamint a termelési költségekre, a mélység megállapításánál figyelemmel kell lenni.

Az igen nagy mélységbe való lehatolás ellen az a már említett tapasztalat szól, hogy bizonyos szinten alul, pl. Dorog környékén a — 200 m-es szint alatt, az üregek

nt depresszió  
dék hatására

nagy része elcalcitosodott, a szűkebb összekötőjáratok eltömődtek, és a még megmaradt járatokban lévő víz közlekedési lehetősége megszűnt. A fúrás sikere ilyen nagy mélységben tehát igen bizonytalan. A —10 m-es szintig azonban addig elég sok tág barlangjáratot fúrtak meg.

*A kitermelhető karsztvíz mennyisége.* A karsztvízkutatás legnehezebb kérdése a várható vízmennyiség becslése. Mészköben elsősorban vízvezető barlangjáratot igyekezünk fúrással vagy aknával harántolni. Ennek méreteit, különösen az általában rendkívül szeszélyes alakú járatok legkisebb keresztmetszetét, amely végeredményben a maximális vízhozamot meghatározza, jelenleg semmiféle módon nem tudjuk előre meghatározni. Dolomitban egyszerűbb a helyzet, mert itt a víz nemcsak járatokban, hanem többé-kevésbé egyenletesen elosztott hajszálerekben közlekedik. Bizonyos mértékben tehát a feltárt dolomit-felülettel arányos vízhozamra lehet számítani. Ez a hozam azonban a repedezettség fokának megfelelően változik.

A dolomitban előforduló szélső értékekre jellemző a hidegvölgyi karsztakna, illetve vízszintes tárójának fajlagos vízhozama. Ennek értéke, a normális tárószelvény folyóméterére számítva, 18 méterrel a nyugalmi karsztvízszint alatt, tehát 1,8 léggör hidrosztatikus nyomás mellett, 5 és 180 liter/perc között váltakozott! *A kezdeti vízhozam azonban nem azonos a tartósan kitermelhető vízmennyiséggel.* Dolomitakná közelében feltétlenül ajánlatos vízszintregisztráló fúrásokat mélyíteni, amelyekkel a létesülő depresszióstölcsér kialakulása és állandósulása megfigyelhető.

Tartós kitermelés esetében *csak az állandósult depressziós görbének megfelelő vízhozamra számíthatunk.*

A dolomitban közlekedő víznek nagyobb súrlódási ellenállást kell legyőznie, a depressziós tölcser tehát meredekebb lesz és ezért aránylag kisebb megcsapolható terület kerül az akna hatáskörébe, mint mészko esetében. A mészko barlangjárataiban szabadabban közlekedő karsztvíz jóval nagyobb érhálózatból táplálkozik. Feltétlenül szem előtt kell azt is tartani, hogy a *tartósan kitermelhető karsztvíz mennyisége* nem korlátlan, hanem végeredményben az akna vagy fúrás hatáskörébe eső *csapadékeredetű utánpótlástól függ.*

Hazánkban eddig a legnagyobb, céltudatosan fakasztott és tartósan kitermelt karsztvízmennyiség 8000 liter/perc. Vannak ennél nagyobb, de akaratlanul fakasztott vízmennyiségek is. Ezek a 15 000 lit/perc mennyiséget is meghaladó bányavízbetörések azonban hosszabb időn át nem figyelhetők meg, mert előbb-utóbb elcementálásokkal megszüntették vagy lecsökkentették őket.

A vízfeltáró fúrás vagy akna helyi kijelölésének legfontosabb feltétele az, hogy a vízvezető karsztjárat helyzetét lehetőleg pontosan megállapítsuk. Ez aránylag egyszerű akkor, ha a felszíni formák erre támpontot nyújtanak. Ha nincsenek ilyen támpontjaink, megkísérelhetjük geofizikai módszerekkel kinyomozni a rejtett törésvonalakat, kavernákat. E téren ugyan még nagyon kevés gyakorlati tapasztalattal rendelkezünk, újabban azonban egyre erősebb a törekvés, hogy ezeket az eddig még kellően ki nem aknázott lehetőségeket is behatóbban megvizsgáljuk. Különösen a szénbányászatunkat állandóan fenyegető vízbetörési veszély fogja kutatóinkat erre kényszeríteni.

A geofizikai módszerek. A gravimetrikus eljárással már Pekár Gyula foglalkozott a dorogi bányavidéken, de méréseiből kitűnt, hogy az Eötvös-féle torziós ingával csak nagyobb tömegváltozásokat lehet kimutatni. Karsztüregre, amelyek a kőzet tömegéhez képest csak elenyésző tömeghiányt képviselnek, ez az eljárás nem elég érzékeny.

A földalatti tektonika megállapítására már jobban használhatók a szeizmikus refleksiós módszerek, noha ezekkel nem maga a víz mutatható ki, hanem csak a karsztosodás lehetőségét biztosító vetők.

zerző felvétele.)

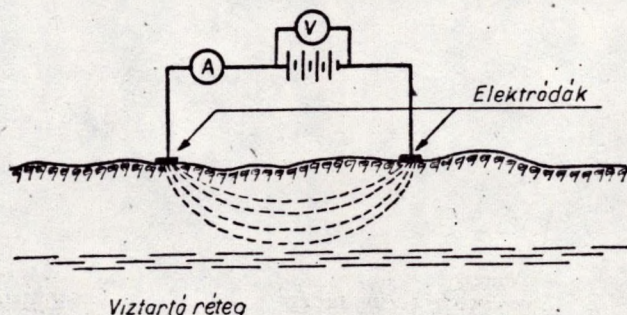
nti el azután,  
k megfelelően

alat a nyugalmi  
almi szint alatt  
tunk, és annál  
gyenletességét.  
bizonyos határt  
désével hatvá-  
mélység meg-

apasztalat szól,  
latt, az üregek

módszer  
6  
geofizika  
geofizika  
mos

A vízkutatás valószínűleg legjobb geofizikai módszere a *geoelektromos eljárás*. Használhatósága abban rejlik, hogy a víznek — ionkoncentrációjának megfelelően — elég tág határok között változó, de az öt körülvevő közetkezésként aránylag nagy a vezetőképessége. Ezért az altalajban létesített elektromos vagy elektromágneses teret eltorzítja azokhoz az erőterekhez viszonyítva, amelyek



Viztartó réteg

2. ábra. Elektromos vízszintkutatás vázlata. Az elektrodák távolságának növelésével nagyobb mélységbe hatolnak az áramvonalak.

Abb. 2. Schema der geoelektrischen Wasserspiegelforschung. Durch Steigerung der Elektrodendistanz steigert sich die Tiefenwirkung der Stromlinien.

Aránylag a legegyszerűbb és legkönnyebben beszerezhető műszerekkel végrehajtható eljárás az, amely a talaj *fajlagos ellenállásának* mérésén alapul. Lényege, hogy két, a terepre helyezett elektrodán át áramot bocsátunk az altalajba, és különböző elektrodátávolságok mellett mérjük az ellenállást.

Az áramvonalak a talajban nemcsak a legrövidebb úton haladnak az egyik elektrodától a másikig, hanem ívesen is, és ily módon behatolnak a mélyebb talajrétegekbe is. Minél nagyobb az elektrodák távolsága, annál nagyobb mélységbe hatolnak az áramvonalak és annál mélyebb talajrétegek ellenállását vonják be a mért értékbe (2. ábra).

Pontosan tehát nem egy réteg ellenállását, hanem több réteg együttes eredő ellenállását mérjük. Itt sem a szabatosan értelmezett fajlagos ellenállást, hanem egy azzal arányos értéket. Ezért a kapott értéket helyesen «látszólagos fajlagos ellenállás»-nak nevezzük.

Ha a különböző elektrodátávolságoknak megfelelő értékeket olyan diagramban rakjuk fel, amelynek abszcisszája az elektrodátávolság és ordinátája az ellenállás, akkor olyan elektrodátávolság mellett, amelynél az áramvonalak vízvezetőréteget értek, a fajlagos ellenállásérték lecsökken és a görbe iránya megváltozik. A gyakorlat szerint a feltárt mélység az elektrodátávolság harmadával azonos. Ezzel az eljárással elég jól meghatározhatjuk a karsztvizet.

Itt meg kell jegyeznünk, hogy a felső talajvízréteg aránylag nagy ellenállásával jól megkülönböztethető a nagy keménységű, tehát kis ellenállású karsztvíztől.

A 3. ábra a zirkniti karsztmedencében felvett ellenállásdiagrammot szemléltet. A felső szinten mutatkozik a karsztot fedő felső, talajvizet tartó réteg ellenálláscsökkentő hatása, kb. 5 m mélységig. Ezután egyre nő a száraz mészkő ellenállása, míg kb. 45 m mélységben egy leszálló karsztvizet vezető hasadék az ellenállást újra lecsökkenti. Ez azonban még nem a mélykarszt vízzel telített zónája. Az utóbbinak a hatása az 55 m-es mélységnél jelentkezik egy utolsó ellenálláscsökkenéssel.

homogén altalajban előállnának. Ugyanez vonatkozik a dielektromos állandóra is. Az így előálló eltorzulások a felszínen is megnyilvánulnak és mérhetők.

