

**VERTIKÁLIS VÍZMOZGÁSOK VIZSGÁLATA A BÜKKI
KARSZTVÍZSZINT ÉSZLELŐ RENDSZER ADATAI ALAPJÁN
(KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A VÍZSZINT CSÖKKENÉSEKRE)**

DARABOS ENIKŐ – LÉNÁRT LÁSZLÓ

Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Hidrogeológiai-
Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék, 3515, Miskolc, Egyetemváros
hgde@uni-miskolc.hu, hgll@uni-miskolc.hu

Abstract: In order to ensure that drinking water is supplied without interruptions, the amount of exploitable water resources of the Bükk are and has been continuously determined. This paper is concerned with the practical problems of this determination procedure. We are examining the expected rate of water level decreases and the possibilities of predicting water levels. We also make suggestions regarding the exact naming of the various water amounts. The delineation that is used to determine the physically exploitable water resources has been created based on the vertical fluctuation zone of the karst water in the Bükk open karst catchment area, with the help of the characteristic curve from the Nv-17 monitoring well (showing the process of the karst emptying during periods poor in precipitation), and by taking the depth of local caves into account.

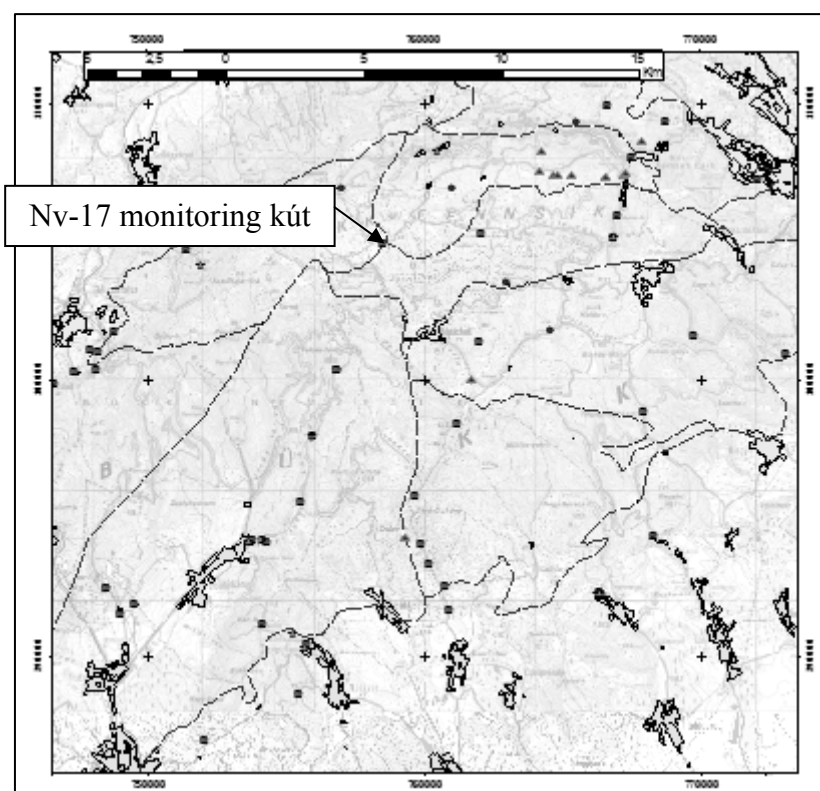
1. Bevezetés

A vízföldtani monitoring keretében zajló adatgyűjtés (információgyűjtés) lényegében a hidrológiai körfolyamat pillanatnyi állapotának megismerése érdekében történik, az ember vízigényének kielégítése, avagy a víz kártételeinek elkerülése érdekében. A hidrológián belül a hidrogeológia döntő mértékben tapasztalati tudomány. A fizikában, kémiában, biológiában jellemző kísérletek elvégzésére itt csak alárendelten van lehetőség, mivel a folyamatok vagy rendkívül összetettek, vagy lefolyásuk megfigyelése igencsak időigényes. Ezért különleges szerepe van az ide tartozó természeti jelenségek megfigyelésének, mérésének. A hidrológiai folyamatok az ember szándékától függetlenül következnek be. Ismételt bekövetkezésük, lezajlásuk módja csakis a lezajlott eseményekre vonatkozó megfigyelések (adatok) alapján jelezhető előre (LÉNÁRT 2006a).

A Bükk-térség esetében a társadalmi vízigények döntő többségének (esetenként teljes mennyiségének) kielégítése karsztvízből történik. Emiatt vált igen nagy jelentőségűvé a Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer (BKÉR) létrehozása, működtetése és adatainak feldolgozása. A mérőrendszer alapjainak számító kutakat 1983-ban hozták létre, a jelenlegi rendszer kialakítása 1992-ben kezdődött meg a folyamatos, elektronikus műszeres mérések beindításával (LÉNÁRT 2006b).

Jelenleg a bükki karszt területén összesen 34 helyen – kutakban, megfigyelő-kutakban és forrásokban – regisztrálják folyamatosan a vízszint, esetleg a víz hőmérséklet és a vezetőképesség értékeit a Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer keretein belül. A rendszer egyik nagy előnye, hogy a Bükk-hegység csaknem teljes területét lefedi (1. ábra), ezáltal lehetőségünk van összehasonlító és korrelációs vizsgálatok végzésére is az egyes mérőhelyekről származó vízszint, vezetőképesség és hőmérséklet adatok között (DARABOS *et al.* 2012, SZŰCS – HORNE 2009, DARABOS – LÉNÁRT 2008).

Az elektronikus vízszint, víz hőmérséklet, vezetőképesség és radon méréseket folyamatosan mérő és rögzítő mérőműszerekkel végzik. A mérési gyakoriság zömében 15-60 perc, de elvétve előfordult 10, ill. 240 perces gyakoriságú mérés is (LÉNÁRT 2002).



