

DIPLOMADOLGOZAT

Gyenge Lajos Gábor
Környezetmérnök, MSc

Gödöllő
2023



**Környezettudományi Intézet
Környezetmérnöki Szak, MSc**

A Dunazug Hegyvidék Karsztvízszintjének Alakulása Az Elmúlt Évtizedekben

Belső konzulens: Sebők András

beosztás: Tudományos Segédmunkatárs

Külső konzulens: Dr Kovács Péter

beosztás: KDVVIZIG Vízirajzi csoport szakágazati vezetője

Készítette: Gyenge Lajos Gábor

Neptun kód: QF3KWV

tagozat: levelező

Intézet/Tanszék: Környezettudományi Intézet

**Gödöllő
2023**

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célkitűzések.....	3
2. Szakirodalmi áttekintés.....	4
2.1. A Dunazug-hegyvidék kialakulása és bemutatása.....	4
2.2. Bányászati tevékenység bemutatása a területen.....	9
2.3. Főbb szabályozások és törvények.....	10
2.4. A karsztvizek jelentősége társadalmi szempontból.....	11
2.5. Az ivóvíz fontossága.....	12
2.6. Korok szerinti felosztás.....	16
2.7. Karsztvíz készletek és a kialakult formáik.....	17
2.8. A felszín alatti vízáramlások.....	24
2.9. Barlangok kialakulásai.....	28
3. A vizsgálatok módszerei.....	29
3.1 A vízszintmérés menete.....	29
3.2 Kútfelmérési módszerek és a műszerek.....	30
4. Eredmények és értékelésük.....	33
5. Következtetések és javaslatok.....	40
6. Összefoglalás.....	41
7. Köszönetnyilvánítás.....	42
8. Irodalomjegyzék.....	43

1. Bevezetés és célkitűzések

A diplomadolgozatom témája a karsztvizek mozgásából adódó ingadozások kivizsgálása az egyes kutaknál. Az adott területen kiválasztott kutakat vizsgáltam több évre visszamenőleg. Az érdekelt, hogy mi válthatta ki az ingadozást és milyen szennyeződések vagy emberi tevékenységek befolyásolhatták még a karsztvizeket a kijelölt helyeken. Mivel ivóvízként is használják a karsztvizet sok helyen, kb. 20%-a karsztvíz a teljes ivóvíz felhasználásunknak, ezért is fontosnak tartom a védelmét és vizsgálatát. A gyógyfürdők egy része is karsztvizet használ, emiatt is fontos a védelme. Fontosnak tartom továbbá, hogy megőrizzük a vizek tisztaságát. A vizeink védelme az egyik legfontosabb kérdés volt mindig is. Bemutatom a Dunazug-hegyvidéket, felépítését, tájait és a fontosabb karsztvíz lelőhelyeket. A hegységek kialakulását mutatom be először és azután fogok kitérni a kutakra és a mérésekre. A mérések kivitelezését és a mérés helyszíneket írom le részletesen és azt is, hogy miért ezeket a kutakat választottam. Az egyes kutakat 4 különböző területről választottam, mert az adott területek is egyenként érdekes karsztvíz mozgást mutattak az évek során. A kiválasztott kutakban is jelentős volt a vízszint ingadozás és ezt támasztom alá az adatokkal és meg is vizsgáltam személyesen az adott kutat és környezetét.

Ez a célom ezzel a diplomadolgozattal, hogy bemutassam az adott terület karsztvíz mozgásait az adott terület csapadékmennyiségével összehasonlítva! A 90-es évektől kezdődően, amikor már a bányászat nem befolyásolta annyira a vízszint emelkedését vagy süllyedését, összevetettem az évi csapadékösszegek mennyiségét az adott terület karsztvíz mozgásával. Ezekből az információkból vontam le következtetéseket.

2. Szakirodalmi áttekintés

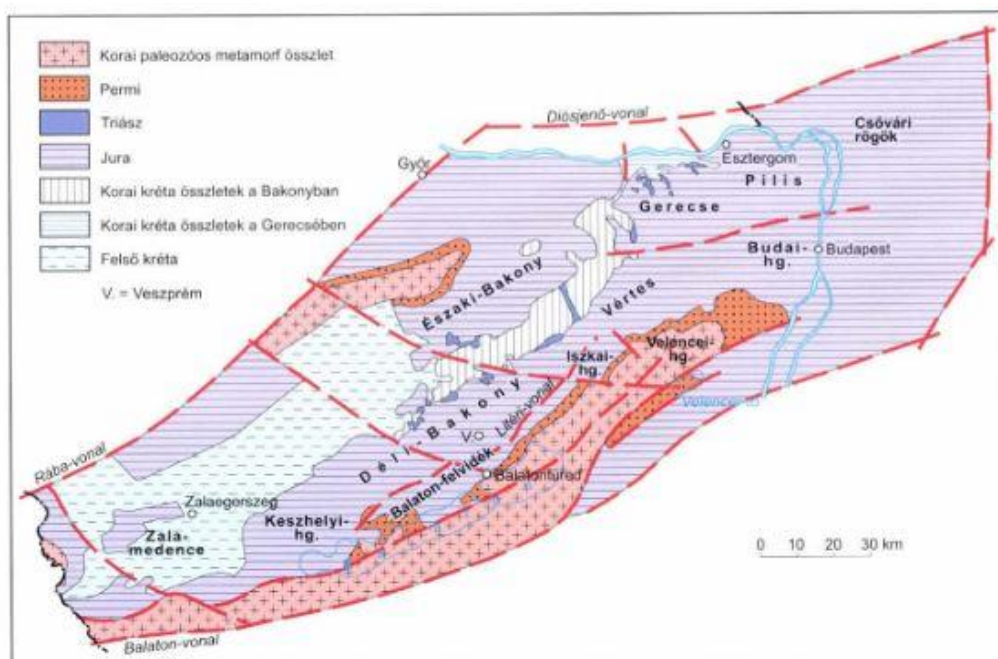
A Visegrádi-hegység még vulkanikus kőzetekből áll, de a Pilis, majd a Budai-hegység területén már az üledékes mészkő és dolomit az uralkodó kőzet. A három hegységben kb. 100 km-t kell menni, de az utunkba kerülő földtudományi, tájképi és kultúrtörténeti dolgok mindennel felérnek. Ősi völgykitöltő vulkanikus kőzetek bástyái, mészkőbe mélyülő szurdokok, barlangok sötétben tátongó bejáratai és érdekes alakú sziklaképződmények várnak ránk a Pilis és a Budai-hegységben. (Veres 2020)

A Dunazug-hegység a Pilis, a Gerecse és a Budai-hegység összefoglaló neve.

A **Pilis** a Visegrádi-hegység, a **Gerecse** és a Budai-hegység között magasodik a Dunazug-hegység legmagasabb tagjaként. A **Budai-hegység** mintegy 200 millió éves kőzettömegeit törések szabdalják fel és a törések mentén az elcsúszott kőzettömegek fokozatosan a Duna síkja alá süllyedtek. A törésvonalak mentén 100-nál is több gyógy és hévforrás hozza a forró vizet a felszínre. (http1)

2.1 A Dunazug-hegyvidék kialakulása és bemutatása.

Kis tájcsoporthok, felépülő alacsony középhegységek alkotják: a Gerecse, a Budai-hegység és a Pilis. A Dunántúli-középhegység legtagoltabb középtájának számít (1. ábra). Helyi gyűrődésekkel, aszimmetrikus kibillenésekkel, jellegzetes törésekkel jellemzett.



1. ábra. A Dunántúli-középhegység egyszerűsített alaphegység térképe.

(Haas & Budai 2002)

Kihantolt és fedett mezozoikumi sasbércek sorozata. A középhegység más tagjaihoz képest a Gerecse törésvonalai eltérő irányúak, a hegységet északon a Duna teraszos völgye, nyugati fennsíkperemén az Által-ér völgye határolja, délen a zsámbéki Nyakas-tető szarmata vonulata, keleten a Dorogi-medence zárja le. Legidősebb kőzetei a triász dolomit és dachsteini mészkő, valamint a jura és kréta mészkőformációk, durvatörmelékes elegyei. Ezekre a középső-eocén tenger agyagos, márgás, helyenként széntelepes üledékeket rakott le rétegesen. A szerkezeti árkokban az eocént követő szárazföldi periódus után a következő anyagok rakódtak le: oligocén homok, márga, kavics, a peremeken pannóniai deltakavics, agyag és homok, édesvízi mészkő. A negyedidőszaki üledékeket édesvízi mészkő, lösz, lejtőüledékek, folyóvízi homok és kavics képviselik. A hegység formakincsei alapján három kistájra különülnek:

A) Nyugati-Gerecse. A Bikol-patak különíti el a Központi-Gerecsétől. A teraszfelszíneket édesvízimészkő-takarók védték meg a lepusztulástól. Érdekesség az Által-ér édesvízi mészkövéből került elő a világhírű vértesszőlősi ősemberlelet is.

B) Központi-Gerecse. A hegység legmagasabb kistája. Morfológiai arculatát kiemelt fennsíkok és fennsíkmaradványok, közbenső és alacsonyabb helyzetű sasbércek, sasbércsorok, hegyközi medencék, teraszos, eróziós völgyek, hegyláb felszínek és hordalékkúpok, abrázios teraszok, lösz- és lejtőüledék-takarós medencedombságok határozzák meg. A miocén korból pedig abrázios teraszok, édesvízimészkő-takarók, deltakavicsos hordalékkúp-maradványok kapcsolódnak, az északi részen pedig a Duna bevágódásához igazodva a hegységperemeken a negyedidőszakban is édesvízimészkő-takarók képződtek. A mészkőből épült hegység rész bővelkedik a karsztos formákban.

C) Keleti-Gerecse. Középhegységi csapású mezozoikumi sasbércsorozat. Harmadidőszaki üledékekkel borított, eocén és oligocén széntelepes elegyek bélelik.

A felszínén néhol vörös kvarckavicsok találhatók, amelyek a miocén letarolást bizonyítják. Ezt követően kezdődött a sasbércek erős exhumálódása, a peremeken az újabb hegyláb felszínek kialakulása. A felső-pliocéntól az eróziós völgyek fokozatos benyomulásával, később a Duna bevágódásával megkezdődött a hegyláb felszínek feltagolódása. Ezek a negyedidőszak során medencedombságokká formálódtak, s ugyanekkor az eróziós völgyek teraszain, a sasbércperemeken édesvízimészkő-takarók rakódtak le. Itt is számos forrásbarlang jelzi az egykori erózióbázis helyzetét. A Gerecse sasbércsorozatát hegységelőtéri, hegyközi medencék is tagolják. Mélyen felső-kréta–eocén bauxitszintek és eocén széntelepek találhatók. A mai felszín felépítésében pannon homok, agyag és negyedidőszaki lejtőüledékek vesznek részt.

2. Budai-hegység.

Töréses, sasbérces szerkezetű alacsony középhegység.

Legidősebb kőzetei triász mészkő és dolomit. A harmadidőszakból származó kőzetek az eocén mészkő, márga, agyag, oligocén agyag és homokkő, középső-miocén kavics, szarmata mészkő, pannóniai agyag, homok, abráziós és deltakavics-képződmények, édesvízi mészkőtakarók képviselik. A negyedidőszaki üledékek közül a lösz, lejtőlösz, lejtőüledékek, folyóvízi homok és kavics és édesvízi mészkő.

A Budai-hegység 2 sasbérccsoportra tagolódik:

A) Az Ördög-árok, a Budakeszi- és a Budaörsi-medence árkos süllyedései között a Hárshégy, János-hegy, Széchenyihegy, Csiki-hegyek helyezkednek el.

B) Az Ördög-árok és a Pilisvörösvári-árok közé a Hármashatárhegy, Csúcshegy-csoport ékelődik. A sasbérceket sűrű, karsztos, hévizes barlanghálózat szövi át, laza oligocén üledékek jellemzőek erre a területre.

3. Pilis.

A Dunántúli-középhegység legmagasabb része (757 m). Főként triász dolomitból és mészkőből épült, északnyugat-délkeleti völgyekkel osztott sasbérccsoportja számos helyen megőrizte a felső-kréta kúp-karsztos formakincseit.

A Pilisi-hegységet tagoló medencék közül a Pilisvörösvári-árok és a Dorog- Piliscsévi-medence a fontosabbak. Közöttük alacsony sasbérccsoport (a Pilisi „híd”-hegycsoport) jelenti a választóvonalat, amelynek trópusi kúp-karsztos formái csak a Neogén utolsó szakaszában bukkantak elő. A Pilisvörösvári-árok összetett, árkos völgyrendszer, helyenként felszínre bukkanó trópusi kúp-karsztos maradványfelszínekkel. Vastag eocén barnakőszéntelepeit már a múlt században is bányászták. A táj súlyos környezeti állapota (bányagödrök, kőfejtők, alábányászott területek, meddőhányók stb.) haladéktalan rehabilitációra szorul. (Juhász 1989)

A Dunántúli-középhegységi fő karsztvíztároló a bányászati célú karsztvízszint csökkenéses időszak (2. ábra) után (1960-1989) az 1990-es évek eleje óta regenerálódott, a karsztvízszint és a forráshozamok folyamatosan emelkedtek. A 2. Vízyűjtő-gazdálkodási terv elkészítése során, a Dunántúli-középhegység állapot értékelése megállapította, hogy a visszatöltődés 2015 végére 90%-ban lezajlott, de a forráshozamokban még emelkedés várható. (Gondárné et al. 2015)

a vízigények lecsökkentek, számos korábban létesített kutat nem üzemeltettek tovább, mert a szükséges vízmennyiséget kevesebb létesítmény is biztosítani tudta.

A karsztvíztároló regenerálódása következtében a tároló teljes területén, az 1950-es évek közepére jellemző nyomásszintek jöttek létre megint. A karsztvízszint a természetes állapotokat tükrözi. Ennek következtében a korábban elapadt források jelentős része újra működik, vízhozamuk jelentősen megnövekedett. Több kút is pozitívvá vált. A karsztvízszint emelkedése és a növekvő vízhozamú források számos helyen jelentenek problémát. A már felhagyott, a nagyarányú bányászati vízemelés időszakában állandóan szárazon levő bányákban gyakorta raktak le hulladékot. Sok ilyen lerakót rekultiváltak is már, de maradt még olyan hulladéklerakó, aminek fenékszintjét a megemelkedő karsztvízszint esetleg elérheti (vagy már el is érte). A csapadékvizek oldó hatását a fedőréteggel próbálják meggátolni, mégis az alulról a hulladékot elérő karsztvízbe a hulladékban levő mobilis szennyezők be tudnak oldódni, ezáltal veszélyeztetik a karsztvizet is. Ezek a problémák lehetnek pontszerűek, mint a (pozitív kút), vonalas jellegű problémák (jellemzően nem megfelelően karbantartott árkok, vízelvezetések, vízfolyások) és területi jellegű problémák (felszínhez közeli karsztvízszint okozta vizesedés, bányászati területek öregségi vizei, alábányászott területeken felszínmozgások vagy a megváltozott áramlási viszonyok következtében megváltozott karsztvíz-talajvíz, karsztvíz-rétegvíz kapcsolat). (Gondárné et al. 2017)

A Gerecséhez tartozó nagy karsztos vízgyűjtőterületek ellenére nincsenek a hegység lábánál jelentősebb karsztforrások, mert a beszivárgott csapadékot teljes egészében a dorogi szénbányászattal kapcsolatos víztelenítési munkák során kiszivattyúzták már. Emiatt a 70-es években a karsztvízszint süllyedése volt tapasztalható. A Budai-hegységben a Duna mentén fakadnak a bővizű hévforrások, amiket a régi időkben létesített mélyfúrások nagymértékben veszélyeztették a források hozamát, mert ugyanazt a karsztos vízgyűjtőterület beszivárgott csapadékvizét termelik ki. A Pilis-hegység közete hasonló a budai hegységhez, jelentős karsztosodással, de nagyobb források itt sem fakadnak. A dorogi szénbányászat erre a területre is kihatott. Zsámbék, Perbál, Tök környékén több jelentősebb forrás fakad, amelyek vizüket valószínűleg a harmadkori mészkőből álló vízgyűjtőterületekből nyerik. A körzet hegyvidékeire évi 6-700 mm-es csapadékösszeg jellemző. A források vizét kis patakok és időszakos vízfolyások szállítják a Dunába. (Kessler 1959)