A geoelektromos módszerrel már sokan kísérleteztek és jelentős gyakorlati eredményeket értek el. A Szovjetunióban nemcsak vízkutatásra, hanem a fagyott talaj vastagságának mérésére is alkalmazták őket.

Az alábbiakban csak azokat a lehetőségeket kívánjuk vázolni, amelyeknek a karsztvízkutatásnál is jelentőségük lehet.

stromos eljárás. Megfelelően — anyaglag nagy a mágneses teret újban előállnávonatkozik a llandóra is. Az eltorzulások a gnyilvánulnak

stromos mód-sokan kísér-entős gyakor-eket értek el.óban nemcsak anem a fagyottának mérésére é őket.

biakban csak ősegeket kíván-amelyeknek a ásnál is jelen-zerékkal végre-apul. Lényege, lajba, és külön-

dnak az egyik mélyebb talaj-obb mélységbe onják be a mért

együttes eredő-ást, hanem egy fajlagos ellen-

diagrammban a az ellenállás, vízvezetőréteget ik. A gyakorlat zel az eljárással

y ellenállásával sztvíztől.

mot szemléltet-éteg ellenállás-étege ellenállása, ellenállást újra . Az utóbbinak kenéssel.

Hangsúlyozzuk, hogy ezt az eljárást karsztvízszintek meghatározására csak ott lehet sikerrel alkalmazni, ahol nemcsak elméleti, hidrosztatikus karsztvízszint van, hanem ahol a kőzet nagyfokú repedezettsége, — főleg dolomitban — *valóságos nyugalmi vízszint* kialakulását teszi lehetővé.

A gyakorlatban az elektródák átmeneti, ágyazási, ellenállásának változásából eredő különbségek kiküszöbölése végett a mérési vonalon belül még két segédszondát alkalmaznak, és ezekkel mérik az elektródákon keresztül a talajba vezetett áram potenciálkülönbségét. Az elektródák különleges kiképzésével a polárizációs hatásokat is csökkentik. Rotációs kommutálóberendezésekkel ezek, valamint a talajban lévő természetes földáramok teljesen kiküszöbölhetők.

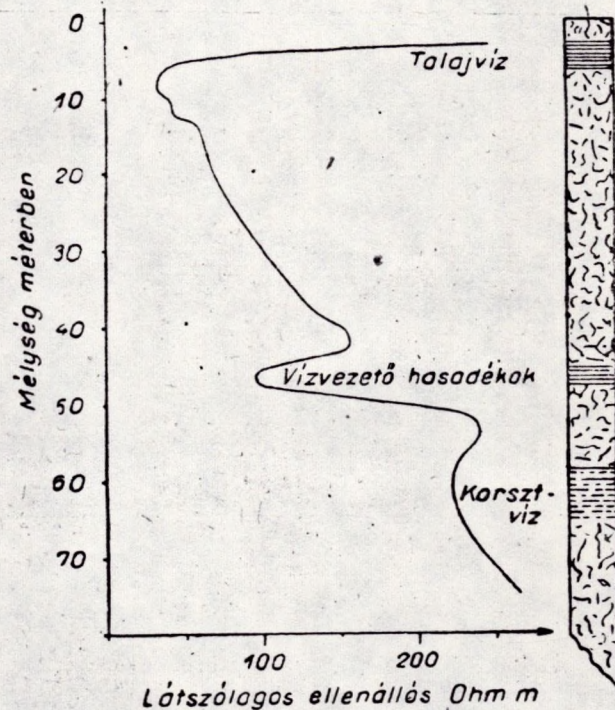
A feszültség mérésénél az áramvonalak — még nagy belső ellenállású műszerek esetében is — deformálódhatnak, ezért a szondák közötti potenciálkülönbséget általában kompenzációval mérik.

Az ismertetett elvek alapján működő, a szerző tervei szerint készült műszert és tartozékait a 2. kép szemlélteti. (Készült az Újításokat Kivitelező Vállalat műhelyében.)

Az ismertetett eljárással a karsztvízszinten kívül hosszabb karsztjáratokat, vetőket is észlelhetünk, ha a mérési vonalat ezek sejtett irányával párhuzamosan eltoljuk, és több párhuzamos mérést végzünk.

Váltakozó áram esetében a feltérési mélység a frekvencia nagyságától is függ. Elképzelhető tehát olyan mérési eljárás is, amely az elektródák távolságának változtatása helyett fix elektródák alkalmazásával frekvenciaváltoztatással ér el különböző mélységhatásokat.

Egy másik elektromos eljárás a kapacitásváltozáson alapul. Ez már inkább használható üregek közvetlen kimutatására, bár mélységhatása az előbbinél jóval kisebb. Határozott indikációt legfeljebb 10 m mélységig lehetett elérni. Ennél az eljárásnál oszcillátorhoz kapcsolt dipol-antennának a felszínhez viszonyított kapacitását mérjük. Ezután lekapcsoljuk az antennát és forgókondenzátoron rezonanciára hangolunk, vagyis megmérjük azt a kapacitásdifferenciát, amellyel az antennát pótolni tudjuk. Ezt több helyen megismételjük, természetesen azonos antennamagassággal. A kapacitásdifferencia változásából következtethetünk az altalaj elektromos diszkontinuitására, amit a karsztüregek okozhatnak.

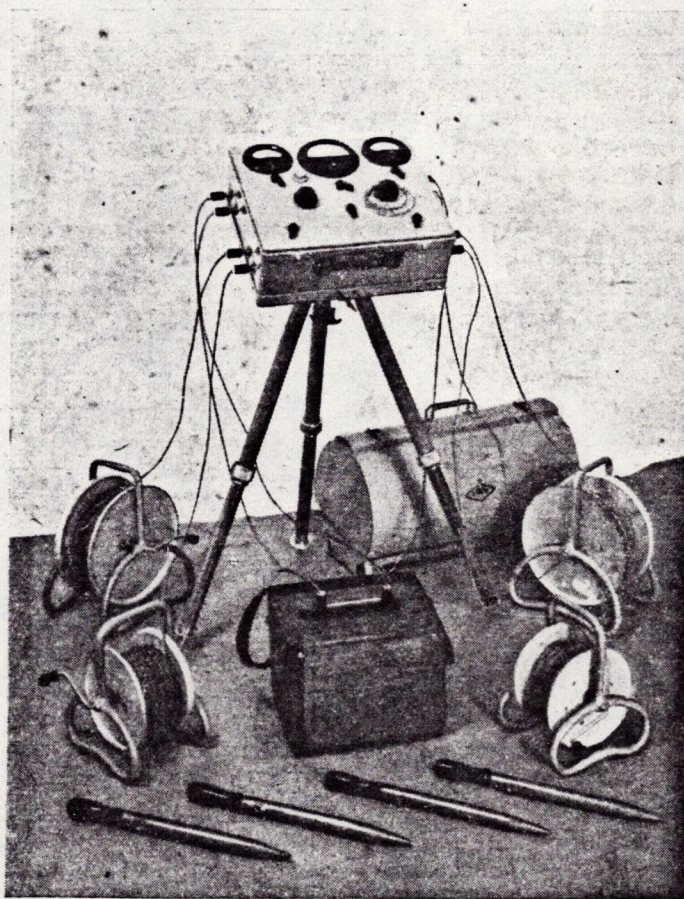


3. ábra. A zirknitzer karsztmedencében felvett geoelektromos diagramm.

Abb. 3. Geoelektrische Messkurve im zirknitzer Karstbecken. (Nach Löhnberg-Stern). Der Rückgang der Kurvenlinie deutet auf wasserführende Klüfte in verschiedenen Tiefen.

Említésre méltó végül még az az eljárás, amelyik magasfrekvenciás elektromágneses térnek az által okozott elváltozását méri. Magasfrekvenciás adókeretantennát gerjeszt. Az adóantennával mereven összekötött vevőantennában indukált áramot detektor egyenirányítja és érzékeny galvanométer méri. Ilyen eljárással végzett kísérletnél sikerült az aggteleki barlang közelében egy ismert forrásjáratot kb. 8 m mélységben kimutatni. Az adóteljesítmény 100 watt, a hullámhossz 500—1000 méter volt.

Hangsúlyozzuk, hogy a geoelektromos eljárások nem az üreget, sem a vizet, hanem csak az általaj elektromos jellemzőit mérik, és az így kapott eredményeket kell a hidrológusnak értékelnie.



2. kép. A fajlagos ellenállásmérés elvén alapuló elektromos vízkutató műszer. (Magyar Foto, Hollenzer Béla felv.)