1. ábra: A Bükki Karsztvízszint Észlelő rendszer mérőhelyei a 2010-es állapot szerint, megjelölve az Nv-17 monitoring-kút elhelyezkedése (LÉNÁRT – HERNÁDI 2011)

Fig. 1. The measurement locations of the Bükk Karst Water Monitoring System in 2012. Marked is the location of the Nv-17 monitoring well (LÉNÁRT – HERNÁDI 2011)

2. A Bükk-hegység és a karsztvíz szintje

A Bükk-hegység a Borsodi nagyszerkezeti egység része; a Darnó-zóna és a Középmagyarországi-zóna közötti térben fekszik. A fő szerkezeti egységek DNy-ÉK-itől ÉNy-DK-ig változó csapásban elnyúlt, néhány km vagy 10 km széles vetőszeletek meredek dőlésű, oldal eltolódásos jellegű határokkal, amelyek sokszor a réteghatárokkal közel párhuzamosan alakultak ki. A réteghatárok meredek helyzete egy korábbi, redőződéssel és palásság kialakulásával járó képlékeny deformáció eredménye. A hegységben egyaránt megtalálhatók paleozoós, triász, júra, eocén, oligocén, neogén és negyedkori képződmények (PELIKÁN 2005).

A karsztvíz a rétegvizekhez hasonlóan a csapadékból és a mélység felől pótlódhat. Hazai viszonyaink között a karsztok utánpótlódása lényegében csak csapadékból történik. Felszínig érő karsztterületeken helyesen járunk el, ha egyedüli utánpótlódásként a csapadék beszivárgó, ill. elnyelt fázisát vesszük csak figyelembe. A karsztvíz egyik jellegzetes tulajdonsága a csapadék hatására változó szintje (JUHÁSZ 2002).

3. Módszerek

Vizsgálataink alapját az 1992-óta folyamatosan működő Bükki Karsztvíz-szint Észlelő Rendszer egyik legfontosabb, tetőhelyzetben lévő mérőhelye, a nagymezői, Nv-17 (1. ábra) vízszintadatai jelentik. A fenntartható miskolci ivóvízellátás segítése érdekében az utóbbi években megszakítás nélkül zajlott, ill. jelenleg is zajlik a Bükkből kitermelhető vízkészletek mennyiségének folyamatos meghatározása.

A vízkészletek becsléséhez először a várható vízszint értékek meghatározása szükséges, ez az eddigi gyakorlat szerint úgy történt, hogy az adott mérőhelyről származó mért adatokra egy jól illeszkedő trendvonalat vettünk fel, melynek meghosszabbítása alapján határoztuk meg a vízszint-változás várható jellegét, ill. az adott napra a várható napi átlag vízszintet. Ezután a vízkészletek becslése következett, ehhez szükségünk volt az imént ismertetett metódus szerint becsült vízszint értékre, ill. egy viszonyítási alapra. Ez az alap a Bükk-hegység korábbi történetében regisztrált legnagyobb szárazság idején (1993. novemberben) mért legalacsonyabb vízszint-érték volt, amelyet abban az időben „kinevezetek” a statikus és a dinamikus készletek határának. Vettük tehát a várható vízszint értéket és a statikus-dinamikus készlet határának gondolt alap vízszintet, a kettő különbségét megszoroztuk az átlagos hézagterfoggal, így kaptuk meg a várható „pillanatnyi dinamikus vízkészlet” értékét az előrejelzési időszak utolsó napjára

m³-ben. A hézagterfogat értékét egy kisebb és egy nagyobb értéknek vetünk fel: 0,5, ill. 0,75 %-osra.

2011 novemberétől kezdve viszont egy speciális helyzet alakult ki, mégpedig amiatt, hogy az 1993-ban mért eddigi abszolút minimum alá csökkent a karsztvízszint. A novemberi és a decemberi előrejelzéseink során ezáltal azzal szembesültünk, hogy „negatív” dinamikus vízkészletek alakultak ki a vízszintadatok alapján, de a termelési lehetőségeket ez érdemben csak egyes helyeken alakította erősen a kedvezőtlen irányba. Ez a helyzet indokolta, hogy tovább vizsgáljuk a vízszint csökkenéseket, ill. a vízkészletek előrejelzési lehetőségeit. A legfontosabb szempont kezdetben az volt, hogy a rendelkezésünkre álló mérési adatokból a lehető legtöbb információt nyerjük ki, a minél pontosabb előrejelzés érdekében. Ezért döntöttünk úgy, hogy az eddig alkalmazott megoldást, most a rendelkezésre álló csaknem 20 éves adatsor alapján egy másik módszerrel próbáljuk helyettesíteni.

Abban az esetben, amikor vízszinteket, ill. a rendelkezésre álló ki-termelhető vízkészletek nagyságát próbáljuk előre jelezni, biztonság szempontjából akkor járunk el a leghelyesebben, ha a lehető legrosszabb esetből indulunk ki. Ezen megfontolás alapján a bükki karsztvizet termelő vízmű szempontjából a legrosszabb peremfeltétel, ami előfordulhat az, hogy hosszabb ideig egyáltalán nem hullik az adott területen csapadék. (Épp egy ehhez hasonló kellemetlen időjárási körülmény indokolta 1992-ben a Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer létrehozását is).

