

Cholnoky Jenő karszt- és barlangkutatói pályázat, 2009

**A Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer története,
felépítése, szemelvények a Miskolci Egyetem
Hidrogeológia-Mérnökgeológia Tanszékének kapcsolódó
vizsgálati eredményeiből**

Szerzők:

Bányai Andrea
Fedor Eleonóra
Dr. Lénárt László
Németh Ágnes
Szegediné Darabos Enikő

Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, Hidrogeológiai-
Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék

Miskolc, 2009. 10. 15

Tartalomjegyzék

1.	Összefoglaló	3
2.	A Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer (BKÉR) története	3
3.	A BKÉR mérőhelyei, a mérőhelyek összefoglaló felsorolása a 2009.01.01-i állapotnak megfelelően	4
3.1	Csapadékmérés, Jávorkúton folyamatos, lég- és talajhőmérőkkel	4
3.2	Vízhozammérés köbözéssel	4
3.3	Folyamatos elektronikus mérések	5
3.4	Ideiglenesen, rövid ideig folytatott recski mérések Eijkelkamp műszerekkel	7
3.5	A HVM Rt. közölt kézi mérései	7
3.6	A Zsóry-fürdő közölt kézi mérései	8
3.7	A Smaragd-GSH Kft. jövőben közölni kívánt mérései, amennyiben a vízbázisvédelmi munkák folytatódnak	8
3.8	Meglévő mérések Egerszalók-Demjén térségében	8
3.9	Tervezett elektronikus mérések	8
3.10	A legfontosabb mérési adatsorok bemutatása	9
4.	A BKÉR mérési adatainak értékelése	13
4.1	Csapadékmérő állomások adatainak vizsgálata	13
4.2	Vizsgálatok a 2006-os évre (az egyes mérőhelyek vízszintjeinek vizsgálata árvízi időszakban)	14
4.3	Hóolvadás és nagycsapadék összehasonlítása Nv-17 mérőhely esetében	16
4.4	A Bükk csapadékcsoportjainak lehatárolása, a hatékony csapadék csoport definiálása, szerepük a karsztvízszint változásában	18
4.5	Adott hatékony csapadékcsoport ismeretében a várható vízszintnövekedés mértékének és a tetőzés időpontjának meghatározása	21
4.6	A különböző helyeken mért vízszintek közötti kapcsolat kimutatása korrelációs számításal	24
5.	Az adatsorokból történő előrejelzés, adatkiegészítés	26
5.1	Az adatpótlás és előrejelzés meghatározása	26
5.2	Szakirodalmi áttekintés	26
5.3	Az adatpótlás lehetőségei	28
5.4	Karsztvízszintek előrejelzésének eredményei neuronhálózatok felhasználásával ...	35
6.	További kapcsolódó anyagok	37
6.1	A miskolci karsztos hévízkutak	37
6.2	Az Egerszalók - Demjéni hévízkutak vizéből történő recens kiválások vizsgálata ..	46
6.3	Szpeleohidrogeológiai vizsgálatok és eredményei	53
6.4	Barlangi fotók	60
7.	Összefoglalás	64
8.	Mellékletek	

1. Összefoglaló

Jelen pályamunka célja a Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer eddigi történetének, felépítésének bemutatása leírások, térképek segítségével, továbbá az eddigi vizsgálataink eredményeinek rövid összefoglalása. A legfontosabb mérőhelyek rendelkezésre álló adatsorainak részletes áttekintése után a mérési adatok értékelése következik, melynek keretein belül foglalkozunk a csapadékmérő állomások adataival, ill. árvízi időszakokkal. A Bükk hegység különböző mérőhelyei esetében vizsgáljuk a hatékony csapadék csoportokat, továbbá a tetőzési időket. Külön fejezetben mutatjuk be a műszerhibákból, ill. mérési hibákból keletkezett adathiányok pótlását, majd a vízszintekre történő előrejelzéseket neuron hálózatok alkalmazásával. Foglalkozunk továbbá a Miskolc és környékén található termálkutak alapadataival, ezt követően pedig összefoglaljuk a demjéni és egerszalóki hévízkutakból történő kiválásokkal kapcsolatos vizsgálatainkat. Végezetül pedig bemutatásra kerülnek a szeleohidrogeológiai vizsgálataink és azok eredményei.

2. A Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer (BKÉR) története

A Miskolci Vízművek vízműveinek egyesített védőidomát Böcker Tivadar (VITUKI) 1977-ben határozta meg háromévi munka alapján, azt 1989-ben az ÉVIZIG ki is jelölte, ma is érvényben van. (Ennek a Garadna-völgyre vonatkozó kiegészítésére többször, több helyen tettünk javaslatot.) A kutatások eredményeit – korukat megelőzően – víz-és környezetvédelmi atlasz formájában 1983-ban nyomtatásban is megjelentették. (Ez az anyag 4 karsztvízfigyelő kutat tartalmaz, melyet a jelzett munka keretében készítettek. Ezek közül 2 ma is a BKÉR alap-kútjai közé tartozik, benne a mérés 1992 óta gyakorlatilag – kis hiányokkal – folyamatos.)

A három legnagyobb bükki víztermelő vállalat – az ÉVIZIG hatékony támogatásával – 1987-ben felkérte Nehézipari Műszaki Egyetemet, hogy vizsgálja meg a tervezett tapolcai új kútból történő vízkivétel lehetőségét és a Bükk többi víztermelő helyeire gyakorolt hatását. Az egyetem 1989-ben befejezett munkájában elemezte az összes bükki víztermelő létesítmény vízhozamát, vízminőségét (a víztermelők adatai alapján), korát (a VITUKI méréseire alapozva), felállította a Bükk vízmérlegét, megállapította a bükki karszt volumetrikus készletét, a vízkivételek intenzifikálásának lehetőségét és megtervezte a hidrogeológiai figyelő rendszer alapjait. (Ezeket az elképzeléseket részben figyelembe tudtuk venni a BKÉR 1992-es tervezése során.)

Az ÉVIZIG (személy szerint Stéfán Márton főmérnök) igen hathatós támogatásával a Miskolci Egyetemen, 1992 nyarán megindultak a bükki karsztvízszint figyelő rendszer első mérései. A mérőrendszer létrehozásának és működtetésének anyagi alapjait a Miskolci Vízművek, a Heves Megyei Vízművek, a B.A.Z. Megyei Vízművek, az Északmagyarországi Regionális Vízművek folyamatos és dr. Gyurkó Péter városi képviselő egyszeri támogatása teremtette meg. Az első év után a B.A.Z. Megyei Vízművek a további finanszírozástól – nem lévén számot tévő érdekeltsége a bükki víztermelésben – elállt, de később több intézmény – Zsóry-fürdő, Smaragd GSH Kft, Miskolci Egyetem – is csatlakozott a mérőrendszer működtetéséhez.

A barlangokban történő mérések eredményeit a Marcel Loubens Barlangkutató Egyesület és a Szilvássy Andor Barlangkutató Egyesület bocsátotta BKÉR rendelkezésére. A termelési adatokat a megbízóinktól és az egerszalóki-demjéni hévízkutak kezelőitől (Egerszalóki Gyógyforrás Kft, Quality Kft., Villgépész Kft., Hajdú-Index Kft.) rendszeresen megkapjuk, a többi termelési adat – és a csapadékatatok – megszerzésében az ÉKÖVIZIG van a segítségünkre.

A GVOP-3.1.1.-2004-05-0530/3.0 sz., „Vízgazdálkodási döntéseket támogató monitoring rendszer megvalósítása a Bükk-vidéken a fenntartható fejlődés érdekében” (VIMORE) nevű pályázat keretében 2005 – 2008 . novemberétől folyamatosan telepített barlangi mérőhelyek üzemeltettünk, ill. a Jávorkúton üzembe állítottunk egy automata, óránkénti gyakorisággal mérő-rögzítő csapadék-, lég-, és talajhőmérsékleti adatokat biztosító mérőállomást, mely ma is jelenti az adatokat a BKÉR-be.

Jelenleg folynak a tárgyalások a mérőrendszer kibővítéséről, melyek elsősorban a termálvizet termelő létesítmények vizsgálatát jelentik.

3. A BKÉR mérőhelyei, a mérőhelyek összefoglaló felsorolása a 2009.01.01-i állapotnak megfelelően

A Miskolci Egyetem (témavezető Dr. Lénárt László) 2009.02.28-i jelentéséből kiemelt részlet.