2.2 Bányászati tevékenység bemutatása a területen

A karsztosodás meglehetősen bonyolult, több hatótényező által befolyásolt összetett folyamat. A karszt korrózió alatt a mészkövek oldásos vagy denudációs folyamatait értjük. A karszt főleg a mészkövek, mint hegységet alkotó kőzetnek és hozzákapcsolódó természeti jelenségeknek a fejlődési állapota, amely a sajátos kőzetminőségek, térben és időben változóan megnyilvánuló, geológiai, klimatológiai és biológiai környezeti feltételek és azok összetett hatásaként jött létre és alakult így ki. A magyar szénbányászat először az Esztergomi-medencében jellemző alakú elemekkel, barlangjáratokkal, paleo karszttal találkozott, amelynek tanulmányozása a régi igazi karszt genetikai módszerekkel, a nemzetközileg is elfogadott nézőponttal, a gyakorlatban is jól alkalmazható eredményekre vezetett. A Dunántúli-középhegység fő tömegét alkotó dolomitokból sokszor a vízbetörések figyelmeztették a bányászatot arra, hogy a karsztosodással, a karsztosodás-szerű jelenségekkel a dolomitos alaphegységben is számolni kell. A dolomitok felszíni oldódása jellemző felszíni karsztformákat nem hoz létre, hasonló formaelemekkel azonban a meszes vagy nagyobb kalcium karbonát tartalmú dolomitok lepusztulási felszínén lehet találkozni. Tiszta dolomit ásványból álló dolomit kőzet ritka, kalcitot viszont kisebb vagy nagyobb arányban mindig tartalmaz. A dolomit ásvány, és a kalcit oldhatósága lényegesen eltér és különbözik az esetleg jelenlévő magnezitétől is, ezért a korrózió előbb vagy utóbb ásványi szelekciót eredményez. (Jakucs L.) szerint az ásványos kiválasztódás végterméke az aprózódó, porló dolomit, ami akár a dolomitok karsztjelenségének is betudható. Egy összetett kutatás során, Nagyegyházán 1971-1976 között 261 bauxitkutató fúrás volt. 1986-ban készült el a csordakúti összetett kutatási zárójelentés, 1987-1988-ban a Mátyás, Kelet-Zsámbék kutatás zárójelentése 150x150 m-es kutatási hálózatban 312 db fúrásról volt szó. A szén kitermelésére elkezdődött bányászati műveletek során a bányászati vízkiemelés mértéke nagyban nőtt, és 1985-ben a Dunántúli-középhegység területén folyó vízkiemelés 621 m³/percre növekedett. A 30 éves szén és bauxitbányászati víztermelés során a Dunántúli-középhegység karsztrendszerében a régió teljes területén legalább 30 m-t csökkent a karsztvíz szintje. Kiapadtak a karsztlápok és az összes karsztforrás is az eocén időszi bányászat területén. A Móri-árokktól É-ra eső térségben is kiapadtak a források. Lecsökkent a budai források nyomásszintje is. A budai meleg forrásokon még nem jelentkezett a bányászati víztelenítés hatása, de a veszélyhelyzet hidrogeológiaiilag valószínűsíthető volt. A hegység DNy-i részén elapadt a tapolcai barlangforrás és a Hévízi-tó hozama is csökkent. A bauxitbányászat miatt kivett karsztvíz 26%-a és a szénbányászati vízkiemelések 14%-a közvetlen hasznosításra került, a többi állandó vízfolyásként távozott a térségből. 30 év alatt a

térség vízháztartása teljesen megváltozott. Az OVF (Országos Vízügyi Főigazgatóság) megalakulása után a Vízháztartási Intézet jogutódjaként létrehozott VITUKI (Vízgazdálkodási Kutató Intézet) Felsőfokú Viztek Főosztályának keretében működő Karsztvíz Osztály kutatói foglalkoztak a Dunántúli-középhegység vízháztartásának vizsgálatával. Az osztály vezetői (Kesszler H., Böcker T., Liebe P.) dolgozták ki a kitermelhető karsztvíz-mennyiség meghatározásához a beszivárgás számítási módszereket és vezető szerepük volt a karsztvízszint változás ellenőrzési módszereinek kidolgozásában is, valamint a karsztvízszint megfigyelő hálózat kialakításában. Évente megjelentettek karsztvízszint térképeket és vízháztartási eltéréseket elemző tanulmányokat, a kutatási jelentések és a bányavállalatokon belül működő fő geológusi szervezetek, a Bányászati Tervező Intézet és utána a Bányászati Kutatási Fejlesztő Intézet egymással karöltve követték és elemezték a bányászati karsztvíz kérdésekben a szakmai vonatkozásokat és felhívták a figyelmet a várható nehézségekre és következményekre is. A kutatások által bebizonyították, hogy rendszeres mérések hiányában a két legfontosabb tényező, a beszivárgás, és a vízelvonás mértékének alakulása csak nagy bizonytalansággal számítható. A karsztvízszint csökkenés és a vízelvonás közötti szoros ok-okozati összefüggés alapján megállapodtak abban, hogy a kitermelhető vízhozam elfogadható biztonsággal meghatározható. Az államigazgatás a tervezett bányászatot, a víztermelés korlátozását, megelőző intézkedések vállalásával, víz visszatáplálási módszerek alkalmazásával és a kitermelésre kerülő karsztvíz felhasználásának lehetőségével keresték a megoldást. (Alföldi & Kapolyi 2007)

2.3 Főbb szabályozások és törvények

A karsztvízszintek mérőhálózatát 1952-ben, a rétegvízszintekét pedig 1966-ban kezdték kiépíteni. A hálózat mélyfúrású kútjainak száma 1966-ban 68 (a karszt és rétegvíz kutak együttesen), 1980-ban 641, 1995-ben 275 volt. A karsztvízszint észlelő hálózat főképpen a Dunántúli-középhegységben épült ki az ottani bányavíz emelések hatásának figyelemmel kísérése céljából. A rétegvízszint észlelő hálózatot főképpen az Alföldön, jobbra az üzemek kívüli termelő kutakat hasznosítva fejlesztették ki. A Magyar Állami Földtani Intézet által módszeresen kiépített, főképpen erre a célra létesített kútjainak nagy része az Alföldön van. A bőszi-nagymarosi vízlépcsőrendszer létesítésével kapcsolatosan épült ki a nyolcvanas években a Duna mentén, főképpen a Szigetközben a talajvízszint és a talajvízminőség mérési hálózata is. A mélyfúrású kutak észlelőhálózatának fejlődésével párhuzamosan fejlesztették a kutak vizsgálatának módszereit is. Előrehaladás volt az ország felszín alatti vizeinek megismerésében a kútúrás módszereinek kifejlődése és az a körülmény, hogy a 19. században a víz igény

megnőtt a lakosság részéről. Ezért az artézi kutak kiépítése is megindult és a bennük lévő vízminőség és vízmennyiség is fontos szempont lett. Az 1885. évi vízjogi törvény szabályozza a mélységi vizek feltárását és a mélyfúrású kutak építését, a védőterületek kijelölését, az 1982-ben kiadott földművelésügyi miniszteri rendelet pedig a fűrt kutak építéséhez szükségessé teszi a geológiai szakvélemény beszerzését. A forráshozamok, a felszín alóli víztermelés mennyiségének mérési módszerei a forrásvizek, a mélyfúrású kutak vizének egyre fokozódó mértékű hasznosítása következtében nehezítve, de fejlődött a rendszer. A Budapesti Műszaki Egyetem Ásvány és Földtani Tanszékén Papp Ferenc 1950-ben indította el Magyarország hévforrásainak és hévízkútjainak rendszeres vízhozam és víz hőfok mérését, valamint a jósavfői karsztvízkutató állomás tevékenységét. A VITUKI-ban, ugyancsak 1950-ben, Kessler Hubert létesítette a források hozamának mérési hálózatát és használta a hagyományos hozammérő berendezések mellett a betétgyűrűs vízhozam mérő lapot. (Ivicsics & Liebe 1997)

2.4 A karsztvizek jelentősége társadalmi szempontból.

A karbonátos kőzetek a Föld jég és vízmentes területek közel 12%-át, más források szerint 20%-át teszik ki. Ezen belül is csak 7-10%-ban alakultak ki a jellegzetes, karsztos formák és a felszín alatti vízrendszerek, de az emberiség kb. 1/4-e-1/5-e, de legalább 50 millió km² lakott terület, nagy városok és iparvidékek nyerik innen a vízellátásukat, mert a karsztforrások a legbővízűbbek a világon. Szlovéniában a karsztvíz biztosítja a lakosság többségének a vízellátását. Ez már önmagában is elég indokkal szolgál a karsztok tanulmányozásához, melyek főleg a Föld északi féltekén terjedtek el. Ezért nagy a nyomás, hogy újabb vízkincseket kell felfedezni és a már meglévőket tovább kell vizsgálni a fenntartható hasznosítás céljából.

A karsztvizek azért is olyan értékesek, mert viszonylag gyorsan megújuló erőforrásokról van szó. Viszont a karsztos területeken, ha a felszínen vízhiány van és a felszín alatti készletek megtalálása sem könnyű, így a lakosság ellátásának biztosítása hasonlóan nagy kihívást jelent a szakembereknek, mint akár egy sziget vagy a sivatagos területek ellátása.

A karsztos kőzetekben található a világ ásványkincseinek és energiahordozóinak jelentős része, hasonló területről indult el az ipari forradalom is. A karsztvizek túlzott igénybevételére sok eset van, melyek következményei két típusba sorolhatók. Ha a kitermelt víz a természetes vízmérleget folyamatosan és tartósan meghaladja, akkor tartós vízszint csökkenés következik be (Pl. Dunántúli-középhegység, Urál). Azonban ha a vízelvonás a bevétel jelentős, de nem a nagy részét teszi ki, akkor akár a 30m/1-2 hónap nagyságrendet is elérő ingadozások is kialakulhatnak. Mindkét esetben átkerül a karsztos oldás másodlagos maximum zónája (szaturációs szint), és így a karsztfejlődés is megváltozik. A bányászat a vízzáró rétegek

áttörésével, fosszilis víznyelők felszínre hozásával amúgy is nagy az esély, hogy megváltoztatja a felszín alatti víz áramlását, ez a karsztfejlődésre is kihat. A karsztvizeknél nem is csak a mennyiség lehet a probléma, mivel a karsztok a szerteágazó hasadérendszerük és az érzékeny ökoszisztémájuk miatt nagyon érzékenyek a szennyezésekre. A különféle emberi tevékenységekre, egyáltalán, a környezet bármilyen változására. Még az utak sózásából származó szennyeződés is bekerülhet a rendszerükbe. Öntisztító képességük sokkal rosszabb, mint vezető képességük. Az emberiség jó részét ellátó víztípus rendkívül érzékeny a szennyeződésekre. Másrészt a karsztos formakincsek (pl. dolinák), negatív felszíni formaként jók lehetnek a hulladék elhelyezése szempontjából. Ez sok helyen problémát okoz, mert a hulladéklerakónak használt víznyelőknek van szennyező hatása is. 25 km-rel távolabb is kimutatható a vízben a szennyezés. Ezek a problémák mind olyan területen jelentkeznek, ahol a vízgazdálkodási helyzet amúgy is egy vékony határon mozog, öngerjesztő folyamatról beszélhetünk. Az USA-ban már az 1970-es években készítettek az ilyen esetekre egy rehabilitációs programot. A víznyelőkön át pótlódó karsztvizek más kategóriába esnek, mint a csak beszívargásból származók, utóbbi esetben jelentős pufferoló rendszer működik.

Az elmúlt években kiderült, hogy a karsztos területeken nem a talajerózió jelenti a legnagyobb veszélyt, mert a közetszerkezeti ok miatt, elsődlegesen függőleges vízmozgások játszódnak le. A karszt kőzetek szűrő kapacitása a modern vegyi anyagokkal szemben lényegesen rosszabb a korábban gondoltnál. Kiváltképp a vékony talajréteggel bíró vagy teljesen kopár karsztokra igaz. A folyamatot a csapadék irányítja, vizsgálata tehát ebből a szempontból is nagyon fontos. Az újabb kutatások kimutatták, hogy az emberi fogyasztást jelentősen befolyásoló bakteriális szennyezés, nehezen vagy csak alig bomlik le, ha bekerült a karsztrendszerbe. A karsztok szűrő képessége a szennyezések jelentkezését késlelteti ugyan, de cserébe a kiürülésük idejét is kitolja. A karsztvizek mennyiségi és minőségi problémái általában egyszerre szoktak jelentkezni a túlzott vízkitermelés miatt, ugyanis a lecsökkenő vízszintkor, nagyobb az esély, hogy szennyezett víz juthat be a karsztba. Nagy problémát okozhat ez a tengerparti, száraz területeken, de szinte mindenhol megfigyelhető már, hazánkban is volt rá példa.

2.4 Az ivóvíz fontossága

Az ivóvíz megóvása a világ egyik legnagyobb feladata, még ott is ahol édesvízben nagyobb területek is vannak. A felszín alatti vizek védelmében, az EU külön szabályozást hozott létre az ún. Víz- Keret irányelvet, ami fő célkitűzésként a vízkivételek és a vízpótlás egyensúlyának megtartását, illetve a vízminőségi állapotromlás megelőzését vagy visszafordítását jelöli meg. (2000/60/EK). Hazánk törvényei is sok esetben érintik a karsztvíz készletek kérdését. Például

az 1993. évi 48. törvény a bányászatról, a bezárások végrehajtásáról, 1995. évi LVII. törvény a vízgazdálkodásról, 1995. évi LIH. törvény az élővilág fennmaradásának feltételeiről, 1996. évi törvény a természet védelméről; 203/1998 (XII. 19.) kormányrendelet, 33/2000. kormányrendelet: kiemelt védelem a karszterületeknek, 20/2001 (II. 14.) kormányrendelet: a környezeti hatásvizsgálatról.) Mindez azt jelenti, hogy a karsztvíz által létrehozott formák (pl. cseppkövek, víznyelők, források, karsztpatakok, illetve ezek élővilága, stb.) is védelem alatt áll. A kitermelhető víz alatt nem a teljes beszivárgást értjük, hanem annak a környezeti-ökológiai igényekkel csökkentett részét. A karsztok területén minden emberi tevékenység (építkezések, stb.) külön technológiát kíván vagy szinte kivitelezhetetlen napjainkban is. Az olyan építkezések, amik nincsenek jól megtervezve, átgondolva a karsztos területeken súlyos problémákat okozhatnak, a szennyezések pedig fokozzák ezt a veszélyt, mert nem várt időben és helyen robbanás veszélyes vagy mérgező gázként szabadulhatnak ki a vízből. Újabban kimutatták, hogy a barlangok radioaktivitása akár magas is lehet. A karsztvíz rendszerébe való tudatos beavatkozások (ivóvíz nyérése vagy bányászat céljából) már a régi időkben is ismertek. A karsztokhoz kapcsolódó formák mindig sok turistát vonzottak, ezért a degradációjuk bizonyos területeket, gazdasági szektorokat is érinthet. A barlangi turizmus már 1977-ben is nagyon sok embert vonzott, kb. 15 millió főt tett ki már akkor. A források, vízesések, hidrotermális vízfeltörések különleges értéket képviseltek mindig is. A hidrológiai évre vonatkozó vízmérleg éghajlati alapú meghatározása megújuló vízkészletek, körülhatárolható terület esetében ma már a modern vízkészlet kutatás alapja. A vízmérleg éghajlati oldalú kutatása azért is indokolt, mert a csapadék nemcsak a beszivárgó vízmennyiséget, hanem ezen keresztül lényegében az egész karsztosodást meghatározza, mivel a geológiai, geomorfológiai és biogén tényezők intenzifikálásában kulcsszerepet játszik. A beszivárgási kutatások felértékelődése, használati irányba tolódása és szintetizálóná válása nemzetközi szinten is megfigyelhető már. Az utóbbi egy-két évtized egyre nagyobb fontosságú problémája a klímaváltozás és ennek hatása a karsztos területekre. A probléma érinti a csapadékos országokat is. A Brit-szigeteken soha még korábban nem tapasztalt száraz időszakok jelentek meg, amelyek miatt számos karsztos vízfolyás kiszáradt. A csapadékhiány már akkora méreteket öltött, hogy az a karsztrendszer puffertoló képességét is meghaladta, ezáltal a források is elapadtak és ökológiai katasztrófa következett be. Maradandóan megváltoztak a hidrológiai jellemzőik is. Ezeknek a folyamatoknak az észlelhetőségére, nyomon követésére országos szervezetet is létrehoztak. A források elapadásában az is szerepet játszott, hogy a megszokottól eltérően a telek is szárazak voltak. A szárazság leginkább azokra a területekre volt hatással, ahol az emberi vízkitermelés nagyobb volt, ezért itt is számolnunk kellett az ökológiai vízigény

