



MISKOLCI EGYETEM
MIKOVINY SÁMUEL FÖLDTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA
Doktori Iskola vezetője:
Prof. Dr. Dobróka Mihály
egyetemi tanár

**VÍZKÉSZLET SZÁMÍTÁS ÉS IDŐSOROK ELEMZÉSE KARSZTOSODOTTSÁGI JELLEMZŐK
MEGHATÁROZÁSA CÉLJÁBÓL A BÜKKI KARSZTVÍZSZINT ÉSZLELŐ RENDSZER ADATAI
ALAPJÁN**

DOKTORI (PHD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

KÉSZÍTETTE:
Darabos Enikő
okl. környezetmérnök

TUDOMÁNYOS TÉMAVEZETŐ
Dr. Lénárt László,
ny. egyetemi docens

Környezetgazdálkodási Intézet
Hidrogeológiai – Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék
Miskolc, 2017.

I. KITŰZÖTT KUTATÁSI FELADAT

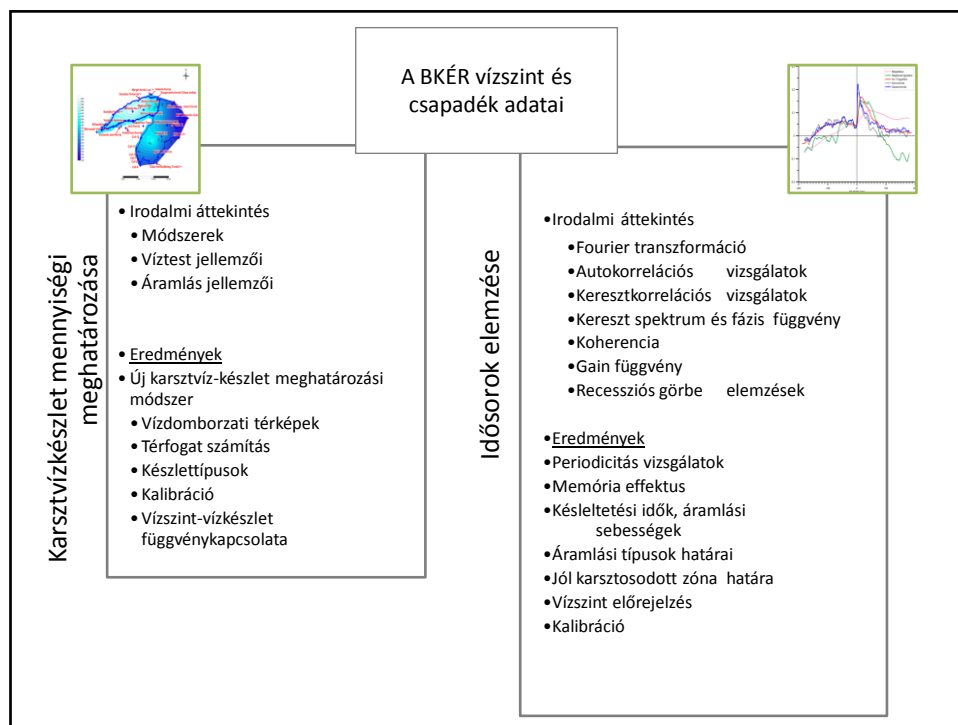
Kutatási területem a Bükk hegység, PhD értekezésemben a hegység általános földtani és vízföldtani bemutatás után áttekintem a valaha itt működött vagy jelenleg is működő, különböző léptékű monitoring rendszereket.

A dolgozatban a Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer (BKÉR) keretein belül gyűjtött vízszint és csapadék adatokat elemzem. A BKÉR folyamatos mennyiségi monitoringot jelent a hegységben 1992 óta.

A napi adatok alapján végzett vizsgálataim 2 fő tématerület köré csoportosíthatóak (1. ábra):

- Az első a vízkészlet számítás, melynek célja a tározás, valamint az utánpótlódás mértékének meghatározása a hegységben, különböző vízállások mellett, egy - ezen a területen - új megközelítés alapján kidolgozott módszerrel.
- A másik nagy tématerület a hosszú idősorok spektrál analízise, kiegészítve forrás és kút hidrogram elemzésekkel. Ezek célja áramlási és karsztosodottsági jellemzők meghatározása, továbbá a csökkenő vízszintek előrejelzésének pontosítása. Konkrét cél az idősor elemzésekkel kapcsolatban, hogy a Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer karsztos monitoring kútjaira alkalmazva recessziós görbe elemzéseket végezzek, ezek eredményeit összevesszem a spektrális elemzésekkel. Ahol lehetséges ott megállapítom a jól karsztosodott zóna határát.

Az eredmények alapján a hegységre vonatkozó új információkat fogalmazok meg és a karsztos víztestből történő vízfelhasználásokkal kapcsolatban döntéshozó helyzetben lévők számára, a gyakorlati életben is alkalmazható módszereket dolgozok ki.



1. ábra: A dolgozatban szereplő fő kutatási területek

II. AZ ADATGYŰJTÉS ÉS AZ ALKALMAZOTT MÓDSZEREK

Vízföldtani monitoring esetében az adatgyűjtés lényegében a hidrológiai körfolyamat pillanatnyi állapotának megismerése érdekében történik, az ember vízigényének kielégítése, vagy a víz kártételeinek elkerülése érdekében. A Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer alapját 5 kút jelentette, amit Böcker Tivadar 1978-1981 között tervezett és kivitelezett. Az első automata vízszint észlelő műszerek telepítése 1992-ben történt, az akkoriban tetőző, a vízművek számára aggasztó mértékű vízhiány miatt. A BKÉR vízszint, helyenként hőmérséklet és vezetőképesség méréseket jelent ma is, az évek során összesen több mint 80 mérőhelyen.

A mérési gyakoriság zömében 15-60 perc, de előfordul 1, 10, illetve 240 perces gyakoriságú mérés is. A mérőeszközök pontossága minden paraméterre $\pm 0,1\%$. A műszerekből az adatkinyerés havonta vagy 3 havonta történik, amit minden esetben kézi mérés kísér a mérési hibák korrigálhatósága céljából. A kiolvasott adatokat eredeti fájl formátumban archiválják, az esetleg szükséges kézi méréssel történt korrekció után a napi átlag értékek pedig MS Office Excel formátumban időbeli összefűzésre kerülnek. Az adatokat egy MS Office Access adatbázisba is feltölthetjük, ami a későbbi felhasználásukat nagyban megkönnyíti. A különböző vizsgálatok során minden esetben a mérésekből származó napi átlagos vízszint adatokkal dolgozom.

A vizsgált vízszint mérőhelyek kiválasztásánál igyekeztem szem előtt tartani, hogy a lehető leghosszabb adatsorokat használjam, lehetőség szerint a teljes mért 25 évet figyelembe vegyem. Továbbá törekedtem arra is, hogy a vizsgálatokba kutakból és forrásokból származó adatok egyaránt szerepeljenek. Fő szempont volt az is, hogy a hegység hidrogeológiai fontos részterületeinek mindegyikén legyen legalább egy jellemző, reprezentatív vizsgálati hely. A kiválasztott monitoring pontok mellett a forráskataszterből felhasznált források fakadási szintjei biztosítják, hogy a hegységperemi részeken a jellemző vízszintértékek rögzítve legyenek, vagyis ezek a pontok az interpolációhoz szükséges perem értékek.

A monitoring rendszer szerves részét képezi a csapadék adatok regisztrálása. A napi felbontású értékelésekhez részben az Országos Meteorológiai Szolgálat, részben az Észak-magyarországi Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság napi csapadékjelentő állomásainak, illetve a BKÉR keretében üzemeltetett csapadékmérő állomás (Répáshuta) adatai állnak rendelkezésre. Ezen állomások nagy része telefonon naponta adatot szolgáltat a működtető hatóságok, hivatalok, illetve a Miskolci Egyetem részére, míg kisebbik részük havonta jelenti ezeket. Csapadékok tekintetében - a vízszintekkel összhangban - szintén napi adatokkal dolgozom. Saját vizsgálataimhoz a jávorkúti erdészház udvarán található automata-távjelző meteorológiai állomás adatait használom leginkább, mivel a mérőhely a fő beszivárgási területen, a Nagy-fennsíkon helyezkedik el. (Lénárt, 2006; Darabos, 2010, Lénárt & Darabos, 2012)

VÍZKÉSZLET SZÁMÍTÁSI MÓDSZEREK

A hagyományos vízkészlet számítási módszerek a vízháztartási egyenlet paramétereinek meghatározásán alapulnak. Ekkor a rendszerben történő utánpótlódást határozzuk meg. (Cheng-Haw et al., 2006)

A vízkészlet meghatározási módszerek másik nagy csoportja a felszín alatt tárolt víz térfogatának becslése. Ennek első lépése egy olyan földrajzi információs rendszer létrehozása, amely lehetővé teszi a térfogatbecslés kiszámításához szükséges adatkészlet megjelenítését és kezelését. A következő lépés maga a térfogatbecslés, mely kétféleképpen történhet:

- a teljes térfogat számítása a porozitás és a telített zóna vastagsága alapján.
- a szivattyúzással kitermelhető térfogat becslése a fajlagos hozam, a fajlagos tározás és a nyomás alatti zóna vastagsága alapján. A befejező lépés a módszer alkalmazása során a becslés érzékenységének meghatározása a számítás során használt paraméterekre. (Kinzelbach, 1986; Hinaman, 2005; Liedl et al., 2003; Reimann et al., 2011)