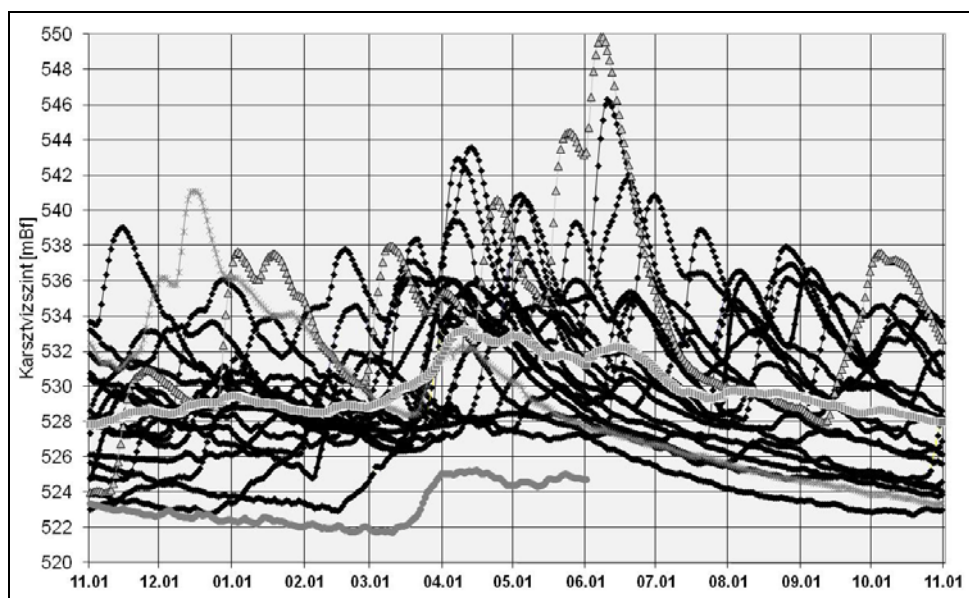
A vizsgálatok kiinduló pontját a 2. ábra jelentette, melyen az Nv-17-mérőhelyen regisztrált napi vízszintek láthatóak 1993 és 2011 között. Ezen az ábrán a jelen dolgozat szempontjából releváns megállapítás, hogy az egyes években a vízszintek „zavartalan” csökkenéseinek meredeksége egymáshoz igen hasonló (DARABOS 2011).

Az iménti megfigyelésből arra a következtetésre jutottunk, hogy adott mérőhelyre létezik egy csapadékmentes időszakban érvényes, jellemző csökkenési görbe, melyet jelleggörbének neveztünk el. Ezután célként e görbe meghatározását tűztük ki.

4. Eredmények

A nagymezői mérőhelyről származó közel 20 éves adatsor alapján előállítottuk a „jelleggörbének” nevezett pontsorozatot, melynek lényege, hogy a rendelkezésre álló adatokból kiragadtuk azokat a részeket, ahol a vízszint-görbe zavartalanul csökkent (csapadékmentes időszakból származó csökkenés), majd ezeket - vízszinteknek megfelelően - egymáshoz illesztettük. Így egy csapadékhatástól csaknem teljesen mentes csökkenési görbét kaptunk

eredményül, mely 2011 decemberéig átfogta az addig mért maximum és minimum által meghatározott teljes tartományt, tehát a görbe előrejelzésre önmagában használható volt. 522,72 mBf-i az utolsó, a jelleggörbe meghatározásba bevehető adat, de a vízszintek tovább csökkentek, az eddig mért legalacsonyabb vízszint 2012. 03. 10-én 521,74 mBf-i érték volt, ezek az értékek azonban nem zavartalan csökkenésből adódtak, így a jelleggörbéhez nem lehetett őket felhasználni. Emiatt a jelleggörbét extrapolálnunk is kellett, ennek pontosítása érdekében az adatok folyamatos frissítése, ill. az újabb adatok birtokában további pontosítások, esetleges felül bíráló az aktuális adatok alapján történik.



2. ábra: Azonos napra rendezett napi átlag vízszintek 1993 és 2011 között az Nv-17 mérőhely adatai alapján
Jelmagyarázat: fekete vonalak - vízszintek 1993 és 2012 között; szürke háromszög - vízszintek 2010-ben, szürke csillag - vízszint 2011-ben, sötétszürke folytonos vonal - vízszintek 2012-ben, világosszürke folytonos vonal - átlag vízszintek 1993-2012 között

Fig.2. Average daily water levels, arranged for the same day, between 1993 and 2012, based on the data from the Nv-17 monitoring well ;

Legend: black lines - water levels between 1993 and 2012, gray triangles – water levels in 2010, gray stars – water levels in 2011, dark grey line – water levels in 2012, light grey line - average water levels between 1993 and 2012

Egyértelmű, hogy ennek a görbének a matematikai egyenletét kezdetben nem ismertük, mivel ez nem egy előállított pontsorozat, hanem a mért adatokból összeillesztett görbe. Abban a tartományban, ahol a mért adatok a zavartalan csökkenési görbe előállításához rendelkezésre állnak az előre jelzés csupán abból áll, hogy az aktuális vízszintgörbén az utolsó mért

ponthoz vízszinteknek megfelelően illesztjük a jelleggörbe adott szakaszát. Ahhoz viszont, hogy ennek segítségével előrejelzéseket tehessünk olyan tartományokban, ahol mérési adat nem áll rendelkezésre, extrapolálnunk kell, ehhez pedig szükségünk van a görbe egyenletére.

A pontsorozatból előállított görbe egyenletét különböző típusú trendvonalakkal próbáltuk meghatározni. Kezdetben 6. fokú polinommal próbálkoztunk, amely a görbe kezdeti szakaszán igen jól illeszkedett az eredeti pontsorhoz, viszont a 6. fokú polinom jellegzetességeiből adódóan, a görbe második szakaszán, ill. az extrapoláció során irreális eredményeket kaptunk.