kérdésével. (Fogarasi 2005) A korábbi veszélyek mellé tehát egy újabb került, súlyosbítva a karsztvizek használata vagy inkább túl használata körül kialakult helyzetet. A karsztkutatókon keresztül a klímaváltozás is jól kimutatható. A sztalagmitok fejlődése, miután klímafüggő, érzékenyen képes kimutatni az éghajlati ingadozásokat. A vizsgált felszín alatti vízkészlet jelentőségét az adja, hogy területei elhelyezkedése miatt, tisztaságának megőrzése és sértetlensége csak az országunktól függ, tehát rajtunk múlik. A karszt területeken történt emberi beavatkozás egyik nemzetközileg is ismert példája a Dunántúli-középhegységben történt, ahol a helyi vízszint süllyesztése a világ egyik legnagyobb ilyen típusú tevékenység volt. Az 1948-1990 közötti időszak vízszintsüllyesztésének köszönhetően csaknem 30 m-es regionális vízszint csökkenés alakult itt ki, és a kitermelt készleteknek csak mintegy 28%-át hasznosították. A különböző kitermelők közül elsősorban a bauxit kitermelést, a dorogi és tatabányai és a rövid ideig működő „eocén” bányákat emelhetjük ki. Az 1970-es évek elejére az aktív vízkinyerés következményeként a legtöbb mélykarsztos forrás elapadt. A mélykarszt forrásai nem csupán jó minőségű ivóvizet adtak, hanem a környező felszíni vízfolyásokat is táplálták. A térség felszíni vízhozamának mintegy 30-60%-át, Által-ér esetében azonban 70%-át a források hozama adta. A túltermelések következtében fellépő jelenségek, mint pl.: felszíni vizek hozamcsökkenése, minőségük romlása, az élővilág elszegényedése, a felszíni víz behatolása az elapadt, kútnak használt forráskürtökhöz, stb. Számos olyan élőhelyet érintettek, melyek spontán vagy részben emberi segítséggel történő megújítása szükséges lenne. A probléma jelentőségét mutatja, hogy számos tanulmány foglalkozott a felszíni vizeknek a karsztforrás hozamok csökkenésének következményeként kialakult állapotával. Az 1980-as évek elején az Által-ér völgyének felszíni vízhelyzete olyan súlyossá vált, hogy a Dunából terveztek vízutánpótlást felvezetni Tatabánya térségébe, illetve a bányászat megszűnése után csak az említett vízfolyás minőségének biztosítására gondoltak továbbra is jelentős mennyiségű karsztvizet emelni. Az „eocén-bányák” vízszintsüllyesztésének felszíni vizekre gyakorolt hatását pedig nagyszabású, több tudományos szervezet együttműködésében készített felmérés előzte meg. A tanulmány szerint a vízemelés újabb felfutásának felszíni vízkészletekre gyakorolt kedvezőtlen hatását regionális tározó rendszer kiépítésével próbálták volna ellensúlyozni. A térség után pótlódó karsztvíz mennyiségének tisztázása tehát a felszíni vizek szempontjából is fontos lenne az előrejelzés készítése céljából, mert jelentős javulás e téren is csak a forráshozamok megjelenése után várható. A felszíni lefolyás ugyanis a csapadék ingadozása miatt eléggé bizonytalanult. A tények magukért beszélnek, alátámasztják a terület kutatásának fontosságát. A Dunántúli-középhegység karsztvizének jelentősége az, hogy a bányászathoz kapcsolódó karsztvíz kitermelés regionális vízellátó rendszerek kiépülését tette

lehetővé, aminek köszönhetően nemcsak a közvetlenül a területen lakók használják azt, hanem az ún. „kapcsolt területek” révén mintegy 1,5 millió ember. Egy ekkora ellátási terület vízigényeinek kielégítése nagy volumenű és összehangolt tervezést igényel. (Fogarasi 2005) Ez leginkább éghajlati kutatást jelent, de a célja a karsztvíz rendszer vízforgalmának pontosítása. A Dunántúli-középhegység karsztvize az 1952-86 közötti időszakban folyamatosan szennyeződött. Ennek mozgása szintén csapadékfüggő, az éghajlati kutatások segíthetik az ilyen jellegű előrejelzések készítését is. A Dunántúli-középhegység „mélykarszt” is Közép-Európa legjelentősebb ivóvízbázisát, a hazai karsztvíz készlet mintegy 70%-át rejt.

A tároló rendszer méreteire jellemző, hogy vízszintesen mintegy 130 km, vertikálisan 2,5-3 km kiterjedésű közettömegben helyezkedik el. A víztest térfogata így több száz km³ lehet. A közettömeg nagy víztartó képességét elsősorban nem méretének, hanem szerkezeti- anyagi- kifejlődésbeli sajátosságainak köszönheti. Nagy-Britanniában sokkal nagyobb területen találhatók karbonátos kőzetek, melyek lényegesen nagyobb földtörténeti korban is képződtek (devon-kréta, de főleg karbon és perm). Észak-Anglia perm mészköveiben alakult ki nagyobb karsztvíz készlet a kis porozitás következtében. Abban megegyezik a modern szakirodalom, hogy a Dunántúli-középhegység karsztvízrendszere az Őrségi-ároktól a Zagyva-árokig tartó egységnek tekinthető. Vannak benne kisebb-nagyobb egységek, melyek között a hidraulikai kommunikáció, a nyomásszintek kiegyenlítődése nem egyenletesen valósul meg, azaz késleltetett. Szélsőséges példája ennek a Balaton-felvidék, mely hidrológiailag elkülönül a fő karsztvíztárolótól. Ezek a „cellák” azonban a kőzetanyag és a geológiai szerkezet sajátosságai révén egymással lényegesen jobban kommunikálnak, mint környezetükkel és így bennük egységes víztest, a mezozoikumi, főleg triász kőzetekre támaszkodó ún. fő karsztvíz vagy közép karsztvíz található. Az egyetlen kivétel a Balaton-felvidék, ezt több szerző is külön víztestként kezeli, és a bányászati depressziók mozgása is igazolja ezt. Az egységes víztest és az ezen belüli szerkezeti egységek kettőssége alapvetően meghatározza a terület kutatási feltételeit. Ez a probléma a kezdetektől jelen van az egész karszttudományban. Maga a mélykarszt kb. 50*50 m-es alapegységekből áll. A Dunántúli-középhegység termális karsztvizeit az elején vadózusnak feltételezték. Először Kessler Hubertnek sikerült egyértelművé tenni a csapadékvíz eredetét, de mára a teljes hazai szakirodalom elfogadja ezt. Szintén egyetért ezzel a tudóstársadalom is, hogy működése „hidraulikusan vezérelt geotermális rendszerként” jellemezhető. A Dunántúli-középhegység geológiai egyedisége, hogy a krétában több helyen karsztbauxit és az eocénben nagy területen és vastagságban kialakult viszonylag jó minőségű szén telepek jöttek létre a hegyek közötti medencékben, egykori mélyedésekben helyezkednek el. Ezzel az a probléma, hogy többségük a karsztvíz níví alatt van, ezért a kitermelésük a

vízrendszerbe való drasztikus beavatkozást is jelentette. Viszont a mérésekre, kutatásokra visszaforgatott erőforrások nagyban segítették a karszt rendszerének megismerését is. A nagyfokú emberi igénybevétel következtében a vízbevétel és kiadás vizsgálata a Dunántúli-középhegységben a természetes állapotban indokolt „vízháztartási mérleg” helyett a „vízgazdálkodási mérleg” meghatározását jelenti, azaz a kitermeléseket is kell, hogy tartalmazza. (Fogarasi 2005) Az éghajlati alapú kutatások olyan kérdések megoldását is elősegíthetik, melyeket a karszt hidrológia és a hidrogeológia mindezekig nem tudott egyértelműen eldönteni. Sem a korábban említett cellák, sem a fő karsztvíz és környezete közötti kommunikáció nem volt tisztázott. Ezek a kiürülési vagy éppen betáplálási pontok, felületek ugyanis szemben a forráshozamokkal vagy a kitermelésekkel zártak és az ember számára csak nehezen hozzáférhetőek. Ugyanez elmondható a beszivárgási területekről is.

A megfelelő helyre telepített, ma is működő karsztvíz észlelő kutak éppúgy hiányoznak, mint a meteorológiai mérőállomások. A bányák megszűnését követően ugyanis a világviszonylatban is kiemelkedőnek minősíthető megfigyelő hálózat 3/4-e megszűnt. Utóbbival kapcsolatban felmerül még egy probléma, már emberi hatásoktól erősen befolyásolt vízszintet örökített meg. Jelen állapotban csak a beszivárgás pontos értékeinek tisztázásával lehetne ezeket a kérdéseket eldönteni vagy legalább is a válaszokat biztosabbá és pontosabbá tenni. A különböző szakirodalmak a Dunántúli-középhegység fő karsztjának kiinduló vízmérlege a kutatás során 600-750 m³/perc volt, melynek többségét, mintegy 440 m³/percet a forráshozamok tették ki. A bevételi, illetve a kiadási oldalak között mintegy 100 m³/perces eltérés van, utóbbiak javára. Ennek oka lehet a beáramló rétegvíz is, a szakirodalmak alapján azonban a nem megfelelő csapadékadatokból történő beszivárgás számítások okozzák. A pontos vízmérleg meghatározása azért is nehéz, mert a vízszint nagyarányú süllyedése miatt a mellékes vízkiáramlások több helyütt is betáplálássá váltak, és ennek következményeként a ténylegesen a fő karsztba került vízmennyiség nagyobb lehet a számítottnál. A Gerecse térségében 60 km² kiterjedésű karsztvíz felszín vált szabadtükrűvé. Ez a terület, Tatától északra helyezkedik el, ami 15%-kal növelte meg a térség lehetséges beszivárgási zónáját. Ezen a területen mintegy 20 éven át a Duna is táplálta a karsztvíz szintet. A fő karszt alacsony vízszintjéből adódó mellékes utánpótlások a szint emelkedésével az 1990-es évek közepén meg is szűntek. (Fogarasi 2005)

2.5 Korok szerinti felosztás

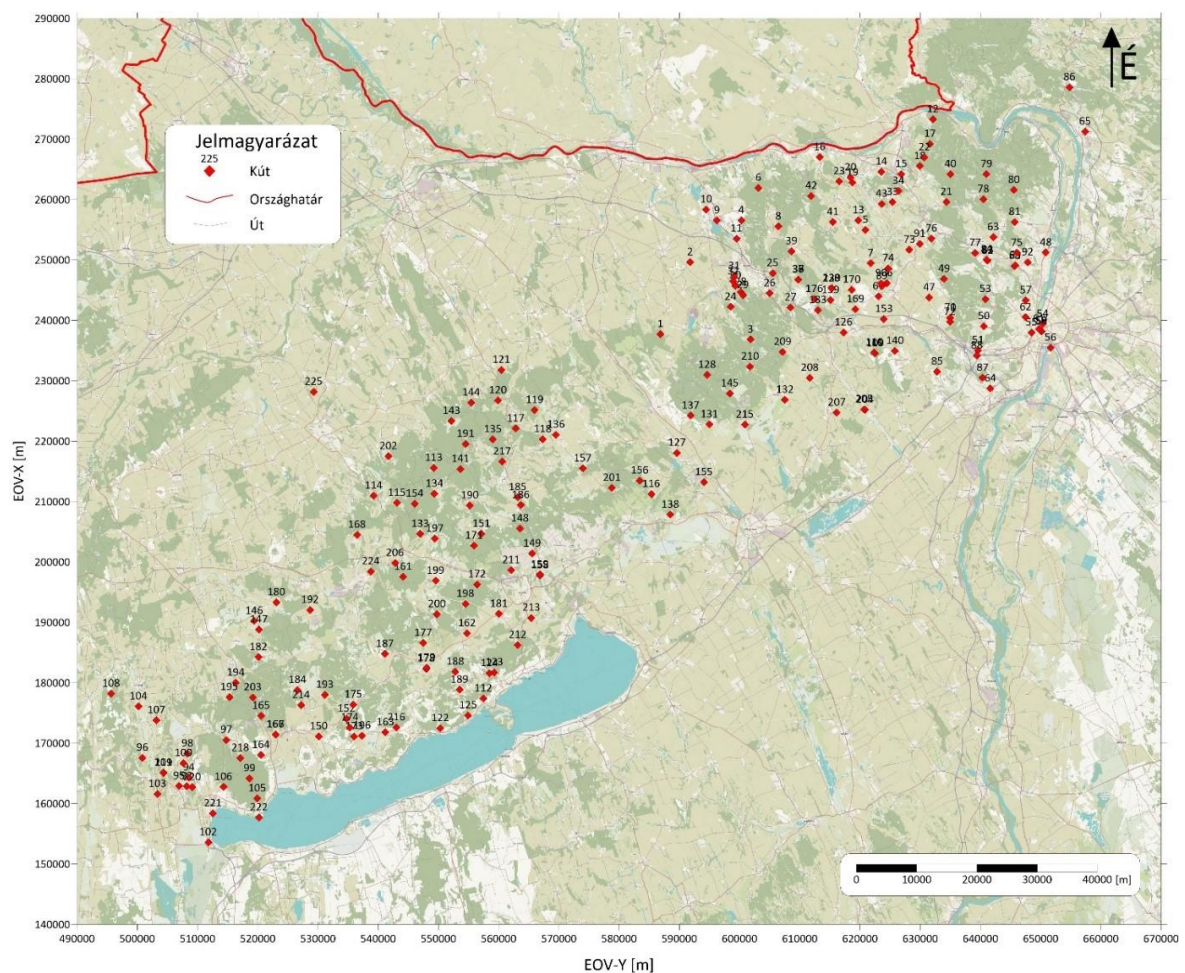
A Gerecse hegység és déli előtere: a gerecsei szegmens legidősebb triász képződményei a Vértessomlói-vonal északi oldalán Mátyás és Zsámbék térségében ismertek a felszínen, ahol a tűzköves mészkőre Kádártai Dolomit települ. A Zsámbékon végzett alapfúrás az alsó-karni

dolomit és a Fő dolomit Formáció közötti teljes rétegsort harántolta. A karni rétegsor az agyagtartalom növekedésével mintegy 80 m vastag, mészkő betelepüléseket tartalmazó szürke márga egységgel, fokozatosan fejlődik ki a dolomitból és a Veszprémi Márga alsó tagozatával hozható egy időbe. A Pilis hegység a vértessomlói vonal kelet felé a Róka-hegyig követhető. Az ettől északra lévő területet soroljuk a pilisi területhez. A legidősebb felszíni triász képződménye a „diplopórási dolomit” ami a Budaörsi Dolomit Formáció része, amely a Nagykovácsitól É-ra lévő Nagy- Szénást építi fel. WEIN (1977) földtani térképe szerint Pilisszentiván közelében a képződmények dőlése ÉK felé fordul és Pilisvörösvárnál a Ladinba sorolt dolomitra változatos karni rétegsor épült. A Pilisvörösvár rétegsorának alsó részét tűzköves mészkő, felette bitumenes mészkő, majd ostracodás dolomitmárga található. Ez a rétegsor a csákberényi formációnak felel meg. Fölötte porló dolomit van, ami felső-karni besorolást kapott. Ezt a Formációt fedő dolomit tehát a Fő dolomit Formáció alsó részébe sorolható. A Fő dolomit Formáció a Nori időszakba sorolható szakasza Pilisborosjenő területén ismert. Legfelső szakaszán a rétegsor Lofer ciklusos jellege egyértelműen látszik. A meredek dőlésű dolomitra, ami szintén Lofer ciklusos dachsteini mészkő itt közvetlenül rátelepült. A mészkő a Pilis vonulatban végig követhető. A Pilis-tető DK-i végénél a Fő dolomitra (Fenyőfői Tagozat) települ a Lofer ciklusos dachsteini mészkő, amely foraminifera és Dasycladalea alapján a középső, felső Noriba sorolható. A Feketehegyi Formáció középső Nori fáciesű dolomit és mészkő rétegsorára a dachsteini mészkő zátonytörmelékes platformelőtéri lejtő települt rá jobban (Nagy- Strázsa-hegy). Ez a Formáció megtalálható pár fúrásban a Pilisvonulattól ÉNy-ra is, de elhelyezkedéséről vonatkozóan kevés adat áll rendelkezésre. A dorogi Nagy- Kőszikla a dachsteini mészkő legfiatalabb, Rhaeti korú rétegét képviseli. A Duna-balparti rögökben a dachsteini mészkő a Budai-hegységhez hasonlóan vastagpados kifejlődésű és ezért a Remetehegyi Mészkő Tagozatba van a helye. A Vác melletti Naszály blokkjában a Remetehegyi Tagozat alapján Nori korú. A Vác–14 mészkőkutató fúrás közettani vizsgálata szerint a rétegsort onkoidos, esetenként peloidos, intraklasztos szövetű karbonátos kőzetek építik fel, amelybe vékony sztromatolitos rétegek nyomultak be. A feltárt 200 m-es rétegsor nagy része dolomitosodott, a dolomitosodás uralkodóan késői diagenetikus, hidrotermális folyamatok által jött létre. (Budai & Haas 2014)

2.6 Karsztvíz készletek és a kialakult formáik

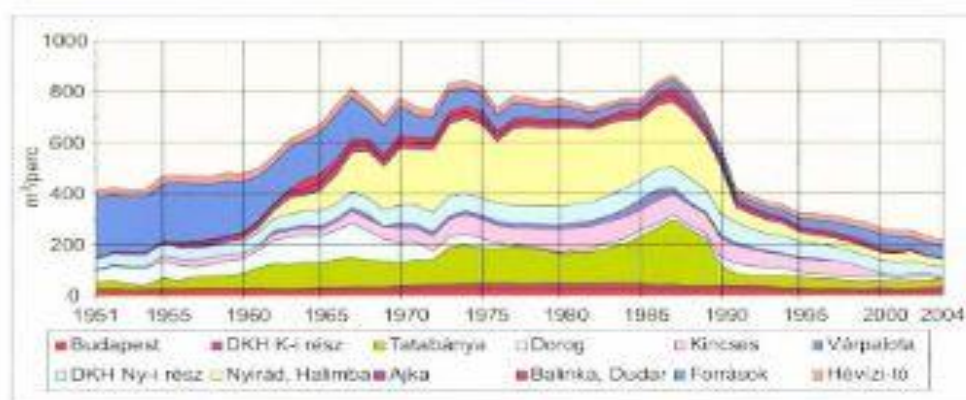
A Dunántúli-középhegységi az ország legjelentősebb karsztvíz tartó képződménye. A tárolóból fakadó, a bányászati és ivóvíz célú vízkivételek hozamának mérése már az 1950-es években megkezdődött. Ebben az időben épült ki a közel 100 forrást magában foglaló mérőhálózat, és

az első karsztvízszint észlelő kutakat is ebben az időben telepítették és az újabb karsztvízre veszélyes szén és bauxitbányák megnyitása. Emiatt megnőtt a bányászati célú karsztvíz kivételének mértéke, így a 60-as évek közepére a teljes vízkivétel már meghaladta a tároló vízkészletét. A megnőtt vízkivételek következtében, az egész területre kiterjedő nyomáscsökkenést okozott, ami az egykor nagy hozamú hideg és langyos vízü források elapadásához (Tapolcafő, Tata, Bodajk), majd a peremi hévforrások hozamának csökkenéséhez vezetett (Budapest, Hévíz). 1990, márciusában a nagygyeházi bánya bezárása az ÉK-i részen, majd az év szeptemberében a nyirádi bánya bezárása a DNy-i részen elindította a tároló regenerálódását, ami néhány év alatt a fő karsztvíz tároló teljes területén érezte hatását. A nyomásemelkedés azóta is tart. A karsztvíz túltermelés miatt a tárolóban megindult nyomásvátozások megfigyelésére 1968-ban kezdték meg a karsztvízszint észlelőhálózat kiépítését. A hálózat ma már több mint 230 észlelőkútból áll, több mint 50%-a fel is van szerelve észlelőműszerrel (3. ábra).