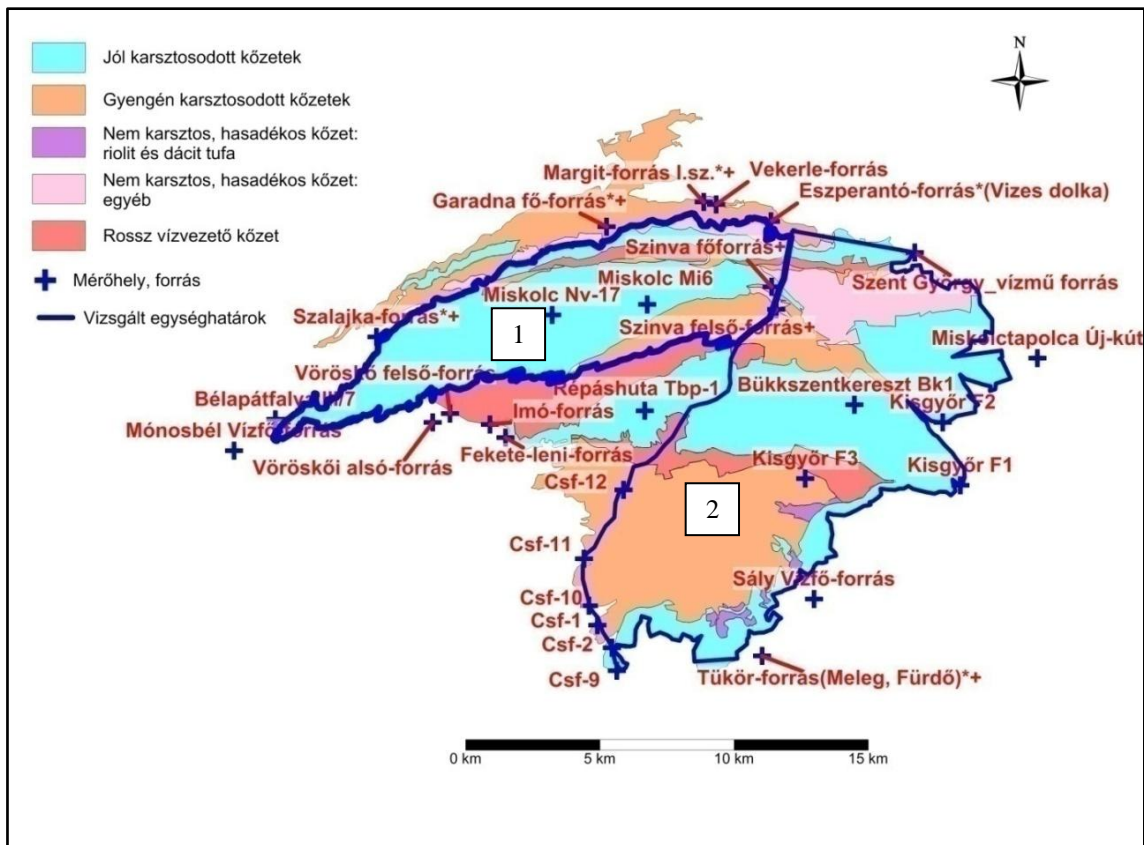
A magyarországi gyakorlatot tekintve a kitermelhető felszínalatti vízkészlet meghatározására háromféle mód ismert (Juhász, 1987):

- tapasztalati becslés
- számítás fizikai alapon
- az iménti két módszer együttes alkalmazása

A Bükki Karsztvíz Észlelő Rendszer (BKÉR) vízszint adatainak széles körű felhasználása mellett a vízkészlet becslést a földrajzi, geológiai alapokon nyugvó térfogati készlet számításával végzem.

A módszer újdonsága abban rejlik, hogy a korábbi kutatások során, különböző megközelítéssel ugyan, de mindenki a vízháztartási egyenleten alapuló módszereket alkalmazta modellezés vagy egyéb becslések által (Kessler, 1954; Csepregi, 1985; Mező, 1995; Gondárné et al., 2008), ebben az esetben viszont egy sokkal egyszerűbb és pontosabb méréseken alapuló számítási metódust alkalmaztam. Az általam kidolgozott vízkészlet számítási módszer alapját, domborzati, földtani információk, továbbá a BKÉR megfigyelő kútjaiban és barlangi mérőhelyeken regisztrált vízszintek, valamint a VIFIR forráskataszter bükki adatai, forrásfakadási szintek jelentik.

2005-ben Less György az egész hegységet vízföldtani alapon 3 nagy és számos kis egységre osztotta (Less, 2005). Az azóta keletkezett újabb információk figyelembe vételével, a Less György által készített térkép alapján, az Ő további szakmai irányítása mellett, illetve saját vízkémiai eredmények figyelembe vételével készítettem egy új vízföldtani kategóriai térképet. A hegységben található formációk 5 csoportba sorolhatók, a rájuk jellemző porozitás (n) értékek irodalmi adatok alapján kerültek meghatározásra: (1) jól karsztosodott kőzetek, $n=0,0075$, (2) gyengén karsztosodott kőzetek, $n=0,0025$, (3) nem karsztos, hasadékos kőzetek: riolit és dácit tufa, $n=0,001$, (4) nem karsztos hasadékos kőzetek: egyéb, $n=0,001$, (5) rossz vízvezető kőzetek, $n=0,0005$. A kőzetkategoriók és a BKÉR számítások során figyelembe vett mérőhelyei láthatóak a 2. ábrán.



2. ábra: A Bükk földtani formációira karsztosodottság szerint felállított kategóriák, illetve a vizsgált egységhatárok (1: központi Bükk, 2: keleti Bükk) (alaptérkép: Less, 2005)

Ezután az átlagos vízszintekből, illetve forrásfakadási szintekből, a természetes szomszéd interpolációs eljárással, 5x5 m-es rácsháló alkalmazása mellett elkészítettem a Bükk általános vízdomborzati térképét (a délnyugati Bükk figyelmen kívül hagyása mellett). Az eredmény (3. ábra) egy 2 maximummal rendelkező felület, ahol a 2 maximum jól tükrözi a hegységben Sásdi által meghatározott két lefolyástalan terület helyét (Sásdi, 2005). A vízszintek az Nv-17 esetében a 25 éves vizsgálati periódus alatt 55%-os gyakoriság mellett az 529,84 mBf +/- 3 m-es átlagos vízszint tartományban helyezkedtek el. A térkép szintvonalainak segítségével természetesen leolvashatóak a jellemző áramlási irányok is, ami esetleges tervezői feladatok során hasznosítható. (Az ábrát elkészítettem az Nv-17 mérőhely maximum és minimum vízszintjeinek, illetve az összes mérőhely abszolút maximum és minimum vízszintjeinek figyelembe vételével is.)

Az előállított térképek és a meghatározott porozitás értékek segítségével a közettérfogot földtani kategóriánként kiszámítható, ehhez szükséges még a felső és az alsó burkoló felület. Az átlagos (a maximum, a minimum vagy az éppen aktuális) vízszintekből előállított vízdomborzat meghatározza a vízáadó felső burkoló felületét, viszont meg kell még határozni az alsó határfelületet, vagyis azt, hogy milyen mélységig terjedjen ki a számítás. Ehhez kapcsolódóan új fogalmakat és technikai határokat vezettem be a számításokba: gyorsan utánpótlódó dinamikus készlet, lassan utánpótlódó dinamikus készlet, valamint termál-karsztvíz készlet.

- **Gyorsan utánpótlódó dinamikus készlet:** hatékony csapadékesemény vagy csapadékcsoport(ok) által előidézett vízszinttetőzés utáni csökkenésből számítható vízkészlet, amit a BKÉR mérőhelyeken regisztrált hidrográfok vízszint változásaiból számíthatunk. A számításhoz használt adatokat az Nv-17 mérőhelyen regisztrált rész hidrográf maximum és minimum időpontjához kötjük. (A felső és alsó határ-vízdomborzat meghatározásához az ezekben az időpontokban érvényes vízszint adatokat kell figyelembe venni minden további mérőhelyen, a forráskataszterből származó forrásfakadási szintek konstansak a számítás során.) Ezt a vízmozgást közvetlenül az aktuális meteorológiai viszonyok határozzák meg.
- **Lassan utánpótlódó dinamikus készlet:** a vizsgált vízgyűjtőterületen lévő legalacsonyabb forrás szintje fölött elhelyezkedő vízkészlet, melyet érdemben a hosszú távú meteorológiai viszonyok befolyásolnak. A Bükk esetében ez a készlet a miskolctapolcai Új-kút 127 mBf-i szintje fölött elhelyezkedő víztérfogat. Ezt a határt azzal tudom indokolni, hogy amennyiben a vízszintek a hegységben ez alá a szint alá süllyednének, akkor a hegység hideg vizes rendszere tulajdonképpen gravitációsan nem működne tovább. Ez alapján ezt a szintet tekinthetjük a hideg vizes rendszer alsó és a termálkarsztos rendszer felső technikai határának. Ez az érték kisebb részegységekre is meghatározható, ebben az esetben mindig a terület legalacsonyabban fekvő forrását kell figyelembe venni. Például a központi Bükk esetében a térfogatszámítás alsó határa a Szinva-forrás fakadási szintje.
- A lassan és gyorsan utánpótlódó dinamikus készletek összege a hegység teljes vízgyűjtőjére értelmezve a **teljes, gravitációsan rendelkezésre álló hideg vízkészlet**.
- A lassan utánpótlódó dinamikus készletekhez kapcsolódóan egy technikai határt jelöltem ki, amit a hegységben a legalacsonyabb hideg vizű, gravitációsan felszínre lépő forrás szintje képvisel (a Bükk esetében: 127 mBf, Miskolctapolca, Új-kút). Ez alatt a szint alatt lassú áramlás jellemző, mely alapját képezi a termál rendszer létrejöttéhez szükséges felmelegedésnek, vagyis ez alatt a szint alatt található a **termál karsztvíz készlet**. Ennek alsó határát nem lehet megállapítani, ideiglenes határként a Bükk előterében lévő legmélyebb termálkút vízbelépési pontja kijelölhető.

A gyorsan és lassan utánpótlódó dinamikus készletet különböző vízállások mellett kiszámítottam, majd az eredményeket 2 módszerrel validáltam. Az első, hogy egy-egy csapadékcsoport által generált vízszintemelkedés utáni csökkenési periódusra kiszámítottam az abban az időszakban generálódott gyorsan utánpótlódó dinamikus készlet mennyiségét a központi Bükkben és ezt összevettem a területen található jelentős források átlagos vízhozamával. Ezt azért tartom indokoltnak, mert egy csökkenő periódusban kiválasztott 2 vízszint érték között számított vízkészlet legnagyobb része a forrásokon távozik (ez eredményezi a vízszintgörbe csökkenését). A keletkezett gyorsan utánpótlódó dinamikus készletnek összevethető nagyságrendűnek kell lennie a nagy források átlagos hozamával. Az eredmények azt mutatják, hogy a számított és mért értékek nagyságrendileg megegyeznek és elfogadható hibahatáron belül vannak ($\pm 20\%$)

A számítási módszer helyességének igazolására a másik lehetőség, hogy korábbi, más módon számított készletekkel is összevettem az eredményeket. Székvölgyi Katalin (Smaragd GSH) a 2008-as évre végzett számításainak eredményét (Gondárné et al., 2008) vettem össze a saját, 2008-ra végzett számításommal. Az összehasonlíthatóság érdekében az eredményeket egységnyi vízgyűjtő területre számítottam át. Az adatok alapján meghatároztam

az összes csökkenő periódushoz tartozó maximum és minimum érték közötti térfogat különbséget. Ezek összege számításaim szerint megegyezik a gyorsan utánpótlódó dinamikus készlet nagyságával a 2008-as hidrológiai évben és így a Székvölgyi Katalin által számított értékkel is közel egyeznie kell. Az eredmények ebben az esetben is jó egyezést mutatnak. Mivel mindkét ellenőrzési mód azt mutatja, hogy a számítás megbízható, így a továbbiakban ez a módszer a bükki készletszámításokhoz felhasználható. Az 1. táblázatban a központi és a keleti Bükkben tárolt, az imént ismertetett módszer és alapadatok segítségével meghatározott, lassan utánpótlódó dinamikus készlet mennyisége látható.