*Bild 2. Auf Grund der Vierpunktmethode vom Verfasser konstruiertes geoelektrisches Messgerät. Im Vordergrund die Stecksonden.*

### A karsztvíz kitermelése

*Forrásfoglalás.* A karsztvíz kitermelésének legegyszerűbb és legkevésbé költséges módjával akkor van dolgunk, ha a karsztvíz természetes forrás alakjában felszínre bukkan. Ez nem azt jelenti, hogy ilyen forrás foglalásánál nem kell a legnagyobb körültekintéssel eljárunk. Egyetlen helyszíni bejárás alkalmával nem dönthetjük el a karsztforrás foglalásának lehetőségét. A karsztforrás megbízhatóságát, különböző csapadékviszonyokra való reagálását, vízhozamingadozását, ezzel kapcsolatos bakteriológiai és kémiai viszonyait hosszú, alapos vizsgálattal meg kell állapítanunk. Különösen a minimális vízhozam megállapítása kíván hosszú, éveken át tartó észlelést, amilyenre mostani rohamos fejlődésünk mellett nincs lehetőség.

Ezt a hiányt kívánja az *Országos Vizgazdálkodási Hivatal* által 1950-ben megindított és jelenleg a *Vizgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet* által folytatott *rendszeres forrásnyilvántartás* pótolni. Az éveken keresztül végzett mérések alapján összeállítandó megbízhatósági osztályozás azonban csak hosszú idő múlva fog tökéletesen kialakulni. Nekünk pedig a már most rendelkezésünkre álló adatokból és bizonyos külső jelekből kell arra következtetnünk, hogy melyik karsztforrást érdemes foglalni.

Általánosan érvényes szabály az, hogy *minél magasabban fakad valamely karsztforrás az érozióbázis felett, annál megbízhatatlanabb.* Az alacsonyabban fakadó karsztforrás mindig megbízhatóbb, kiegyensúlyozottabb hozamú. Ez érthető, hiszen nagyobb az érhálózata és vízgyűjtőterülete, nagyobb a csapadékingadozásokat kiegyensúlyozó tartaléktere, jobb a víz szűrési lehetősége és kisebbek a hőmérsékleti ingadozásai.

Különösen fontos az, hogy a karsztforrás lehetőleg jóval a környék általános karsztvízszintje alatt fakadjon, tehát hidrosztatikus nyomás alatt álljon, amely még a karsztvízszint némi süllyedése alatt sem szűnik meg. Ha éppen a karsztvízszinten fakad, akkor — bármilyen bővízű forrás is — kedvezőtlen csapadékviszonyú évben könnyen elapadhat, mint pl. a mélykarsztból táplálkozó tatai Pokolforrás, amelyre helytelenül telepítették a bánhidai erömű tartalékvezetékének egyik vízkivételi művét. A kb. 4 méterrel alacsonyabban fakadó Tükörforrás alig érezte meg a karsztvízszint süllyedését. *Lényeges tehát, hogy foglalás előtt a karsztforrások szintjét a környék általános karsztvízszintjével összehasonlítsuk.*

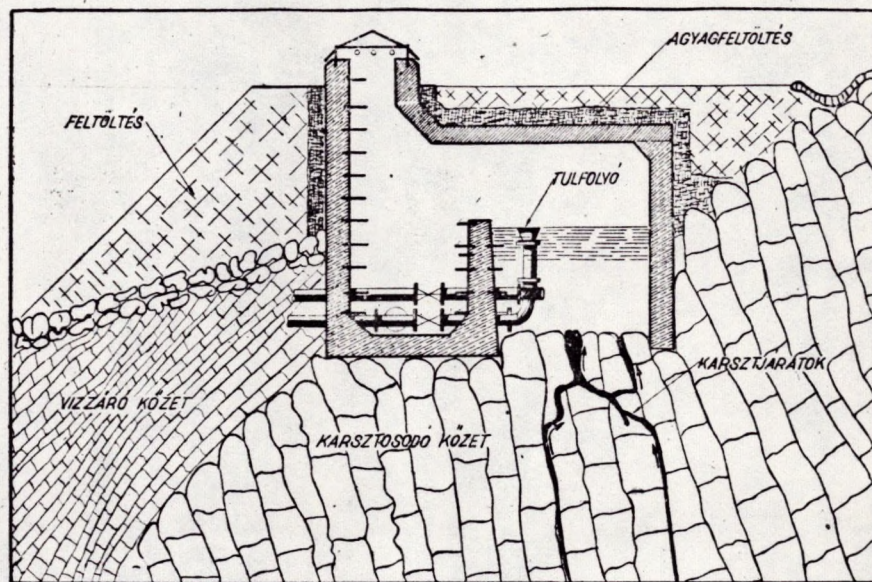
Ha nincsen olyan forrásunk, amely az általános karsztvízszint alatt fakad, kénytelenek vagyunk olyan foglalási tervet készíteni, amely csapadékhiányos időben — átmenetileg — lehetővé teszi a forrásküszöb mesterséges süllyesztését. A mesterséges küszöbsüllyesztés általában csak mélykarsztból eredő forrásoknál valósítható meg.

A változtatható forrásküszöböt nem szükséges a forrásfoglalásnál ténylegesen süllyeszthető zsiliptáblával előállítani, hanem elég, ha a legalább 5—6 m mély forrásakna alján megfelelően méretezett tolózárat helyezünk el, és ezzel szabályozzuk az aknában lévő vízszintet. Ezzel az eljárással tulajdonképpen hatalmas tározómedencét takaríthatunk meg, amelyet a forrás nagy kiterjedésű természetes járatrendszere helyettesít.

Hangsúlyozandó, hogy csak átmeneti küszöbsüllyesztésről lehet szó, mert a tartós süllyesztés felborítja a kialakult természetes vízháztartási egyensúlyt, és átmeneti vízbőség után megint csak az eredeti vízhozam jelentkezik. Az átmeneti küszöbsüllyesztéssel tehát csak szárazság idején, a természetes vízhozam csökkenésekor nyúlunk a forrás érhálózatának mélyebb szintjén lévő tartalékhoz. Csapadékos időben, tavasszal és ősszel, újra előállítjuk az eredeti küszöbszintet, hogy a tartalékter újra feltöltődhessen.

Karsztforrások foglalásánál fontos követelmény, hogy a foglalás közvetlenül a szálközvetben, a karsztjáratnál történjen. A természetes forráskibukkanást rendszerint

nem itt, hanem a karsztjárat előtt felhalmozódott kötörmelékben, mésztufában találjuk, amely az eredeti járatot elrejtí. *A legegyszerűbb követelmény, hogy a víz útját a szálkőzetig kövessük és a forrásjáratot feltárjuk (4. ábra).*



4. ábra. Karsztforrás foglalási terve.

Abb. 4. Fassungsplan für eine Karstquelle.

*Die Aufschliessung muss durch das Geröll bis an den wasserführenden Karstfelsen vordringen.*

Helytelenül foglalt forrás pl. a lillafüredi Szinvaforrás. Itt a foglalás a mészkövet takaró törmeléken történt, aminek következményeként a forrásvíz nagyrésze a foglalás megkerülésével a törmeléken át elfolyik, viszont csapadékos időkben, amikor a forrás melletti patak megárad, annak szennyezett vize a törmeléken keresztül a forrástérbe kerülhet. Igen jól foglalták a Garadna-forrást, ahol a nagy műszaki nehézségek ellenére a feltárással egészen a szálkőzetig, illetve az abban látható karsztjáratig mentek.

Dolomitban, ahol gyakran nem *egyetlen* járatban jelenik meg a víz, néha kénytelenek vagyunk az összes vízáadó repedést, hasadékat — természetesen a szálkőzetben — galériával összefoglalni.

Előfordulhat, hogy valamely karsztforrás a karsztot fedő fiatalabb kőzetben, homokban, kavicsban fakad. Ilyen esetben kutatófúrással vagy -árokmal kell a karszt-kőzet helyzetét megállapítanunk, hogy a foglalást megfelelően eszközölhessük. Általában sikerül a felszínen számtalan helyen megjelenő vizet a karszt-kőzetben egy-két koncentrált fakadásban megfogni.

Foglalás előtt nemcsak a minimális, hanem a maximális vízhozamot is ismerni kell, hogy a felesleges vízmennyiség elvezetéséről gondoskodhassunk, illetve a túlfolyócsövet erre méretezhessük. Egyes — főleg mészkőből eredő — karsztforrásaink nagyintenzitású csapadék vagy hirtelen hóolvadás után átmenetileg megzavarosodnak. Ezeknél — különösen ivóvízellátás esetében — gondoskodni kell a finom lebegő hordalék ülepítéséről. Az ülepítési időt elektrolittal, pl. mézporral vagy alumínium-szulfáttal gyorsítani tudjuk. Ezek hatására ugyanis koaguláció lép fel, vagyis a lebegő

ben, mésztufában  
 hogy a víz útját a



felsen vordringen.

gálás a mészkövet  
 agyrésze a foglalás  
 t, amikor a forrás  
 ztül a forrásterbe  
 i nehézségek elle-  
 sztjáratig mentek.  
 a víz, néha kény-  
 tesen a szálközet-

italabb kőzetben,  
 kkal kell a karszt-  
 zölhessük. Általá-  
 kőzetben egy-két

ozamot is ismerni  
 nk, illetve a túl-  
 - karsztforrásaink  
 g megzavarosod-  
 ll a finom lebegő  
 vagy alumínium-  
 l, vagyis a lebegő

részecskék összetapadnak, nagyobb szemekké állnak össze, és ennek következtében ülepedési sebességük is nagyobb lesz. Erre a célra természetesen megfelelően méretezett medencéről kell gondoskodni.