Ahol külön nem jeleztük ott saját mérés folyik. *A teljes egészében dőlt betűkkel jelölt szövegek jelenleg is aktív mérőhelyeket jelentenek.*

3.1 Csapadékmérés, Jávorkúton folyamatos, lég- és talajhőmérőkkel

- Bükkszentkereszt, Rejtekek (545 mBf) (1994.08.01 – 2004.08.27)
- Miskolc, Felsőhárom (kb. 275 mBf) (2000.08.01 – ÉKÖVIZIG napi mérés)
- Miskolc, Jávorkút (690 mBf) (1992. 10. 10 – 2001.06.01, OMSZ mérés)
- Miskolc, Jávorkút (690 mBf) (2005.12.06 – GVOP, VIMORE folyamatos mérés)
- Miskolc, Ómassa (kb. 495 mBf) (2000.09.01 – ÉKÖVIZIG napi mérés)
- Nagyvisnyó, Bánkút (kb. 855 mBf) (1999.01.01 – ÉKÖVIZIG napi mérés)
- Répáshuta (530 mBf) (Rejtekek helyett, 2004.09.10 – napi mérés)

3.2 Vízhozammérés köbözéssel

- Bükkszentkereszt, Rejtekek (545 mBf) (1993.06.11 – 1995.09.01)

3.3 Folyamatos elektronikus mérések

Az elektronikus vízszint (s), vízhőmérséklet (T), vezetőképesség (ρ) és radon (R_n) méréseket folyamatosan mérő-rögzítő mérőműszerrel mérünk. Gyakoriságuk zömében 15-60 perc, de elvétve előfordult 10, ill. 240 perces gyakoriságú mérés is.

Az alábbi mérőhelyeken mértünk, *mérünk*, ill. az alábbi mérőhelyekről kaptunk, kapunk adatokat.

- Bélapátfalva Bf-1 sz. figyelőkút (s). (Kútperem 497.2 mBf, 2003.06.05 – 2007.02.01 Smaragd-GSH Kft. mérés) **Hydra mérőműszer**
- Bélapátfalva Bf-222 sz. figyelőkút (s). (Kútperem 419,13 mBf, 2003.06.05 – 2007.02.01 Smaragd-GSH Kft. mérés) **Hydra mérőműszer**
- Bélapátfalva, III/7, figyelőkúttá átminősített, leselejtezett kút (s). (Kútperem az aknában 427.72 mBf, kútperem a külszínen 429, 86 mBf, 1998.08.03 – 2006.01.07.) **DATAQUA 2002 mérőműszer.**
- Bükkszentkereszt, Bk-1. figyelőkút (s). (Kútperem 473.70 mBf, 2004.06.04 – 2004.12.05) **DATAQUA 2002 mérőműszer**
- Bükkszentkereszt, Rejtek (ρ ,T, R_n). (Forrásfoglalás betonteteje 545 mBf, 1994.04.22 – 1995.09.01) **DATAQUA 2002 mérőműszer**
- Cserépfalu, Hór-völgy, Csf-9 figyelőkút (s). (Kútperem 232,8 mBf, 2003.06.17 – 2007.05.17) **DATAQUA 2002 mérőműszer**
- Cserépfalu, Hór-völgy, Csf-11 figyelőkút (s,T). (Kútperem 292,41 mBf, (330-as értékkel számoltunk a régi, 1994.11.01 – 1997.08.01 közötti mérések során)) **DATAQUA 2002 mérőműszer**
- Eger-Almár, kőbánya, Af-5 figyelőkút (s). (Csőperem 245,10 mBf, 2003.11.11 – 2007.12.12; Smaragd-GSH Kft. mérés) **DATAQUA 2002 mérőműszer**
- Eger-Almár T-0 termelőkút (s). (Csőperem 190.85 mBf, 2001.08.07 – 2002.03.26, Smaragd-GSH Kft. mérés) **DATAQUA 2002 mérőműszer**
- Eger-Almár T-1 termelőkút (s). (Csőperem 185.32 mBf, 2001.08.07 – 2002.01.14, Smaragd-GSH Kft. mérés) **DATAQUA 2002 mérőműszer**
- Eger, Petőfi tér, I. sz. termelő kút (s,T). (Kútperem 156.22 mBf, 1993.08.04 – 1994.11.08) **DATAQUA 2002 mérőműszer – utána HMV ZRt. helyi telemechanikai műszer.**
- Felsőtárkány, Barát-rét, B-11 termelő kút (s). (Kútperem 287.27 mBf, 2003.08.15 –) **DATAQUA 2002 mérőműszer**
- Felsőtárkány, Barát-rét, B-12 termelő kút (s). (Kútperem 248.44 mBf, 2003.06.10 – 2007.12.11) **DATAQUA 2002 mérőműszer**
- Felsőtárkány, Berva-AF-13 sz. figyelőkút (s). (Kútperem 245.12 mBf, 2003.09.19 –) **DATAQUA 2002 mérőműszer**
- Felsőtárkány, Berva-1 figyelőkút (s). (Csőperem 220.32 mBf, 2001.02.08 – 2002.03.26, Smaragd-GSH Kft. mérés) **DATAQUA 2002 mérőműszer**
- Felsőtárkány, Berva-2 figyelőkút (s). (Csőperem 213.07 mBf, 2001.01.18 – 2001.07.09, 2001.10.04 – 2002.03.26, Smaragd-GSH Kft. mérés) **DATAQUA 2002 mérőműszer**
- Felsőtárkány, Berva-T-1. (400-as karsztkút) termelő kút (s). (Csőperem 203.38 mBf, 2001.03.22 – 2002.03.26, Smaragd-GSH Kft. mérés) **DATAQUA 2002 mérőműszer**
- Felsőtárkány, Lök-völgy, L-1 figyelőkút (s,T). (Kútperem 359.17 mBf, 1994.08.01 – 2000.10.28 saját mérés; Kútperem megváltozott, 359,85 mBf, 2003.08.15 – 2007.12.11 – Smaragd-GSH Kft. műszeres mérés – HMV ZRt. kézi mérések) **DATAQUA 2002 mérőműszer**

- Felsőtárkány, Sz-4 figyelőkút(s). (Kútperem 236,80 mBf 1991.01.06 –) HMV ZRt. kézi mérések)
- Felsőtárkány, Sz-5 figyelőkút(s). (Kútperem 241 mBf, 1992.10.10 –) **DATAQUA 2002 mérőműszer**
- Kács, (Vízfő-forrás), Alap-forrás (s,T). (Bukóél 194.20 mBf, 1995.05.01 – 2000.08.27) **DATAQUA 2002 mérőműszer**
- Kács, (Vízfő-forrás), Tükör-forrás (s,T,ρ). (Medenceperem 195,45 mBf, 99.38 mRm 2001.04.01 –) **DATAQUA 2002 mérőműszer**
- Kács, (Vízfő-f.), Üdülői-kút (s,T) (Kútperem 196.65 mBf, 100.58 mRm, 2001.04.01 – 2001.11.04) **DATAQUA 2002 mérőműszer**
- Kisgyőr, K-2 (F-1) figyelőkút (s). (Kútperem 194.50 mBf, 1999.09.14 – ÉKÖVIZIG mérés) **DATAQUA 2002 mérőműszer**
- Kisgyőr, K-126 (F-2) figyelőkút (s). (Iránycső-perem 249.05 mBf, 1999.12.04 – ÉKÖVIZIG mérés) **DATAQUA 2002 mérőműszer**
- Kisgyőr, K-3 (F-3) figyelőkút (s). (Kútperem 450.46 mBf, 1999.09.14 – ÉKÖVIZIG mérés) **DATAQUA 2002 mérőműszer**
- Kisgyőr, Kgy-14 figyelőkút_(s,T). (194.36 mBf, 1993.09.14 – 1995.12.27) **DATAQUA 2002 mérőműszer**
- Mezőkövesd, Zsóry-fürdő, III. sz. üzemen kívüli termelő kút (s,T). (Kútperem 119.55 mBf, 1999.02.05 –) **DATAQUA 2002 mérőműszer**
- Miskolc, Augusztus 20 fürdő I. sz. termelő kút (p,T). (Kútperem kb. 116 mBf, 2002.09.12–) **DATAQUA 2002 mérőműszer (rendszeres kézi mérések 1-7 naponként, 1989 szeptember – 1994. november)**
- Miskolc-Diósgyőr, Szent György-forrás (s,T). (Padlósint 189.70 mBf, 1994.11.22 – 1996.10.04) **DATAQUA 2002 mérőműszer (rendszeres kézi mérések 1-7 naponként, 1991 december – 1994. november)**
- Miskolc, Egyetemi-kút, 1999.05.02-től termelő kút (s,T). (Kútperem 127 mBf; 1999.05.02: karima 125.46 mBf; 2003.08.06: mérőcső teteje 127,48 mBf) (1992.10.07 – 1993.05.02 saját mérés, 1999.05.14 – 2000.05.14 Geoservice mérés, 2001.11.14 – saját mérés) **DATAQUA 2002 mérőműszer, 2003.08.06-től Eijkelkamp DIVER mérőműszer (s,T,ρ)**
- Miskolc, Garadna-fő-forrás (s,T). (Padlósint 497 mBf, 1996.05.31 –) **DATAQUA 2002 mérőműszer**
- Miskolc, létrási Vizes-barlang, Tó (s). (A vízmérce felfüggesztési „0” pontja 480 mBf, 2004.05.31 –) **DATAQUA 2002 mérőműszer**
- Miskolc, MIVÍZ Kft központi (kertészeti) telep termelő kútja (p,T). (Kútperem kb. 116.50 mBf, 2002.09.12 –) **DATAQUA 2002 mérőműszer (rendszeres kézi mérések 1-7 naponként, 1989 szeptember – 1994. november)**
- Miskolc, M-6 figyelőkút (s). (Kútperem 723.28 mBf, 1995.01.05 – 2001.02.27) **DATAQUA 2002 mérőműszer**
- Miskolc, Szepesi-Láner-barlangrendszer, Szepesi rész, Tó (s). (A vízmérce felfüggesztési „0” pontja 386 mBf, 2004.07.10 –) **DATAQUA 2002 mérőműszer**
- Miskolc, Szinva-fő-forrás (s,T). (Padlósint 346.20 mBf, 1994.05.12 –) **DATAQUA 2002 mérőműszer**
- Miskolctapolca, M2 figyelőkút (s,T) (Kútperem 2003.11.08: 129,08 mBf, 2003. október: 128,33 mBf) (2001.12.11 –) **DATAQUA 2002 mérőműszer(rendszeres kézi mérések 1-7 naponként, 1989 szeptember – 1992. január) (2008. januártól Új GSM távadós műszer lett telepítve)**