Az elvégzett számítások eredménye még egy olyan görbe, amely segítségével a térfogat meghatározásokhoz szükséges számításokat nem kell mindig elvégezni, mivel az Nv-17 mérőhely vízszintadataihoz köthető, számított vízkészletekre egy lineáris függvény illeszthető, így az értékek egyetlen vízszintadtból megállapíthatóak. (Természetesen a készletet nem egy pontból számítom, hanem a BKÉR minden aktív monitoring pontjából származó adatokat felhasználom az elkészített vízdomborzaton keresztül.) Ezután különböző időpontokban, különböző vízállások mellett a lassan utánpótlódó dinamikus vízkészlet értékét kiszámítom és az így kapott eredményeket az Nv-17 figyelőkút aktuális értékeinek függvényében ábrázolom. A függvény a gyakorlati alkalmazás könnyítését szolgálja, a számításhoz szükséges képlet a következő:

$$V_k = 0,334 * V_{sz} - 120,7 \quad (1)$$

ahol

- V_k a lassan utánpótlódó dinamikus vízkészlet (millió m³)
- V_{sz} az Nv-17 monitoringpont vízszintje (mBf)

1. táblázat: Az átlagos vízszintek alapján kőzetkategoróriánként számított teljes gravitációsan rendelkezésre álló hideg vízkészlet a Bükkben (1: jól karsztos, 2: gyengén karsztos, 3: nem karsztos, hasadékos, riolit-, dácittufa, 4: nem karsztos hasadékos, egyéb, 5: rossz vízvezető)

	Kőzetkategoría	1	2	3	4	5	Összesen
Központi Bükk	Kőzettérfogat (millió m ³)	16152,1	2577,2	-	699,7	957,4	-
	Porozitás	0,0075	0,0025	0,0005	0,001	0,001	
	Alapszint (mBf)	127	127	127	127	127	
	Lassan utánpótlódó dinamikus vízkészlet (millió m³)	121,1	6,4	-	0,7	1	129,2
Keleti Bükk	Kőzettérfogat (millió m ³)	6355,2	8357,5	274	1382,6	1481,1	-
	Porozitás	0,0075	0,0025	0,0005	0,001	0,001	
	Alapszint (mBf)	127	127	127	127	127	
	Lassan utánpótlódó dinamikus vízkészlet (millió m³)	47,7	20,9	0,1	1,4	1,5	71,6
Lassan utánpótlódó dinamikus vízkészlet összesen (millió m ³)		168,8	27,3	0,1	2,1	2,4	200,8

IDŐSOROK ELEMZÉSE

A hosszú idősorok, mint amilyen a Bükki Karsztvíz Észlelő Rendszer 25 éves idősorai is, alkalmasak autokorrelációs, keresztkorrelációs és spektrális elemzésekre, melyekből a rendszer karsztosodottságára, viselkedésére lehet következtetni.

A Fourier-transzformáció alkalmazása során az adatok idő tartományból frekvencia tartományba kerülnek át, ezáltal lehetséges a periodicitás vizsgálat elvégzése. A Fourier-transzformációt Turai Endre munkája alapján (Turai, 2005), a további alkalmazott módszereket Jenkins és Watts, Chatfield és Wei könyvei, (Jenkins & Watts, 1969; Chatfield, 2005; Wei, 2006), valamint Padilla és Pulido-Bosch 1995-ben publikált cikke (Padilla & Pulido-Bosch, 1995), továbbá Larocque és szerzőtársai (Larocque et al, 1998) cikke alapján tekintem át.

Az egy változós, autokorrelációs vizsgálat az idősor egyedi struktúráját jellemzi. Autokorreláció alatt egy adatsor és annak időbeli eltolta közötti korrelációt értjük, ebben az esetben a függvényeket idő tartományban értelmezzük, ha viszont frekvencia tartományban, akkor spektrál sűrűségnek nevezzük. Az autokorrelációs vizsgálat a rendszer memória effektusát jellemzi, ami indirekt információt szolgáltat a tárolási kapacitásról és a rendszer karsztosodottságának fokáról. Általánosságban az alacsony memória effektus összefüggésbe hozható a kis tárolási kapacitással és a jó karsztosodottsággal, ebben az esetben a vízádót gyors beszívargás és a repedésrendszeren keresztül történő gyors áramlás jellemzi. Az alacsony memória effektus és a hozzá tartozó rövid áramlási idők magas sérülékenységhez vezetnek, mivel a szennyező anyag terjedését nincs, ami késleltesse, így a koncentrációk nem tudnak érdemben lecsökkenni. (Andreo et al., 2015)

A keresztanalízisek az input függvény (csapadék) output függvényé (vízszinté) alakulásának körülményeiről adnak tájékoztatást. A keresztkorrelációs függvény időtartományban értelmezett, míg a keresztamplitúdó, a fázis, a koherencia és a gain függvény frekvencia tartományban. (Padilla & Pulido-Bosch, 1995)

A keresztkorrelációs függvény a vízádó impulzus válaszát adja meg, abban az esetben, ha a csapadék idősort fehér zajnak tekinthetjük, ez Európában, a legtöbb esetben teljesül. (Mangin & Pulido-Bosch, 1983; Padilla & Pulido-Bosch, 1995; Panagopoulos & Lambrakis, 2006; Jukic & Denic-Jukic, 2015) Ennek a függvénynek a legfontosabb szerepe abban van, hogy ez lesz a Fourier transzformáció bemenő adata.

Hidrológiai idősorokra alkalmazva ezt a módszert, a keresztamplitúdó függvény, $\alpha_{xy}(f)$ összekapcsolható az impulzus válasz függvény időtartomával és jelzi a csapadék adatok periodikus komponenseinek szűrését. Vagyis jellemzi a vízádó rövid, közepes és hosszú távú módosító hatását a csapadék által létrehozott jelre. (Padilla & Pulido-Bosch, 1995)

A fázis függvény, $\Phi_{xy}(f)$ a karszthidrológiában a csapadék és a hozam közötti késleltetést mutatja meg különböző frekvenciák esetében. Ez az érték 2π között változik, általában $-\pi$ és $+\pi$ között, ennek megfelelően $\Phi_{xy}(f)$ értéke $\pi + c$ és $-\pi + c$ értékeket is felvehet, amit a függvény tendenciájának megfelelően kell értelmezni és mindenképpen figyelembe kell venni. A rendszerben az input adatok csillapítása megjelenik a keresztamplitúdó és a gain függvényben is, az átlagos késleltetés, kinyerhető a fázis függvény

kezdeti szakaszára legjobban illeszkedő egyenes meredekségéből. (Padilla & Pulido-Bosch, 1995)

A keresztamplitúdó függvény és a sűrűség spektrum segítségével új függvényeket hozhatunk létre, ilyen például a koherencia függvény és a gain függvény.

A koherencia függvény megmutatja, hogy az output sorban bekövetkező változások reagálnak-e az input sorban bekövetkező változásokra, ezáltal megmutatja korrelációt is a két változó között. A gain függvény az input adatok erősítő vagy a gyengítő hatását fejezi ki, ami a közbenső rendszernek tulajdonítható. (Padilla & Pulido-Bosch, 1995; Panagopoulos & Lambrakis, 2006; Jukic & Denic-Jukic, 2015)

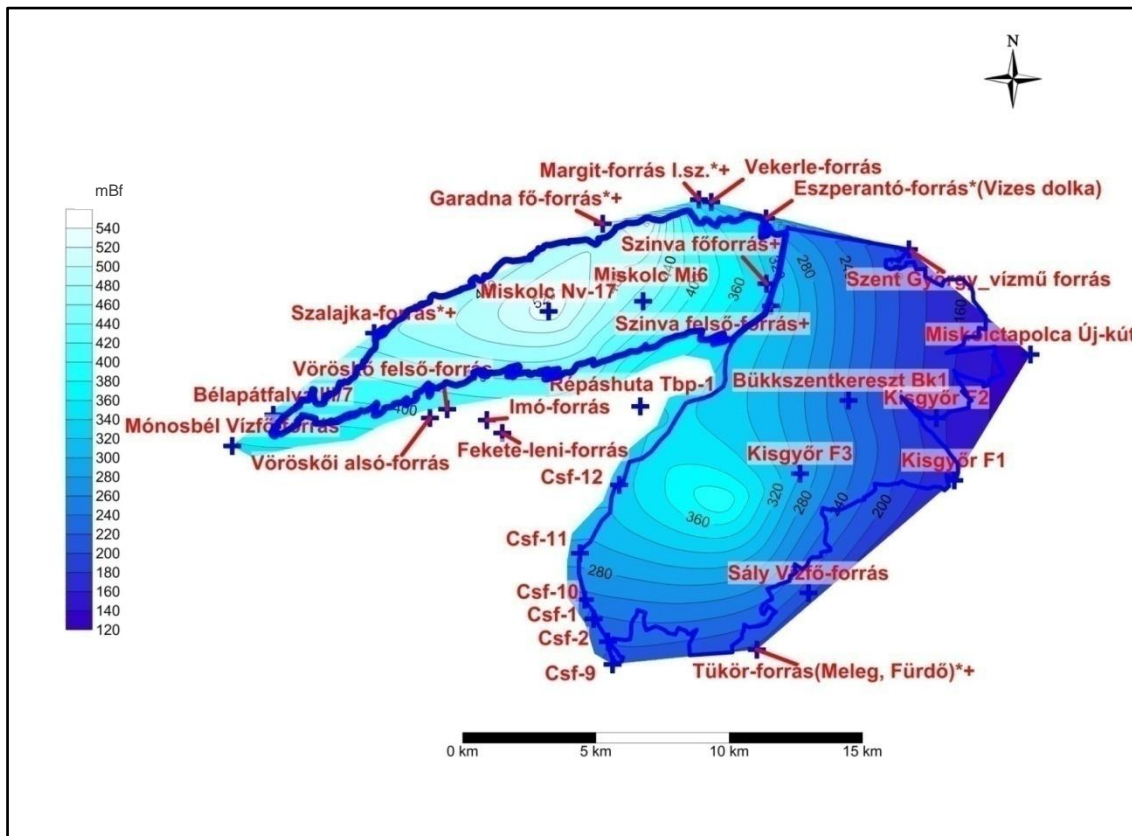
A karsztvíz-kutatásban a rendszer megismerése, jellemzése érdekében végzett általános idősor elemzés igen elterjedt, melynek célja elsősorban az előrejelzés, adatpótlás, adott esetben a sztochasztikus modellek paraméter becslése. Ennek egyik részterülete, a hidrográf elemzés, melynek egyik alapvető célja, hogy a gyors és lassú árampályákhoz köthető áramlásokat, vagyis a gyors- és az alaphozamot elkülönítsük. (Plummer et al., 2007)

Az irodalmi áttekintés és saját korábbi kutatási eredményeim alapján a Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer karsztos monitoring kútjaira alkalmazva a recessziós görbe elemzéseket elvégzem, ezek eredményeit összevetem a spektrális elemzésekkel, továbbá a jól karsztosodott zóna határát lehetőség szerint megállapítom, majd ez alapján a hegységre vonatkozó új információkat fogalmazok meg.