Mivel az előbbi közelítés nem hozott eredményt a következő megoldást a logaritmikus görbe jelentette (3. ábra), az ezzel kapott eredmények az eddigi adatokat tekintve biztatóak. Ezzel a megoldással a jelleggörbe pontsorozat és a logaritmikus egyenlet alapján meghatározott jelleggörbe között a korreláció 0,98, ami kiválónak minősíthető. Viszont, ahogy azt a 3. ábrán is láthatjuk épp az alacsonyabb vízszintek tartományában jelentős (akár 70 cm-es) különbségek is adódtak, melynek következtében a jelleggörbe jelentős mértékben a mért görbe alá kerül. Emiatt úgy gondoltuk, hogy a további extrapolációval még nagyobb hibát vinnénk a számításokba, vagyis tovább kellett keresnünk a megfelelő egyenlettel leírható, legjobban illeszkedő görbét. Továbbá a 3. ábrán azt is láthatjuk, hogy nagyon magas vízszintek esetében (~550-530 mBf) a csökkenés meredeksége is jelentősebb, mint az alsó szakaszon, majd megfigyelhető egy határozott töréspont ~530 mBf-i vízszint értékeknél (250 m a terepszint alatt). Emiatt, hogy a számítások még pontosabbak legyenek két részre osztottuk a görbét 530 mBf-i vízszintértéknél.

A 4. ábra már csak az alsó szakaszt mutatja. Következő lépésként a jelleggörbe „alsó” szakaszára próbáltuk „kézi” módszerrel meghatározni a görbe egyenletét. Ennek érdekében kijelöltünk az összesen 178 pontból álló alsó jelleggörbe szakaszon 3 jellegzetes pontot, egyet az elején (10. adat: $x_1=10$, $y_1=529,80$), egyet a középső szakaszon (115. adat: $x_2=115$, $y_2=525,00$) és egyet a végén (230. adat: $x_3=230$, $y_3=522,57$).

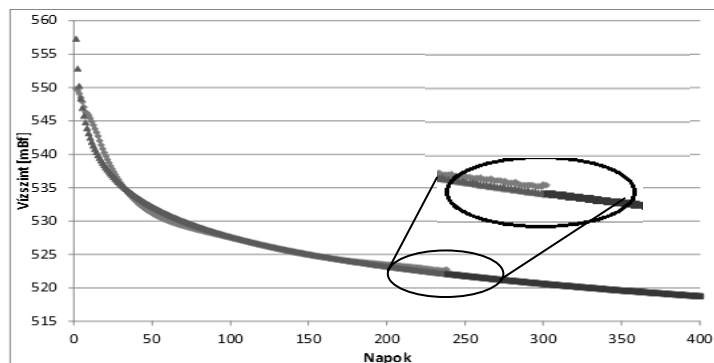
Erre a 3 pontra állítottunk fel egyenletrendszereket, melyek közül az alábbi általános képlettel jellemezhető görbe hozta meg az eredményt:

$$y = \frac{a}{x + b} + c, \quad (1)$$

ahol

y =az adott napon mért vízszint,

x =a vizsgált nap sorszáma,
 a, b, c =konstans.



3. ábra: Logaritmikusan előállított jelleggörbe, és a belőle levezetett extrapoláció

Jelmagyarázat: világosszürke négyzetek: a mért pontokból előállított jelleggörbe, sötétszürke háromszögek – a logaritmikusan számított jelleggörbe és a belőle levezethető extrapoláció

Fig. 3. Characteristic curve, created by logarithm, and the resulting extrapolation

Legend: light gray squares – characteristic curve obtained from the measured points, dark gray triangles - characteristic curve, created by logarithm, and the resulting extrapolation

Tehát, ha az (1) általános képletbe behelyettesítjük a 3 mért pont ismert koordinátáit, kapunk 3 egyenletet a 3 db ismeretlenhez (a, b, c). Az egyenletrendszer megoldása után megkaptuk az eddigi legtökéletesebben illeszkedő jelleggörbét ($R^2=0,9980$), melyet az alábbi egyenlettel számolhatunk:

$$y = \frac{2522,4168}{x + 178,19507} + 516,3968 \quad [mBf], \quad (2)$$

ahol

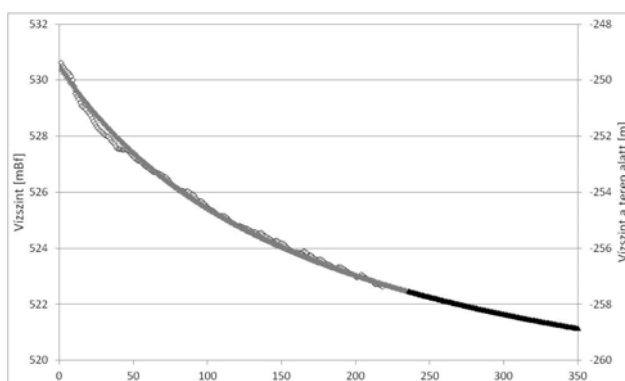
y =az adott napon mért vízszint,

x =a vizsgált nap sorszáma.

Ezen eredménygörbe segítségével már kedvező feltételek mellett extrapolálhatunk, így kapjuk a 4. ábrát.

Mindezek ismeretében már előre jelezhetjük a vízszint görbe csapadék mentes esetben várható menetét az eddigi mérési tartományon kívül is. Ehhez nem kell mást tennünk, csak az előrejelezni kívánt görbe utolsó pontjában mért vízszint adatot leolvasni, majd a számított jelleggörbén megkeresni az ehhez a ponthoz illeszthető vízszintet és ettől az értéktől kezdve a

jelleggörbével helyettesítjük, hosszabbítjuk meg az adatsorunkat. Ezáltal megtudjuk, hogy milyen ütemben várható a vízszint csökkenése, ha a vizsgált időszakban nem hullik érdemi csapadék.