- Miskolctapolca, Olasz-kút (s,T) (2003.03.29-2004.03.07 között mértünk, amikor kútjavítási munkálatok miatt nem lehetett az Új-kútban mérni) **DATAQUA 2002 mérőműszer**
- Miskolctapolca, Termál-forrás (s,T). (I-tartó teteje 129.8 mBf, 1992.10.07 –) **DATAQUA 2002 mérőműszer (rendszeres kézi mérések 1-7 naponként, 1989 szeptember – 1994. november; 7 db DATAQUA 2002 mérőműszerrel folyamatos hőmérsékletmérés a forrástér víz alatti barlangjárataiban 1993.06.15 – 1994.07.17)**
- Miskolctapolca, Új-kút (s,T). (A lebújó nyílás vaspereme 128,86 mBf, a kút járósintje 125.48 mBf, a legújabb verzió szerint, 1992.12.05 –) **DATAQUA 2002 mérőműszer (rendszeres kézi mérések 1-7 naponként, 1989 szeptember – 1992. január)**
- Miskolctapolca, Várhegyi (felhagyott) kőbánya T-10 figyelőkút (s) (Kútsapka teteje 154,98 mBf, 2006.09.09 –) **DATAQUA 2002 mérőműszer (2008. januártól Új GSM távadós műszer lett telepítve)**
- Mónosbél, Vízfő-f. (s,T). (Padlósint 363.6 mBf, 1992.10.12 – 1994.05.11, 1998. 08. 03 –) **DATAQUA 2002 mérőműszer**
- Nagyvisnyó, Nv-17 (= Nv-8) figyelőkút (s). (Kútperem 779.90 mBf, 1992.10.10 –) **DATAQUA 2002 mérőműszer**
- Répáshuta, Balla-völgyi Békás-barlang (s). (Az adatgyűjtő felfüggesztése a sínpályára kb. 363 mBf, 2004.12.04 – 2005.11.19) **DATAQUA 2002 mérőműszer**
- Répáshuta, Balla-völgy, patak a varrodánál (s). (Az adatgyűjtő felfüggesztése kb. 540 mBf, 2004.12.04 – 2005.11.19) **DATAQUA 2002 mérőműszer**
- Répáshuta, Tbp-1, (Rh-1) figyelőkút (s,T). (Kútperem 498.97 mBf, 1992.10.10 –) **DATAQUA 2002 mérőműszer**
- Sály, Vízfő- forrás (s,T). (Bukóél 200.87 mBf, 1994.08.01 –) **DATAQUA 2002 mérőműszer, 2005-től ÉRV Rt.. adatkinyerés**
- Szilvásvár, Szalajka-forrás, akna, tolózár felett (s,T). (Aknaperem 475 mBf, 1998.01.23 – 2001.03.31) **DATAQUA 2002 mérőműszer**
- Szilvásvár, Szalajka-forrás, táró, tolózár alatt (s,T). (Padlósint mBf, 2000.11.18 – 2003.03.08) **DATAQUA 2002 mérőműszer**

3.4 Ideiglenesen, rövid ideig folytatott recski mérések Eijkelkamp műszerekkel

- Mátraderecske, Rm-18 figyelőkút (s,T) (Kútperem 191.55 mBf, 2002.06.18 – 2002.11.26)
- Recsk, I. akna (s,T) (Kútperem 209.55 mBf, 2002.06.18 – 2002.11.26)
- Recsk, II. akna (s,T) (Kútperem 255.0 mBf, 2002.06.18 – 2002.11.26)

3.5 A HMV Rt. közölt kézi mérései

- Eger, Petőfi tér, I. sz. termelő kút (s,T). (Kútperem 156.22 mBf; 1993. november –)
- Felsőtárkány, Lök-völgy, L-1 figyelőkút (s,T). (Kútperem 359.17 mBf; 2000 –)
- Felsőtárkány, Sz-4 figyelőkút (s). (Kútperem 236.80 mBf; 1992. január –)

3.6 A Zsóry-fürdő közölt kézi mérései

- Mezőkövesd, Zsóry-fürdő, III. sz. üzemen kívüli termelő kút (s,T). (Kútperem 119.55 mBf, 2008)

3.7 A Smaragd-GSH Kft. jövőben közölni kívánt mérései, amennyiben a vízbázisvédelmi munkák folytatódnak

- Cserépfalu, Hór-völgy, Csf-2 figyelőkút (s,T). (Kútperem 249,29 mBf)
- Cserépfalu, Hór-völgy, Csf-9 figyelőkút (s). (Kútperem 232,8 mBf)
- Cserépfalu, Hór-völgy, Csf-10 figyelőkút (s,T). (Kútperem 266,80 mBf)
- Cserépfalu, Hór-völgy, Csf-12 figyelőkút (s,T). (Kútperem 334,63 mBf)
- Eger-Almár, kőbánya, Af-5 figyelőkút (s). (Csóperem 245,10 mBf)
- Eger, Csomós-tanya, K-26 figyelőkút (s,T). (Kútperem 265,17 mBf)
- Felsőtárkány, Berva-völgy, Bef-1 figyelőkút (s,T). (Kútperem 219,39 mBf)
- Felsőtárkány, Barát-rét, B-12 termelő kút (s). (Kútperem 248.44 mBf)
- Felsőtárkány, Lök-völgy, L-1 figyelőkút (s,T). (Kútperem 359.17 mBf)
- Bélapátfalva Bf-222 sz. figyelőkút (s). (Kútperem 419,13 mBf)

(Az említett figyelő kutakban a mérést átmenetileg szüneteltetik.)

3.8 Meglévő mérések Egerszalók-Demjén térségében

Az egerszalóki De-42, De-42/a, a demjéni K-10 és K-11 termálkutak mindegyikében van DATAQUA mérőműszer, azok adatait a továbbiakban célszerű lenne a BKÉR kereteiben is feltüntetni. (Összefoglaló feldolgozásuk 2008 május – 2009 április között megtörtént.)

3.9 Tervezett elektronikus mérések

A tervezett mérések közé vízszint (s), víznyomás (p), vízhőmérséklet (T), vezetőképesség (ρ) és radon (Rn) méréseket sorolunk, melyeket elsősorban DATAQUA 2002 mérőműszerrel kívánunk megvalósítani:

- Andornaktálya, At-8-as termelő kút (s,T, ρ)
- Sajóhidvégi termelő kút (p,T, ρ)

A mérési helyeket egy áttekintő és egy részletes térképen mutatjuk be. (Az áttekintőn az azonosítás csak részben lehetséges. Ezen a térképen a NN-17, Tbp-1, M-6 és Bk-1 megfigyelő kutakat dr. Böcker Tivadar telepítette, ezek közül 1 teljes mértékben, 1 pedig részben jó adatokat biztosít a mai napig. A részletes térképen az összes megfigyelő helyünk – kutak, források, barlangok, csapadékmérő állomások – megtalálhatók, egyéb meglévő vagy tervezett objektum mellett. A térképről a fotókat a méretcsökkentés miatt lehagytuk.)

A teljes mérési adatsorból 7 db jellemző és hosszú adatsor a következő alfejezetben látható (1-7. melléklet), a végzett (és mai is folyamatban lévő) munka illusztrálására, továbbá az egyes mérőhelyek elhelyezkedése megtekinthető az 1. térképen.

3.10 A legfontosabb mérési adatsorok bemutatása

A Bükkben található hidrogeológiai megfigyelőhelyeket a 2. térképen mutatjuk be. Ezek kisebb része már nem üzemel, de tervbe van véve további mérőhely létrehozása.