III. TÉZISEK

1. tézis

A Bükk hegységben működő Bükki Karsztvíz Észlelő Rendszer monitoring pontjaiban regisztrált átlagos vízszint értékekből és a forrás kataszterben szereplő bükki forrásfakadási szintekből meghatározható a Bükk átlagos vízdomborzati térképe. (3. ábra)



3. ábra: A Bükk átlagos vízszintekből és forrásfakadási szintekből szerkesztett karsztvízszint térképe

2. tézis

A Bükk karsztvíz készlete 3 részre osztható: gyorsan utánpótlódó dinamikus, lassan utánpótlódó dinamikus és termál-karsztvíz készletre.

A **gyorsan utánpótlódó dinamikus** készlet: egy hatékony csapadékeseményhez vagy csapadékcsoporthoz köthető vízszintváltozásból utánpótlódó vízkészlet, ami a Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer monitoring pontjainak vízszintadatai és a forráskataszterből származó forrásfakadási szintek alapján számítható.

A **lassan utánpótlódó dinamikus** készlet: hegység vagy részvízgyűjtő szinten is meghatározható, a gyorsan utánpótlódó dinamikus készlet alsó határa alatt és a legalacsonyabb gravitációs forrás szintje fölött elhelyezkedő vízkészlet.

A lassan és gyorsan utánpótlódó dinamikus készletek összege a **teljes, gravitációsan rendelkezésre álló hideg vízkészlet**.

A **termál-karsztvíz** készlet a legalacsonyabb hideg vízű, gravitációsan felszínre lépő forrás szintje alatt elhelyezkedő vízkészlet, alsó határa a Bükk előterében lévő legmélyebb termálkút legalsó vízbelépési pontja.

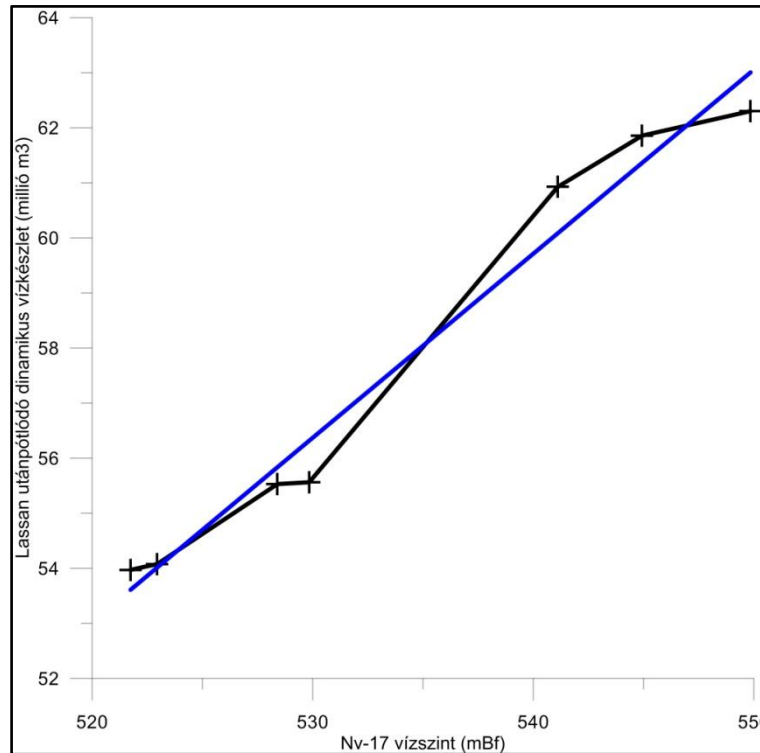
3. tézis

A Bükkben a Bükki Karsztvíz Észlelő Rendszer vízszintmonitoring pontjai és a forrásfakadási szintek alapján elkészített vízkészlet számítási metodikával a gyorsan utánpótlódó dinamikus készletek igazolt módon számíthatóak.

Az állítást két különböző módon is igazoltam. Az egyik esetben egy adott vízszintcsökkenéshez köthető gyorsan utánpótlódó dinamikus készletet számítottam ki a központi Bükkre és hasonlítottam össze a területen található jelentős források hozamával. A másik esetben egy korábban, mások által, más módszerrel végzett számítás eredményét vettem össze ugyanarra az időintervallumra az általam bemutatott módszerrel számított értékekkel. Mindkét esetben jó egyezést ($\pm 20\%$) kaptam.

4. tézis

Függvénykapcsolatot állítottam fel a Bükkben az Nv-17-figyelőkút vízszintje és a lassan utánpótlódó dinamikus vízkészlet között. A függvényt (4. ábra) meghatároztam, $V_k = 0,334 * V_{sz} - 120,7$ (V_k a lassan utánpótlódó dinamikus vízkészlet (millió m^3), V_{sz} az Nv-17 monitoringpont vízszintje (mBf)) ezáltal a lassan utánpótlódó dinamikus készlet mennyisége egyetlen vízszintadat alapján bármely időpillanatra kiszámítható.

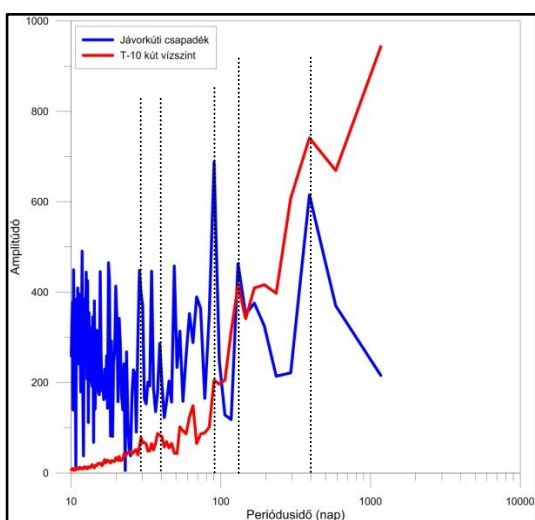


4. ábra: A lassan utánpótlódó dinamikus vízkészlet és az Nv-17 vízszintje közötti függvénykapcsolat ($R^2=0,97$)

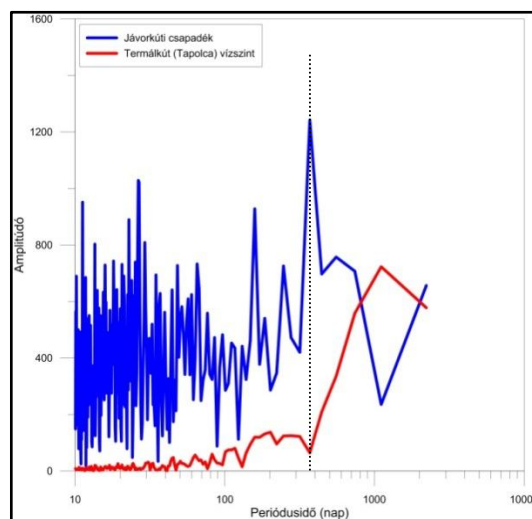
5. tézis

A miskolctapolcai T-10 figyelőkút és a miskolctapolcai Termál-kút adatsorán Fourier-transzformációval végzett periodicitás vizsgálattal bebizonyítottam, hogy a módszer karsztos területen alkalmas annak megállapítására, hogy az egyes mérőhelyek utánpótlódás szempontjából azonos lokális vízrendszerhez tartoznak-e.

Periodicitás vizsgálatot végeztem a jávorkúti csapadék adatokon és hosszú idősrű hidegvizes kutak és források: Szinva-forrásra, Garadna-forrás, Nv-17 figyelőkút, bélapátfalvai figyelőkút, a miskolctapolcai T10-figyelőkút, valamint a melegvizű miskolctapolcai Termál-kút esetében. A jávorkúti csapadék adatok alapján beazonosítom a hegységet jellemző csapadék fő periódusait. Majd szintén Fourier transzformáció után ugyanilyen módszerrel beazonosítom a vízszintekre jellemző periódusokat is és az eredményeket összevetem egymással. A vízszint adatokban az input és az output paraméterek átalakításában szerepet játszó rendszer sajátosságai némi torzító hatást gyakorolnak a kimutatható periódusokra, viszont a jellemző hosszabb periódusok, egyértelműen kimutathatóak minden hidegvizes mérőhely adatsorában, a Termál-kútban viszont még a legkarakteresebb 1 éves periódus sem mutatható ki (5. és 6. ábra).