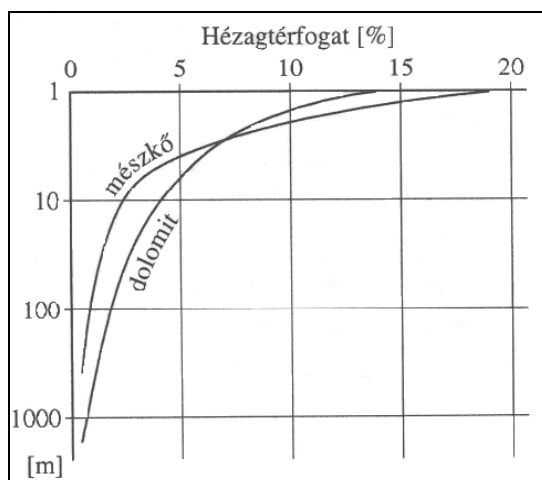


4. ábra: Saját képlet alapján számított jelleggörbe, és a belőle levezetett extrapoláció
 Jelmagyarázat: fehér négyzetek – mért pontokból előállított jelleggörbe, szürke vonal – a saját számítás alapján előállított jelleggörbe, fekete vonal – a jelleggörbe extrapolációja
 Fig. 4. Characteristic curve, calculated by own formula, and the resulting:
 Legend: white squares - characteristic curve obtained from the measured points, gray line - characteristic curve, calculated by own formula, black line – the resulting

Az extrapoláció szempontjából nem releváns ugyan, de fontos megjegyeznünk, hogy még egy enyhe meredekség csökkenés megfigyelhető ezen az alsó szakaszon is, mégpedig 525 mBf-i vízszintek esetén, ami 255 m terepszint alatti mélységnek felel meg. A vízszint előrejelzésének szempontjából viszont ezt az alsó részt, egyelőre nem indokolt tovább osztani. Ezek alapján megállapíthatjuk, hogy 250 és 255 m terep alatti mélységben (530-525 mBf) elhelyezkedik egy átmeneti zóna, mely alatt a szabad szivárgás mértéke egyre kisebb, azt feltételezzük, hogy a hézagterfogat értéke ez alatt a zóna alatt már igen alacsony. Ezt a feltételezést erősíti meg az 5. ábra is, melyen a mészkő és a dolomit hézagterfogatának mélység szerinti változása látható.

Az eredmények alapján jelenleg úgy gondoljuk, hogy a vízszint előrejelzések terén a helyzet tisztázott, a jelenlegi adatok birtokában kellő pontossággal jelezni tudjuk a vízszintek változását csapadékmentes időszakban.

A vízkészletek meghatározása viszont további pontosításokat igényel. Egyrészt a használt hézagterfogat értéke (0,5; 0,75 %) az irodalmi ismeretek alapján túl magas, ennek értéke korábbi vizsgálatok alapján maximum 0,5 % lehet a Bükkben (SZILÁGYI et al. 1980).



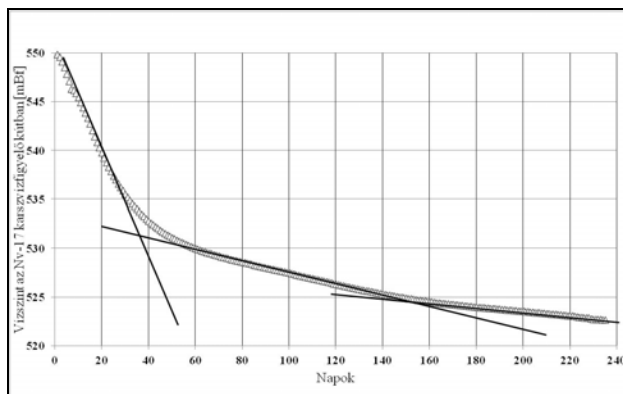
5. ábra: A hasadozott kőzet hézagterfogatának mélység szerinti változása (JUHÁSZ 2002)
Figure 5. The porosity changes by depth in the fissure rock (JUHÁSZ 2002)

Az eddigi gyakorlat során a „várható pillanatnyi dinamikus vízkészlet” meghatározása történt. Szakmai tapasztalatok és ajánlások szerint ez az elnevezés manapság nem használatos, azokat a mai vízgazdálkodás egyik alapját jelentő EU-s Víz Keretirányelvben (VKI) sem használják. A kifejezés használatának elvetését indokolja az is, hogy a dinamikus vízkészlet fogalma szerint: „a természetes dinamikus vízkészlet az a volumetrikus és áramló vízmennyiség, amely természetes körülmények között csapadékból történő utánpótlódással rendelkezik. A dinamikus készlet lényegében abban különbözik a statikus készlettől, hogy ha kitermeljük, a termelés során átalakult tároló a termelés megszűnése után újratöltődik.” (JUHÁSZ 2002) Ezek szerint a „dinamikus karsztvízkészlet” olyan karsztvízkészlet, mely a nyíltkarszton a csapadékból folyamatosan utánpótlódó, tetőhelyzetben lévő karsztvízszinttől a forrásig, ill. karsztkútig tartó zónában, különböző sebességgel mozgó teljes karsztvízmennyiség. Így a Bükk-térségben a hideg és meleg, összefüggő karsztvízkészlet a legmélyebben lévő (a hidegkarsztvízzel kapcsolatban álló termálkarsztvíz) kivételi helyétől (a legmélyebb kút legalsó szűrőzött szakaszától) a legmagasabban lévő hidegkarsztvíz szintje közötti zónában helyezkedik el, ami az 550 mBf-i szinttől a -2150 mBf-i szintig tart 2012 elején, azaz egy 2700 m-es mélységközt fog át. Ez azt jelenti, hogy ezen rendszeren belül – ha azt mind „egységesen dinamikus”-nak tekintjük – nincs reális lehetőség a differenciálásra. A gyakorlati célokra inkább a „fizikailag kitermelhető karsztvízkészlet” megfogalmazás használható.