Ezek közül kiemelnénk az általunk legfontosabbnak tartott, leggyakrabban vizsgált monitoring helyeket:

- Nagyvisnyó, Nv-17 (=Nv-8) figyelőkút, a Nagy-fennsíkon
- Répáshuta, Tbp-1, Tebepusza figyelőkút, a Nagy-fennsíkon
- Felsőtárkány, Sz-5. figyelőkút, a hegység peremén
- Miskolc- Ómassa, Garadna- főforrás
- Miskolc-Lillafüred, Szinva- fő-forrás
- Miskolc-Tapolca, 2. sz. figyelőkút az Új-kút mellett

▪ **Nagyvisnyó, Nv-17 figyelőkút**

A mérések 1992. október 10-én kezdődtek, de a kezdeti gyakorlatlanság miatt rövidesen csaknem fél éves szünet következett, melynek adatpótlását a többi adatokból később meg lehetett oldani. (A jelenlegi ismeretek szerint ez a pótlás nem biztos, hogy kellően pontos.) A szonda eredeti mélysége 260 m volt a terepszint alatt, de menet közben 270 m-re engedték le azt. A peremmagasság 779.90 mBf-i értékű.



1. fotó: Nv-17 megfigyelőkút

Bár két jelentősebb és hét kisebb időtartamú mérési hiány van (és egy időben a kézi, ellenőrző mérésekre sem volt lehetőség műszerprobléma miatt), továbbra is igaz, hogy ez a mérési hely a legfontosabb az összes mérési hely közül.

A mérőhely (1. fotó) teljes rendelkezésre álló adatsora 1. mellékletként megtekinthető. Kiemelkedően fontos volt a 2000 áprilisától induló rendkívül hosszú csökkenő szakasz, amikor nyilvánvalóvá vált, hogy kedvező indulási magasságú karsztvízszint esetén a szokásos bükki vízkivételek mellett a karsztvízszint a feltételezett 3-4 hónap időtartam helyett 8-9 hónap után közelítette meg az „évszázados” süllyedési rekordot.

2004-ben nem volt adathiány és a vízszintek is átlagosnak tekinthetők. Érdekes, hogy az évben a három legjelentősebb vízszint (nagyságát tekintve) szeptember elején, augusztus elején, április elején volt.

2005-ben sem volt adathiány és a vízszint az eddigieknél is „kiegyenlítettebb” volt. A március közepi emelkedést májusban követte az évi legnagyobb emelkedés (mely az eddigi mérési értékek közül a harmadik legnagyobb volt 1992. óta). Ezt követően öt számot tevő emelkedést regisztráltak, az utolsót október közepén.

2006-ban szintén teljes volt az adatsor. Az év első felében szakaszosan emelkedő vízszintnél két jelentősebb emelkedés látható áprilisban és júniusban. Az év második felétől az év végéig tartó folyamatos csökkenő időszak alatt a vízszint megközelítette a vizsgált időszak minimumát.

2007. február 2. és március 2. között adathiány volt, azonban az azonos időszakban a Garadna-forrásban regisztrált vízszintváltozás alapján az adatokat pótolták. Az év folyamán két jelentősebb vízszintemelkedést regisztráltak, azonban ezek egyike sem érte el az 535 mBf értéket, melyre az elmúlt 10 évben nem volt példa.

2008-ban három jelentősebb vízszintemelkedést regisztráltak május és július elején, valamint december végén, melyek rendre a nagyobb csapadékcsoportok hatására következtek be. A vízszintváltozások nagysága folyamatosan nőtt az év folyamán, de a hó hiánya nagyon látszik a tavaszi jelentős emelkedés elmaradásán, ill. a téli, viszonylag magas vízszinteken.

▪ **Répáshuta, Tebepusztá-1 (Tbp-1)**

A mérések 1992 októberében indultak. A mérőhely (2. fotó) teljes rendelkezésre álló adatsora 2. mellékletként megtekinthető. Tbp-1 esetében 1993-ban, 1994-ben, 1995-ben, 1997-ben, 1998-ban, 2001-ben, 2003-ban, 2007-ben és 2008-ban hosszabb-rövidebb adathiányok léptek fel amiatt, hogy a vizsgált időszak jelentős részében a szonda nem ért bele a vízbe annak ellenére, hogy az a fúrás talpáig le van engedve. 2004-ben alig több mint 2 hónapnyi adat áll rendelkezésre. 2005-ben az év első harmadából nincs adat. Az ellenőrző kézi mérésekre mindig megvolt a lehetőség. 2006-ban teljes volt az adatsor, melyből kitűnik, hogy az elmúlt időszak legmagasabb vízszintértékei ez év közepén adódtak. A mért vízszintingadozás meghaladta a 110 m-t, ami Bükk legnagyobb ismert karsztvízszint ingadozásának tekinthető. (Eddig a közeli Pénz-pataki-víznyelőbarlangban jeleztek hasonló mértékű vízszintingadozást.)



2. fotó: Tbp-1 figyelőkút

A 2006-os vízszintmaximumot követően a vízszint 2007. július végére az észlelési szint alá csökkent, melynek eredményeként a szonda szárazra került. A jelentősebb csapadékok hatására az év végére emelkedett a vízszint újra az észlelési határ szintje fölé.

2008-ban szeptember-december hónapok között volt jelentősebb adathiány. A mért vízszintek maximumai rendre a nagyobb csapadékcsoportoknak megfelelően alakultak ki, azon a vízszintemelkedés mértéke messze elmaradt a korábbi évek magas vízszintjeitől.

A figyelőkút peremmagassága 498.97 mBf-i értékű. A fúrás továbbmélyítése – számítva az alacsonyabb vízszintekre – nagyon fontos lenne, ugyanis emiatt alacsony vízállás esetén újabb jelentős adathiányokra számíthatunk.

▪ **Felsőtárkány, Sz-5**

A mérés 1992 októberében indult. A csőperem magassága kb. 241 mBf-i értékű. Több kisebb és egy hosszabb időszakot átfogó adathiány van, az utóbbi esetében kézi méréseket végeztek.

A mérőhely teljes rendelkezésre álló adatsora 3. mellékletként megtekinthető.

Jellemző mérőhely, de kissé a barátréti kutak „árnyékában” van. (2003. közepétől itt is csökkent a vízszint 2004 tavaszáig. A barátréti termelés gyakorlatilag állandó, és az induláshoz képest igen kis értékű, így a csökkenés, majd a vízszintemelkedés valószínűleg a csapadékhiány, ill. jelentősebb csapadék számlájára írható.)

2006 júniusában a vizsgált időtartam legmagasabb vízszintértékei adódtak.

2007-ben szeptembertől kezdődően hiányoznak az adatok. A meglévő értékekből látszik, hogy a 2006 júliusában kezdődő vízszintcsökkenés a csapadékhiányos időszak következtében 2007-ben is folytatódott.

2008. első felében szintén hiányoznak az adatok. Június közepétől decemberig a csapadékhiányt követően a vízszint folyamatosan csökkent, majd decembertől az év végéig két lépcsőben meredeken emelkedett.

▪ **Garadna-fő-forrás**

1996. május 31-én vízszint-és vízhőmérséklet mérő szondát helyeztek el a Garadna-forrás – foglалás által nem zavart – terébe. Ezzel a méréssel a termeléssel nem zavart, gravitációsan kilépő, völgytalpi források működésére vonatkozó, az eddigieknél pontosabb, hosszúidejű adatokat nyerhetünk. Továbbá ez a mérésorozat vélhetőleg a völgy társadalmi-ökológiai vízigényei kielégíthetőségének vizsgálatához nyújt megfelelő alapadatokat. (Ez annál is fontosabb, mivel a Garadna-fő-forrásból, – ha minimális mennyiségben is, de – ma már vízkivétel történik Ómassa vízellátásának céljából).



3. fotó: A Garadna-fő-forrás a 2006-os karsztárvíz idején

A forrásfoglalás járószintjének magassága kb. 497 mBf-i értékű. A régebbi mérés során 3 kisebb és 2 nagyobb adathiányos időszak van. (Két mérési szakasz azért hiányzik, mert a műszert átmenetileg az Új-kútba kellett áttenni, viszont 2000 áprilisa óta nem volt adathiány.)

A mérőhely (3. fotó) teljes rendelkezésre álló adatsora 4. mellékletként megtekinthető.

Az utóbbi évek legmagasabb vízszintjét 2006-ban mérték, de 2005-ben a magasabb vízszintek időtartama nagyobb volt.

2007-ben a vízszint a korábbi évekhez hasonlóan, néhány kisebb-nagyobb ingadozástól eltekintve közel egyenletesen alakult. Jelentősebb vízszintváltozás március második felében volt.

2008-ban a csapadékviszonyoknak megfelelően, a korábbi évek ingadozásaihoz hasonló mértékű vízszintváltozások voltak tapasztalhatóak.