5. ábra: A jávorkúti csapadék és a T10 figyelőkút vízszintjeinek Fourier transzformációval előállított periódusai (jelölve a közösek)



6. ábra: A jávorkúti csapadék és a Termál-kút vízszintjeinek Fourier transzformációval előállított periódusai (nincsenek közösek, jelölve az 1 év)

6. tézis

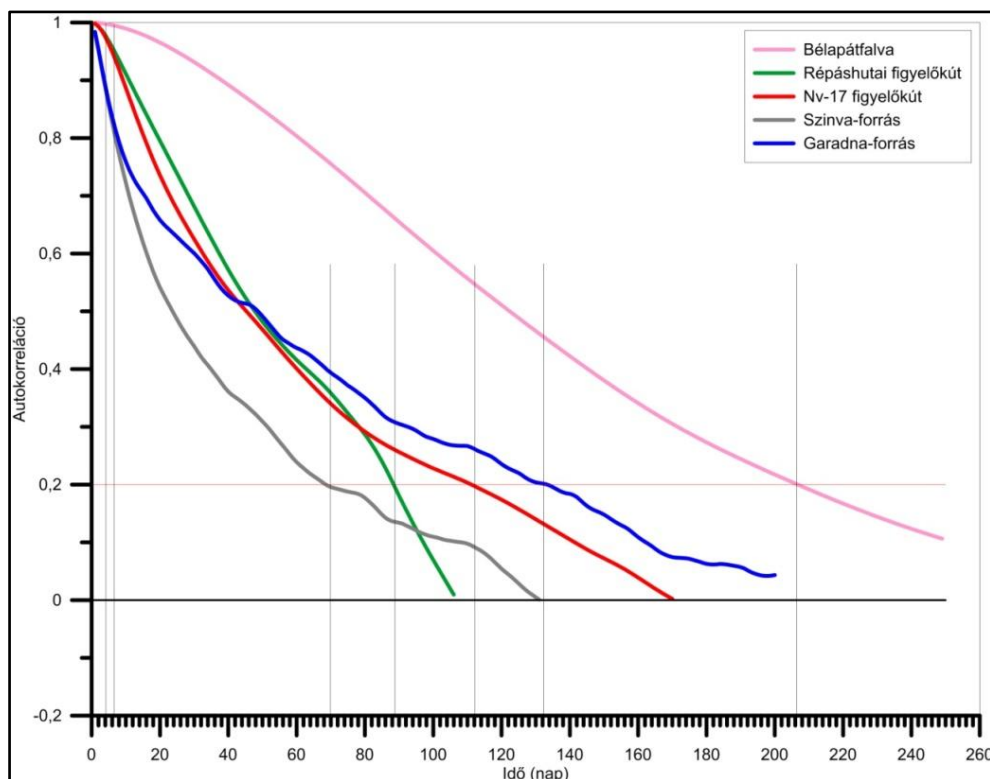
A vízszint adatsoron végzett autokorrelációs vizsgálat alkalmas összetett geológiai szituációk értelmezésének megkönnyítésére. A BKÉR vízszint adatsorain végzett autokorrelációs függvények elemzésével bebizonyítottam, hogy a központi Bükkben lévő Bükkfennsíki Mészkö Formáció és a Fehérvölgyi Mészkö Formáció az áramlás első 7 napjában ugyanolyan hidraulikai tulajdonságokkal rendelkeznek.

Szintén bebizonyítottam, hogy a Répáshuta, Tbp-1 mérőhely és az Nv-17 mérőhelyeken lévő Bükkfennsík Mészke Formációként azonosított vízadó térbeli elhatárolódásuk ellenére, az áramlás első 6 napjában megőrizték hidraulikai azonosságukat.

A karszt-hidrogeológiában egy karsztrendszer memória effektusa azzal az idővel jellemezhető, ahol a vízszintek autokorrelációs függvényei 0,2 alatti érték alá csökkennek (2. táblázat). Emellett egyéb hasznos információ is származtatható a függvény segítségével (7. ábra), ugyanis karsztrendszer fejlettségére, tározási jellemzőkre is lehet az eredmények alapján következtetni. (Pulido-Bosch et al., 1995)

2. táblázat: A memória effektushoz tartozó jellemző értékek az autokorrelációs függvények alapján

	Memória effektus (nap)
Szinva-forrás	70
Garadna-forrás	132
Répáshutai figyelőkút	89
Nv-17 figyelőkút	112
Bélapátfalvai figyelőkút	206



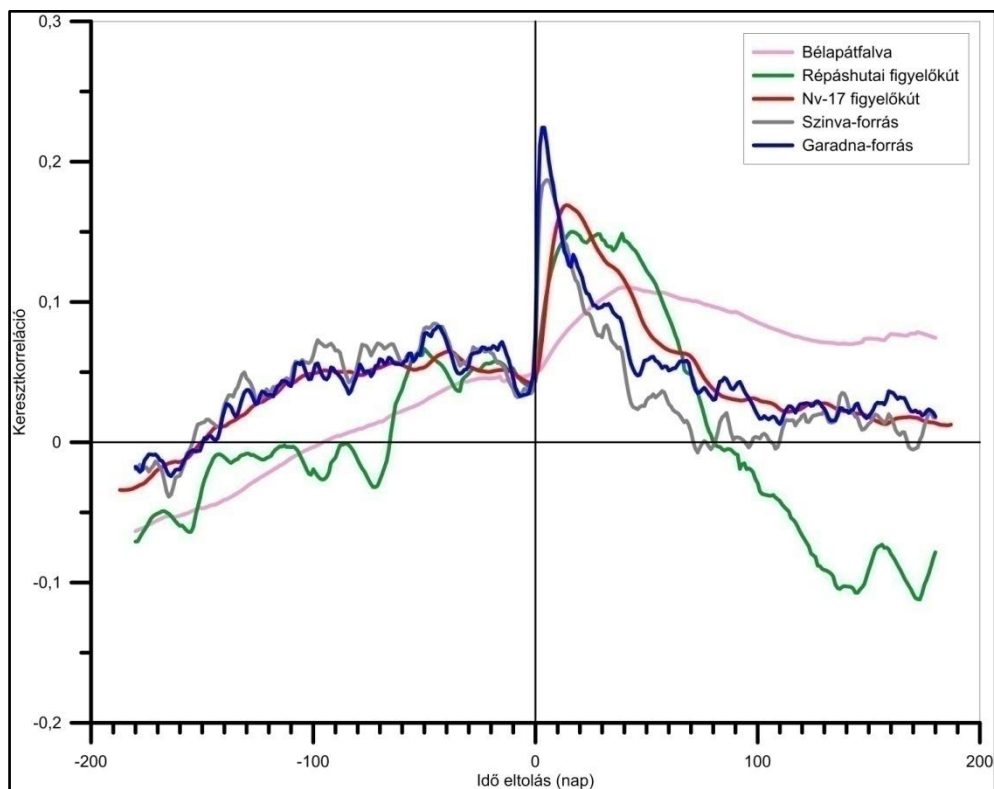
7. ábra: A vízszintek autokorrelációs függvényei

7. tézis

A BKÉR vízszint-csapadék idősorain végzett keresztkorrelációs vizsgálatok és a fázis függvény elemzések segítségével elérési időkből áramlási sebességeket határoztam meg, ami az Nv-17 figyelőkút esetében és a központi Bükkben lévő lefolyástalan terület egészére vertikális áramlási sebesség: $17 - 22 \text{ m/nap}$. Répáshuta Tbp-1 figyelőkútra átlagos áramlási sebesség $8,5 - 10 \text{ m/nap}$.

A keresztkorrelációs értékek maximumainak origótól való távolságai a vízszintek tetőzéséhez tartozó késleltetési időket adják meg (8. ábra). Magától értetődő, hogy a csapadék eseményre leggyorsabban a források reagálnak.

A fázis függvény kezdeti szakaszára illesztett egyenes meredeksége meghatározza a különböző periódusokra jellemző átlagos késleltetési időket. Abban az esetben, ha a kezdeti szakasz túl rövid, illetve túl kevés pontot tartalmaz, lehetséges az intermedier áramlási komponenshez kötődő pontokra való illesztés is (amennyiben ezt a koherencia értékek is lehetővé teszik). Mindkét módszerrel megállapítottam a késleltetési időket, amik alapján bizonyos esetekben áramlási sebességek határozhatóak meg.



8. ábra: Az egyes mérőhelyekre (és a jávorkúti csapadékra) jellemző keresztkorreláció

8. tézis

A központi Bükkben lévő, nem peremi elhelyezkedésű kutak vízszintjeinek spektrális elemzésével és jelleggörbéi segítségével meghatároztam az alapáramláshoz tartozó jól karsztosodott zóna alsó határát, vagyis kijelöltem a barlangképződés lehetséges mélységét. Ez az érték az Nv-17 figyelőkút esetén és ez alapján a Nagy-fennsík lefolyástalan területén a

felszíntől számított 250 méter, míg a Répáshutai Tbp-1 figyelőkút esetén a felszíntől számított 100 méter.

Az 1. vizsgálati területen, a központi Bükkben lévő, nem peremi elhelyezkedésű kutak jelleggörbéi segítségével meghatározható az alapáramláshoz tartozó, jól karsztosodott, jó vízvezető zóna alsó határa. Ez megegyezik a gain függvény alapján megállapított alapáramlás kezdetéhez köthető mélységgel. Az érték a Nagy-fennsíkon, az Nv-17 figyelőkút adatainak elemzése alapján 250 méter, míg a Répáshutai figyelőkút esetében 100 méteres mélységre becsülhető. Korábbi barlangi végpontok alapján végzett vizsgálatok a Nagy-fennsík esetére szintén megerősítik ezt a mélységet. (Hernádi et al., 2012)

9. tézis

Bebizonyítottam, hogy csapadékmentes időszakban az Nv-17 jelleggörbéje az eddigi mérési tartományon belül (549,8 - 520,5 mBf közötti vízállás esetén, maximum 397 napra) alkalmas a csökkenő vízszintek megbízható (+/- 1 %) előrejelzésére és ezáltal a csapadékmentes időszakban várható dinamikus gyorsan és lassan utánpótlódó készletek változásának előrejelzésére is.

A korábbi gyakorlatnak megfelelően jelenleg is a bükki karsztvizet termelő vízmű vállalatok számára havonta vízkészlet becsléseket végzünk. A számítások során mindig azt feltételezzük, hogy a következő időszakban nem lesz csapadékból történő utánpótlódás, vagyis a vízszintgörbék zavartalan csökkenésére lehet számítani. Ezzel gyakorlatilag a lehetséges legkedvezőtlenebb körülmények mellett határozzuk meg a rendelkezésre álló vízkészletet. A számításokhoz tehát szükség van a csökkenő vízszintek előrejelzésére, amit a jelleggörbék segítségével könnyedén megtehetünk.

Az előállított csökkenési görbét az Nv-17 esetében ellenőriztem, olyan szakaszokat próbáltam előre jelezni, ahol mérési adatok is rendelkezésre álltak. A mért és számított értékek tekintetében a legnagyobb eltérés 22 cm, ez a teljes vízszintingadozás 0,8 %-a.

AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI ALKALMAZHATÓSÁGA

A Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer létrehozását 1992-ben a Bükkből ivóvizet termelő 3 nagyvállalat kezdeményezte, a hegységben akkoriban tetőző vízhiány miatt. A vízművek részéről a kezdetektől elvárás volt az adatok alapján történő készletbecslés, aminek eredményeit a napi termelésekkel kapcsolatos döntéshozatal során hasznosították. Láthatjuk, hogy az értekezésben szereplő 2 nagy kutatási téma közül az első, vagyis a vízkészlet számításokkal foglalkozó témakör vizsgálata kezdetektől gyakorlati szempontok, igények miatt történt és történik ma is.

Az adatsorok hossza viszont meghozta az újítás igényét is, ma már a 25 éves vízszint és csapadék idősorok alapján sokkal átfogóbb, szélesebb körű vizsgálatok lehetségesek. A készletbecslés korábbi gyakorlat szerint egyetlen monitoringpont (Nv-17 figyelőkút) vízszint adatai alapján, egyetlen hézagtényező érték felhasználásával, a domborzat és az aktuális vízdomborzat figyelembevétele nélkül történt.

Dolgozatomban a rendelkezésre álló földtani, vízföldtani adatok alapján továbbá a BKÉR megfigyelő kútjaiban és barlangi mérőhelyeken regisztrált vízszintek, valamint a VIFIR forráskataszter bükki adatai, forrásfakadási szintek felhasználásával határoztam meg a hegységben jellemző vízdomborzatot, amit az aktuális mérési eredmények felhasználásával bármely időpillanatra elő lehet állítani. Az így létrehozott vízdomborzat és a meghatározott porozitás értékek, illetve technikai határok (lassan, gyorsan utánpótlódó dinamikus és termál karsztvíz készlet) segítségével pillanatnyi készletbecslés és beszivárgás vizsgálat is végezhető. Az előállított Nv-17 vízszint - vízkészlet függvény pedig a hétköznapi felhasználó szintjére egyszerűsíti a módszer alkalmazását. Ezáltal az eredmények közvetlenül felhasználhatóak a Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézetben a vízművek számára továbbra is végzett készletbecslések során. Ez alapján a cégek tervezhetik a napi termelésüket, ha szükséges, felkészülhetnek az alternatív forrásból történő ivóvíz beszerzésre. Másrészt a készletbecslések eredményei az illetékes hatóságok számára is támpontot jelenthetnek egy-egy új, nagyléptékű vízkivétel engedélyezése során, ez egyrészt jelenthet mennyiségi vizsgálatot, másrészt pedig annak a vizsgálatát, hogy az új vízkivétel jelenthet-e áramlás módosító hatást, amik már a meglévő vízkivételi pontokra kedvezőtlenek lehetnek.

A mérési adatokból elkészített vízdomborzati térkép alapján meghatározhatóak a hegységben jellemző áramlási irányok és bármely pontra a várható potenciál érték, ennek segítségével a kútervezési vagy áramlási irányokkal kapcsolatos feladatok, szennyezés terjedés modellezési feladatok is egyszerűbbé válhatnak. Későbbi modellezési feladatok esetén közvetve segítik a munkát az interpolációs és rácsháló méretezéssel kapcsolatos vizsgálataim, mely során megállapítottam, hogy 5x5 méteres rácsméret mellett és a természetes szomszéd interpolációs eljárás segítségével számítható legpontosabban a víztérfogat.

A másik nagy témakör az idősorok elemzése modern módszerekkel, melyekről általánosan elmondható, hogy azok a Bükk karsztrendszerének minél jobb megismerését célozzák. A különböző módszerek alkalmazása során számos összehasonlító vizsgálatot végeztem, melyek alapján vízvezető képesség, tározási jellemzők alapján egymáshoz képest rangsorolni lehet a vizsgálatba bevont földtani formációkat. Emellett több olyan elemzést is készítettem, ami számszerűsíthető eredményt hozott.

A Fourier transzformációval végzett periodicitás vizsgálatok segítséget nyújtanak az egyes mérőhelyek lokális vízrendszerek szerinti hovatartozásának eldöntésekor. Az autokorrelációs vizsgálatok által információt kapunk a memória effektus mértékéről a hegység egyes területein. Gyakorlati szempontból ez fontos lehet olyan esetekben, amikor egy esetleges felszíni szennyezés mozgását kell jellemezni, ugyanis a nagy repedéseken keresztül a víz és egyéb anyagok gyorsan keresztül jutnak, amennyiben a kisebb vízvezető járatok minimális mértékben vesznek részt az áramlásban, a közet szűrő, késleltető hatására érdemben nem lehet számítani, viszont a nagyon rövid elérési időkre igen.

A keresztkorreláció és a fázis függvény alapján késleltetési időket, majd ez alapján az egyes területeken érvényes áramlási sebességeket határoztam meg, ezek az értékek a Bükk modellezése, tervezési feladatok során szintén felhasználhatóak.

A gain függvény és a jelleggörbe elemzések értékes információkat szolgáltatnak a Bükkről. A gain függvény alapján megállapítottam a gyors és az alap áramláshoz köthető időtartamokat. Ezeket az időket az általam, mérési adatokból készített jelleggörbék

segítségével mélységhatárokká lehet alakítani, ami gyakorlati szempontból sokkal praktikusabb, könnyebben értelmezhető. Segítségével az egyes területeken megállapítottam a jól karsztosodott zóna, vagyis a lehetséges barlangképződés alsó mélységhatárát. Ezek alatt a szintek alatt csak alap, lassú áramlás lehetséges.

A jelleggörbe másik, gyakorlati szempontból igen fontos alkalmazási lehetősége a vízszint előrejelzés. A vízkészletek előrejelzésekor ugyanis előrejelzett vízszintadatokból indulunk ki. Vizsgálataim során bebizonyítottam, hogy az általam előállított görbék alkalmasak a vízszint 1 %-os pontosságú, akár 397 napos előrejelzésére (a gyakorlati alkalmazás során az eddigi maximum egy 9 hónapos előrejelzett időtartomány volt).

A spektrális elemzéseket különböző mérőhelyről származó csapadékadatokon is elvégeztem, annak érdekében, hogy megállapítsam, hogy melyek azok a paraméterek, amikben jelentős eltérés tapasztalható a különböző helyről származó adatsorok esetében. Vagyis gyakorlati szempontból arra kerestem a választ, hogy milyen paraméterekben lehetnek jelentős eltérések a nem megfelelő csapadékmérő állomás kiválasztása esetén, illetve, hogy mi alapján lehet kiválasztani a megfelelő mérőhelyet. Általánosságban megállapítható, hogy a gain függvény előállítása során, az alacsonyabb frekvenciatartományokban mutatkozik a legnagyobb különbség. A gyors és intermedier áramlások határainak pontos megállapítása érdekében, az egyes csapadékmérő állomások adatai közül azt kell az elemzésekhez alkalmazni, amelyik az alacsony frekvencia tartományban a legmagasabb koherenciával rendelkezik.

Ebben az évben ünnepeltük a BKÉR fennállásának 25. évfordulóját, a kapcsolódó rendezvényen a fent említett alapító vállalatok mellett az illetékes hatóságok és még néhány, az adatgyűjtésben érintett szervezet is jelen volt: Miviz Kft., Heves Megyei Vízmű ZRt., Északmagyarországi Regionális Vízművek ZRt., Észak-magyarországi Vízügyi Igazgatóság, Bükk Nemzeti Park, Zsóry Gyógy- és Strandfürdő, PannErgy Nyrt. Az itt dolgozó szakemberek mindannyian napi munkájuk során alkalmazhatják a közölt eredményeket.

A TÉZISFÜZETBEN SZEREPLŐ HIVATKOZÁSOK LISTÁJA

- Andreo et al. (2015). *Andreo, B.; Carrasco, F.; Durán, J. J.; Jiménez, P.; LaMoreaux, J.: Hydrogeological and Environmental Investigations in Karst Systems.* Springer. pp. 1-638.
- Bakalowicz, M. (2005). Karst groundwater: A challenge for new resources. *Hydrogeology Journal.* 13., pp. 148-160.
- Bonacci, O. (1987). *Karst hydrology.* Springer. New York, pp. 1-184.
- Böcker, T. (1975). A barlangi csepegés és a beszivárgás kapcsolata a Bükk-hegység keleti részén. *Karszt és Barlang, I-II. füzet, Budapest,* pp. 5-8.
- Chatfield, C. (2005). *The analysis of time series.* USA, New York: Chapman & Hall.
- Cheng-Haw et al. (2006). Cheng-Haw, L.; Wei-Ping, C.; Ru-Huang, L.: Estimation of groundwater recharge using water balance coupled with base-flow-record estimation and stable-base-flow analysis. *Environmental Geology* 51., pp. 73-82.
- Csepregi, A. (1985). A karsztos beszivárgás számítási módszereinek összehasonlítása a vízszintváltozások elemzése alapján. *Hidrológiai Közlöny III. szám,* pp. 130-133.