3. ábra. A kutak elhelyezkedés a Dunántúli-középhegység és környezetében (forrás: Geo-Log kft)

Az észlelő kutak mért adatai a VITUKI-ban 1968-tól évente kiadásra kerültek a tároló karsztvízszint-térképpel együtt. 1987-ben készült el a VITUKI-ban a fő karsztvíz tároló nem permanens hidraulikai modellje. Egy részletes adatbázis is elkészült, ami tartalmazza a víztartó nyomásviszonyait meghatározó főbb tényezők meteorológiai, víztermelési és a forráshozam adatok idősorait 1951-től napjainkig. A modell szimulációs időszaka az elmúlt 50 évet foglalja magába. A modell eredményei az elmúlt évtizedben a karsztvízgazdálkodás jövőjét alapvetően fontos döntések előkészítésénél hasznosultak, mint a karsztvíz kivételi limitek felülvizsgálata, a bányabezárásoknak a karsztvíz készletre és a vízminőségre gyakorolt hatása. Az 1960-90 közötti időszakban a középhegységi fő karsztvíz tárolóban nagyrészt a szén és bauxitbányászathoz kapcsolódó vízkiemelés miatt az egész tárolóra kiterjedő regionális süllyedés jött létre (4. ábra).



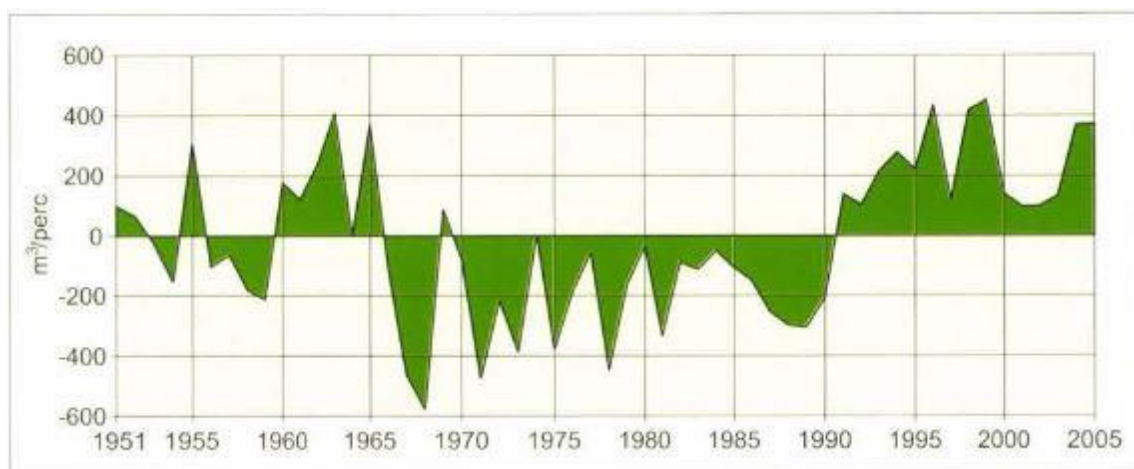
4. ábra. Összes vízkivétel a Dunántúli-középhegységből (Alföldi & Kapolyi 2007)

A nagy hozamú karsztforrások elapadtak, a peremi hévforrások hozama csökkent, a karsztvízszint süllyedés miatt a tároló jelentős részén elérte az 50- 100 m-t. 1988-tól a karsztvízre veszélyes bányák bezárásával a túltermelés megszűnt, 1994-től a karsztvíz mérleg az utánpótlás és a vízkivételek egyenlege pozitívvá vált, megindult a tároló regenerálódása. Az elmúlt 32 évben bezárt a nagyegyházi, mányi, várpalotai szénbánya, a nyirádi és a kincsesbányái, oroszlányi bauxitbánya. Az egykori bányavíz kivételekre települt ivóvízbázisokon (tatabányai vízaknák, Rákhegy) a kényszer vízkiemelés megszűnt. A nagy vízkivételek után a tároló nyomásemelkedésének szintje várható. A vízkivételekre vonatkozó és a jövőbeni csapadék és beszivárgási viszonyokból adódó bizonytalanság kb. 15 – 20 évig kis mértékben módosítja a már eddig befejeződött, a bányavíz emelések leállása miatt bekövetkező visszatöltődés menetét. (Csepregi et al. 2002) A 90-es évek csapadékosabb időjárása miatt megváltozni látszott az 1970-93 közötti száraz, tendenciájában fokozatosan csökkenő utánpótlással jellemezhető időszak. Az 1996, 98, és a 99. év az elmúlt 30 év átlagánál

lényegesen magasabb csapadékot és beszivárgást eredményezett. A középhegység teljes területét tekintve az 1970-2000 évi átlagos beszivárgás $467 \text{ m}^3/\text{min}$, de 1996, 98, 99-ben a számított beszivárgás 663 és 652 és $700 \text{ m}^3/\text{min}$, az átlaghoz viszonyított többlet mintegy 40 %-os. A magasabb beszivárgás a jelenlegi helyzetben jórészt a tároló regenerálódására fordítódik. A tárolóból kivett karsztvíz mennyisége 1987-től kezdve csökken. Ennek egyik oka, hogy a vízveszélyes bányák bezárásával a vízkivétel 1991-ig a 70-80-as évekre jellemző $800 \text{ m}^3/\text{min}$ -ről a felére csökkent. A vízkivételek csökkenése, kisebb mértékben, de folytatódott. A karsztvíztárolóból kitermelt, és a forrásokon elfolyó vízhozam 96-tól $300 \text{ m}^3/\text{min}$ alá került, 2000-ben már $230 \text{ m}^3/\text{min}$ -re csökkent. A visszatöltődésnek új erőt adott, hogy 1998 decemberében megszűnt a rákhegyi kényszer-vízemelés és 1999 őszén felengedték a bitói bauxitbányát is. Így a fő karsztvíz tároló területén már csak a dorogi, mányi, balinkai (regionális vízmű), ajkai és halimbai bányákban folyt tovább bányavíz emelés kb a 2000-es évek elejéig, összesen mintegy $40 \text{ m}^3/\text{min}$ vízhozammal. A csökkenés másik oka a víz árának növekedéséből adódó víztakarékossággal, és ennek következményeként egyre kisebb vízigénnyel magyarázható. A 3 nagy ivóvíz kivételi mű (nyirádi, rákhegyi és tatabányai vízaknák) összes vízemelése jelenleg kb. $61 \text{ m}^3/\text{min}$, ami csak 40 %-a, a 90-es évek elején mért ivóvízkivételeknek. A jelenleg is működő források rendszeres hozammérésének hiánya miatt, a nagyszámú egyedi kút termelési adatának bizonytalansága miatt a vízkivétel hibája elérheti a 10 %-ot, emiatt a tényleges vízkivétel ennyivel nagyobb is lehet. A jövőre nézve tehát a forráshozamok növekedésével a jelenlegi időszakra jellemző vízmérleg többlet lassan megszűnik. Ezzel párhuzamosan a túltermelés idejében kialakult, a fedőrétegek felőli mellékes átszivárgás iránya megfordul, és a tárolót megcsapoló kiáramlás lesz jellemző. A 2000-es évek elején a még megmaradt kisebb bányák is bezárásra kerültek. A Vértes és Gerecse-hegység környéke a bányavíz emelés okozta depressziók együttes hatására 1970 után a karsztvízszint kb. 30 - 50 m-t süllyedtek. Egyes nyíltkarsztos területeken fekvő kutak beszivárgási hatásokat jól tükröző 130-150 m között ingadozó szintje önálló karsztvíz emeletre utal. (Edelényi 2002)

A nagyegyházi bánya leállása óta, a megindult visszatöltődés miatt a depressziós centrum körzetében közel 40 m-es, a Tatabányai-medence területén mintegy 20 m-es, a Vértes-Gerecse nyílt karsztos területein 15 m-es emelkedés történt a 2000-es évek elején. Dorog-Esztergom környékén, a lencsehegyi bányavíz emelés leállítását követően 8-10 m körüli emelkedés után nagyjából 115 mBf (mBF=a Balti tenger feletti magasság, méterben) körüli szinten stabilizálódtak a vízszintek. Ettől Ny-ra, Nyergesújfalutól Gyermely-Tarján vonaláig 115-120 mBf-es vízszintek lettek, míg a Dorog-Tatabánya vonaltól távolabb fekvő területeken Tata,

valamint Budajenő térségében 120 - 125 mBf fölé emelkedett a karsztvízszint. A terület legjelentősebb forrásai a tatai források (5. ábra).



5. ábra. A fő karsztvíztároló vízmérlege (Alföldi & Kapolyi 2007)

A modell vizsgálatok a Fényes forráscsoport megindulását 2001 második felévére jelezték előre, a Katona-forrás medencéjében 2001 nyarán felszínre tört a karsztvíz, de a kb. 1,5 m-rel magasabb bukó szintet már elérte. Egykor a város területén fakadt több kisebb, különböző szinten elhelyezkedő forrás normál működése az évtized közepétől várható volt. A folytatódott nyomásemelkedés során, a víztermelések mellett az összes egykori tatai forrás megindult, csupán a legmagasabban (140 mBf szinten) fakadt Pokol-forrás működése volt kérdéses. A Pilis és Budai-hg. környéke A Középhegység ÉK-i végén a Pilisben a Duna, mint erózióbázis közelsége határozza meg a karsztvízszint természetes szintjét. Esztergomnál az átlagos Duna vízszint 104 mBf. Az eredeti karsztvízszint a Dunához közeli észlelő kutakba 1982-ig 105 mBf körül ingadozott, így a Duna is kis mértékben megcsapolta a karsztvíztárolót. Az eocén bányák vízkivétele miatt kialakult vízszint csökkenés következményeként a Duna közel 20 évig táplálta a karsztot, de az 1992-től megindult visszatöltődés eredményeképpen 2001-re a karsztvízszint újra elérte a Duna szintjét. A Budai-hegység beszivárgási területeinek NY-i és középső részén Budajenőtől Solymár, Máriaremete-Budaörs vonaláig a mérések szerint az eredeti karsztvízszint 120-130 mBf körül, míg a Duna vonala mentén 103-105 mBf-en húzódik. Ennél mélyebb vízszint észlelhető a Gellért rakpart kutjaiban, ahol a szökevényforrásoknak a Duna vízszintjével fordítottan változó hozama következtében a mért karsztvízszint a Duna vízállását követi. (Edelényi 2002) A hegységet NY felől határoló Zsámbéki-medencében, az utóbbi 10 évben mért mintegy 20 m-es, és az É-ről határoló Pilisvörösvári-árokban tapasztalt 4-8 m-es vízszintcsökkenés ellenére, a hegység nyílt karsztos területein nem, vagy csak igen kismértékű vízszint csökkenés volt tapasztalható. Az 1970-80-as évek magasabban számított értékei

nagyrészt a ténylegesnél kisebb karsztvíz termelési adatoknak tulajdoníthatók. Az évszakos visszatérés mellett is egyértelmű a nyomásnövekedés a budapesti termálkarszt É-i részén, ahol az elmúlt 10 évben átlagosan mintegy 1,5 m-es emelkedés volt tapasztalható a vízszintekben. A 200-es évek elején, a budapesti termálkarszt terhelése nem növekedett, átlagos beszivárgás volt tapasztalható, a nyomásemelkedés megtörtént, amire lehetett számítani. A folytatódott regenerálódás mellett is szükség volt a budapesti termálkarszt területén a kiadott engedélyek felülvizsgálatára, mivel azok mennyisége lényegesen meghaladták a tárolóból kivehető vízmennyiséget. A bányavíz emeléseknek a 2000-es évek elején történt leállításának hatására, ma már inkább az ivóvízkivételek játszanak meghatározó szerepet. A tényleges vízkitermelések az elmúlt 25 évben a $250 \text{ m}^3 / \text{min}$ körül alakultak, így a karsztvízre újabb jelentős vízkivétel legfeljebb a régiek kiváltása céljából települ, abban az esetben a $200 \text{ m}^3 / \text{min}$ körüli mérlegtöbblet következtében 2010-ig a karsztvíztároló nyomásállapota már megközelítette az intenzív bányavíz kivételek megelőző nyomásállapotát. Ez a mérlegtöbblet azonban a források újraindulásával, a hozamok növekedésével a 2010-es években fokozatosan megszűnt. Az előrejelzések alapján arra az időre már számítani lehetett a budai és hévízi termálforrások hozamának további regenerálódása mellett, a tatai, az Eger-víz menti, a visszatöltődési folyamat további fenntartásával később a tapolcafői források működésére is. A bányavíz kivételekre települt nyirádi, kincsesbányai koncentrált vízkivételek következtében várható volt a gyepükajáni, és fehérváracsurgói, zámolyi források teljes működése is. A karsztvíztároló időben több évtizedig elhúzódó regenerálódásának eredményeképpen az egykori nagy hozamú források egy része újra megindult, bár hozamuk az eredeti természetes hozamokat nem érték el. A karsztvíztároló vízforgalmának pontos ismeretéhez szükség van az észlelő kutak vízszint-észlelése mellett, a forrásmérő hálózat bővítésére is, valamint a víztermelő kutak, vízaknák víztermelésének a szélesebb körű mérésére. A Dunántúli-középhegységi öv hidrogeológiai információs rendszere is az észlelő kutak adatainak és a méréseknek köszönhető. A terület ÉK-i kiemelt részén, a Vértesben és a Gerecsében folytatódtak a szokásos terepi mérések (vízhozam, víz hőmérséklet, vezetőképesség, pH), a források mintázása makro és mikroelem, valamint stabil izotóp vizsgálatra. Tovább folytatódott az adatbázisok építése, valamint a bauxitbányászattól átvett vízszint megfigyelő kutak mérése és értékelése. Megkezdődött a 3D módszer kidolgozásának mintaterületül kiválasztott Héreg-tarjáni medence térinformatikai rendszerének építése a GeoMedia programmal. (Edelényi 2002)

Megállapítható, hogy a karsztvíztárolóba történő pontszerű beszivárgás így is kevesebb, kb. tizede a területi beszivárgásnak, a felszíni víz forgalom változása is csak az ismert forrás elapadások a bányavíz bevezetések következménye. A Dunántúli-középhegység karszt és