A következő kérdés, hogy ezt hogyan tudjuk meghatározni, mi az a viszonyítási alap, mely az eddig használt 1993. novemberben mért, „abszolút minimumnak” gondolt értéket helyettesíthetné?

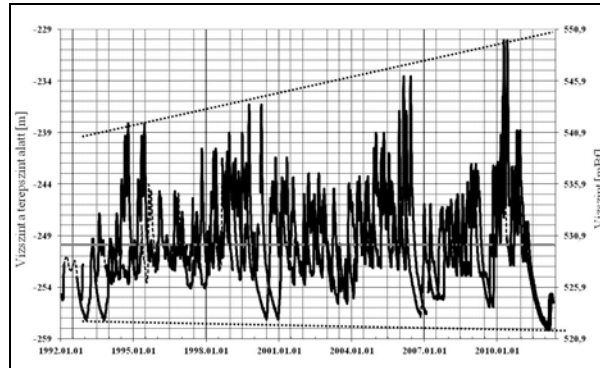
A Bükk nyíltkarsztos jellegű területén a döntő mértékű – vertikális és horizontális – karsztvízmozgás zónáját több vizsgálattal próbáljuk megállapítani. Ahogy azt az imént láthattuk (5. ábra) az irodalmi adatok szerint a hézagterefogat (mint minden közet esetében, így a karszt területeken is) lefelé exponenciálisan csökken (JUHÁSZ 2002). Az 5. ábra szerint kb. 300 m alatt a hézagterefogat gyakorlatilag azonos, kicsi, néhány tized %-os értékre csökken. Ez azt jelenti, hogy a mélység növekedése során a vízmozgás sebessége radikálisan csökken és kb. 300 m körül gyakorlatilag azonos mértékűvé válik. (Ez regionálisan mindenképpen igaz, lokális eltérés természetesen lehet.)

A Bükk nyíltkarsztos vízgyűjtő területén a karsztvíz vertikális ingadozásának zónája az 550 és 520 mBf-i magasságok, ill. a 230 és 260 m terep alatti mélységek által közrefogott sáv, a nagymezői Nv-17 karsztvíz-megfigyelő kút 20 éves adatsora alapján. Az Nv-17 karsztvíz-megfigyelő kútban a vizsgálati idő alatt tapasztalt karsztvízszint változását a 7. ábrán mutatjuk be, kiemelve a mérések alapján megállapítható vertikális ingadozás tartományát, ill. a jelzett 530 mBf-i (-250 m terep alatti) karsztvízszintet.



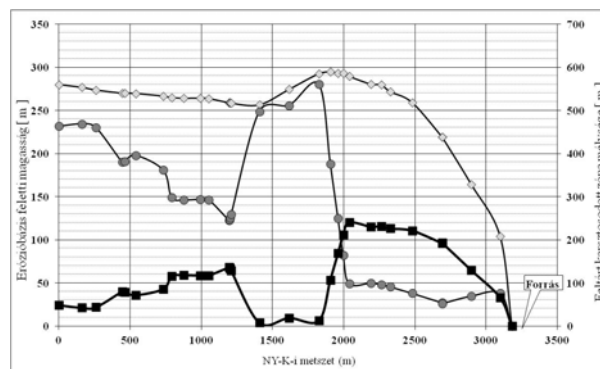
6. ábra: Az Nv-17 kútban mért, a csapadékhataástól megfosztott vízszinteket ábrázoló jelleggörbe, a jellemző görbeszakaszokra illesztett meredekségekkel

Fig. 6. Characteristic curve showing water levels without the effect of precipitation, measured in the Nv-17 monitoring well; with lines of tendency on the characteristic curve sections



7. ábra: A napi vízszintek az Nv-17 kútban, az ingadozási sáv megjelölésével
Fig. 7. Daily water levels in the Nv-17 monitoring well, with the fluctuation zone

Az Nv-17 esetében a jelleggörbén – melyet a csapadék által nem zavart vízszintekből állítottunk össze (DARABOS – LÉNÁRT 2012), – kb. 530 mBf-i szintben (-250 m terep alatti mélységben) van egy igen jelentős törés – 6. ábra – amit az előbbieknél megfelelően, szintén a jól karsztosodott zóna aljának tulajdonítunk. Az intenzív horizontális és vertikális karsztvízmozgási zónát a hegységben lévő barlangok mélységének figyelembe vételével is megpróbáltuk meghatározni (HERNÁDI *et al.* 2012a, b). Ez a zóna a Bükkben 260 – 270 m terep alatti mélységűnek adódott a 8. ábra alapján. (További, pontosítandó kérdés, hogy a karsztvízszintet elérő víznyelő barlangok fő vízvezető – legalsó, ember számára is járható – szintjei alatt van-e még érdemi vastagságú jó vízvezető zóna?)



8. ábra Vízugyűjtők erózióbázisa fölött eddig feltárt karsztosodott zóna, Soltész-forrás vízgyűjtőjéhez tartozó metszet (HERNÁDI *et al.* 2012a, b)

Jelmagyarázat: világosszürke trapéz - barlang bejárat, töbör; sötétszürke kör – barlang végpont, fekete négyzet: a feltárt karsztosodott zóna

Fig. 8. Karsted zone above the erosion base of the catchment areas, section belonging to the catchment area of the Soltész spring (HERNÁDI *ET AL.* 2012a, b);

Legend: Light gray trapezoid – cave entrance, doline; dark gray round – end of cave; dark square – explored karstic zone

A másik nagymezői, a Miskolchoz és a hegylábi forrásokhoz közelebbi, alacsonyabb szinten lévő M-6 karsztvízfigyelő kút -266 m (457 mBf) – -275 m (447 mBf) közötti vízszintváltozása jól kapcsolható mind a barlangok, mind az Nv-17 karsztvízfigyelő kút által kijelölt karsztosodási zónához.