*Fúrással való karsztvíz feltárás.* A természetes úton felszínre nem jutó, mélyben rejtőző karsztvizet fúrással vagy aknával tárjuk fel.

A fúrás általában a legolcsóbb feltárási lehetőség, de figyelembevéve azt, hogy a karsztvíz járatokban, hasadékokban található, sokkal kisebb a valószínűsége annak, hogy az aránylag kis átmérőjű fúróval kavernát harántoljunk, mint ha nagy átmérőjű aknával kutatunk, ahonnan még oldaltárókat is hajthatunk.

Igaz, hogy a fúrás említett hátrányát a jóval nagyobb feltárási mélység némileg kiegyenlíti. Általában akkor ajánlatos karsztvizet fúrással feltárni, ha a vízvezető járat vagy vető helyzetét elég megbízhatóan meg tudjuk állapítani.

Természetesen döntő kérdés még a kitermelendő víz mennyisége, a rendelkezésre álló műszaki felkészültség és az elérendő mélység.

Karsztvízfúrással általában nem kapunk felszökő vizet, hanem azt többnyire jelentős mélységből kell kitermelni. Fúrás esetében a víz emelése csak búvárszivattyúval lehetséges. A búvárszivattyúk teljesítőképessége azonban korlátolt; legnagyobb hátrányuk pedig, hogy csak külföldről szerezhetőek be és nálunk nem javíthatók.

A fúrás helyén a legtöbb esetben nincsen áramforrásunk, így nem tudunk közvetlenül a vízvezető járat harántolása után a vízádóképességről meggyőződni. A kaverna harántolása ugyan észlelhető a fúrórudazat lezökkenésén, de ezzel csak a víz jelenlétét, nem pedig a kitermelhető mennyiségét állapíthatjuk meg. Az üreg nagysága ugyan bizonyos támpontot szolgáltat a vízmennyiségre, de ez nem egészen megbízható, mert lehetséges, hogy a fúrás helyén magas járat másutt összeszűkül.

A fúrórudazat esésén kívül a fúró öblítővizének eltűnése — a karsztvízszint alatt — jelzi, hogy vízvezető hasadékhöz értünk. A fúrólyukban *eltűnt* víz mennyiségéből elég megbízhatóan következtethetünk a *kitermelhető* víz mennyiségére. Ha a fúrólyuk sok vizet nyel, akkor arra következtethetünk, hogy a megütött üreg vize tág járatokon át közlekedik a nagy összefüggő karsztvíztömeggel. Ha keveset nyel, akkor csak szűk rések, repedések közvetítik az összefüggést, tehát a kitermelhető vízmennyiség is csekély. Általánosan elfogadott szabály szerint annyi karsztvíz termelhető ki valamely fúrólyukból, amennyi a nyelőképesége.

A kérdést alaposabban szemügyre véve meg kell azonban állapítanunk, hogy ez a szabály csak akkor érvényes, ha a szivattyúzást olyan depresszióval végezzük, mint amennyivel magasabb volt a fúrólyuk vízszintje a nyelési próba alatt a nyugalmi karsztvízszintnél. A karsztvízrendszerbe beáramló víz sebessége csak ebben az esetben lehet azonos a kiáramlóéval. Ezt a körülményt nyelési próbáknál nem mindig szokták figyelembe venni, hanem csak az időegység alatt nyelt víz mennyiségét mérik.

A nyelési kísérletet tehát helyesen úgy kell végrehajtani, hogy a vízbeöntés alatt a fúrólyukban kialakult vízszintet is mérjük. Erre a célra egy kisátmérőjű csőben leengedett elektromos jelzésű úszót használhatunk.

A karsztvízfúrások nyelőképesége egészen tág határok között váltakozhat. Lehet csak néhány liter/perc, de lehet olyan nagy, hogy a rendelkezésre álló legnagyobb, több köbméteres tartály vizét is pillanatok alatt felveszi.

Igen kis nyelőképeségű, tehát gyengén vízáadó fúrásokat — mészkő esetében — sósavazással többnyire lényegesen meg lehet javítani. Ezt az eljárást először *Albel Ferenc* javaslatára Dorogon alkalmazták az ottani tömítőfúrásoknál. A sósav ugyanis nagymértékben oldja a mészkövet. Ha a karsztvizet vezető keskeny résekbe, erekbe belekerül, azokat kitágítja. Ez eredményezheti a keresztüláramló víz sebességének, illetve mennyiségének növekedését. Jellemzésül szolgáljon néhány dorogi adat.

A 386. számú, 65 liter/perc nyelőképeségű fúrás 250 liter sósav beadása után 1200 liter/perc vizet tudott felvenni. A 455. számú fúrás 2 liter/perc nyelőképesége 200 liter sósav segítségével 1500 liter/perc-re emelkedett. Természetesen voltak sikertelen savazások is, de az esetek nagy többségében eredményre vezettek.

Kétségtelen, hogy amit Dorogon a bányavízveszély elhárítására sikerrel alkalmaztak, az víznyerés szempontjából is hasznosítható.

A sósavazáshoz előzőleg kátrányban fürdetett, elhasznált fúrórudazatot alkalmaznak, amelyet olyan mélyen engednek le a fúrólukba, hogy alsó része az észlelt nyelőképes repedésig érjen. Ezen a rudazaton percenként 20—30 liter vizet engednek be, amelyhez óránként 60—100 kg tömény sósavat adnak.

*Aknával való karsztvízfeltárás.* A karsztvíz feltárásának legbiztosabb, bár kétségtelenül legdrágább módszere az aknával való feltárás.

Az aknával való vízfeltárásnak az a nagy előnye, hogy a nyugalmi karsztvízszint alá érve, onnan különböző irányokba hajtott vízszintes kutatóvágatokkal kereshetjük meg a vízvezető kavernákat. A víz kitermelése pedig a nehezen beszerezhető, korlátozott teljesítőképességű bűvárszivattyúk helyett egyszerű elektromos szivattyúegységekkel történhet.

A függőleges akna szelvényének méreteit úgy kell megválasztani, hogy abban az ú. n. járórész és a szállítórész elférjen. A járórészben közlekednek az akna dolgozói. Ebben négyméterenként pihenőkkel ellátott létrák vannak. Ettől deszkafal választja el a szállítórészt, amelyben a kitermelt anyagot kiszállítják. Az anyagot szállító edényt az aknatoronyban különleges billentőszerkezet üríti ki.

Az akna lehet kör- vagy négyszögszelvényű. Mindkettőnek megvan az előnye és hátránya. A körszelvény jobban fejthető, de keresztmetszete nem használható ki olyan gazdaságosan mint a négyzetesé, dúcolása sem végezhető el olyan jól, mint a másíknál. Tehát inkább csak ott alkalmazható, ahol nem kell kőzetnyomásra számítani, hanem csak a kipergő kövek ellen kell zsáuzást alkalmazni. A négyzetes szelvénynél a sarkok kiképzése nehezebb, a végleges kibetonozásnál a sarkokat újra be kell tölteni, de dúcolási lehetősége kedvezőbb.

A szelvény méreteire nézve eddig sajnos nem alakult ki végleges állásfoglalás. A tapasztalat azt mutatja, hogy négyzetes szelvénynél nem tanácsos a 2,40 × 2,40 m-es, a körszelvénynél a 2,80 m-es kitörési méret alá menni. A méretet befolyásolja még a beszerelendő (víz-, sűrített levegő-, szellőző-) csövek és a szállítandó gépek nagysága. Igen kívánatos lenne, hogy a különböző aknamélyítő vállalatok, illetve felettes hatóságaik egy vagy több *szabványméretben* megállapodjanak. Ez esetben sok dúcolási anyagot lehetne megtakarítani, vagy pedig ismételten felhasználható, előregyártott elemek alkalmazását bevezetni. Különösen körszelvénynél lehetne a munkámenetet íves bordák alkalmazásával olcsóbbá és gyorsabbá tenni.

Az eddig készült karsztaknáknál szerzett tapasztalat szerint az aknamélyítés legnagyobb nehézségei akkor kezdődnek, amikor a nyugalmi vízszint alatt kell dolgozni. Az eredményes és tartós, a csapadékviszonyoktól lehetőleg független karsztvíz-nyerésnek viszont elengedhetetlen követelménye, hogy az akna minél mélyebben érjen a nyugalmi szint alá.