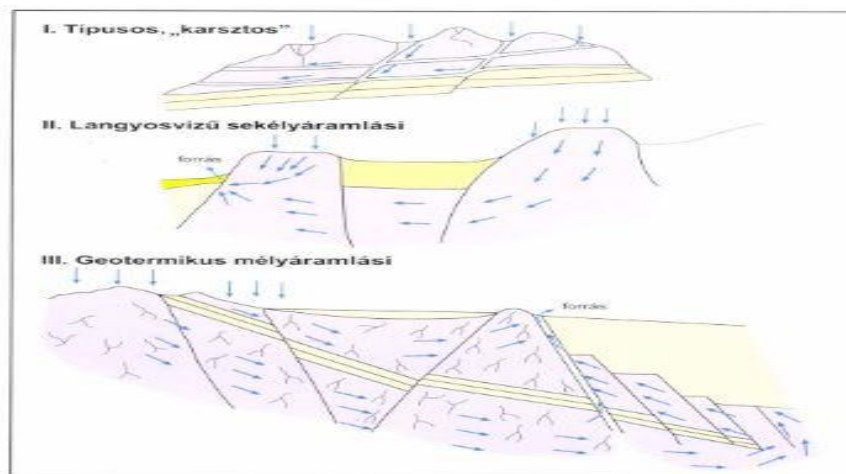
egyéb vizeinek szennyeződési folyamata a bányászati vízemeléstől, a regionális süllyedés kialakulásától igazából független, a felszín alatti vizek nitrátosodásában nyilvánul meg leginkább. Ez a folyamat regionálisan kimutatható a karsztvíztárolóban, s a vizsgálatok szerint elsődleges oka a csapadék nitrát tartalmának növekedése. A növekvő tendencia ellenére a nitrát koncentráció regionálisan kisebb, mint a megengedett 40 mg/l-es határérték, de lokálisan előfordulnak ennél nagyobb értékek is, és ezek már közvetlenül kapcsolatba hozhatók a közeli kommunális, ipari és mezőgazdasági szennyező forrásokkal. Rendkívül nagy nitrát koncentrációkat mértek a talajvíztartó képződményekben, ásott kutakban. A kisvízfolyások vízminősége általában a közösségi, ipari és mezőgazdasági szennyezés hatására romlott az utóbbi évtizedekben, ezt a forráshozam csökkenések súlyosbították. A bányavíz bevezetések viszont enyhítették. A kialakult negatív helyzet a szennyeződés kivételével döntően a bányászati tevékenység következménye. A bányászat emelte ki a teljes vízmennyiség több mint háromnegyedét, ezen belül a bauxitbányászat a bányászat által kiemelt mennyiség több mint felét jelenti, a többit nagyrészt a szénbányászati vízemelés teszi ki. A bányászat 1950-ig passzív, 1965-ig passzív preventív, 1980-ig aktív víz elleni védekezést alkalmazott, 1980 óta kombinált védekezési módok alkalmazása indult be, amellyel az aktív védekezési módhoz képest jelentősen kisebb vízmennyiség emelése mellett lehet a szükséges üzembiztonságot megteremteni. A nagymértékű bányászati vízemelés jelentősen befolyásolta a terület vízgazdálkodási rendjét. A forráselapadások miatt az ezekre telepített vízműveket meg kellett szüntetni, s újabb művek csak a Balaton felvidéken voltak telepíthetők. A kiemelt bányavíz egy részét ivó és ipari vízellátásra hasznosították, de ezeknek a vízkivételeknek a helye a koncentrált vízigényektől távolabb esik, ezért a bányavíz hasznosítás regionális víz ellátó rendszerek kiépítésével is együtt járt. A nagyarányú karsztvíz termelés felismert káros hatásai miatt 3 évtizede jelentősen korlátozzák az új vízkivételek telepítését, ami a helyi ivó és egyéb vízigények kielégítését gátolja. Kis vízfolyásoknál a forráselapadások okozta hozamcsökkenést a bányavíz bevezetések nagyrészt ellensúlyozták, sőt több helyen többletet is jelentettek, amelyekre felszíni vízhasználatok telepedtek. Ezen a területen a legnagyobb problémát a bányavíz emelés megszüntetése utáni időszak jelentette. A megnövekedett figyelem miatt a helyzet romlása megállítható volt, és így a további károk is megelőzhetők voltak. A Dunántúli-középhegység Ny-i részén a nyírádi víztelenítés a 90-es évek elején erőteljesen csökkent, ami a Hévízi-tónál a helyi védelmi intézkedésekkel együtt javulást hozott, valamint kedvező hatással volt az ÉNy-i peremvidék talaj vízszint süllyedése és a mezőgazdasági károk elkerülése szempontjából. A Dunántúli-középhegység K-i részén az eocén bányászat mindig is feszített helyzetet alakított ki. A budapesti termálkarszt védelme a legfontosabb peremfeltétel. Az eddigi

vizsgálatok azt mutatták, hogy a termálkarszt nyomása nem csökkenhet a Duna szintje alá, s ezt csak a K-i területen tett elsősorban bányászati vízmérleg egyensúlyozó intézkedésekkel lehetett elérni. Az intézkedések egy részét a fővárosi fürdőknél tették, mint a mérési, ellenőrzési, értékelési üzemi rendszer tökéletesítésével, valamint az optimális vízgazdálkodási rend kialakításával. A Dunántúli-középhegység karsztvíz kitermelésének növekedését meg kellett állítani, helyileg mérsékelni kellett, de az eredeti állapot visszaállítása sajnos nem sikerült. A karsztvíztároló mérleg hiányának megszüntetése nem jelent egyet az eredeti állapot visszaállításával. Helyi visszatöltődések mellett a regionális süllyedés növekedése megállítható volt, egy új dinamikus egyensúlyi állapot jött létre, amely mellett a környezeti károk nem haladják meg az elviselhető értékeket. Mindez fokozott ellenőrzés és operatív vízgazdálkodás, a kellő időben tett jelzésekre hozott gyors döntések és intézkedések mellett lehetséges. (http2)

2.8 A felszín alatti vízáramlások

Nagy szerepe van a vízkészletek megújulásában. A felszín alatti vizek a tároló közettől függően, egymással dinamikus egyensúlyban lévő áramlási rendszereket alkotnak. A részrendszerek határai dinamikus egyensúly által fenntartottak. Ezért a felszín alatti vizek kitermelése új áramlási körülmények kialakulásával is jár és az eredetileg elkülönült rendszerek vízkészlete a termelő rendszerhez átvihető. A hidrogeológia fejlődésének első szakaszában a kutatók inkább statikus szemléletűek voltak, de lényegében soha nem tagadták a felszín alatti vízáramlások létezését. Természetes körülmények között a lassú, legfeljebb dm/év nagyságrendű mélybeli vízáramlások szerepe elhanyagolható volt, ezért a hangsúly inkább a tárolt „statikus” vízkészlet jellemzőinek meghatározásán volt. A vízkivételek növekedése miatt új helyzet alakult ki, amely a dinamikus szemléletet erősítette inkább. Pl.: Szabó József 1857-ben a budai meleg források eredetét a következőképp írja le: „a külvíz, áteresztő kőzetek tömegén, vagy kevésbé áteresztő hasadékein oly mélyen szivárog le, míg a Föld saját melegének közelébe jutott, annak hőfokát felvevén, s ha a körülmények kedvezőek ugyanazzal ismét felszínre nyomatik.” Ezt tulajdonképpen a mélyáramlások első leírásának is tekinthetjük. Az elmúlt évtizedek fejlődő kutatásai alapján uralkodóvá vált az a szemlélet, mely szerint a felszín alatti vizek is részesei a hidrológiai körfolyamatnak, vagyis végül megállapításra került a csapadékeredetük, minden fajtájuk állandó mozgásban, áramlásban van. Így a vízrekesztő kőzet fogalom és víztartó kőzet fogalom egyaránt viszonyítás kérdése. A felszínről való csapadékvíz beszivárgás telítődést okoz és további beszivárgás csak akkor lehetséges, ha vízszintes eláramlás vagy felszínre kerülés, evaporációs, evapotranspirációs vagy ha esetleg bárminemű felhasználás elvonja a beszivárgó vízmennyiséget. Tehát, természetes körülmények között tartós vízmozgás csak

akkor maradhat fenn, ha az elvont vízkészlet helyébe ugyanannyi pótlódik, és biztosítja a potenciálviszonyok tartós megmaradását. Regionális topográfiai hatásokból eredően a magasabb térszíneken létrejövő beszivárgás, és ezek túlnyomórészt az erózióbázis mentén levő, megcsapolás hatására kialakuló vízszint az a dinamikus változó potenciálfelület, amely a mélység felé való vízmozgást nyomás gradiensek által jellemezhetően szabályozza. Logikus, hogy természetes körülmények között a vízelvonás és az utánpótlás megegyezik, tehát a beszivárgás mértékének a változása azonos, a rendszer vízleadásának egyenes arányú változásával. Azokban az esetekben, amikor a rendszer vízáteresztő képessége nagyobb, mint a természetes víz átocsátása, akkor a rendszer működését a csapadékbeszivárgás üteme szabályozza. Az utánpótlásnál nagyobb vízelvonás esetén az önálló rendszer ürítése következik be. A beszivárgás és a vízleadás folyamata a karszt rendszereinknél jól felismerhető. (http3) A karsztterületekre hulló csapadék és a karsztforrások hozamának összefüggése, gyakran a leegyszerűsített mérlegszemlélet létrehozója volt. Új felismerés is szárnyra kapott, hogy meghatározott földtani körülmények között a karsztrendszerekben-térben elkülönítve, egymással dinamikus egyensúlyi helyzetben levő sekély és mély áramlások alakulhatnak ki, és tartósan működhetnek. A terület lejtése mentén kialakuló közel vízszintes áramlás táplálja a típusos karsztforrásokat, a szintkülönbségekből való terheléskülönbségek mélység felé tartó áramlást kezdeményeznek, ha a földtani körülmények azt lehetővé teszik. A különböző áramlások besorolásai: I. „karsztos” vízáramlási rendszer; II. langyos vizű sekélyáramlási rendszer; III. geotermikus mélyáramlási rendszer (6. ábra). A karsztos sekélyáramlási rendszer a beszivárgó víz földtani és topográfiai okok következtében nem tud egyszerű lejtő menti áramlással a felszínre jutni, hanem felszín alatti sekély áramlásra kényszerül, mialatt a víz geotermikus hatásokra egy kissé bár, de felmelegszik és ritmikusan változó hozamú langyos vizű forrás alakjában kerül a felszínre.



6. ábra A karsztos áramlási rendszerek fő típusai (Alföldi 1965)

A mélyáramlásokra a lassú, dm/év nagyságrendű vízáramlás és a lassú éves vagy évtizedes ritmusú kismértékű forráshozam-ingadozás a jellemző, és ezzel együtt a mélybehatolás a vízhőmérséklet emelkedését is okozza. A VITUKI izotópvizsgálatai szerint a karsztrendszerekbe szivárgó víz alkalmanként, akár 20-25 ezer évig is vándorol a felszín alatt. A karsztosodott karbonátos kőzetekben folyó mélyáramlások felismerése is elősegítette és tovább mozdította a karsztrendszerekről vallott ismereteinket, továbbá a repedésrendszerekről és a mélybeli oldódás jelentőségének a felismerését is. A karbonátos alaphegységbe hatoló fúrások adatainak a segítségével megrajzolhatók voltak a karbonátos alaphegységben folyó regionális mélyáramlások.

Tehát a megújuló karsztvíz készletek közé a mély áramlások által fenntartott langyos, meleg vagy akár forró vizeinket is ide kell sorolni. Sok adattal rendelkezünk már a medencéinkben zajló mélyáramlásokkal kapcsolatosan. A medencékben tapasztalható hidrosztatikus nyomásviszonyok a víztartó rétegek regionális kapcsolataira utalnak és csak az alsó üledéksorokban találunk először gyakorlatilag elszigetelt, zárt víztartó kőzeteket. A Kárpát-medence üledékeiben tárolt víz olyan területet alkot, mely alapján mélyáramlások létrehozhatók. A felszínnel közvetlen kapcsolatban levő áramlási rendszerekben az eredeti üledékvíz a tároló rendszer átöblítése miatt a tároló kőzetnél sokkal fiatalabb vízre cserélődik, ezért a mélyben levő áramlások, illetve az átlagos bizonyítéknak tekinthetjük az izotópvizsgálatok eredményét, mely szerint a negyedidőszaki üledékekben levő vizek 25 ezer évnél nem régebben, maximum korábban kerültek a felszín alá. Ugyanezt bizonyítja a víz sótartalmának térbeli eloszlása is.

A medencékben talált törmelékes üledékekben a függőleges és vízszintes áteresztőképesség térbeli változékonysága földtani történések által meghatározott. A felszín alatti vízmozgás a legjobb áteresztő képességű övek, sávok, meghatározott kényszerpályák mentén nagyobb erősséggel folyik, mint a szomszédos kisebb áteresztő képességű köztömegekben. A jó áteresztő képességű részek bonyolult térbeli elhelyezkedése következtében a kényszerpályák bonyolult térbeli áramlás kereteit szabják meg. A térbeli kényszerpálya rendszer (például a negyedkori törmelékek vagy a mezozós karsztrendszereink) több beszivárgási és több megcsapolási hellyel rendelkeznek, ezért ugyanazon regionális rendszeren belül, több önálló részrendszerek is működhetnek. A részrendszerek természetes határai soha nem valóságosak, mindig csak a dinamikus egyensúly által fenntartottak, nem zártak, hanem a környezettel mindig szorosan kapcsolatban levők, és kölcsönösen szabályozzák egymást. A részrendszerek határai az áteresztőképesség nagyságrendi változásai mentén alakulnak ki. A mélységben növekvő nyomás és hőmérsékletnek köszönhetően specifikus körülmények jönnek létre. A

természetes hőmozgás a föld belsejéből a felszín felé, különböző hővezető képességű közegekben haladva, a különböző sebességű mozgó víztömeggel kapcsolatba kerülve, termikus vízáramlási rendszereket hoz létre, ahol a körforgásos mozgás energiája a természetes hőáramból származik. Ma már elfogadott az a nézet, hogy a felszín alatti vízmozgás földtani körülmények által befolyásolt olyan önálló rendszerekben folyik, melyek természetes állapotukban egymástól dinamikus egyensúlyhatárok mentén különülnek el. Az adott rendszer állapotába való bármilyen beavatkozás a természetes egyensúlyi helyzet felborítását jelenti és az új helyzetnek megfelelően újabb dinamikus egyensúlyi állapot felé törekvés indul meg, tehát a természetes egyensúlyi állapot megváltozása a beavatkozás következménye. Ezért a felszín alatti vizek kitermelése szükségszerűen új áramlási körülményeket idéznek elő. (Schmieder 1969) Érdekesek a Dunántúli-középhegység Észak- Keleti részén a termálvizes területek kialakulásuk és elhelyezkedésük miatt is. Helyileg a budai termálkarszt a Budai-hegység, a Pilis és a Vác–Csővári rögök területéhez tartozik. A területen több mint 100 hévforrás (65–77 °C) és hévízkút található. A termálvizeket a hőmérsékleti és geokémiai tulajdonságai alapján három kiáramlási zónára lehet felosztani. Egyik a langyos vizet adó északi zóna, Óbuda, Rómaifürdő, Csillaghegy, Békásmegyer térségi források, kutak. A melegebb vizet adó a déli zóna, Gellért, Rudas és Ráczi fürdők forrásai, kutjai és a középső zóna. A margitszigeti és a városligeti kutak vonalában érintkezik a két tároló a langyos vizek keverednek a meleg vizekkel. A terület karsztvíz földtani szempontból legjelentősebb kőzetcsoportha a nagy vastagságúra becsült, triász és annál fiatalabb korú karbonátos kőzetek, amik a fő karsztvíz tározót alkotják. A triász rétegekre közvetlenül eocén, vagy oligocén képződmények települtek Pl.: Szépvölgyi Mészkő, Budai Márga, Kiscelli Agzag, Tardi Agzag és Hárshgyi Homokkő, ami a krétától eocénig tartó üledékhányra és a terület hosszantartó kiemelkedésére utal. Pliocéntól a terület fokozatos kiemelkedése miatt szárazulattá vált, mely a Triász, Eocén kőzetek felszínre kerüléséhez és a mai felszín alatti áramlási rendszer kialakulásához vezetett. A bekövetkezett süllyedések és emelkedéseknek köszönhetően 12 barlangszint alakult ki. A legfiatalabb üledékek a Budai-hegységben az édesvízi mészkövek, a lösz, a hegységi lejtőtörmelékek és a Duna bevágódásához és árteréhez kötött üledékek. (Poyanmehr 2016)

2.9 Barlangok kialakulásai

Barlangok általában olyan kőzetben keletkeznek, amik víz által oldékonyak tehát: mészkő, mészmárga, gipsz, kősz. A Budai-hegység és a Pilis mészkövei karsztosodtak leginkább. A barlangok általában kémiai oldódás, azaz a szénsavas, humuszsavas víz hatására, illetve a már kialakult járatokba mosott keményebb kőzetdarabok mechanikai hatására tágulnak. A karsztterületek túlnyomórészt vízszegények, mert a csapadékvíz víznyelőkön keresztül eltűnik a hegyek belsejében, hogy a hegylábaknál bő vízzel karsztforrások formájában előbukkanjon. Ettől kicsit más a budai barlangok kialakulásának menete. Ezek a barlangok ugyanis a törésvonalak mentén felszínre kerülő meleg vizek oldó hatására keletkeztek, számtalan oldás általi formát alkotva. Az előbbieken cseppkőképződés fordulhat elő, utóbbiakban pedig inkább hévizes ásványok (gipsz, aragonit, barit) találhatók és a cseppkőképződés kezdeti nyomai figyelhetők meg. (Gimesi 2015)

A legfigyelemreméltóbb felszín alatti hidrotermális karsztforma a hévizes barlang. A Budai-hegységben ismerünk jelenleg is működő, azaz meleg vizet tartalmazó Pl.: Molnár János-barlang, és ma már inaktív, száraz hévforrás barlangokat is (Dublyanski 1995). A működésüktől függetlenül ebbe az osztályba azokat a barlangokat soroljuk, amiknek az üregrendszerét a mélyből érkező meleg, vagy forró hidrotermák vize, (Miller 1996) esetleg gőzei hozták létre. Részben közvetlen oldás (korrózió), (Yonge 1997) másrészt pedig az oldatok által átjárt anyagközet vegyi átrendezése (preparálása) és a mállás előkészítése útján. A hévforrásos barlangkeletkezési mód legtisztább példaként a Dorog melletti Sátorkő pusztán lévő barlangot szoktuk tekinteni. A többi hidrotermális üregünk eredete ugyanis ennél összetettebb. (Jakucs 1994) Jelenleg a Pilisben 432 barlangot tartanak nyilván, melyből a leghosszabb és legmélyebb barlang a 19 kilométeres és 204 méter mély Ariadne barlangrendszer. (Vörös 2021)

3. A vizsgálatok módszerei

Négy karszt kutat vizsgáltam meg jobban. Pilisszentkereszt, Pilisborosjenő, Páty és Zsámbék területéről választottam kutat. Itt a karsztvizek mozgását, ingadozását vizsgáltam, az adott területen a csapadék mennyiségével összevetve, az elmúlt évekre visszamenőleg és ebből tudom levonni a következtetéseket. Azért ezeket a kutakat választottam, mert a korábbi vízszintmozgások jól megfigyelhetők voltak a kutak adataiban. Továbbá a Dunazug-hegység azon területén helyezkednek el ahol a fő karsztvízforrástól megfelelő távolságban vannak. Így lehet vizsgálni a tatai forrásokra ható közvetlen és közvetett hatásokat is a kutak vízszintjére kivetítve.