▪ **Szinva-fő-forrás**

A mérések 1994 májusától indultak, éppen a tavaszi nagy vizek hatására. A forrás kiképzéséből adódóan itt a túlfolyó vizek mérésére is van lehetőség. A mérési hely a túlfolyó vizek magasságának meghatározására nagyon jól bevált, az ökológiai vízfelhasználás tervezéséhez jó alapadatokat szolgáltat.

A forrásfoglalás padlósíntje 346.2 mBf-i értékű, a szondát ennek megfelelően helyezték el. A mérőhelyen eddig az adathiány minimális volt. A mérőhely (4.-5. fotó) teljes rendelkezésre álló adatsora 5. mellékletként megtekinthető. A vízszintváltozás jellege az eddigi évekhez hasonló volt, 2006-ban a mértéke csak kicsivel volt a „megszokott” felett.

2007-ben két alkalommal, áprilisban és decemberben alakult ki az árvízi küszöbszintet megközelítő vízszintemelkedés, de a vízszintváltozások jellegében nem történt változás.



4.-5. fotó: Szinva-fő-forrás [DARABOS E.]

2008-ban a vízszintváltozás jellegében a korábbi évekhez hasonlóan alakult. A bőséges csapadékmennyiség hatására a vízszint két alkalommal megközelítette, két alkalommal pedig meg is haladta az árvízi küszöbszintet.

A mérések továbbfejlesztését jelentené, ha az árvizek esetében a fő forrást megkerülő járatokban tapasztalható nyomásszintet is meg lehetne mérni. (Több alkalommal tapasztalták, hogy az árvízi túlfolyó felett a patak oldalában rövid ideig nagyon sok szökevényforrás fakadt.)

▪ **Miskolctapolca, 2.sz. figyelőkút, Újkút mellett**

Az Új-kútban (6. fotó) az utóbbi években több alkalommal végeztek víz alatti bűvármunkával javítási beavatkozásokat, s ekkor a méréseket a munkavégzés miatt és a műszer biztonsága érdekében szüneteltetni kellett. Ez indukálta, hogy a továbbiakban a kutak mellett található egyik figyelőkútban is folytassanak méréseket. Egy rövid szakaszt leszámítva máig folyamatos mérési adat van a fúrásból, mely adatsor elsősorban az Új-kút és az Olasz-kút körüli törmelékes ösletben lévő



6. fotó: Miskolctapolca, 2. sz. figyelőkút

vízszintekre, ill. az alulról feltörő karsztvíz és a törmelékes ösletben mozgó „karszt-talajvíz”

egymáshoz való viszonyáról ad felvilágosítást. (Megjegyzendő, hogy az Új-kút 1989-ig tartó építése során, a kútban és fúrásban több évig párhuzamosan mért adatok alapján a kapcsolat rendkívül szoros, a vízszintek változása igen gyors.) 2003.11.08-tól a figyelőkút peremmagassága 129,08 mBf-i értékű.

4. A BKÉR mérési adatainak értékelése

Az alábbi fejezetekben olvasható anyagok Darabos Enikő eddigi munkái alapján kerültek összeállításra összefoglaló tájékoztatóként. További részletek olvashatók az irodalomjegyzékben felsorolt kéziratokban, publikációkban.

4.1 Csapadékmérő állomások adatainak vizsgálata

A korábbi elemzések során minden vizsgálati ponton mért karsztvízszintet a Jávorkútról származó csapadék adatokkal együtt vizsgálták (vizsgáltuk), mivel ez a mérőhely a Bükk hegység egészére jellemző csapadékokat jól reprezentálja.

A csapadék és karsztvízszintek összefüggéseinek általunk végzett vizsgálati során azonban többször előfordult, hogy a vízszintnövekedés több nappal megelőzte a csapadékhullást. E miatt az ellentmondás miatt kezdtünk el más csapadékmérő állomások adataival is foglalkozni, felhasználtunk Rejtekről (545 mBf), Bánkútról (855 mBf), Felsőhámról (275 mBf), Ómassáról (495 mBf) és Bélapátfalváról (318 mBf) származó csapadék adatokat is, amelyeket (a rejteki adatokat kivéve) az ÉKÖVIZIG bocsátott a rendelkezésünkre.

Vizsgálataink során tehát minden mérőhelyhez megkerestük a rendelkezésre álló adatok közül a legmegfelelőbbet. Az egyes mérőhelyeken a hidrológiai nyári félévben regisztrált napi vízszint adatokat - több évre visszamenőleg (1993-2006) - együtt ábrázoltuk a különböző csapadékmérő állomásokról származó napi adatokkal. Ez után havi bontásban végignéztük, hogy valóban megtalálható-e az egyes vízszintnövekedésekhez tartozó csapadék.

A vizsgált mérőhelyek közül a Nagyvisnyó-17 (Nv-17), Garadna-forrás, Szinva-forrás és a tebepusztai mérőhelyek tekintetében a kérdés könnyen eldönthető volt. Felsőtárkány esetében nem olyan egyértelmű az összefüggés, mint a többi mérőhelynél. A vízszintek változásait nyomon követve két rendelkezésre álló csapadékmérő állomás közül kell választani: az egyik a jávorkúti, a másik pedig a bélapátfalvai. Az *8.a mellékleten* látható, hogy vannak olyan esetek, amikor mindkét mérőhely adatai reálisak lehetnek, vannak viszont olyan esetek, mikor egyik sem feleltethető meg a vízszint változásainak. Például az 05.20 és 06.10 közötti vízszintingadozásokat egyik mérőhely adatai sem indokolják, viszont a 06.01-i vízszintemelkedést mindkét mérőhely adatai alátámaszthatnák. Mindezek (és ehhez hasonló esetek) alapján tehát arra következtetünk, hogy valójában egyik mérőhely sem tökéletesen megfelelő. Jelen vizsgálataink során a rendelkezésre álló csapadék adatok közül egyik sem mutat egyértelmű összefüggést a felsőtárkányi vízszintekkel. Úgy gondoljuk, hogy Eger, vagy Eger környéki napi csapadék adatokat lenne érdemes a későbbiek folyamán vizsgálni. Ha azonban egyéb csapadék adat hiányában a rendelkezésre állók közül mégis választani kell, akkor az eddig is használt jávorkúti adatok megfelelőbbek.

A *9. mellékleten* az Nv-17 esetében mért vízszint adatokat ábrázoltuk jávorkúti csapadékokkal együtt. Látható, hogy ebben az esetben vannak olyan csapadékok, melyek értéke nagyon kicsi, vagy épp olyan periódusban érkezik (például egy erőteljes csökkés időszakában), hogy a vízszint egyáltalán nem is reagál rájuk. Továbbá vannak olyan csapadékok, melyek időben

szorosán egymás után következnek, így hatásaik összeadódnak – csapadék csoportot alkotnak, ezeket a csapadékokat pedig célszerű lenne egyként kezelniük.

Mindezek alapján tehát két új fogalmat kell bevezetni:

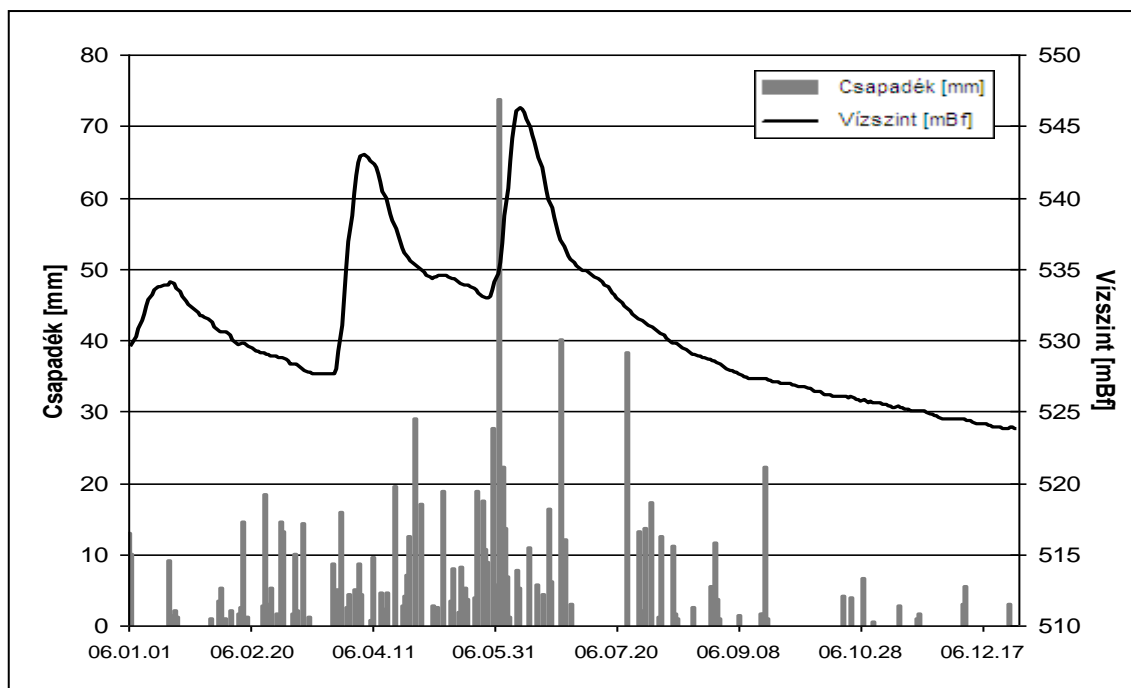
Csapadék csoport: a hatásukat tekintve egyként kezelhető napi csapadékok összege.