- Darabos, E. (2010). Examining relationships is data recorded with the Bükk Karst Water Monitoring System. *Karst Development Volume 1., Issue 1., Szombathely* , pp. 6-12.
- Darabos et al. (2014). Darabos, E.; Miklós, R.; Tóth, M.; Lénárt, L.: Hydrogeological investigation of the Garadna catchment area. *Geoscience and engineering: A publication of the University of Miskolc 3*, pp. 119-127.
- Darabos et al. (2015). Darabos, E.; Lénárt, L.; Hernádi, B.: Forrásokban és kutakban mért vízszintcsökkenések jellegzetességeiből kinyerhető információk a bükki karszt példáján. In S. Bodzás, *Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban*, Debrecen. pp. 169-174.
- Drogue, C. (1972). Statistical analysis of hydrographs of karstic springs. *Journal of Hydrology 15.*, pp. 49-68.
- Eisenlohr, L. (1997). Eisenlohr, L; Király, L.; Bouzelboudjen, M; Rossier, Y.: Numerical simulation as a tool for checking the interpretation of karst spring hydrographs. *Journal of Hydrology 193.*, pp. 306-315.
- Florea, L., & Vacher, H. L. (2006). Springflow hydrographs: Eogenetic vs. telogenetic karst. *Ground Water 44, no. 3.*, pp. 352-361.
- Ford, D., & Williams, P. (2007). *Karst Hydrogeology and Geomorphology*, England. Wiley. pp.103-144.
- Goldschieder, N., & Drew, D. (2007). *Methods In Karst Hydrogeology*. London, UK. Taylor & Francis.
- Gondárné et al. (2008). Gondárné, K.; Székvölgyi, K.; Gondár, K.; Gyulai, T.; Könczöl, N.; Kun, É.: Egy új módszer az utánpótlódó felszín alatti vízkészlet számítására hegyvidéki víztestek területén. *Magyar Hidrológiai Társaság, XXVI. Országos vándorgyűlés, 4. szekció*) Budapest. pp. 667-681.
- Gunn, J. (1986). Modelling of conduit flow dominated karst aquifers. *Gunay G. & Johnson A. I. (szerk.) Karst Water resources. IAHS, Publications 161.* Wallington. pp. 587-596.
- Hartmann et al. (2014). Hartmann, A; Goldschieder, N; Wagener, T; Lange, J; Weiler, M: Karst water resources in a changing world: Review of hydrological modeling approaches. *Reviews of Geophysics Vol. 52 (3)*, pp. 218-242.
- Hernádi et al. (2012.). Hernádi, B.; Lénárt, L.; Horányiné Csiszár, G.; Tóth, K.: A bükki nyílt karszt vertikális karsztosodottsága. *Karsztfelődés XVII.* Szombathely: Nyugat-magyarországi Egyetem. pp. 63-78.
- Hinaman, K. (2005). *Hydrogeologic Framework and Estimates of Ground-Water Volumes in Tertiary and Upper Cretaceous Hydrogeologic Units in the Powder River Basin, Wyoming. USA, Virginia*: U.S. Geological Survey. pp. 6-11.
- Jenkins, G., & Watts, D. (1968). *Spectral analysis and its applications*. San Francisco: Holden Day.
- Jenkins, G. M., & Watts, D. G. (1969). *Spectral analysis and its applications*. USA: Holden-Day.
- Juhász, J. (1955). Felszínalatti vízkészletünk. *Hidrológiai Közlöny 35. évf. 1-2. szám, Budapest* , pp. 21-34.
- Juhász, J. (1973). A kitermelhető sztatikus vízkészlet. *Hidrológiai Közlöny 53. évf. 4. szám, Budapest*, pp. 187-195.
- Juhász, J. (1987). *Hidrológia*. Budapest: Akadémiai Kiadó, pp. 1-917.
- Jukic, D., & Denic-Jukic, V. (2015). Investigating relationships between rainfall and karst-spring discharge by higher-order partial correlation functions. *Journal of Hydrology, Vol. 530*, pp. 24-36.
- Kessler, H. (1954). A karsztból tartósan kitermelhető vízmennyiség és a beszivárgási százalék megállapítása. *Hidrológiai Közlöny 34. évf. 5-6. szám, Budapest*, pp. 213-222.
- Kessler, H. (1954). A beszivárgási százalék és a tartósan kitermelhető vízmennyiség megállapítása karsztvidéken. *Vízügyi közlemények, 2. szám, Budapest* , pp. 117-123.

- Kinzelbach, W. (1986). *Groundwater Modelling*. Amsterdam, N. Y.: Elsevier.
- Kovács et al. (2016). Kovács, A.; Darabos, E.; Perrochet, P.; Miklós, R.; Lénárt, L.: Forrás és kút hidrogram elemzések eredményei a Bükk hegységben. *Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága*, Debrecen. pp. 261-268.
- Kresic, N., & Bonacci, O. (2010). Spring discharge hydrograph. In N. Kresic, & Z. (. Stevanovic, *Groundwater hydrology of springs. Engineering, theory, management and sustainability*. Amsterdam: Elsevier Inc. pp. 129-163.
- Kresic, N., & Stevanovic, Z. (2010). *Groundwater Hydrology of Springs*. USA: Elsevier.
- Larocque et al., (1998). Contribution of correlation and spectral analyses to the regional study of a large karst aquifer (Charente, France). *Journal of Hydrology* 205 , pp. 217-231.
- László, A. (2013). Idősor elemzési modellek gyakorlati alkalmazása újszülött malac aEEG adatain (url: http://www2.szote.u-szeged.hu/dmi/downloads/nepszeru_tud/alap_aEEG_idosorelemzes_RefW_LA_2013-09-09.pdf, letöltés dátuma: 2017. 07. 18). Szeged.
- Lénárt, L. (2006). A Bükk-térség karsztvízpotenciálja – A hosszú távú hasznosíthatóságának környezetvédelmi feladatai. *Észak-magyarországi Stratégiai Füzetek, III. évfolyam 2. szám* , pp. 17-28.
- Lénárt L., Darabos E. (2012): The hydrogeological relations of the thermal karst of Bükk mountains (Northern Hungary). In: Schweizerische Gesellschaft für Höhlenforschung Kommission für Wissenschaftliche Speläologie Proceedings of the 13th National Congress of Speleology. pp. 209-214.
- Less, G. (2005). In: Pelikán, P.: A Bükk hegység földtana. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- Liedl et al. (2003). Liedl, R; Sauter, M; Hückenhaus, D; Clemens, T; Teutsch, G: Simulation of the development of karst aquifers using a coupled continuum pipe flow model. *Water Resour. Res.*, 39(3), p 1057.
- Maillet, E. (1905). Essais d'hydraulique souterrain et fluviale. *Librairie, A. Hermann*, p 218.
- Mangin, A. (1975). Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. *Thèse Univ. Dijon. Annales de spéléologie*, 29/3: 283-332, 29/4: 495-601, 30/1. pp. 21-124.
- Mangin, A., & Pulido-Bosch, A. (1983). Aplicación de los análisis de correlación y espectral en el estudio de los acuíferoskársticos. *Tecniterrae*, 51, p 55.
- Mangin, A. (1984). Pour une meilleure connaissance des systèmes hydrologiques á partir des analyses corrélatoire et spectrale. *Journal of Hidrology* 67. pp. 25-43.
- Maucha, L. (1987). Jósvafő környéki karsztforrások kiürülési folyamatainak vizsgálata. In G. Péczeli, *Karsztvízháztartás*. Budapest. pp. 174-177.
- Mező, G. (1995). Távlati vízbázisok biztonságba helyezésének programja, A bükki karszt-rendszer földtanivízföldtani és szimulációs modellje. *BKMI Kutatási jelentés, kézirat*, Miskolc. pp. 1–32.
- Mijatovic, B. (1968). A method of studying the hydrodynamic regime of karst aquifers by analysis of the discharge curve and level fluctuations during recession. *Bull. of Inst. For Geol. and Geophys. Res. Serbia*, pp. 43-81.
- Milanovic, P. (1967). Water regime in deep karst: case study of Ombla spring drainage area. V. *Yevjevich (szerk.) Karst Hydrology and Watre resources, vol. 1 Karst Hydrology, Water resources Publications*, Colorado. pp. 165-191.
- Padilla, A., Pulido-Bosch, A., & Mangin, A. (1994). Relative importance of baseflow and quickflow from hydrographs of karst spring. *Ground Water*, 32 , pp. 267-277.
- Padilla, A., & Pulido-Bosch, A. (1995). Study of hydrographs of karstic aquifers by means of correlation and cross-spectral analysis. *Journal of Hydrology*, pp. 73-89.

- Panagopoulos, G., & Lambrakis, N. (2006). The contribution of time series analysis to the study of the hydrodynamic characteristics of the karst systems: Application on two typical karst aquifers of Greece (Trifilia, Almyros Crete). *Journal of Hydrology*, pp. 368-376.
- Pintér, J. (2007). A spektrálanalízisről. *Statisztikai Szemle* 85. évfolyam, 2/130.
- Plummer et al. (2007). *Imes, J. L.; Plummer, N. L.; Kleeschulte, J. M.; Schumacher, J. G.: Recharge Area, Base-Flow and Quick-Flow Discharge Rates and Ages, and General Water Quality of Big Spring in Carter County, Missouri, 2000–04.* USA, Virginia: U.S. Geological Survey.
- Pulido-Bosch et al. (1995). Pulido-Bosch, A; Padilla, A; Dimitrov, D; Machkova, M.: *Hydrological Sciences*, pp. 517-532.
- Reimann et al. (2011). Reimann, T; Rehrl, C; Shoemaker, W.B; Geyer, T; Birk, S: The significance of turbulent flow representation in single-continuum models. *Water Resour. Res.* 47(9).
- Sásdi, L. (2005). In: Pelikán, P.: A Bükk hegység földtana. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- Schoeller, H. (1965). Qualitative evaluation of groundwater resources. *Methods and techniques of ground-water investigations and development*, UNESCO. pp. 54-83.
- Tallaksen, L. (1995). A review of baseflow recession analysis. *Journal of Hydrology* 165. pp. 349-370.
- Turai, E. (2005). Spektrális adat- és információ feldolgozás. Egyetemi jegyzet. Miskolci Egyetem, Miskolc.
- Wei, W. W. (2006). *Time series analysis. Univariate and multivariate methods.* USA, Philadelphia: Pearson.