3.1 A vízszintmérés menete:

Általában 2 vagy 3 fős csapatban szoktuk a méréseket végezni. Céges, terepi járművekkel megközelítjük, az adott kutat amennyire csak lehet. Majd előkészítjük a műszereket.

- elektromos vízszintmérő ez a kézi (SEBA KLL 100-35603) az, amivel a tényleges vízállást megmérjük, egy jelzést lehet hallani, amikor elérte a kútban a vízszintet

- az adatgyűjtő más néven Dataqua 4 óránként méri a vízállást, nyomásérzékelő műszerrel (DA-S-LTRB 122-3342) és ebből kábel segítségével a laptopon a smart admin program használatával tudjuk megnézni a vízállást.

- ha az általunk mért adat nem egyezik meg, vagyis 2 cm-nél több a különbség akkor frissíteni kell a szoftvert. Azért van erre szükség, mert az általunk mért adatnak egyeznie kell a rendszerben lévővel.

- ha minden rendben, akkor az adatok feljegyzése után kitöröljük az adatgyűjtőből az adatokat, mert nem túl nagy a tárhely.

- a legtöbb kút már távjelzős, ami azt jelenti, hogy az adatgyűjtő el van látva egy modemmel is, ami akkumulátorról működik. A modemben van egy sim kártya, ami a GSM rendszert használva a kút tetején lévő antenna segítségével továbbítja az adatokat, így hozzá lehet férni ezekhez az információkhoz egy honlapon keresztül

- akkor van probléma, ha nincs térerő az adott kútnál vagy lemerült az akkumulátor

Az mérési eszközök a (7. ábrán) balról-jobbra haladva a következők:

- a kút teteje, ami kék, abban van a jeladó antenna, ami továbbítja az adatokat

- a fekete az akkumulátor, ami ellátja a modemet táppal

- a szürke hosszúka tárgy pedig az adatgyűjtő, amihez kapcsolódik egy vízállásmérő szonda is

-a laptop pedig a kút tetején található, amiben a smart admin programmal tudjuk ellenőrizni az adatokat



7. ábra A vízszintméréshez használt eszközök, 2023 (Fotó: Gyenge Lajos) Zsámbék

A következő műszereket is bemutatnám, mert a kút állapot felmérések során használtuk őket és abban segítettek, hogy a kutak állapotáról megfelelő képet kapjunk! Viszont a végső kérdésben nem volt számottevő befolyásuk. A méréseket a (Geo-Log kft) projektjén belül, Nagy Gergő segítségével végeztem.

3.2 Kútfelmérési módszerek és a műszerek:

Az alábbiakban bemutatjuk az alkalmazott mérési módszereket. A lyukszerkezet vizsgálatok során olyan kombinált szondát (KCTG) használtunk, mely egyszerre méri a lyukátmérőt, hőmérsékletet és a természetes-gamma sugárzást. A dinamikus mérések során egy olyan kombinált szondát alkalmaztunk, amiben áramlás-, hőmérséklet-, folyadék ellenállás és folyadékatlátszóság mérő is volt.

Lyukátmérő mérés (caliper, CAL)

A motoros nyitású háromkarú szonda mechanikusan méri a lyuk- vagy csőbelső-átmérőt. A mérhető átmérőtartomány 43–800 mm — cserélhető karokkal. Az átmérőmérés pontossága: 1-3 mm. Az eszközzel a kút geometriája, járható talpa és az átmérője határozható meg. A mért átmérővel korrigálható a többi mélyfúrás-geofizikai szelvény, ezzel csökken az átmérőváltozás okozta anomáliák nagysága. A mérés fontos információkat szolgáltat a kút állapotáról, az esetleges nyitott szakaszok mechanikai állapotáról, töredezettségéről, a potenciális vízbetörési vagy nyelési helyekről.

Hőmérsékletmérés

A szonda alján egy nagyérzékenyséű hőmérő méri a kútban levő folyadék hőmérsékletét. A kalibrált szonda pontossága 1°C (10–130°C-os tartományban), felbontása 0,01°C. A mérőberendezés szolgáltatja az egy méteres bázisra számított differenciálhőmérséklet-szelvényt is, amely a vízmozgási helyek (beáramlás, nyelés) pontos behatárolását teszi lehetővé.

Természetesgamma-mérés

Közepes méretű NaI kristály detektálja a harántolt kőzet természetes gamma sugárzását. A mérés valamennyi lyukkörülmeny között (vízzel vagy iszappal telített/száraz, csövezett/nyitott) működik, azonban pontos meghatározásához el kell végezni a szükséges lyukkorrekciókat (átmérő, iszap, csövezés stb.), és rendszeres kalibrációval figyelembe kell venni a mérőfej érzékenységét. A mérés — homokos-agyagos rétegsorban — kiváló agyagindikátor, ugyanis az agyag típusától függően (kaolinit, montmorillonit, illit) különböző mennyiségű káliumot tartalmaz, amelynek természetes gamma sugárzása lehetővé teszi a harántolt rétegsor agyag-homok arányának meghatározását. A természetesgamma-mérés hatékonyan alkalmazható az adott rétegsorok petrológiai tagolására és rétegkorrelációra, illetve a korábbi szűrőzés pontosságának ellenőrzésére.

Fajlagosellenállás-mérés

A szonda a 10 és 40 cm-es potenciál típusú fajlagos ellenállás mellett a természetes potenciált is méri. A mért szelvények elsősorban a litológiai tagoláshoz, a porózus vízáteresztő és impermeábilis rétegek elkülönítéséhez, másodsorban - a kemény kőzeteknél - a repedezettség, valamint az agyagásványos bontás kimutatásához, fúrások korrelációjához lehet felhasználni. A mostani projektbe az egyes esetekben a kútban lévő szűrők helyének ellenőrzésére használtuk.

Akusztikus hullámkép-regisztrálás

A mérés során az adó 10 kHz frekvenciás akusztikus hullámot bocsát ki. Két különböző távolságban levő vevő egy előre meghatározott időintervallumban regisztrál akusztikus hullámképet. A visszaérkező hullámokból meghatározható az első (longitudinális) és a második (transzverzális) beérkezés ideje, majd azokból a kőzetsebességek. Az ellenállásméréseken kívül az akusztikus módszer érzékeny a repedezettségre, ezért az esetleges nyitott szakaszok állapota is vizsgálható vele. Akusztikus mérést is alkalmaztunk a kutakban a szűrők helyének meghatározására.

Akusztikus méréssel lehet meghatározni a cementpalást minőségét. A csövezett lyukban a szonda által kibocsátott akusztikus hullám rezgésbe hozza a béléscsővet, mint egy hangvillát.

A cementpalást jelenléte csökkenti a csövön végig futó hullám energiáját, ahogy egy hangvillát is le lehet fogni. Minél erősebb a kapcsolata cső és a cementpalást között, annál kisebb lesz az észlelt jel amplitúdója. Az amplitúdó csökkenése a teljes hullámkép szelvényen is látható, amiből megadható a cement-cső kapcsolat minősége.

Áramlásmérés

Az áramlásmérő a kútban lévő folyadékmozgásokat méri. Ezek a mozgások fontosak, ha pl. több szűrőből egyidejűleg termeltetnek. A szonda alsó felén található propeller fordulatszáma az átáramló folyadék mennyiségével arányos. A fordulatszámot mágneses elven működő detektorral méri a rendszer, és a mért impulzusszámból számítható az áramlás iránya és sebessége, ha ismerjük a cső átmérőjét. Az áramlásmérő szondában minden esetben van hőmérsékletérzékelő is, mellyel mért adatok segítik az be-(termelés) illetve kiáramlási (nyeletés) helyek meghatározását. Hasonló módon segíti a be- és kiáramlási helyek kijelölését a szondába lévő folyadékátlátszóság és folyadék ellenállásmérések is.

Kamerás vizsgálat

A kamerás vizsgálat közvetlen információt szolgáltat a kútszerkezet látható elemeinek állapotáról (szűrő, tömszelence, csőfal). A mérések alapján olyan részletekre derül fény, melyek más módon nem, vagy csak közvetve ismerhetők meg. Például kivitelezési hibák (rosszul összekapcsolt kútszerkezeti elemek, cement befolyás, fúróiszap a kút alján és a szűrőben stb.), sérülések (törések, repedések), beesett tárgyak (szivattyú, fúrószerszám, villáskulcsok, stb.). A felvételek minőségét alapvetően meghatározza a víz tisztasága. Még új kutakban sem mindig áttetszően tiszta a víz, üzemben kívüli kutakban pedig általában közepes vagy gyenge a láthatóság, főleg, ha előtte már más mérést végeztünk is a kútban. Ugyanakkor még a gyengébb minőségű felvételek is gyakran elég jók ahhoz, hogy segítségükkel a kút állapota vagy a beesett tárgy helyzete meghatározható legyen. Gyakran előforduló probléma régi kutakban, hogy az akadály nem látható a ráakodott üledéktől.

Kéttípusú kamerát használtunk a kamerás vizsgálatokhoz. Az egyiknél a videokamera feje szabadon körbe forgatható az óramutató járásával megegyező és ellenkező irányban, ezen kívül billenthető is, a függőlegesen lefelé, illetve az oldalra néző helyzetek között. A kamera saját fényforrással rendelkezik, egyrészt a fejjel együtt mozgó fotódiódákkal, másrészt külön felszerelhető led lámpákkal. A megfelelő minőségű felvétel érdekében a kamerát központozító rugók tartják a cső vagy a fúrólyuk közepén. Ennek a kamerának a hátránya a viszonylagosan nagy átmérő (82 mm külső fényforrás nélkül, 110 mm külső fényforrással). A másiknál egy viszonylagosan kisebb átmérőjű (71 mm) kamera, amely csak előre tud nézni és saját belső ledes fényforrással rendelkezik.

4. Eredmények és értékelésük

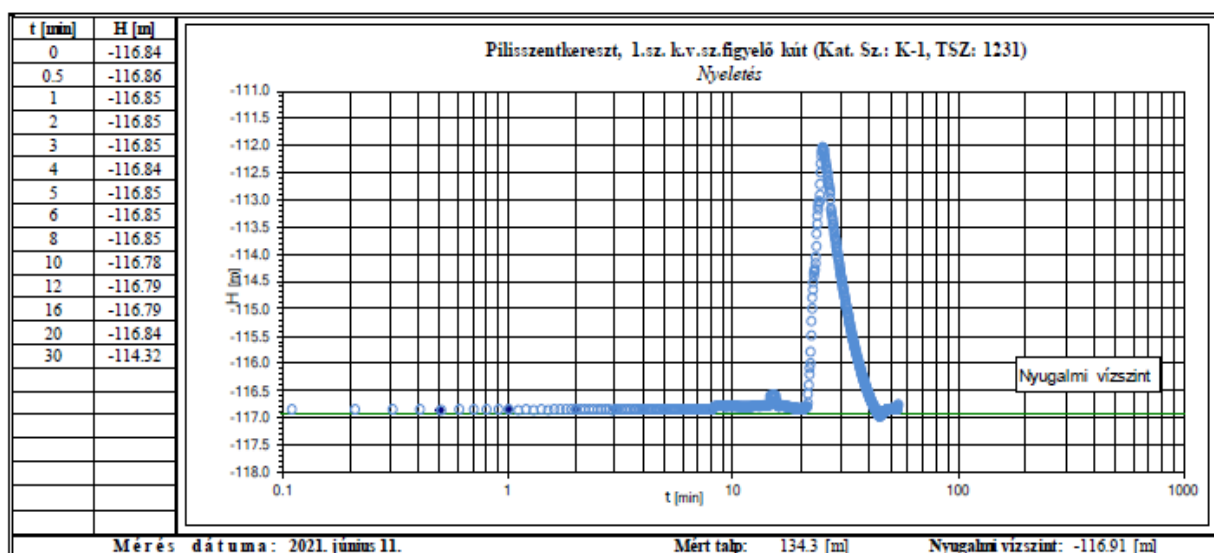
Megvizsgáltam azt a 4 kutat, amiről itt lentebb szó van. A kútfelméréseket is elvégeztük, hogy tudjam, hogy a kutak milyen állapotban vannak. Több műszer segítségével fel lettek mérve. Megállapítottam, hogy van ahol a kút nyitott alul és gyorsabban nyel. A mélyebb kutaknál, ahol a kőzetben már nincs kialakítva a kút cső ott fontos ez igazából. A gyors nyelés az jót jelent. Azt jelenti, hogy az adott vizet, amit befecskendeztünk, megmértük, hogy mennyi idő alatt nyeli el a karszt és áll vissza az adott kút nyugalmi állapota. Ami azért fontos, mert így tudjuk, hogy a kút alja nincs beomolva vagy eltömődve.

A kutak vízszintjét szondákkal tudtuk megmérni manuálisan vagy a kútban elhelyezett adatgyűjtőn is le tudtuk kérni az adatokat, ha a kutat nem tudtuk megmérni. De az a pontos mérés, ahol a kézzel mért érték és az adatgyűjtőből kinyert adat is kb. 2cm eltéréssel belül van. A kutak vízszintje meg lett mérve és az adatok 20 évre visszamenőleg pontos információt szolgáltatnak a karszt kutak vízszintjeiről. Az adatokon jól látszik, hogy a 2001-es évektől folyamatosan emelkedett a kutakban lévő víz szintje. Kivétel Pilisszentkereszten, mert ott a vízszint mindig nagyon ingadozott. Összehasonlítottam a kigyűjtött csapadék értékeket (15,16,17,18,19,20-as ábrák) a kutak vízszint adataival. A csapadék adatok a 90-es évektől kezdődően emelkedtek (15,16,17-es ábra), most viszont kb. 10 éve csökkenő tendenciát mutat a csapadék szintje (18,19,20-as ábra). Az eredmények külön-külön nem jelentősek, de ha összevetjük, akkor igen. Bár tisztán látszik, hogy a csapadék emelkedése vagy csökkenése nem befolyásolja annyira a karsztvíz szintet, mint a bányászat, csak kis mértékben. Tehát ami a korábban leírt eredményekben szerepel a bányászat hatásáról és a vízkiemelésekről azt most én is bizonyítom. A túlzott vízkiemeléseknek tudható be az alacsony karsztvízszint a területeken. A 90-es évek óta nem volt megfigyelhető olyan alacsony vízszint, pedig az utóbbi évek csapadéka egyre kevesebb volt. Kivétel ez alól Pilisszentkereszt, de ez azért van, mert amikor esik csapadék, hirtelen meg tud emelkedni a kútban a vízszint és ilyen hirtelen le is tud esni a szint, mert alul nyitott a kút és a karszt kőzetrepedésekben könnyen elfolyik a csapadék. Tehát nem tudjuk itt valójában azt, hogy mennyi karsztvíz van a mélyben, mert azt nem tudjuk megvizsgálni. A kút csöve csak egy darabig ér le és onnantól már csak a csupasz kőzet van.

Pilisszentkereszt, 1. sz. kút (KAT. SZ.: K-1, TÖRZSSZÁM: 1231, talpmélység: 172,6 m)

A kútban kútszerkezet-, dinamikus és nyeletéses vizsgálatot végeztünk, melynek főbb megállapításai:

- A vizsgálat során a szondák 134,3 m mélységig jártak el.
- A lyukátmérő szelvény alapján a belső csőátmérő 124,9 m mélységig 140 mm körül mozog, 124,9 m alatt a kút nyitott.
- A kút gyorsan nyel. (8. ábra)



80 l víz rátöltése után a vízszint 4,9 m-t emelkedett, a kút gyorsan nyel.