Az aknafenéken összegyűlő vizet a felszínre kell emelni. Ez a rendszerint zavaros, kőzetszemcsés víz hamar kikoptatja a centrifugálszivattyúk érzékeny lapátkerekeit, ezért elegendő tartalékról kell gondoskodni. Ha 7 méternél, tehát a gyakorlati szívás mélységénél mélyebbre kell a vízszint alá hatolni, a szivattyúkat is a vízszint alatt kell elhelyezni. Áramszünet vagy más szivattyúzási zavar esetén előntés fenyegeti a gépeket. A mélyítési munkálatokhoz legjobban megfelelnek a különböző rendszerű, sűrített levegővel működő szivattyúk, amelyek kevésbé érzékenyek. Hátrányuk,

sav beadása után  
rc nyelőképesége  
nézetenesen voltak  
e vezettek.

ira sikerrel alkal-

órudazatot alkal-  
só része az észlelt  
liter vizet enged-

sabb, bár kétség-

lmi karsztvízszint  
okkal kereshetjük  
rezhető, korlátolt  
vattyúegységekkel

ani, hogy abban  
az akna dolgozói.  
eszkafal választja  
got szállító edényt

megvan az előnye  
nem használható  
el olyan jól, mint  
l kőzetnyomásra  
ízni. A négyzetes  
l a sarkokat újra

egyes állásfoglalás.  
sós a 2,40×2,40  
retet befolyásolja  
szállítandó gépek  
szállalatok, illetve  
.. Ez esetben sok  
t felhasználható,  
énynél lehetne a  
tenni.

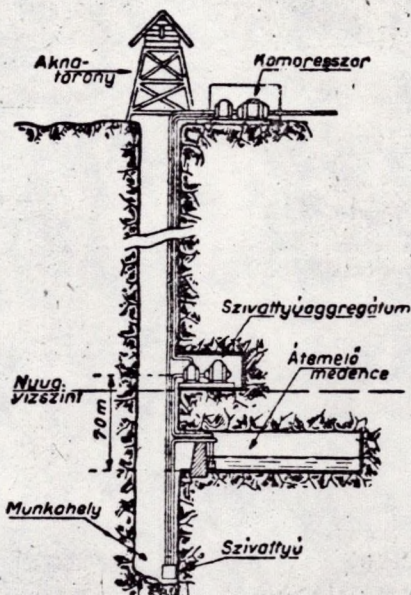
az aknamélyítés  
nt alatt kell dol-  
ggetlen karsztvíz-  
nínél mélyebben.

ndszerint zavaros,  
ny lapátkerekeit,  
gyakorlati szívás  
s a vízszint alatt  
előntés fenyegeti  
nböző rendszerű,  
yek. Hátrányuk,

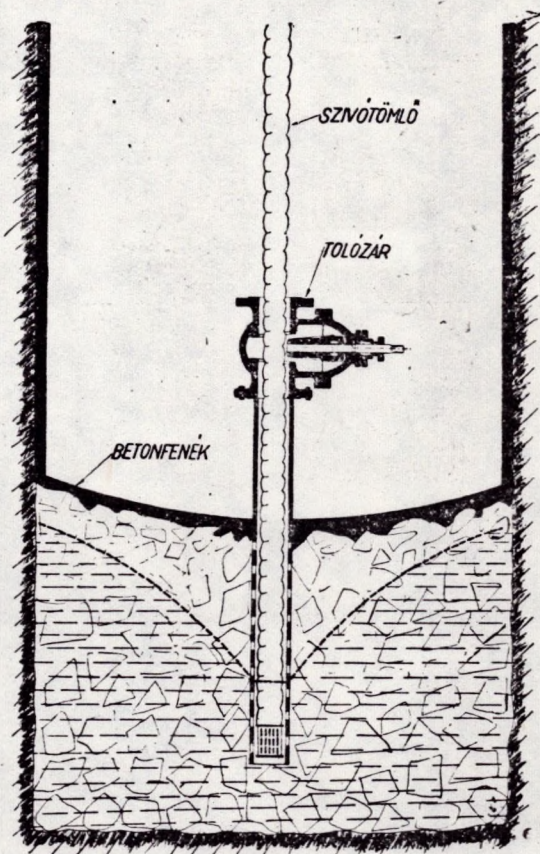
hogy teljesítőképességük korlátolt és határfokuk rossz. Célszerű tehát mindkét szivattyú-típust úgy alkalmazni, hogy előnyeik egymást kiegészítsék. A gyakorlatban igen bevált az alábbi eljárás.

A karsztvíz nyugalmi szintje felett egy-két méterrel szivattyúkamrát kell az akna oldalában létesíteni. (5. ábra). Ebbe kerül a nagyteljesítményű elektromos szivattyúegység. A vízszint alatt, de még a szivási magasságon belül, az akna oldalában átemelőmedencét létesítünk, amelyet kibetonozunk vagy vízzáró simítással látunk el. A mélyítési munkák alatt ebbe a medencébe nyomja a vizet a munkahelyen sürített levegővel dolgozó szivattyú. Ez kisebb teljesítményű lehet, mert csak az átemelőmedencéig kell a vizet felnyomni, ahonnan a nagyteljesítményű elektromos szivattyú emeli a már leüleptett vizet a felszínre.

Ezer liter/perc-nél nagyobb vízmennyiségek esetében az alsó szivattyúnak is elektromos meghajtásúnak kell lennie. Ekkor is érdemes az átemelőrendszert megtartani, mert ily módon a munkahelyen dolgozó szivattyú sokkal kisebb lehet, mint



5. ábra. Aknamélyítés közben alkalmazott átemelőszivattyúzási rendszer. Abb. 5. Entwässerung eines Karstschachtes während der Teufungsarbeit. Das bei der Arbeitsstelle einbrechende Wasser wird durch eine weniger empfindliche pneumatische Pumpe in ein höher eingebautes Basin gehoben, von wo es ein über dem Karstwasserspiegel arbeitendes elektrisches Pumpaggregat zu Tag befördert.



6. ábra. Akna szivattyúzása fenékbetonozás közben. Abb. 6. Ausschliessen des Wassers während der Betonierung einer Schachtschle. In die Betonsohle wird ein mit einem Ventil versehenes Rohr eingebaut. In dieses wird der Saugschlauch der Pumpe eingelassen und der Wasserspiegel unter der Sohle gehalten. Nach Beendigung der Arbeit wird der Schlauch zurückgezogen und das Ventil gesperrt.

akkor, ha közvetlenül a felszínre emelné a vizet, ezért áramszünet esetében könnyebben menthető; elkoptatott lapátkerekei pedig könnyebben cserélhetők.

A mélyítési munkálatok alatt természetesen csak flexibilis szívótömlőket használhatunk. Ez az egész munka egyik legkényesebb hibaforrása. A tömlők könnyen megsérülhetnek, levegőt kapnak és nem szívják fel a vizet. A szívótömlők karbantartására, megóvására igen nagy gondot kell fordítani.

Ha a kívánt mélységet elértük, általában még vízszintes vízgyűjtőtárákat (vágatokat) kell kihajtani. Ezeknek a hossza többszáz méter is lehet, aszerint, hogy mennyi vizet akarunk kitermelni, és milyen a kőzet vízáradóképesége. A szivattyúzási nehézségek ekkor már lényegesen csökkennek, mert az alsó szivattyút be lehet építeni, a flexibilis tömlőket pedig vascsövekkel lehet helyettesíteni és véglegesen be lehet építeni. A robbantások nem veszélyeztetik már közvetlenül a szivattyúberendezést és a szívófejbe sem kerülhetnek minduntalan zavart okozó kőzetszemcsék.

A vízszintes tárot lehetőleg 3—4 méterrel az aknafének felett kell indítani, hogy elegendő nagyságú vízgyűjtőzsompot kapjunk.

A végleges kiképzésnél az aknának a nyugalmi vízszint alatti részét vízzáróan ki kell betonozni és a vízszintes táróban összegyűlő vizet szükség esetén el kell zárni az aknától. Ez a megfelelő hidrosztatikus nyomásra méretezett, bordázott és tömítőperemmel ellátott vaskapuval történik. Áramszünet vagy más szivattyúzási zavar esetében sem fenyegetheti a szivattyút veszély. A kapunak újbóli kinyitása előtt a táróban levő vizet egy, a kaput megkerülő csővezeték tolózárának kinyitásával kell leengedni.

Az akna, de különösen az aknafének kibetonozása egyike a legnehezebb feladatoknak. A betonozást felülről lefelé kell kezdeni. Gondoskodni kell az oldalt fakadó vizek elvezetéséről. Általában minél több szivárgót kell létesíteni, hogy a víz a betonozás alatt elvezethető legyen és ne gyakoroljon nyomást a még meg nem kötött betonköpenyre. Ha az oldalakat a fenéig lebetonoztuk, az egész vízmennyiség alulról tör fölfelé. Ekkor következik a víz teljes kizárása.

A fenékbetonozásra a következő eljárás javasolható. Az aknazsomp közepébe kb. 3 m hosszú, 300—400 mm-es, alul perforált csövet állítunk, amelynek felső végén tolózár van. A cső köré a zsombban alul nagyobb, felül kisebb köveket rakunk oly módon, hogy köztük lehetőleg nagy hézagok maradjanak. A zsompfenek ilymódon kb. 2 m magasságig feltöltendő. A szivattyú szívócsöve a tolózáron keresztüldugva a perforált csövön át szívja az aknafének vizét. Ez alatt a kőhányás tetején elkészíthető a vasalt fenékbetonlemez. Ha ez megkötött, a szívócsövet kihúzzuk és a tolózarat elzárjuk (6. ábra). A kőhányás helyett zsaluzott állást is készíthetünk.