IV. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE

1. Miklós Rita , Tóth Márton , Szegediné Darabos Enikő , Lénárt László
Vízkeimiai adatok felhasználása karsztvíz domborzati térkép pontosítására
In: Bodzás Sándor (szerk.)
MŰSZAKI TUDOMÁNY AZ ÉSZAK-KELET MAGYARORSZÁGI RÉGIÓBAN 2015 . 591 p.
Konferencia helye, ideje: Debrecen , Magyarország , 2015.06.11 Debrecen: Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, 2015. pp. 71-76.
(ISBN:978-963-7064-32-6)
Link(ek): [Teljes dokumentum](#)
Befoglaló mű link(ek): [Egyéb URL](#)
Könyvrészlet /Konferenciaközlemény /Tudományos
2. Szegediné Darabos Enikő , Lénárt László , Hernádi Béla
Forrásokban és kutakban mért vízszintesökkenések jellegzetességeiből kinyerhető információk a bükki karszt példáján: Features of recession curves of wells
In: Bodzás Sándor (szerk.)
MŰSZAKI TUDOMÁNY AZ ÉSZAK-KELET MAGYARORSZÁGI RÉGIÓBAN 2015 . 591 p.
Konferencia helye, ideje: Debrecen , Magyarország , 2015.06.11 Debrecen: Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, 2015. pp. 169-174.
(ISBN:978-963-7064-32-6)
Link(ek): [Teljes dokumentum](#)
Befoglaló mű link(ek): [Egyéb URL](#)
Könyvrészlet /Konferenciaközlemény /Tudományos
3. Szegediné Darabos Enikő , Lénárt László , Tóth Márton , Miklós Rita , Hernádi Béla , Czesznak László
A Bükk karsztvizei: Hosszú adatsorok alkalmazási lehetőségei
MÉRNÖK ÚJSÁG 22:(7-8) pp. 17-19. (2015)
Link(ek): [Teljes dokumentum](#)
Folyóiratcikk /Szakcikk /Ismeretterjesztő

4. Szegediné Darabos Enikő, Lénárt László, Tóth Katalin, Hernádi Béla, Kovács Péter
A Bükk Karsztvízszint Észlelő Rendszer keretében gyűjtött hidrometeorológiai adatok elemzése
In: Veress Márton, Zentai Zoltán (szerk.)
Karsztfejlődés XIX. . Konferencia helye, ideje: Bük, Magyarország, 2014.05.30 -2014.06.01. Szombathely: Nyugat-magyarországi Egyetem (NYME), pp. 137-146.
Link(ek): [Teljes dokumentum](#)
Egyéb konferenciaközlemény /Konferenciaközlemény /Tudományos

5. Szegediné Darabos Enikő, Tóth Márton, Czesznak László, Lénárt László, Hernádi Béla
Új típusú vízkészlet meghatározás a Bükkben
In: Veress Márton, Zentai Zoltán (szerk.)
Karsztfejlődés XIX. . Konferencia helye, ideje: Bük, Magyarország, 2014.05.30 -2014.06.01. Szombathely: Nyugat-magyarországi Egyetem (NYME), pp. 125-136.
Link(ek): [Teljes dokumentum](#)
Egyéb konferenciaközlemény /Konferenciaközlemény /Tudományos


6. Szegediné Darabos Enikő, Tóth Márton, Lénárt László, Czesznak László, Hernádi Béla, Tóth Katalin
Vízszinteken alapuló karsztvízkészlet meghatározási módszer első eredményei a Bükkben
ELEKTRONIKUS MŰSZAKI FÜZETEK pp. 343-350. (2014)
Link(ek): [Teljes dokumentum](#)
Folyóiratcikk /Szakcikk /Tudományos

7. Szegediné Darabos Enikő, Lénárt László, Czesznak László, Hernádi Béla, Tóth Katalin
Jelleggörbék előállítása a Bükki és Bükk-térségi vízszintadatokból
ELEKTRONIKUS MŰSZAKI FÜZETEK pp. 319-327. (2014)
Link(ek): [Teljes dokumentum](#)
Folyóiratcikk /Szakcikk /Tudományos

8. Szegediné Darabos Enikő, Tóth Márton, Lénárt László
Karsztvízkészlet-meghatározás módszertani fejlesztése a Bükk példáján
In: Wanek F, Prokop Z (szerk.)
XVI. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia: 16th Mining, Metallurgy and Geology Conference . Konferencia helye, ideje: Székelyudvarhely, Románia, 2014.04.03 -2014.04.06. Kolozsvár: Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), pp. 248-252.
Link(ek): [Teljes dokumentum](#)
Egyéb konferenciaközlemény /Konferenciaközlemény /Tudományos

9. Lénárt László, Kovács Péter, Czesznak László, Hernádi Béla, Sűrű Péter, Szegediné Darabos Enikő
A Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer (BKÉR) létrejötte (1992), céljai, a mérőrendszer üzemeltetése, a kutatás főbb eredményei 2013-ig
MŰSZAKI FÖLDTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK 84:(1) pp. 133-140. (2013)
Folyóiratcikk /Szakcikk /Tudományos

10. Szegediné Darabos Enikő, Lénárt László
Karsztvízszint előrejelzés a Bükk hegységben
In: Szilávik Lajos, Kling Zoltán, Szigeti Edit (szerk.)
XXXI. Országos Vándorgyűlés : Magyar Hidrológiai Társaság . Konferencia helye, ideje: Gödöllő, Magyarország, 2013.07.03 - 2013.07.05. Budapest: Magyar Hidrológiai Társaság (MHT), 2013. pp. 1-12.
(ISBN:963-8172-31-0)
Befoglaló mű link(ek): [Teljes dokumentum](#)
Könyvrészlet /Konferenciaközlemény /Tudományos

11. Darabos E., Szucs P., Németh Á
 Application of the ACE Algorithm on Hydrogeological Monitoring Data from the Bükk Mountains.
ACTA GEODAEITICA ET GEOPHYSICA HUNGARICA 47:(2) pp. 256-270. (2012)
 Link(ek): [DOI](#), [WoS](#), [Scopus](#)
 Folyóiratcikk /Szakcikk /Tudományos
 Függő idéző: 1 Összesen: 1
 1 * Kovacs Attila, Perrochet Pierre, Darabos Eniko, Lenart Laszlo, Szucs Peter
 Well hydrograph analysis for the characterisation of flow dynamics and conduit network geometry in a karst aquifer, Bükk Mountains, Hungary
JOURNAL OF HYDROLOGY (ISSN: 0022-1694) 530: pp. 484-499. (2015)
 Link(ek): [DOI](#), [WoS](#)
 Folyóiratcikk /Szakcikk /Tudományos
12. Darabos Enikő
 Analysis of precipitation groups and related water level peak times in Bükk Mountains
GEOSCIENCES AND ENGINEERING: A PUBLICATION OF THE UNIVERSITY OF MISKOLC 1:(1) pp. 103-112. (2012)
 Folyóiratcikk /Szakcikk /Tudományos
13. Darabos Enikő, Lénárt László
 Pontositási lehetőségek a miskolci hideg karsztvízszint és a kitermelhető készletek nagyságának előre jelzéséhez a termál karsztvizek védelmének figyelembe vételével
 In: Székely Gabriella, Máthé István (szerk.)
 A Kárpát-medence asványvizei IX. Nemzetközi Tudományos Konferencia. 176 p.
 Konferencia helye, ideje: Baile Herculane, Románia, 2012.08.30 -2012.09.02. Baile Herculane: Hargita Kiadóhivatal, 2012. pp. 43-52.
 (ISBN:978-973-7625-37-3)
 Befoglaló mű link(ek): [Egyéb katalógus](#)
 Könyvrészlet /Konferenciaközlemény /Tudományos
14. Darabos Enikő, Lénárt László
 Vertikális vízmozgások vizsgálata a Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer adatai alapján (Különös tekintettel a vízszint csökkenésekre)
KARSZTFEJLŐDÉS XVII: pp. 47-61. (2012)
 Folyóiratcikk /Szakcikk /Tudományos
15. Lénárt László, Szegediné Darabos Enikő
 The hydrogeological relations of the thermal karst of Bükk mountains (Northern Hungary)
 In: Schweizerische Gesellschaft für Höhlenforschung. Kommission für Wissenschaftliche Speläologie
 Proceedings of the 13th National Congress of Speleology. Konferencia helye, ideje: Muotathal, Svájc, 2012.09.01 -2012.11.01.
 Muotathal: Bibliothèque de la société suisse de spéléologie, 2012. pp. 209-214.
 (ISBN:978-2-88374-021-1)
 Befoglaló mű link(ek): [WorldCat](#); Könyvrészlet /Konferenciaközlemény /Tudományos
16. Lénárt László, Darabos Enikő
 A bükki karsztvízkészletek meghatározási problémái
ELEKTRONIKUS MŰSZAKI FÜZETEK pp. 231-240. (2012)
 Folyóiratcikk /Szakcikk /Tudományos
17. Lénárt László, Darabos Enikő
 Karsztvízszint előrejelzés a Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer (BKÉR) adatai alapján
 **DEBRECENI MŰSZAKI KÖZLEMÉNYEK** 2: pp. 27-34. (2012)
 Folyóiratcikk /Szakcikk /Tudományos
18. Lénárt László, Szegediné Darabos Enikő
 IMPACT OF PRECIPITATION DISTRIBUTION CHANGE ON KARST WATER REGIME IN THE REGION OF MISKOLC:
 VPLYV ZMENY ROZDELENIA ZRÁŽOK NA VODNÝ REŽIM KRASOVEJ OBLASTI V REGIÓNE MISKOLC
 In: 11. Zdravotno-Technicke Stavby Malé Vodné Diela – Krajina a Voda, Vysoké Tatry. Konferencia helye, ideje: Stará Lesná, Szlovákia, 2012.11.19 -2012.11.21. pp. 179-188.
 Egyéb konferenciaközlemény /Konferenciaközlemény /Tudományos

19. Darabos E., Szűcs P
A miskolci egyetemi kút paramétereinek elemzése modern geomatematikai módszerekkel.
KARSZTFEJLŐDÉS XVI: pp. 247-260. (2011)
Link(ek): [Teljes dokumentum](#)
Folyóiratcikk /Szakcikk /Tudományos
20. Darabos Enikő
Examining relationships is data recorded with the Bükk Karst Water Monitoring System
KARST DEVELOPMENT 1:(1) pp. 6-12. (2010)
Folyóiratcikk /Szakcikk /Tudományos
21. Darabos Enikő
A Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer által szolgáltatott adatok kapcsolatainak vizsgálata
HIDROLÓGIAI TÁJÉKOZTATÓ 2010: pp. 26-27. (2010)
Folyóiratcikk /Szakcikk /Tudományos
22. Darabos Enikő
Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer (BKÉR) által szolgáltatott adatok kapcsolatainak vizsgálata
In: Krizsán József (szerk.)
XV. Nemzetközi Környezetvédelmi és Vidékfejlesztési Diákkonferencia . Konferencia helye, ideje: Mezőtúr , Magyarország ,
2009.07.01 -2009.07.03. Mezőtúr: Szolnoki Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Fakultás, 2009. p. 9.
(ISBN:978-963-06-3726-8, CD 978 963 87874 3 9)
Könyvrészlet /Konferenciaközlemény /Tudományos
23. Darabos Enikő, Lénárt László, Németh Ágnes
A Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer matematikai összefüggéseinek vizsgálata
In: Mócsy I, Szacsvai K, Urák I, Zsigmond A (szerk.)
V. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia . Konferencia helye, ideje: Kolozsvár , Románia , 2009.03.26 -2009.03.29.
Kolozsvár: Ábel Kiadó, pp. 387-393.
Befoglaló mű link(ek): [OSZK](#)
Egyéb konferenciaközlemény /Konferenciaközlemény /Tudományos