8. ábra a Pilisszentkereszt kút nyeletési grafikonja

Pilisborosjenő, Pilisborosjenő-3 (TÖRZSSZÁM: 1227, talpmélység: 180,0 m)

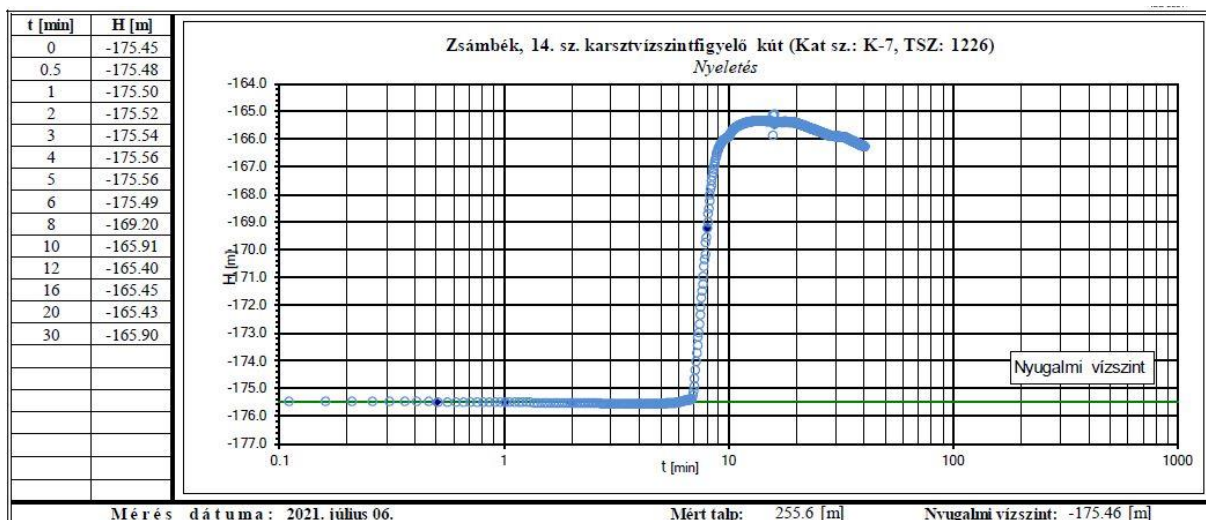
A kútban kútkamera és kútszerkezet-vizsgálatot végeztünk, melynek főbb megállapításai:

- A vizsgálat során a szondák 95,2 m mélységig jártak el, itt egy beesett vízszintregisztrálót találtunk az üledékben.
- A lyukátmérő szelvény alapján a belső csőátmérő 75,5 m mélységig 233 mm körül mozog, 75,5 m mélység alatt a kút nyitott. A csőfalon sok a kiválás. (Megjegyzés: ennél a kútnál nem történt nyeletéses vizsgálat csak kamerás, ezért nincs adat.)

Zsámbék, 14. sz. kút (KAT. SZ.: K-7, TÖRZSSZÁM: 1226, talpmélység: 881,3 m)

A kútban kamerás, kútszerkezet-, dinamikus és nyeletéses vizsgálatot végeztünk, melynek főbb megállapításai:

- A vizsgálat során a szondák 255,6 m mélységig jártak el.
- A lyukátmérő szelvény alapján a belső csőátmérő 118 mm körül mozog a mérhető szakaszon, a belső felület morzsalékos üledékkel borított.
- A szűrőt nem értük el.
- A kút lassan nyel. (9. ábra)



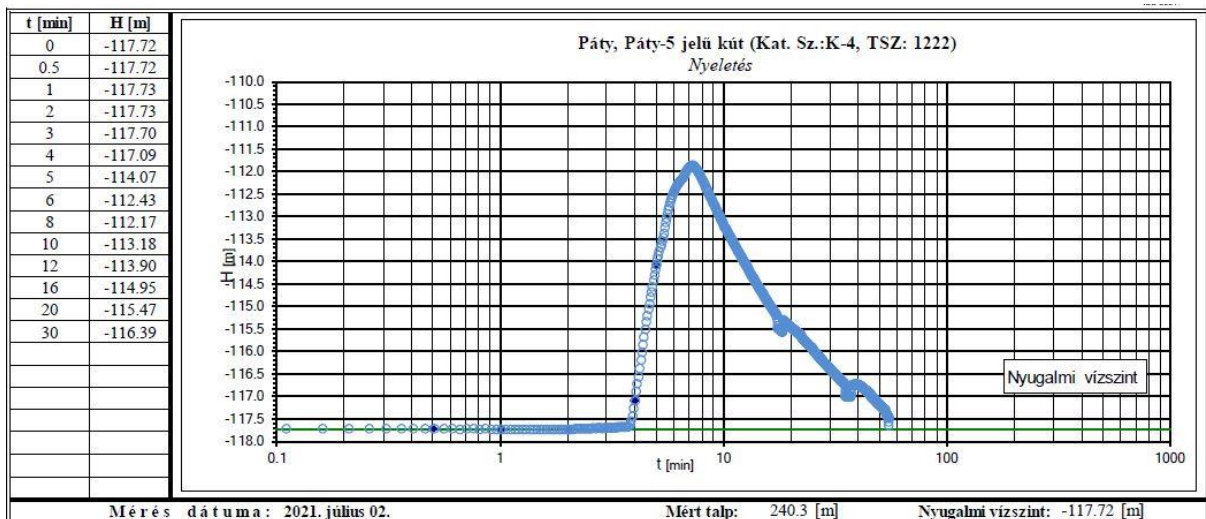
150 l víz rátöltése után a vízszint 10,38 m-t emelkedett, a kút nagyon lassan nyel.

9. ábra Zsámbéki kút nyeletési grafikonja

Páty, Páty-5 (KAT. SZ.: K-4, TÖRZSSZÁM: 1222, talpmélység: 250,2 m)

A kútban kútszerkezet-, dinamikus és nyeletési vizsgálatot végeztünk, melynek főbb megállapításai:

- A vizsgálat során a szondák 240,3 m mélységig jártak el.
- A lyukátmérő szelvény alapján a belső csőátmérő 194,8 m-ig 128 mm körül, az alatt 90 mm körül mozog, a belső felület egyenetlen.
- A szűrő helye: 202,6 m–239,2 m mélyen van
- A kút mérsékelt ütemben nyel. (10. ábra)

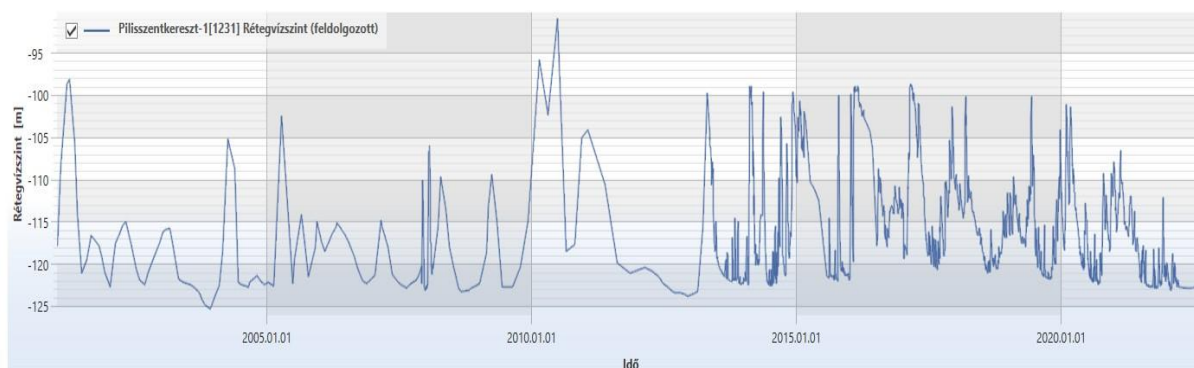


150 l víz rátöltése után a vízszint 5,9 m-t emelkedett, a kút mérsékelt ütemben nyel.

10. ábra Pátyi kút nyeletési grafikonja

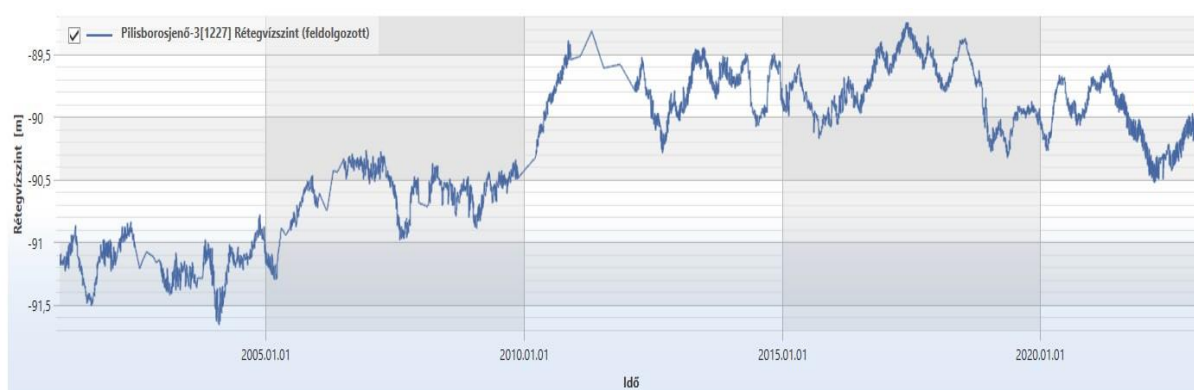
A (11. ábrán) az figyelhető meg, hogy a vízszint az elmúlt 20 évben mennyire ingadozott a csapadék hatása miatt. A műszeres vizsgálatokkal kiderült, hogy a kút alul nyitott és a kút cső vége közvetlen beleér a karszt kőzetbe, aminek nem tudjuk a tényleges mélységét. Tehát nem tudjuk, hogy ez alatt a kút alatt mennyi víz lehet ténylegesen. Csak a vízszint adatok ingadozásából derül ki, hogy 2001-2013 között alacsony volt viszonylag a vízszint, de 2014-től

pedig el kezdett emelkedni a szint a kútban. 2014-2020-ig kb. tartottak a kőzetek egy közép magas vízállást és az utóbbi 2 évben megint az alacsony vízszint figyelhető meg! Ennek a kevesebb csapadék az oka az utóbbi években.



11. ábra. Pilisszentkereszt-1231-es számú karsztút vízszint változása

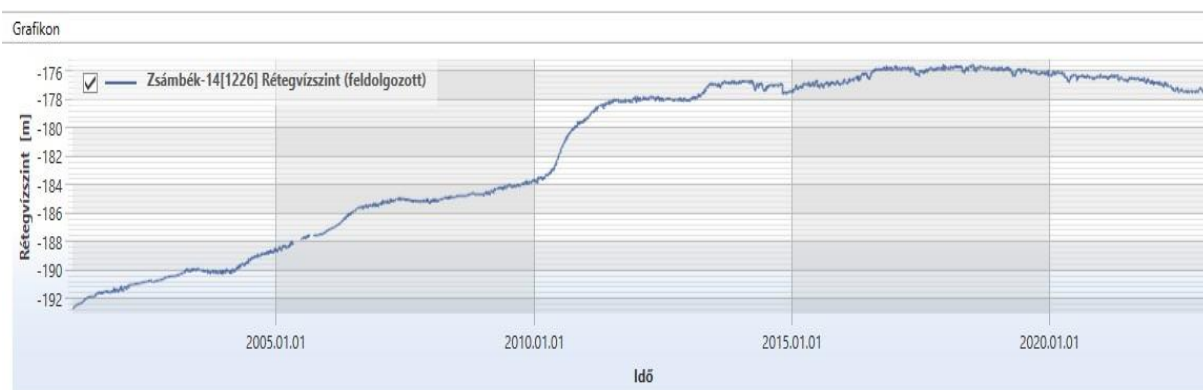
A (12. ábrán) is megfigyelhető a csapadék befolyásoló hatása, de nem annyira, mint a Pilisszentkereszt-1 kútnál. Valószínű, hogy itt nem lehet olyan mélyen a tároló kőzet és ez által a víz is jóval feljebb van. A kútfelméréseknél megállapításra került itt is, hogy alul nyitott a kút és a cső vége a karszt kőzetben végződik. Ez a kút 75m mélység alatt nyitott csak, viszont az előző kútnál 124 m mélységnél van ugyanez. Tehát ez a kút kb. 50m-rel feljebb van. Így a víz se tud valószínűleg olyan mélyre leszivárogni, mert nincs akkora mélység. Pontosan itt sem lehet tudni, hogy mennyi víz lehet a kút alatt, pont a kút nyitottsága és a kőzet vízelvezető és víztároló képessége miatt. Viszont itt is megfigyelhető, hogy 2001-től 2010-ig alacsony volt a vízállás, majd 2011-2019-ig magas vízállás figyelhető meg. 2020-tól viszont itt is csökkenés indult meg és tart a mai napig. 2001-2018-ig 2 métert emelkedett a kút vízszintje.



12. ábra. Pilisborosjenői 1227-es számú karsztút vízszint változásai

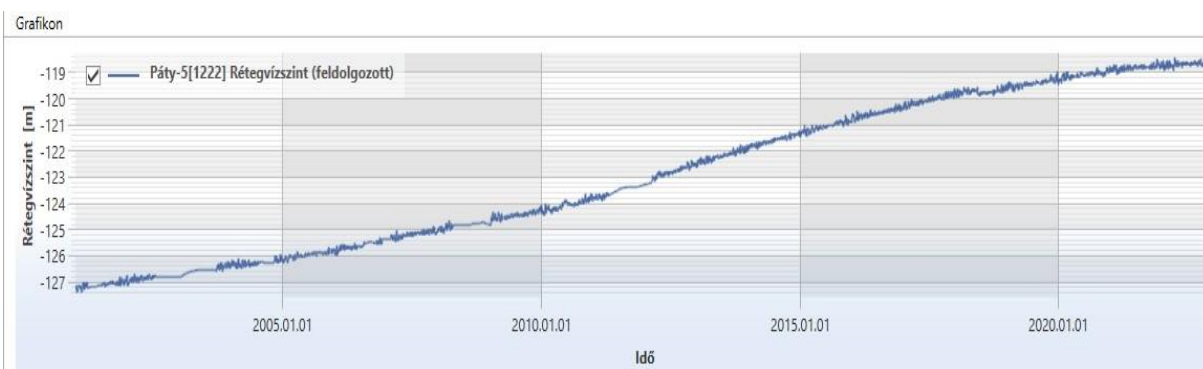
A zsámbéki kút pedig nem nyel úgy, mint az előző kettő (13. ábra). Ennek több oka is van. Az egyik az, hogy a mérések során kiderült, hogy van benne törmelék a másik pedig az, hogy nem nyitott alul. Így jobban tartja a vízszintet a kút. Tehát kevésbé ingadozik a szintje és

egyenletesebb a mért adatsor is. Itt is megfigyelhető 2001-2011-ig egy alacsonyabb vízállás, de viszont az emelkedés az egyenletes és nem hirtelen ment végbe. 2011-2022-ig egyenletesen magas a vízszint. Az utóbbi 2 évben egy kismértékű csökkenés figyelhető meg. Itt is valószínűleg a csapadék csökkenése miatt. 2001-2020-ig 16 métert emelkedett a kút vízszintje!



13. ábra. Zsámbéki 1226-os számú karsztút vízszint változásai

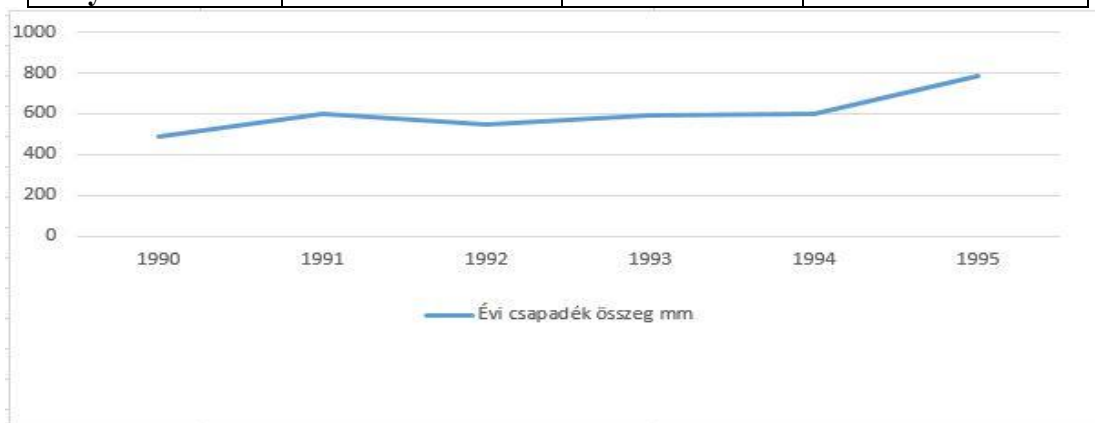
A vizsgálatok itt is kimutatták (14. ábra), hogy a kút mérsékelt ütemben nyel és a kút alja nem nyitott. Szóval a vizet jobban tartja a kút és kevésbé szívárogi ki belőle a víz, mint az előző 3 kútból. Tehát a vízszint is egyenletesebb, mint az előzőekben. 2001-től egészen 2020-ig egyenletes emelkedést lehet megfigyelni. 2020-tól napjainkig egyenletesen magas a vízszint. Ennél a kútnál figyelhető meg leginkább, hogy a csapadék hiánya vagy többlete nem látványosan befolyásolta a kútban lévő vízszintet. 2001-2022-ig 8 métert emelkedett a kút vízszintje!