A fentiek alapján a legjobban karsztosodott zóna alsó határát kb. 300 m terep alatti mélységben (kb. 480 mBf-i értékben) húzhatjuk meg a Nv-17 karsztvízfigyelő kútban. (Ezzel egy természetes határt jelölünk meg, melyet több vizsgálati eredmény is megerősít.)

A fizikailag kitermelhető készlethez a hegységperemektől távolabb lévő, a fedett termálkarsztba mélyült kút beáramlási zónája feltétlenül figyelembe veendő. Főleg azért, mert az utánpótlási terület – jelenlegi tudásunk alapján – elsősorban a Bükk nyíltkarsztos területéhez kapcsolódik, de részletesen meg kell vizsgálni az esetleges, törmelékes összletből, vagy a karbonátos összlet alatti kőzetekből történő utánpótlódás lehetőségét. (A felszíni porózus kőzetek alatt lévő termálkarsztos területeken a karsztosodott kőzetekben a fő áramlási zóna fúrásokkal feltárt vastagsága a Bükk-térségben 100 m-nél kevesebb.)

További kiegészítésként fontosnak tartjuk azt is, hogy maga a Bükk-hegység döntő mértékben hideg karsztvizet tartalmaz, de mivel a karsztos kőzetei közvetlen kapcsolatban vannak a törmelékes kőzetekkel, eltemetett karsztos kőzetekkel, ezért a Bükk-térségben egységes hideg-meleg karsztrendszerrel lehet beszélni. Ennek a kapcsolatnak a maximális figyelembevétel a karsztvíz minőségének és mennyiségének, vízszintjének megóvásakor rendkívül nagy jelentőséggel bír. A kiemelt helyzetben lévő Bükk-hegységben a hidegkarsztvíz nyomása hatására gyakorlatilag állandó, de különböző mértékű (alapvetően a hézagterefogattól függő) mozgásban lévőnek tekinthető a nyílt és a fedett karsztban mozgó karsztvíz. (A tetőhelyzetben lévő karsztvízszinttől a forrásig, ill. a karsztkút beáramlási szakaszáig.)

Mivel azt az álláspontot fenntartjuk, hogy a fizikailag kitermelhető készletek esetében is igaz, hogy a termelés során átalakult tároló a termelés megszűnése után újratöltődik, már csak egy kérdés maradt: mekkora az az idő, amin belül a termelés során átalakult tároló a termelés megszűnése után újratöltődik? A „*csapadékból való utánpótlódás*” reális idejének meghatározása a csapadék változékonyságának ismeretében nagyon bizonytalanul határozható meg. (A 7, ill. 11 éves periódus léte meglehetősen elfogadott.) A BKÉR 20 évi adatai alapján a nagy minimumok 5-7 évente, a legjelentősebb maximumok 4-6 évenként következnek be. Ezek alapján a „*csapadékból való utánpótlódás*” reális idejének megközelítően egy 4-6 éves ciklus be-

csülhető, s ez meghatározza a csapadékhiányos időszakokban az esetleges helyi karsztvízszint csökkentés lehetőségét is.

5. Összefoglalás

Az ivóvíz ellátás zavartalan biztosítása érdekében folyamatosan történt és jelenleg is történik a Bükkből kitermelhető vízkészletek mennyiségének meghatározása. Az ivóvízellátás mennyiségi biztosításának szempontjából kritikus helyzetet a tartós csapadékmentes időszak jelent, ez indokolta, hogy a karsztvízszintek előrejelzését ilyen időszakban vizsgáltuk. A vizsgálati hely kiválasztásakor a Nagyvisnyó-17 nevű monitoring kútra esett a választásunk, mivel az eddigi előrejelzések is ez alapján a mérőhely alapján történtek, ill. ez az a megfigyelőhely, ami a Bükk-hegység karsztvízszintjét tekintve közel tetőhelyzetben van. A korábbiakban ezek az előrejelzések úgy történtek, hogy az éppen aktuális karsztvízszintekre egy jelleghelyes trendvonalat illesztettünk, és ennek a meghosszabbítása jelentette a várható vízszintek meghatározását, ehhez szükségünk volt még egy referencia szintre, amely „*feletti*” vízkészletet meghatároztuk. A referencia szint nem más volt, mint az 1993 novemberében mért „*abszolút minimum*” értéknek gondolt vízszint, melyet akkoriban kijelöltünk a dinamikus és statikus készletek feltételezhető határának. 2011-ben azonban a monitoring rendszer 20 éves története során soha nem mért szárazság lépett fel, így az addig mért „*abszolút minimum*” alá csökkent a vízszint, ami azt eredményezte, hogy az eddigi számítási módszerrel negatív eredményeket kaptunk a vízkészletek becslésekor, ami egyértelművé tette, hogy az előrejelzési módszerünket felül kell vizsgálnunk. Ennek során a 20 éves adatsorból kiindulva előállítottunk egy közel zavartalan csökkenési görbét, amit jelleggörbének neveztünk el. Ennek a mért görbének az egyenletét igyekeztünk a lehető legnagyobb pontossággal meghatározni, hogy azokra a tartományokra is tudjunk előre jelzéseket adni, ahol nincsenek mérési adataink. Többszöri kísérlet után, végül egy saját számítások alapján előállított $(1/n)$ – típusú görbe bizonyult a legmegfelelőbbnek. Ez alapján az egyenlet alapján már extrapolálni is tudjuk a jelleggörbét, amely megmutatja számunkra a karszt kiürülésének folyamatát csapadékmentes időszakban.