Hatékony csapadék, vagy csapadék csoport: azon csapadékok, amelyek a vízszintre valóban hatást gyakorolnak, a csökkenő vízszintet – mérőhelytől függően - legalább 5-10 % - kal visszafordítják

4.2 Vizsgálatok a 2006-os évre (az egyes mérőhelyek vízszintjeinek vizsgálata árvízi időszakban)

Az elemzéseink kiindulópontját a teljes 2006-os évben mért napi csapadék értékek jelentették, melynek függvényében vizsgáltuk a napi átlagos vízszintet.

A 2006-os év eseményeit tekintsük át röviden az Nv-17-hez tartozó 1. ábra alapján: a január közepén megfigyelhető magas vízállás okát ebben az esetben nem vizsgáljuk. A március végéig jelzett csapadékok hó formájában hullottak, ezért beszivárgásukra nem került sor, a vízszintet nem emelték, ezért a vízszint csökkenése figyelhető meg. Március utolsó napjaiban viszont felmelegedés történt, amelynek következtében a tél során felhalmozódott hó felolvadt és beszivárgott a repedéseken, víznyelőkön keresztül a karsztba. Ez a hirtelen, nagy mennyiségű víz okozta a vízszint gyors növekedését április elején. Az emelkedés április 9-ig tartott, majd az emelkedés ütemétől valamivel lassabban csökkenni kezdett a vízszint. A magas vízállás gyors csökkenését a hetenként több napon is hulló csapadék nem tudta látványosan befolyásolni. Viszont április végén mikor a csökkenés üteme lelassult és a csapadék mennyisége is jelentősebb volt – e két tényező együttes hatása – a vízszint kismértékű emelkedését eredményezte május első felében. Mivel a csapadék folyamatosan hullott a karsztnak nem volt lehetősége „leürülni” – a litoklázis rendszer telített volt – ezért amikor június 2-án 50 mm feletti (73,7 mm, Jávorkút) nagycsapadék hullott, évek óta nem tapasztalt vízszintnövekedés következett be. A tetőzés június 11-én volt, értéke 546,2 mBf. Ezután a vízszint folyamatos csökkenése következett, melyet csak ritkán zavart meg néhány kisebb csapadék csoport. Az ábrán jól látható, hogy a tetőzés kb. 10 nap eltéréssel követi a kiváltó csapadék csoportot. Ennek az az oka, hogy a beszivárgó víznek a felszín és a vízszint közötti kb. 250 m távolságot a karszton keresztül kell megtennie.



1. ábra: az Nv-17 2006-ban regisztrált vízszintjei a jávorkúti csapadékadatokkal ábrázolva

A Garadna- és a Szinva-forrás tetőzése (9.-10. melléklet) ezzel szemben sokkal hamarabb bekövetkezett, már a 73,7 mm-es nagycsapadék után 1 nappal a vízszint elérte maximumát mindkét esetben.

Az 1. ábrán és a 9.-12. mellékleteken látszik, hogy a különböző mérőhelyek szinte teljesen egy időben (1 napon belül) reagálnak a csapadéokra, a vízszint emelkedése a csapadék lehullása után – mind az öt mérőhely esetében - azonnal megkezdődik. Ez azonban nem minden vízszintemelkedés esetében igaz, csak kellően nagy csapadék, csapadék csoport mellett. Viszont a vízszint emelkedésének üteme, a tetőpont elérése minden mérőhelynél más-más idő után következik be.

▪ **Az Nv-17 árvízi időszakban**

Tekintsük meg az Nv-17-re vonatkozó 13. mellékletet, amely a 2006-os árvízi időszakot mutatja. A június 2-án hullott csapadékot a vízszint tetőzése 10 nappal később, június 12-én követte, vagyis a tetőzési idő - ebben a konkrét esetben - 10 nap. Azt is megfigyelhetjük, hogy a június 2-ai nagy csapadékot a következő napokban kisebb csapadékok követték, amelyek az apadási szakaszt lelassították.

Az Nv-17 mérőhely elemzésénél kellően pontos adatokat olvashatunk le az egy hónapos intervallumra, napi adatokból készült diagramok alapján, azoknál a mérőhelyeknél viszont, amelyek gyorsabban reagálnak a csapadéokra – akár már néhány óra alatt - így nem kapunk megfelelő pontosságú eredményeket, ezért részletesebb, órás adatokat kell használni és kisebb intervallumot vizsgálni.

▪ **A Garadna-forrás árvízi időszakban**

A Garadna-forrás esetében a napi adatok szerint a vízszint a csapadékot követő napon tetőzött. A pontos időpont meghatározása érdekében a rendelkezésre álló óránkénti csapadék adatokat és az órákra számított átlagos vízszintet használtuk. Ezen adatok alapján készült a

Garadna-forrás árvizéről a 14. melléklet. 2006. június 2-án 8-tól 23 óráig minden órában hullott csapadék. A tetőzés másnap hajnal 1-kor volt.

Jelen esetben tekintjük június 2-a 16 órát a csapadék időpontjának. Így a vízszint 9 órával később érte el a maximumát. Ez a mérőhely kedvezőtlen adottságú az árvízi védekezés szempontjából, mert nagy csapadék esetén mindössze néhány óra áll rendelkezésre az ivóvízkivétel leállítására, vagy egyéb intézkedések végrehajtására.

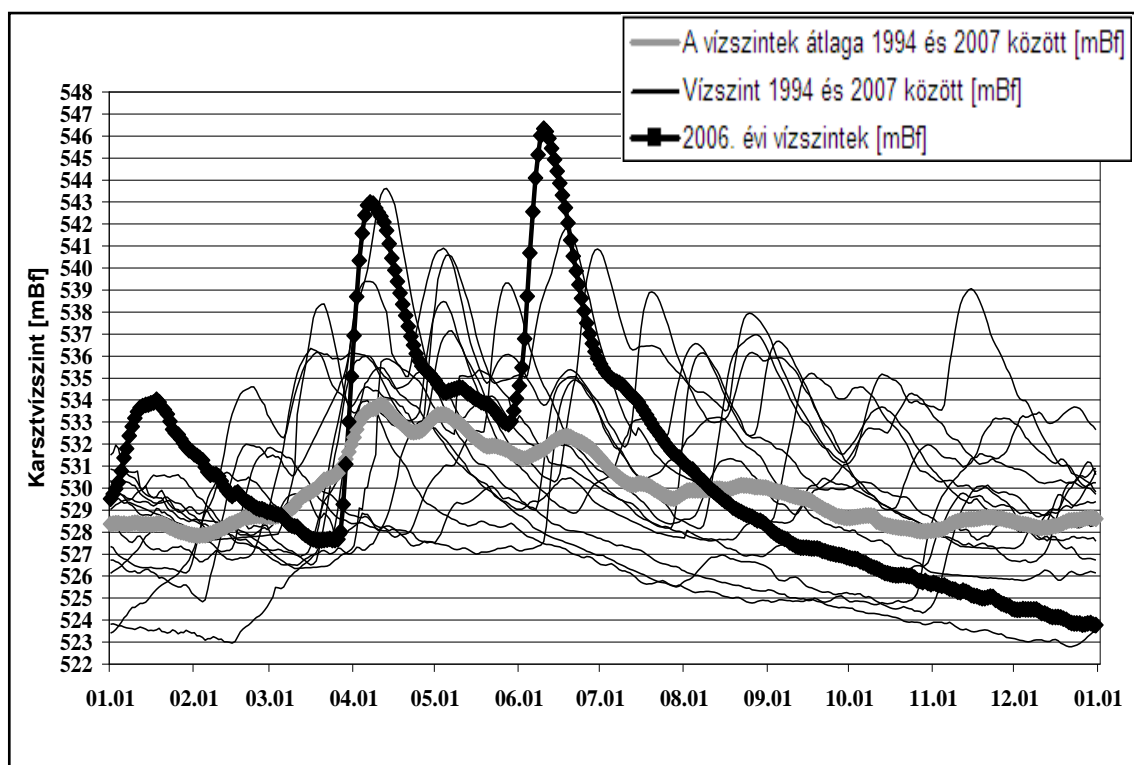
A Garadna-forráshoz hasonlóan viselkedik a Szinva-forrás is, utóbbinál a vízszint 1-2 nappal a csapadék után éri el tetőpontját.