Az aknából kihajtandó vízgyűjtőtáronak lehetőleg kis, legfeljebb 5% emelkedése legyen. Ez nemcsak azért fontos, hogy nagyobb táróhossz mellett se veszítsünk depressziót, hanem azért is, mert ha meredekebb a táró, hirtelen vízbetörés vagy üzemzavar esetében az aknafénekben emelkedő víz hamarabb zárja el a táróban dolgozók menekülési lehetőségét. Ezzel kapcsolatban megjegyezzük, hogy a mészkőnél lehetséges katasztrofális mértékű vízbetörések dolomitban nem várhatók. Mészko esetében mindig ajánlatos hosszabb előfúrásokat alkalmazni.

Az oldaltáró irányát általában az előre kiszemelt vető szabja meg, ahol nagyobb vízjáratot remélhetünk. Ez különösen mészkőnél fontos. Dolomitban nem annyira vízvezető barlangot, kavernát keresünk, mint inkább töredezetten, lazább szerkezetű szakaszokat, ahol a dolomit vízáradóképesége nagyobb. Dolomitban sokkal ritkábbak a barlangok mint mészkőben.

Ha nincsen támpontunk arra, hogy melyik irányban remélhetünk töredezetten, vetőkkel átjárt szakaszokat, célszerű a karsztvíz áramlási irányára merőlegesen

etében könnyeb-  
tők.

ótömlőket hasz-  
tömlők könnyen  
ötömlők karban-

tőtárókat (vága-  
nt, hogy mennyi  
attyúzási nehéz-  
e lehet építeni,  
legesen be lehet  
attyúberendezést  
emcsék.

ll indítani, hogy

részt vízzáróan  
tén el kell zárni  
lázott és tömitő-  
vattyúzási zavar  
kinyitása előtt a  
nak kinyitásával

egnehezebb fela-  
az oldalt fakadó  
gy a víz a beto-  
meg nem kötött  
sz vízmennyiség

zsomp közepébe  
lynek felső végén  
eket rakunk oly-  
pfenek ilymódon  
a keresztüldugva  
tetején elkészít-  
ízzuk és a toló-  
szíthetünk.

o 5% emelkedése  
t se veszítsünk  
vízbetörés vagy  
el a táróban dolgo-  
gy a mészkőnél  
írhatók. Mészko

g, ahol nagyobb  
an nem annyira  
, lazább szerke-  
lomitban sokkal

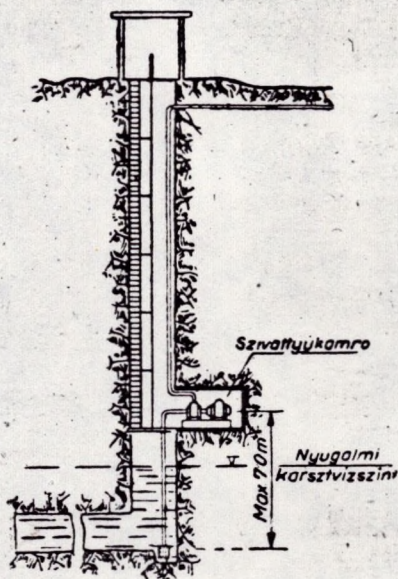
ak töredezettebb,  
ára merőlegesen

haladni, mert így biztosíthatjuk legjobban a tartós utánpótlást. Ha a kőzetben határozott és állandó csapásirány ismerhető fel, ajánlatos erre merőlegesen haladni. Talpfúrások mélyítése is növelheti a vízhozamot.

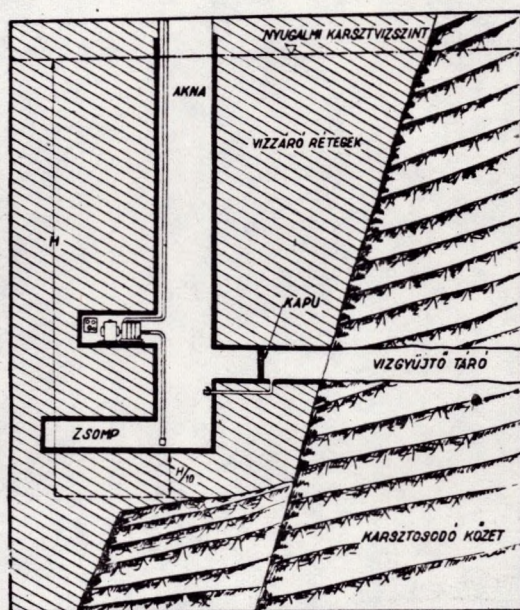
A karsztos kőzetekben hajtott táróknak biztosítása boltíves szelvény esetében általában nem szükséges. Ha azonban annyira laza kőzethez érünk, ahol a táró kiburkolása szükségesnek látszik, ügyelni kell arra, hogy a burkolat mögött a víz szabadon fakadhasson. Ezt a burkolat mögé helyezett nagyszemű, rostált zuzalékkal biztosíthatjuk.

Az aknamélyítés legnagyobb költségei, legnagyobb műszaki nehézségei a vízszint alatti szakasz mélyítésénél merülnek fel. Ezért az aknát — ha erre megfelelő adottságok vannak — a karsztkőzettel szomszédos vízzáró kőzetben mélyítjük le, és a karsztot még nagyobb táróhossz mellett is innen, vízszintes táróval irányozzuk meg (7. ábra).

Az ábrán látható aknát a karsztkőzet melletti vízzáró harmadkorú agyagrétegben mélyítették le. Mélyítés után az aknának a nyugalmi vízszint alatti részét vízzáróan kibetonozták és a karsztos kőzet irányában tárót indítottak. A szivattyukamrának üzemzavar esetében való megvédése miatt a tárót vízzáró kapuval látták el. A szivattyukamrát mindig a táró fötszintje fölé kell elhelyezni. A vízgyűjtőzsomp térfogatát ajánlatos rövid oldaltáróval megnövelni, nehogy veszély esetében a vízszint túlságosan gyorsan emelkedjék.



7. ábra. A karsztosodó kőzet mellett, vízzáró rétegekben lehajtott akna. *Abb. 7. In wassersperrenden Schichten gesenkter Schacht. In grösserer Tiefe unter dem Karstwasserspiegel wird aus dem Schacht ein Stollen gegen das wasserführende Karstgestein getrieben. Bei Betriebsstörungen kann der Stollen durch ein wasserdichtes Tor abgesperrt werden.*



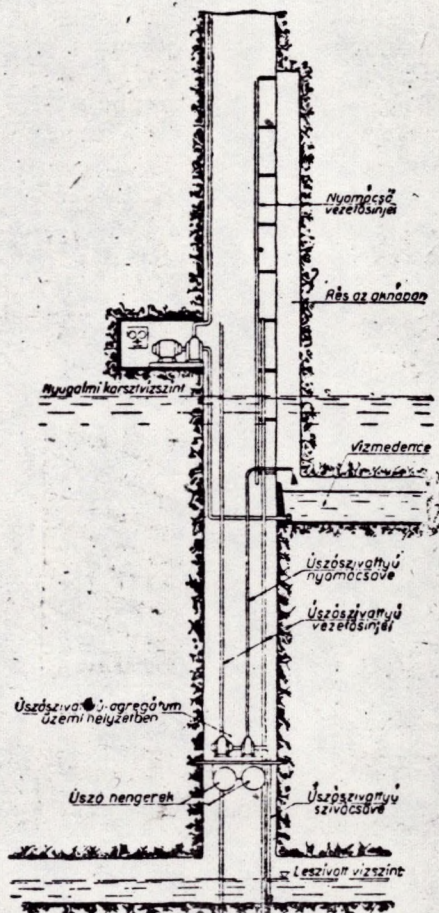
8. ábra. Egyszerű szivattyúzás, karsztvízszint felett elhelyezett szivattyúval. *Abb. 8. Einfache Pumpvorrichtung mit über dem Wasserspiegel eingebauter Maschinenkammer.*

Az akna lehajtásakor arra is ügyelni kell, hogy az aknával a karsztos kőzetet túlságosan meg ne közelítsük, nehogy váratlan vízbetörést kapjunk. A bányászokban jól bevált szabály szerint a vízzáró réteg minden métere megvéd egy légköri víznyomás ellen. Ha tehát az előzetes fúrással megállapított helyen a karsztosodó kőzet  $H$  méterrel a nyugalmi vízszint alatt van, akkor ezt a helyet az aknával csak  $H/10$  méternyire közelíthetjük meg vízbetörés veszélye nélkül.