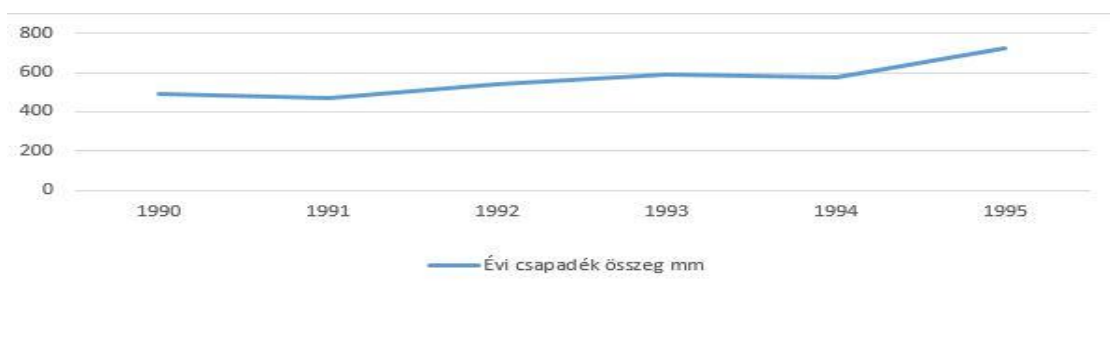
14. ábra. Pátyi 1222 számú karsztút vízszint változásai

1. táblázat A vízszint emelkedés és csökkenés összehasonlítása

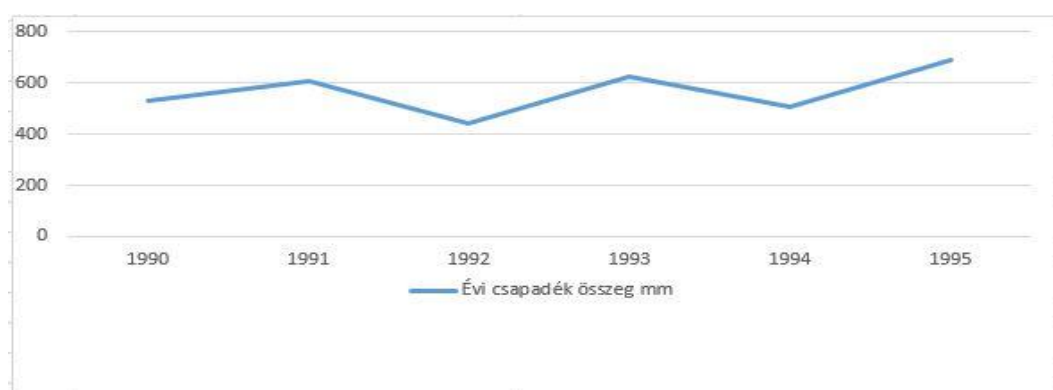
kutak	Vízszintemelkedés 2001-2020-ig (m)	Vízszint csökkenés 2020-2023-ig (m)	%-ban kifejezve a vízszint állása 2020 után
Pilisszentkereszt	16	12	25
Pilisborosjenő	2	0,5	75
Zsámbék	16	2	87,5
Páty	8	0	100



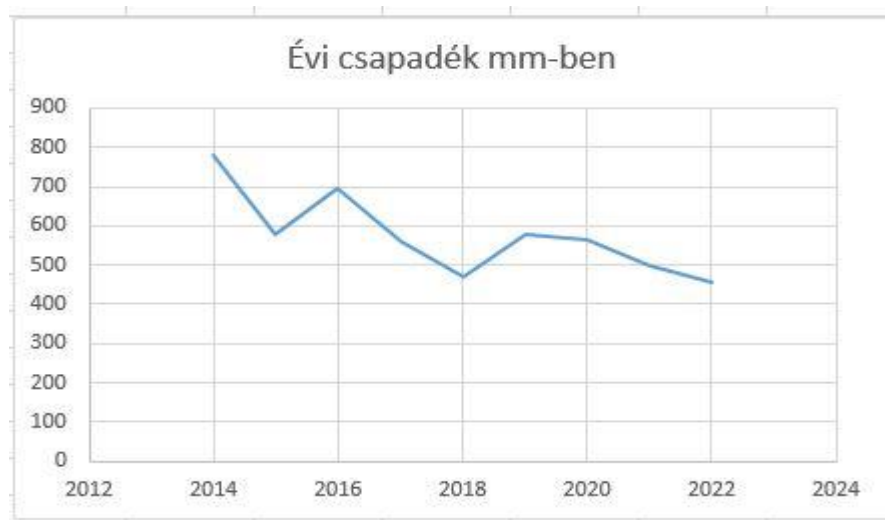
15. ábra. Tata területén hullott csapadék



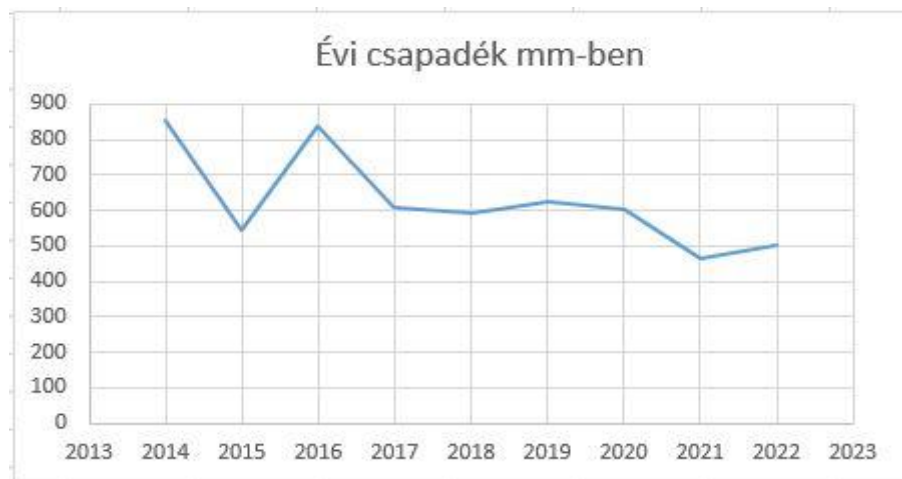
16. ábra. Tatabánya területén hullott csapadék



17. ábra. Páty területén hullott csapadék



18. ábra Tata területén hullott csapadék



19. ábra Tatabánya területén hullott csapadék



20. ábra Páty területén hullott csapadék

5. Következtetések és javaslatok

Azt a következtetést tudtam levonni, hogy a bányászat hatása egészen a 90-es évek végéig nagy hatással volt a karszt víz szintjére. Miután a bányák bezártak azután a vízszint is emelkedett a kutakban. A csapadék is befolyásolta az emelkedést, de nem annyira, mint a bányászat a süllyedést. Ezt onnan is tudom megállapítani, hogy amikor a 90-es évektől emelkedett a kutak vízszintje kb. 2020-ig a csapadék szintje is emelkedett akkoriban, de a karszt víz emelkedése sokkal nagyobb ütemben zajlott le és kevésbé befolyásolta a hullott csapadék mennyisége. A fő karsztvíztároló adataival is összevetettem ezt és a karsztvízszint ott is lényegesen megemelkedett az 1990-es évektől. Ezért is mondható, hogy a bányászat befejezésének tudható be a vízszintemelkedés a kutakban. Egy idő után megfigyelhetően stagnált a kutakban mérhető vízszint és a csapadék változatlan mennyiségű volt. Szintén bizonyítja ezt az állítást, hogy a csapadék nem befolyásolja akkora mértékben a szintet, mint a bányászat az pedig az, hogy most az utóbbi 10 évben csökkent a csapadék mennyisége, de a karsztvízszintet nem befolyásolta igazából, a kutak tartották a régebbi szinteket. Egy kicsit csökkent a szint, de nem látványosan (1. táblázat). Pilisszentkereszten a kútban mért vízszint ingadozása mindig nagy volt, de ez lehetséges azért is, mert a kút alul nyitott és sok víz mozog egyszerre azon a területen, ami belefolyik a karsztos kőzetbe. Könnyebben elfolyik, mint máshol. Pilisborosjenőn is megfigyelhető a vízszint ingadozása, de ott is nyitott alul a kút és a karszt víz itt is úgy gondolom, hogy emiatt könnyebben távozik, de nem akkora mértékben, mint Pilisszentkereszten, mert itt nem olyan mély a karszt alap kőzet alul. Zsámbékon kb. 2015-óta egyenletes a vízszint, Pátyon pedig kb. 2020-tól egyenletes a vízszint. Pilisszentkereszten, Pilisborosjenőn, Zsámbékon kb. 2011 környékén volt egy hirtelen emelkedés ugrás és azóta ezeknél a kutaknál kismértékű emelkedés, majd az utóbbi években csökkenés vagy stagnálás figyelhető meg. Pátyon pedig lassú emelkedés után elérte a vízszint a maximumot 2020 környékén.

A javaslatom pedig az lenne, hogy meg kell óvni valahogy a karszt vizeinket, de most már nem a bányászat a legfőbb veszély, hanem a szennyező anyagok bekerülése a karszt rendszerbe és a vízhasználat miatti kivétel. Ebből a zárt rendszerből ugyanis nagyon nehezen vagy egyáltalán nem ürülnek ki a káros anyagok. Ezért is nagyon érzékeny ez a rendszer és nagyon kell rá vigyáznunk! Figyelni kell a karsztvízgyűjtő területekre és a kőzet repedéseinél is ahol befolyik a csapadékvíz, hogy a terület tiszta legyen, ne legyen káros szennyező anyag sehol, ami esetleg bekerülhet. A nitrát bemosódása a rendszerbe például elég komoly probléma lehet.

6. Összefoglalás

A dolgozatomban célja az volt, hogy a kiválasztott karszt kutakban lévő vízszintingadozásokat az elmúlt 20 évre visszamenőleg megvizsgáljam és az éves csapadékösszegekkel összehasonlítva, a bányászat negatív hatását tudjam igazolni.

A vizsgálati módszerekben részletesen leírom, hogy miért pont azt a 4 kutat választottam, amiket és ezek miért mások, mint a többi kút. Egyrészt azért választottam őket, mert az elmúlt 20 évben érdekes vízszintingadozást mutattak, másrészt pedig az elhelyezkedésük miatt jól tudtam reprezentálni az adott terület karsztvízszint ingadozását az éves csapadék összegekkel összevetve. A kutak vízszintjeinek a mérése és az adatok feldolgozása volt az elsődleges feladatom, amivel a későbbiekben az éves csapadék adatokat össze tudtam hasonlítani. A mérésnek a folyamatát részleteztem az adott műszerekkel és a kútfelméréshez használt műszereket is leírtam, hogy mit mértünk és hogyan.

Kielemeztem a 20 évre visszamenő karsztvízszinteket a vizsgált kutakban és kiértékeltem őket egy-egy grafikon segítségével. A csapadék adatokat pedig szintén grafikonok segítségével ábrázoltam és hasonlítottam össze a kutak vízszintemelkedési görbéjével. A kutakról készült felmérések segítettek abban, hogy megtudjuk az egyes paramétereiket, hibáikat meg azt, hogy az adott kút esetleg nyílt alul és a karszt kőzetben végződik vagy sem. A víznyelés sebességéről és mértékéről is készítettem grafikonokat és egy összehasonlító táblázatot a vízszintemelkedést és csökkenést összehasonlítva. A javaslatom pedig az, hogy a bányászatot a jövőben sem szabad engedélyezni, legalábbis nem ekkora vízkivétellel. A jövőben kevés víz lesz mindenhol, ezért a lakossági vízhasználatra is figyelniünk kell! Az emberi szennyező forrásokra is, hogy ne mosódjanak be a karszt rendszerbe. A nitrát az egyik ilyen anyag, ami leginkább a mezőgazdaságból kerülhet be. Az ipari hulladékból vagy a kommunális szemből is kerülhetnek be szennyező anyagok, ha nem megfelelően kezeljük ezeket!

Minden következtetést összevetve sikerült úgy alátámasztanom azt az állításomat mi szerint a kutak vízszintjére se a csapadék mennyiség, se az emberi vízhasználat nincs olyan hatással, mint amilyen mértékben a bányászat volt. Tehát a feltételezésem, hogy a karsztvízszint nagymértékű ingadozása a bányászatnak volt köszönhető, igaznak bizonyult!

7. Köszönetnyilvánítás

*Szeretnék köszönetet mondani **Sebők Andrásnak** a belső konzulensemnek, aki nélkül ez a dolgozat nem jöhetett volna létre! A külső konzulensemnek, **Dr. Kovács Péternek** is szeretném megköszönni a segítségét! Továbbá szeretnék köszönetet mondani **Soproni Attilának**, munkatársamnak, hogy segített a mérésekben és az adatok kinyerésében! **Nagy Gergőnek** is szeretném megköszönni a segítséget, aki a kutak felmérésénél segített! Szeretném a családomnak és barátaimnak is megköszönni a türelmet és magamnak a kitartást!*

Köszönöm!

8. Irodalomjegyzék

- Veres, Zs., <https://akovekmeselnek.hu/Geok%C3%A9kt%C3%BArA/visegradi-hegyseg-pilis-budai-hegyseg/>, (2020.04)
- <https://foldrajzmagazin.hu/magyarorszag/a-dunantuli-kozephegyseg/>, (2019.02)
- Juhász, Á., <https://www.arcanum.com/hu/online-kiadvanyok/pannon-pannon-enciklopedia-1/magyarorszag-foldje-1D58/magyarorszag-tajai-2807/a-dunantuli-kozephegyseg-juhasz-agoston-2B16/a-dunazug-hegyvidek-2B81/>, (1989.január)
- Gondárné Sőregi Katalin, Kovács Balázs, Könczöl Nándorné, Modrovits Kamilla, Molnár Mária, Vatai József, Weiser László (2015): A Dunántúli-középhegység karsztos víztestjei. Vízyűjtő-Gazdálkodási Terv. Felszín alatti vizek mennyiségi állapotának meghatározása. 6-4-5 háttéranyag. Jelentés. OVF adattár
- Gondárné Sőregi Katalin, Jordan, H, Kovács Balázs, Könczöl Nándorné, Modrovits Kamilla, Molnár Mária, Vatai József, Weiser László Smaragd-GSH Kft - A Dunántúli-középhegységi karsztvízszint emelkedés okozta jelenségek állapotörögztítése, a várható emelkedés modellezése, KEHOP-1.1.0-15-2017-00010, Veszélyeztetett területek lehatárolása a regionális és a helyi modellezés együttes értelmezése alapján.
- Kessler, H., (1959): Tanulmányok és kutatási eredmények 7. szám, Az országos forrásnyilvántartás Dunazugi Körzet, VITUKI, Budapest, 122 p.
- Alföldi, L., Kopolyi, L., (2007): Bányászati Karsztvízszint-Süllyesztés A Dunántúli-Középhegységben, MTA, Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, 144 p.
- Ivicsics, L., Liebe P., (1997): A vízrajzi észlelés, adatgyűjtés és közreadás fejlődése Magyarországon (vízrajzi füzetek) Videx-Vision, Budapest, 40 p.
- Fogarasi, S., (2005): A karsztvíz beszivárgás éghajlati adottságainak vizsgálata Dunántúli-középhegységben 1950-2000, PhD disszertáció, (Szeged)
- Budai, T., Haas, J., (2014): A Dunántúli-középhegység felső-triász képződményeinek rétegtani- és fácieskérdései Régi problémák újragondolása újabb ismeretek alapján, Földtani Közlöny, Budapest, 144/2, 125–142 p.
- Csepregi András, Pironon Joseph, Ronchi Peter, (2002): A Dunántúli-középhegység fő karsztvíztárolója vízforgalmának modellezése, (Budapest)
- Edelényi, E., White, W B., (2002): Karsztvízföldtani vizsgálatok a Magyar Állami Földtani Intézetben; Karsztvízkutatás Magyarországon I, (Budapest)
- https://epa.oszk.hu/02700/02732/00119/pdf/EPA02732_foldtani_kutatas_29_4_085-090.pdf, (1990.január))
- http://real-j.mtak.hu/18125/1/foldtani_kutatas_29_4.pdf, (1987.01)
- Schmieder, A., (1969): A Dunántúli Magyar Középhegység karsztvízföldtani viszonyai és a fő karsztvíztárolóban érvényesülő vízmozgás dinamikai paraméterei; BKI 13-2/69T sz. kutatási jelentés, (Budapest)
- Poyanmehrer, Z., (2016): A felszín alatti vízáramlás modellezése Budapest tágabb területén, Földtani Közlöny, Budapest, 146/1, 61–70 p.
- Gimesi, I M., <https://docplayer.hu/3316974-Asvanygyujto-kalauz-6-a-dunazug-hegyseg-gimesi-istvan-miklos.html>, (2015)

- Dublyanski, Y., https://www.academia.edu/2421980/Speleogenetic_history_of_the_Hungarian_hydrothermal_karst, (1995)
- Miller, T., (1996). Geologic and hydrologic controls on karst and cave development in Belize. *Journal of Cave and Karst Studies*, Vol.58(2), 100-120 p.
- Yonge, C J, (1997). Climate change: the karst record - a conference review. *Cave and Karst Science*, Vol. 24(2), 65- 75 p.
- Jakucs, L., (1994): A Budai-hegység hidrotermális karsztja, *Földrajzi- Értesítő XLIII.évf, 3-4füzet*, Budapest, 235-246 p.
- Vörös, R., http://lazarus.elte.hu/hun/digkonyv/szakdolg/2021-msc/voros_reka.pdf, (2021.05)

Függelék

NYILATKOZAT

A diplomadolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről.

A hallgató neve: GYENGE LÁTOR GÁBOR
A Hallgató Neptun kódja: QF3 KWU
A dolgozat címe: A DUNA-ÉS HEGYVIDÉK KARSZTVÍZSZINTJÉNEK ALAKULÁSA AZ ELMÚLT
A megjelenés éve: 2023 ÉVTÍZADÓKOR
A konzulens tanszék neve: ÖRÖSZERTTU DOMÁNYI INTÉZET

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, s az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a Záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdonkezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe.

Kelt: 2023 év 04 hó 26 nap


Hallgató aláírása

KONZULTÁCIÓS NYILATKOZAT

A G/ENGRE LAJOS GABRIEL (név) (hallgató Neptun azonosítója: 2F3KVV)
konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az
irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól
tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védelemre
javaslom / nem javaslom¹.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*2}

Kelt: 2023 év 04 hó 26 nap


Belső konzulens