Már e néhány diagram alapján is belátható, hogy a vízszintnövekedésének mértéke és a tetőzés ideje függ a csapadék mennyiségétől, a csapadék időpontjában az aktuális vízszint értékétől, valamint attól, hogy a karsztvízszint épp növekszik, vagy csökken. A későbbiekben ezeket a befolyásoló tényezőket is vizsgáljuk majd.

4.3 Hóolvadás és nagycsapadék összehasonlítása Nv-17 mérőhely esetében

Az Nv-17-es megfigyelőkút hidrológiai szempontból a legfontosabb az összes mérőhely közül, ezért a következő vizsgálatokat erre a mérőhelyre végeztük el.

Ha megfigyeljük a különböző évek karsztvízszintjeinek változását azonos napra rendezve (2. ábra). Láthatjuk, hogy a 2006-os év jelentős mértékben eltér mind az 1994 és 2007 között mért éves vízszintváltozási görbétől, mind az említett évek átlagától.



2. ábra: Azonos napra rendezett vízszintek 1994 és 2007 között

Ezen túl az is látható, hogy a különböző években minden egyes jelentős vízszintnövekedés, ill. vízszint csökkenés meredeksége közel azonos, e miatt a megfigyelés miatt jött létre a *15. melléklet*, amely segítségével összehasonlítottuk a hóolvadás okozta tetőzés utáni vízszint csökkenést és a csapadék miatti árvíz lefutását. Egyértelműen látszik, hogy mindkét esetben, a vízszint emelkedésekor és csökkenésekor is egyezik a görbék meredeksége, fel- ill. lefutása. Ebből arra következtettünk, hogy létezik maximális beszivárgási sebesség, ill. maximális vízszint növekedési sebesség, amely az Nv-17 esetén $1,67 \text{ m}/_{\text{nap}}$.

▪ Jelleggörbe

A mérőhelyeken a vízszint elsősorban a gyűjtőhelyre beszivárgó és az azt elhagyó víz térfogatáramától, illetve a különböző mélységekben a karsztosodottság fokától függ.

A karsztrendszerek bonyolultsága miatt, még ha a gyűjtőhelyre be- és az onnan kiáramló térfogatáramot pontosan ismernénk is, akkor sem tudnánk a vízszintet matematikai módszerekkel meghatározni a gyűjtőhely „geometriájának” pontos ismerete nélkül. Ezért empirikus összefüggést kell keresnünk. Ennek egyik módja lehet az általunk alkalmazott módszer: egy csapadék csoport hatását a vízszintre akkor tudjuk a legjobban érzékelni, ha ismerjük a vízszintcsökkenés lefutási görbéjét csapadékmentes időszakban. Segítségével a vizsgált csapadék vízszintnövelő hatását pontosabban, jobban érzékelhető módon jeleníthetjük meg. Ha ugyanis a csapadék nélküli időszak görbéjét kivonjuk a csapadékos időszak görbéjéből, akkor megkapjuk a csapadék hatását, a relatív vízszintváltozást.

Amennyiben egy diagramon ábrázoljuk a csapadékot és a relatív vízszintváltozást, könnyebben megfigyelhető, hogy mennyi idő múlva követi a csapadékot a vízszintváltozás, hogy milyen viszonyban van a csapadék időbeli eloszlása a vízszintváltozás időbeli lefolyásával, nagyságával.

A jelleggörbe tehát a karszt kiürülésének folyamata csapadékmentes időszakban, előállítására több év adatai alapján, a lehető legmagasabb és legalacsonyabb vízállások között kell, hogy történjen, az alábbiak szerint:

Az adott mérőhelyen rendelkezésre álló több évre visszamenő mérések között olyan időszakokat kerestünk, ahol a karsztvízszint zavartalanul csökkent, tehát nem esett csapadék, nem volt hóolvadás és semmilyen más beszivárgás. Ezen időszakok vízszintcsökkenési görbéit vízszint szerint illesztettük egymáshoz, így egy kvázi zavartalan, az adott mérőhelyre jellemző csökkenési görbét kaptunk eredményül.

Lénárt László egy 2006-os jelentés készítése során egy ehhez hasonló görbét már szintén felhasznált, amelyet az 1992-2006 között jelentkező jelentősebb csökkenések alapján állítottak elő. A vizsgálat célja akkor a csökkenés mértékének, ütemének előrejelzése volt, a kitermelhető karsztvíz készletek meghatározása érdekében. A vízszintek indulási értékét a tengerszint feletti magasságnak megfelelően rendezték. Ily módon mintegy „burkológörbét” kaptak, mely jellegében jól mutatja be a vízszintcsökkenés dinamikáját, ill. ingadozását.

A jelleggörbe értékpárok előállítására megtörtént az Nv-17 mérőhelyre. Csapadékmentes időszakokból, egymáshoz azonos vízszinten csatlakozó adatokból sikerült előállítani egy apró ingadozásokkal tűzdelt jelleggörbét, amelyet egy hatod fokú polinommal közelítettünk. Maga a görbe és a segítségével előállított relatív vízszintváltozás 16., ill. 17. mellékletként megtekinthetőek.

A 17. mellékleten a vékony vonallal jelölt görbe az eredeti vízszintváltozást, a szaggatott vonal a jelleggörbét mutatja. A kettő különbségként megkapjuk a vastag vonallal jelölt relatív vízszintváltozást, melynek segítségével megállapíthatjuk az egyes csapadékok,

csapadékcsoportok hatását a vízszintre. Az ábra szerint az egyes csapadékok hatásai kumulálódnak, egymás hatását erősítik. A csapadékok ezen jellemzőjét az aggteleki karsztvidékre Maucha László is megállapította egy 2007-es publikációjában.

Az ebben a fejezetben végzett vizsgálatok eredményei alapján tehát megállapítottuk, hogy létezik maximális beszivárgási, ill. vízszint növekedési sebesség, amely Nv-17 esetében 1,67 m/nap. További eredmény a csapadékok által nem befolyásolt, zavartalan vízszint csökkenésekből előállított jelleggörbe, amely a karsztvízszint csökkenésének ütemét mutatja csapadékmentes időszakban. Segítségével a csökkenés üteme előre kiszámítható (ez nagyon fontos a csapadékmentes időszakban kitermelhető karsztvíz készletek becslésekor), továbbá előállítható vele a relatív vízszintváltozási görbe is, amely segítségével a vízszintváltozások jobban észlelhetőek, a csapadék vízszint növelő hatása könnyebben kimutatható.

4.4 A Bükk csapadékcsoportjainak lehatárolása, a hatékony csapadék csoport definiálása, szerepük a karsztvízszint változásában

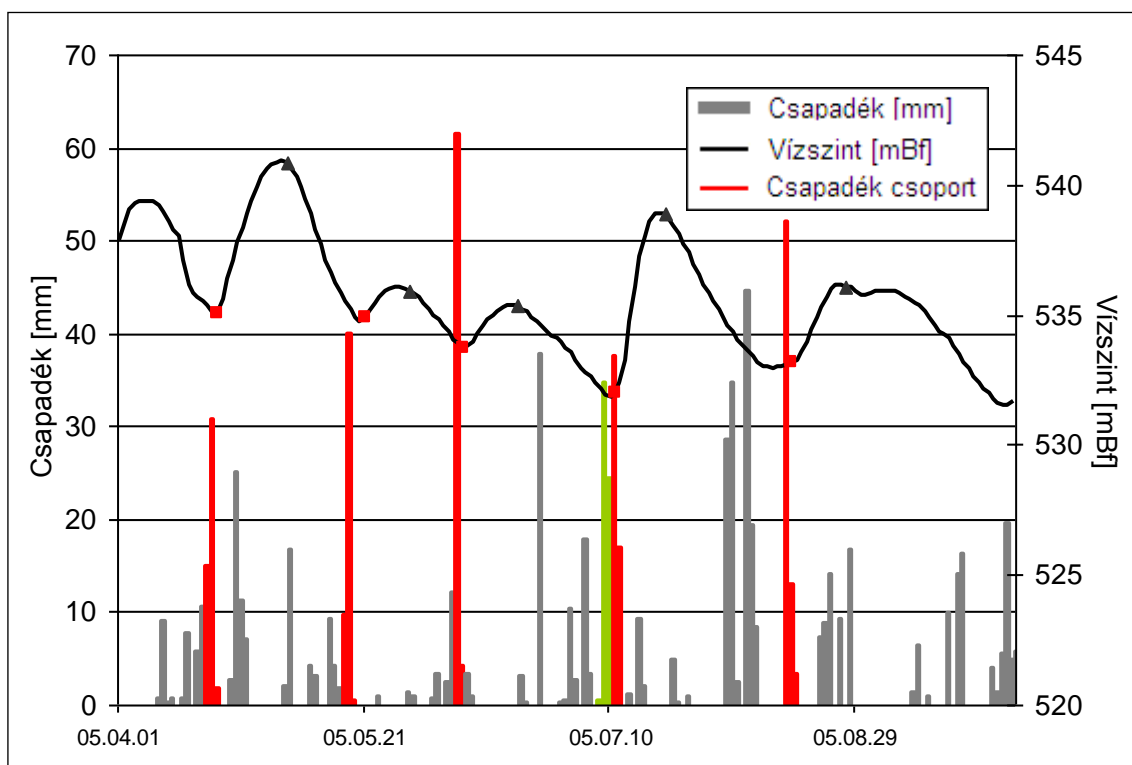
Ebben a vizsgálati részben az 3.1 – fejezetben már említett két új fogalom vizsgálatát szeretnénk elvégezni, amelyek a következők voltak:

1. *Csapadék csoport*: a hatásukat tekintve egyként kezelhető napi csapadékok összege.
2. *Hatékony csapadék, vagy csapadék csoport*: azon csapadékok, amelyek a vízszintre valóban hatást gyakorolnak, a csökkenő vízszintet legalább az összes mért vízszint legnagyobb és legkisebb értéke közötti különbség 5-10%-ával visszafordítják. A későbbiekben ennek nagyságát minden mérőhelyre meghatároztam.