Ezt a görbét azonban jelentős meredekségbeli különbségek miatt 530 mBf-i vízszinteknél (250 m terep alatti mélységben) 2 részre kell osztanunk, hogy a számítások a lehető legpontosabbak legyenek. Ez a meredekségbeli különbség továbbá meghatároz egy kb. 5 méteres tartományt, amely után jelentősen lecsökken a vízszintcsökkenés sebessége. Véleményünk szerint ez a hézagterfogat mélységgel való jelentős csökkenésével magyarázható.

A Bükk nyíltkarsztos vízgyűjtő területén a karsztvíz vertikális ingadozásának zónája alapján, az Nv-17 jelleggörbét figyelembe véve (mely a karszt leürülésének folyamatát mutatja csapadékmentes időszakban), „*a hegységben lévő barlangok mélységének figyelembe vételével*” (HERNÁDI *et al.* 2012a, b) jelöltük ki azt a határt, amelyet figyelembe veszünk a fizikailag kitermelhető vízkészletek meghatározásához. Mindezek alapján a legjobban karsztosodott zóna alsó határát kb. 300 m terep alatti mélységben (kb. 480 mBf-i értékben) húzhatjuk meg a Nv-17 karsztvízfigyelő kútban. (Ezzel egy természetes határt jelölünk meg, melyet több vizsgálati eredmény is megerősít.) A viszonyítási alap elsődleges (az előzőekhez képest lényegesen, természetes alapon pontosított) kijelöléséhez elégséges az eddigi kutatási információ, de a most kijelölt viszonyítási alap pontosításához a BKÉR további tagjai, ill. a termálkarsztvizet termelő és megfigyelő kutak szolgáltatott adatokat is be kell vonni a vizsgálatba. Továbbá a jó vízvezető sávnak az értékeit a hegységperemen lévő nagy források térségében is meg kell határozni, s ezen vizsgálatok keretében célszerű eldönteni, hogy az kijelölheti-e a felfelé történő áramlási zónákat a hegységperemi nagy karsztforrások közelében, avagy ehhez feltétlenül szükségesek-e a peremi törésvonalak is. A vízkészletek meghatározása során a további vizsgálatok folyamán feltétlenül foglalkoznunk kell a növekvő számban létesített termálkarszt-kutak által megváltoztatott, mozgásba hozott karsztvíz áramlási térével is.

6. Köszönetnyilvánítás

„A tanulmány/kutató munka a TÁMOP-4.2.1. B-10/2/KONV-2010-0001 részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg”

IRODALOM

- DARABOS E. – LÉNÁRT L. (2008): Csapadék és karsztvíz szintek összefüggéseinek vizsgálata a 2006. évi bükki karsztárvíz elemzése során, – Karsztfejlődés XIII. NyME, TTK, Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, pp. 43-60
- DARABOS E. (2011): Examining relationships is data recorded with the Bükk Karst Water Monitoring System, –Karst Development 1. (1), pp. 6-12
- DARABOS E. – LÉNÁRT L. (2012): Karsztvízszint előrejelzés a Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer (BKÉR) adatai alapján – Műszaki Tudo-

mány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban, 2012. 05. 10., Szolnok (in press)

DARABOS E. – SZUCS P. – NÉMETH Á. (2012): Application of the ace algorithm on hydrogeological monitoring data from the Bükk mountains – *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, Volume 47, 2, pp. 256-270

HERNÁDI B. – LÉNÁRT L. – HORÁNYINÉ CS. G. – TÓTH K. (2012a): A miskolci vízműforrások nyílt karsztjának vertikális és horizontális karsztosodottsága – http://fava.hu/siofok2012/eloadasok/d1_14_00_-hernadib.pdf.

HERNÁDI B. – LÉNÁRT L. – HORÁNYINÉ CS. G. – TÓTH K. (2012b): A bükki nyílt karszt vertikális karsztosodottsága. – *Karsztfejlődés XVII.* NyME, TTK, Szombathely (in press)

JAKUCS L. (1971): *A karsztok morfogenetikája* – Akadémia Kiadó, Budapest, 188 p.

JUHÁSZ J. (2002): *Hidrogeológia* – Akadémiai Kiadó, Budapest, 938 p.

LÉNÁRT L. (2002): A bükki karsztvízkutatás történeti áttekintése. – A bükki karsztvízkutatás legújabb eredményei c. konferencia. Miskolc, 2002. január. 24-26. *Karsztvízkutatás Magyarországon I.*, Budapest, pp. 1-18

LÉNÁRT L. (2006a): *Környezet Informatikai Tankönyv* – Kézirat, Miskolc, pp. 13-15

LÉNÁRT L. (2006b): „A Bükk-térség karsztvízpotenciálja – a hosszú távú hasznosíthatóságának környezetvédelmi feladatai. – *Észak-magyarországi Stratégiai Füzetek*, Miskolc, III. (2): pp. 17-28

LÉNÁRT L. – HERNÁDI B. (2011): *Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer, Karszthidrogeológiai mérési objektumok és víznyomjelzési eredmények, Térkép*, Miskolc

PELIKÁN P. (2005): *A Bükk hegység földtana*, benne: Kovács S.: *A Bükk fejlődéstörténete*, MÁFI, Budapest, pp. 148-152

SZÚCS P. – HORNE RN. (2009): Applicability of the ACE Algorithm for Multiple Regression in Hydrogeology – *Computational Geosciences* 13., pp. 123-134

SZILÁGYI G. – BÖCKER T. – SCHMIEDER A. (1980): *A Bükk-hegység regionális hidrodinamikai képe és karsztvízforgalma* – *Hidrológiai Közlemény*, Budapest, 60. (2) pp. 49-96