A végleges — tehát feltárás utáni — szivattyúzás módja a karsztvíztermelés egyik kényes pontja. Nem jelent nehézséget akkor, ha már a karsztvízszint alatt néhány méterrel, a szívási magasságon belül kapunk elég vizet. Ez esetben a gépkamrát a nyugalmi vízszint felett, biztonságos helyen tudjuk megépíteni (8. ábra). Itt csak arra kell figyelemmel lennünk, hogy a várható legmagasabb karsztvízszint se érje el a szivattyút, viszont az akna vízszintje üzem közben, a megkívánt nagyságú vízszolgáltatás mellett is, a szívási magasság határán belül maradjon. A karsztvíz nyugalmi szintjének természetes, tehát csapadékokozta, szélsőséges ingadozására kellő biztonsággal kb. 3 m-t számíthatunk, így leszívásra csak 4 m marad.

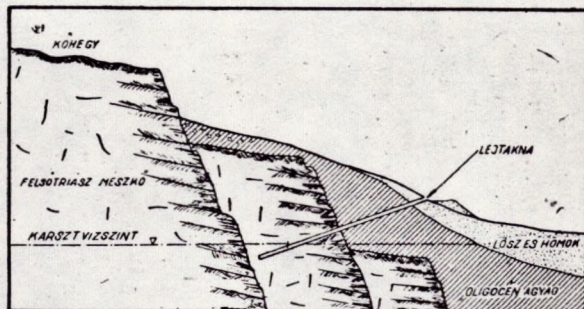
A legtöbb esetben 4 méternél jóval nagyobb depresszióval kell számolnunk, vagyis a szivattyúkamrát a nyugalmi vízszint alá kell helyezni. Ez esetben jó megoldás az aknának már vázolt vízzáró betonozása, bár teljes biztonságot ez sem nyújt, mert rendszerint nem sikerül tökéletesen. Az átszivárgó víz kiemelésére tehát tartalékszivattyút és áramfejlesztőt kell tartani.

Az egyik nagy épülő vízaknánál e kérdést hosszú, függőleges tengelyű aggregátumokkal fogják megoldani, melynél a szivattyúrész a



9. ábra.

Úszószivattyús elrendezés vázlata.  
Abb. 9. Zwischen Leitschienen gleitende, auf Schwimmern aufgestellte Pumpe für grössere Depression.



10. ábra. A bánhidai karsztvízfeltáró lejtakna vázlatos metszete.

Az akna végén vízszintes megcsapoló fúrásokat indítottak a főtörésvonal felé.

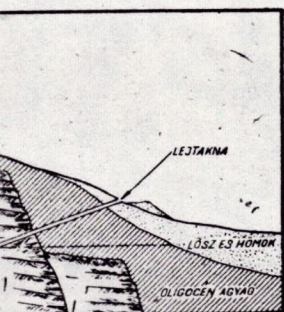
Abb. 10. Schmitt durch den Schacht bei Bánhida. Der geneigte Schacht wurde durch wassersperrenden Ton und durch spaltenlosen Triaskalk getrieben. Die wasserführende Hauptverwerfung wurde durch mehrere Löcher angebohrt. Es konnte so eine grosse Menge Karstwasser ohne Pumpschwierigkeit 24 m unter dem Karstwasserspiegel gewonnen werden.

ával a karsztos kőzetet  
 jünk. A bányászatban  
 véd egy légköri víz-  
 en a karsztosodó kőzet  
 yet az aknával csak

ja a karsztvíztermelés  
 a karsztvízszint alatt  
 et. Ez esetben a gép-  
 megépíteni (8. ábra).  
 magasabb karsztvízszint  
 a megkívánt nagyságú  
 maradjon. A karsztvíz  
 elsőséges ingadozására  
 m-t számíthatunk, így  
 ad.

n 4 méternél jóval  
 ell számolnunk, vagyis  
 galmi vízszint alá kell  
 megoldás az aknának  
 hozása, bár teljes biz-  
 mert rendszerint nem  
 tszivárgó víz kieme-  
 attyút és áramfejleszt-

vízaknánál e kérdést  
 lyű aggregátumokkal  
 nél a szivattyúrész a



karsztvízfeltáró lejtakna  
 etszete.  
 megcsapoló fúrásokat  
 ésvonal felé.  
 chacht bei Bánhida. Der  
 wassersperrenden Ton und  
 getrieben. Die wasserfüh-  
 durch mehrere Löcher ange-  
 Menge Karstwasser ohne  
 dem Karstwasserspiegel  
 werden.

15 m hosszú tengely alsó végén, az elektromotor pedig a felső végén, a nyugalmi vízszint felett helyezkedik el.

Elképzelhető még az úszószivattyús megoldás is, melynél a sínek között vezetett, úszókra szerelt aggregátum leszíváskor a beépített bakra ül (9. ábra). Az úszószivattyú a vizet ugyancsak vezetősínek között mozgó nyomócsövön át az akna oldalába vájt vályún keresztül átemelőmedencébe nyomja, ahonnan a nyugalmi vízszint felett beépített szivattyú útján kerül a felszínre.

Tagadhatatlan, hogy minden megoldásnak megvannak a nehézségei, de mennyiségű karsztvíz kitermelése nagy depresszió nélkül elképzelhetetlen. A nagy depresszió szükségességét meghatározó fizikai törvényeket nem tudjuk megváltoztatni, ezért az ilyen víztermeléssel kapcsolatos új műszaki lehetőségeket kell kifejlesztenünk.

\* \* \*

A karsztvíznek ivóvíz céljaira aknával történő mesterséges feltárását először Tatabányán alkalmazták, ahol 1908-ban a +172,8 m-es szintről 40 m mély aknát mélyítettek a triászmezskőbe. Az aknából a +134,0 m-es szinten, az akkori karsztvízszint alatt kb. 4 méterrel, K-i irányban 137 m hosszú tárot hajtottak. Ebből, valamint hét rövidebb haránttárból összesen négy jelentősebb vízeret tártak fel 2500 liter/perc hozammal. Az akna hozama azonban lecsökkent, ezért újabb aknát mélyítettek a vasútállomás közelében. Ennek vízgyűjtőtárbóját a 132 m-es szinten indították. Végül 645 m tárból 3000 liter/perc vizet nyertek.

A két akna hozama ma együttesen alig 600 liter/perc. Jelenleg a tatabányai vízszint +135 m magasságban van. Ez nemcsak a legutóbbi csapadékhiányos évek következménye, hanem az állandó bányavízbetörésekkel kapcsolatos szivattyúzásnak tudható be. E két akna példája is a minél nagyobb mélységben történő megcsapolás jelentősége mellett tanúskodik.

Dolomitban először Pilisszentivánon mélyítettek aknát, ahol rövid oldaltárból 500 liter/percnyi vizet nyertek. Ezt az aknát is csak 2 méterrel a nyugalmi vízszint alá mélyítették, ezért megérzi a szintingadozásokat.

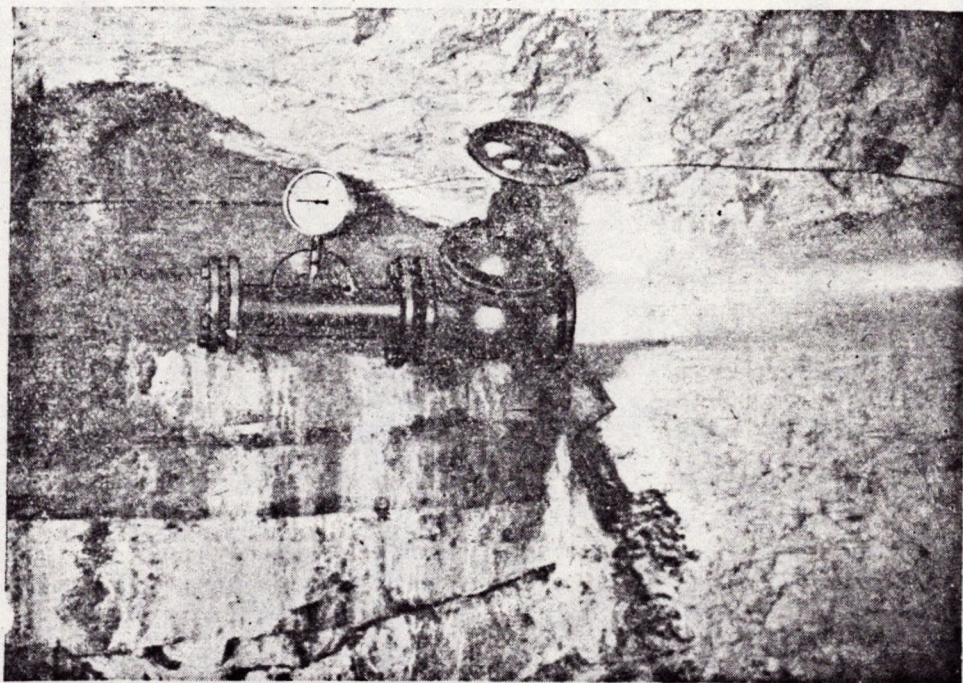
A régebbi tapasztalatok nyomán, de egészen újszerű elgondolás alapján készült a Tatabánya-Újváros vízellátását biztosító karsztakna (10. ábra). Ezt az adott terep és földtani viszonyoknak megfelelően lejtaknának képezték ki. Itt már érvényesítették a mély depresszióval való megcsapolás elvét, és 24 méterrel hatoltak a nyugalmi karsztvízszint alá, vagyis a +111 m A. f. szintig. Az aknahajtási munkálatokat jelentős részben megkönnyítette az a szerencsés körülmény, hogy a triászmezskő rendkívül tömött volt. Ezért a nyugalmi vízszint alatt nem jelentkezett nagyobb vízbetörés, és nem voltak szivattyúzási nehézségek. A várt víztartó fővető közelében azután megálltak az aknahajtással és megcsapolófúrásokat indítottak a feltételezett vízjárat felé. A fúrások teljes sikerrel jártak, és 46 mm átmérővel 300 liter/perc, 76 mm átmérővel 1000 liter/percnyi vizet szolgáltatottak (3. kép). A fúrások zárófejére szerelt fesz mérők 2,3 atm. nyomást mutattak.

Lényegesen nagyobb műszaki nehézségekkel kellett egy másik nagy karsztakna építésénél megküzdeni. Ez a Hidegvölgyben mélyített akna, amelynél szintén 24 méterrel kívántak a karsztvíznívó alá hatolni, de a folytonos vízbetörések okozta rendkívüli nehézségek miatt végül is 18 méterrel a vízszint alatt készítették el a vízszintes tárot. Ennél a már vázolt kétlépcsős, átemelőszivattyús rendszert alkalmazták, amely itt az egyetlen víztelenítési lehetőség volt és jól bevált.

A vízszintes tárot az akna felé vízzáró kapuval látták el, hogy a táro vízhozamát szükség esetén ki lehessen iktatni. A 11 m-ké k alatti nagy szivattyúzási költségek csök-

kentése végett a tárohajtást légnyomás alatt, keszonos eljárással próbálták elvégezni. Az ennél az eljárásnál szerzett lényegesebb tapasztalatok a következők voltak.

A keszonos eljárás előtt igen megnehezítette a dolgozók munkáját a sok vízbetörés, főleg a táró munkahelyén valósággal zuhogó esőként jelentkező főtévíz. A vízmentes védőruha ellenére is sok volt a megbetegedés.



3. kép. A bányaidai lejtakna egyik megcsapoló fúrása. Vízhozama 1000 lit/perc. (Szerző felv.)

*Bild 3. Das eine Bohrloch im Schacht von Bányida. Schüttung 1000 Liter/Min.*

A légnyomásos eljárás megkezdésekor ezek a kedvezőtlen munkafeltételek lényegesen megjavultak, mert a légnyomás a vízfakadások jelentős részét visszazorította. Teljesen azonban nem lehetett a vízfakadást megszüntetni. A légnyomás ugyanis csak a táró felső részén, a főténél jelentkező víznyomással tudott némileg egyensúlyt tartani, a táró talpán azonban, ahol a hidrosztatikus nyomás 0,2 légkörrel nagyobb volt, továbbra is jelentős vízfakadások maradtak. A légnyomást nem lehetett fokozni, mert különben fölfelé, a nyugalmi karsztvízszint feletti kőzet pórusaiban elszökött volna a levegő.

Később a táró felett a karsztvízszintben depresszió alakult ki, ami még növelte a táró alsó és felső része közötti nyomáskülönbséget, és a benyomott levegő nagy része a táró felső részén eltávozott. Végül is be kellett ezt az eljárást szüntetni.

Ennél az aknáknál szerzett jelentős tapasztalat még az, hogy aknáknál nem szabad — különösen dolomit esetében — a kezdeti nagyobb vízhozamból az állandó hozamra következtetni. Egy dolomitban hajtott vízgyűjtőtárá úgy működik, mint hatalmas méretű, nem telt szelvényvel folyó alagcső. Előbb-utóbb tehát kialakul a táró felett a teljes depressziósteknő és a táróra ható víznyomás, és vele együtt természetesen a vízhozam is lecsökken. Tartós vízhozamnak csak azt fogadhatjuk el, amely mellett a depressziós görbe állandósult, amit vízszintmegfigyelő fúrásokkal kell ellenőriznünk.

álták elvégezni.  
ezők voltak.  
káját a sok víz-  
entkező főtevíz.



perc. (Szerző felv.)  
Liter/Min.

munkafeltételek  
részét visszaszorí-  
tni. A légnyomás  
al tudott némileg  
omás 0,2 légkörrel  
tak. A légnyomás  
szint feletti közet

, ami még növelte  
mott levegő nagy  
járást szüntetni.  
náknál nem szabad  
z állandó hozamra  
ik, mint hatalmas  
alakul a táró felett  
itt természetesen a  
k el, amely mellett  
kell ellenőriznünk.

A depresszióstölcser vagy teknő nagysága határozza meg azt a területet, amelynek természetes vízutánpótlásától az akna tartós vízhozama függ.

Dolomitban keskenyebb hézagokban közlekedik a víz, nagyobb a sűrűlódási ellenállása, tehát meredekebb a depressziósgörbe mint mészkőnél, ahol általában tágabb hasadékokban, barlangokban, kisebb ellenállással folyhat.

Kisebb, ugyancsak dolomitra telepített karsztaknával sikerült újabban *Hévíz* régen vajúdo vízellátásának kérdését megoldani. Ez az akna a Keszthelyi-hegység dolomitjának egyik legnyugatibb kibukkanásában, egy murvabánya udvarában készült. Az aknát a bányafalban látható két hasadék kereszteződésénél mélyítették. Vízhozama kb. 3 m-es depresszió mellett 2000 liter/perc.

Mint karsztvízre telepített nagyobb vízmű említésre méltó még a *miskolci* vízmű, amely a miskolc—tapolcai hidegforrásokból jelenleg kb. 12 000 liter/percnyi mennyiséget szivattyúz.

A *pécsi* vízmű gravitációs úton kapja a Tettye-forrás igen ingadozó hozamú vizét, amit még egy a forrás közelében telepített akna kb. 600 liter/percnyi vízzel kiegészít.

Hasonlóan gravitációs úton kapja a *pápai* vízmű a tapolcafői karsztforrások vizét, amiből azonban csak 4000 liter/percnyi mennyiséget használ fel.

A fentiekén kívül még számos kisebb lakó- és ipartelep ellátása történik karsztvízzel, de ez a néhány példa is bizonyítja a karsztvíz fontosságát népgazdasági szempontból. Az eddigi feltárásokkal szerzett tapasztalatokkal kiegészített tudományos kutatások eredményei kezünkbe adták e felbecsülhetetlen értékű vízkincsünk fokozott felhasználásának lehetőségét.

## SZAKIRODALOM

- Albel Ferenc*: Tanulmány a dorogi bányamező vízelzáró tömítőfúrásairól és a vízbetörésekről. *Hidr. Közl.* 1952.
- Horusitzky Ferenc*: A víz a föld belsejében. *Hidr. Közl.* 1942.
- Kántás Károly*: A karsztvízkutatás geofizikai lehetőségei. *Tud. Akad. Műsz. és Term. tud. oszt. értesítője*, 1950. I.
- Kassai Ferenc*: Paleogén szénbányászatunk, a karsztvíz és a védekezés módja. *Hidr. Közl.* 1948, 1—4.
- Kessler Hubert*: Az aggteleki barlangrendszer hidrográfija. *Földr. Közl.*, 1938.
- Láng Sándor*: Karszttanulmányok a Dunántúli Középhegységben. *Hidr. Közl.*, 1948.
- Papp Ferenc*: Dunántúl karsztvizei és a feltárás lehetőségei Budapesten. *Hidr. Közl.* 1941.
- Pávay-Vajna Ferenc*: A «karsztvíz» és a «karsztvíztérképek» *Hidr. Közl.* 1950.
- Petrovsky A.*: A dielektromos állandó és a fajlagos ellenállás mérése. *Acad. Sci. USSR. Ind. Petrogr. Trav.* Nr. 10. 153.
- Szabó Pál Zoltán*: A mecseki karsztvíz. *Hidr. Közl.* 1940.
- Szádeczky-Kardoss Elemér*: A Dunántúli Középhegység karsztvíztérképe. *Hidr. Közl.* 1948.
- Tihonov A. N.*: A geoelektromos talajvizsgálatok fejlődése a Szovjetunióban a legutóbbi 30 esztendőben. *Acad. Sci. USSR. Bull. Geol.* 1947. 415.
- Vadász Elemér*: A Dunántúl karsztvizei. *Hidr. Közl.* 1941.
- Vendel Miklós*: Elektromos triászvízkutatás Dorogon. *Hidr. Közl.* 1941.
- Venkovits István*: Adatok a dorogi mezozoos alaphegység szerkezetével kapcsolatos üregekhez és vízjáratokhoz. *Hidr. Közl.* 1949.
- Vitális Sándor*: A karsztvíz szerepe Budapest szfv. duna-jobbparti részének vízellátásában. *Hidr. Közl.* 1937.