Miután már mindegyik mérőhely rendelkezik egy neki megfelelő csapadékmérő állomással, a következő feladat a hatékony csapadék csoport nagyságának meghatározása, ami hatásukat tekintve az egyként kezelhető napi csapadékok összege, melyek valóban megváltoztatják a vízszint görbe menetét, ill. a csökkenő vízszintet legalább 5-10%-kal visszafordítják. A különböző mérőhelyek esetén az egy csoportba bevehető csapadékok száma attól függ, hogy hány nap az az idő, ami a csapadék hullásától a vízszint legmeredekebb növekedéséig eltelik. Amennyiben ez az idő hosszabb, úgy több nap csapadékát vehetjük figyelembe, mint akkor, ha ez az idő csupán 1 vagy 2 nap.

Azt is mindenképpen figyelembe kell venni, hogy jelenleg azt vizsgáljuk, hogy mekkora az a csapadék, ami a csökkenő vízszintet visszafordítja. Ez az érték pedig nem minden esetben egyenlő a csapadék csoport nagyságával. Többször előfordul, hogy a vízszint már növekszik a csapadék csoport első tagjának hullása után, viszont a csoport további, hatásuk szerint egyként kezelhető tagokat foglal magába. Az ilyen esetekben a vízszint visszafordulását előidéző és a vízszint tetőzését előidéző csapadék csoportok nagysága nem egyenlő.

A 3. ábrán a 2005-ös év látható Nv-17 esetében, megfigyelhető, hogy a pirossal jelzett csapadékok egy csapadék csoportnak tekinthetőek, mivel hatásukat közösen fejtik ki. Látható, hogy vannak csapadék csoportok, amelyek 1, 3, vagy akár 5 tagból állnak, ez az adott szituációtól függ. Az ábrán láthatjuk azt is, amiről az előbbiekben már volt szó, hogy a 07.10-i vízszint visszafordításhoz már elég volt az abban az időszakban hullott csapadék csoport első két tagja (az ábrán zölddel jelölve). A tetőzési idő viszont már nem ehhez a két csapadékhoz, hanem a teljes csapadék csoporthoz tartozik (a zöld és a piros oszlopok együtt).



3. ábra: Nv-17 mérőhely csapadék csoportjai és a tetőzés ideje a 2005 nyári hidrológiai félévben (négyzettel jelölve a vízszint visszafordulásának időpontja, háromszöggel jelölve a tetőzés időpontja)

▪ **Hatékony csapadékcsoportok az Nv-17 vízszint figyelő kút esetében**

Kezdetben azt vizsgáltuk, hogy mekkora az a csapadék mennyiség, amely képes a csökkenő vízszintet visszafordítani. Ez az érték természetesen sok mindentől függ például, hogy mennyi ideje és milyen mértékben csökken a vízszint. 1996 és 2006 között az Nv-17 esetében vizsgáltunk olyan eseteket, amikor a vízszint egyértelműen növekedni kezdett egy adott csökkenő időszak után. A visszafordítás pedig az Nv-17 mérőhelyre azt jelenti, hogy az adott 10 évben mért legnagyobb és legkisebb vízszintek közötti különbség legalább 10%-ával nő a vízszint. A vizsgált adatok a következők voltak: az időpont, a visszafordulást előidéző csapadék csoport tagjainak nagysága egyenként, valamint ezek összege (a csapadék csoport nagysága), továbbá a tendencia.

A tendencia a vízszint csökkenés átlagos mértékét fejezi ki $\frac{m}{\text{nap}}$ -ban, 6 napra vonatkoztatva, vagyis azt hogy a vízszint görbe mekkora meredekséggel csökken. Kiszámolása a következőképpen történik: a vízszint visszafordulása előtti 6 napot vizsgáljuk, tehát a visszafordulás a 6. napra esik. Az első 3 nap vízszintértékeit összeadjuk és elosztjuk hárommal, ugyanezt megteszük a második 3 nap vízszintértékeivel is, majd a két értéket kivonjuk egymásból és elosztjuk hárommal. Mindez képlettel kifejezve:

$$Tendencia = \frac{\frac{s_1 + s_2 + s_3}{3} - \frac{s_4 + s_5 + s_6}{3}}{3}, \text{ ahol } s - \text{ a csapadék hullásának napja.}$$

Azért 6 napot veszek figyelembe, mert a vízszintváltozás időben elnyújtva, hosszabb idő elteltével követi a csapadékokat. Ezt támasztja alá a későbbiekben vizsgált, akár 16 napos tetőzési idő is, amely a csapadék hullásának idejétől a vízszint tetőzéséig eltelt idő.

A csapadék összegek átlaga 67,8 mm, viszont van néhány igen alacsony és néhány extrém érték is, 12-190 mm-es csapadékok, amik eltorzíthatják az eredményt, ezért helyesebb, ha az α -levágott átlagot képezzük, vagyis a legkisebb és a legnagyobb 10%-át az adatoknak nem vesszük figyelembe. Az így kapott átlagérték 65,1 mm. Tehát megállapíthatjuk, hogy az Nv-17 esetében a csökkenő vízszint visszafordításához átlagosan 65 mm csapadék szükséges, továbbá a csapadék csoportokat általában 1-4 napi csapadék alkotja, de előfordul több tagból álló csoport is.

▪ **Hatékony csapadékcsoporthok a Garadna-forrás esetében**

Az előző, Nv-17-re vonatkozó vizsgálat a Garadna esetében is elkészült, az ebből levonható következtetések, pedig a következők: a csapadék csoportok átlaga 38,6 mm, az α -levágott átlag 36,95 mm. Ez azt jelenti, hogy a Garadna-forrás esetében a csökkenő vízszint visszafordításához átlagosan 37 mm csapadék szükséges.

▪ **Hatékony csapadékcsoporthok a Szinva-forrás esetében**

A Szinva-forrás esetében a csapadék összegek átlaga 38,6 mm, az α -levágott átlag: 36,99 mm. Tehát megállapíthatjuk, hogy a Szinva-forrás esetében a csökkenő vízszint visszafordításához átlagosan 37 mm csapadék szükséges.

▪ **Hatékony csapadékcsoporthok Tebepusztá - Tbp-1 megfigyelő kút esetében**

A tebepusztai megfigyelő kút esetében szintén hosszú időszakot vizsgáltunk, 1993-2007-ig a nyári hidrológiai féléveket. A levonható következtetések alapján elmondható, hogy a csapadék csoportok átlaga 59,7 mm, az α -levágott átlag értéke 54,6 mm. Tehát a csökkenő vízszint legalább 10 %-os visszafordításához átlagosan egy 55 mm nagyságú csapadék csoport szükséges. Mindemelllett a 10-10 %-nak megfelelő adat „levágása” után a legkisebb csapadék csoport nagysága 23,25 mm, a legnagyobbé 93 mm volt.

▪ **Hatékony csapadékcsoporthok Felsőtárkány - Sz-5 megfigyelő kút esetében**

Az elemzések az 1993 és 2007 közötti időszakra vonatkoznak. Az eredmények szerint a csökkenő vízszint visszafordításához szükséges csapadék csoport átlagos nagysága: 27,6 mm, az α -levágott átlag értéke: 24 mm. Vagyis a csökkenő vízszint legalább 5%-os visszafordításához átlagosan 28 mm-es csapadék csoport szükséges.

▪ **Az 5 mérőhely együtt ábrázolva**

A hatékony csapadék csoportok meghatározása az előbbi fejezetekben megtörtént, ha ezen értékeket az *1. táblázatban* együtt ábrázoljuk, érdekes megfigyeléseket tehetünk: a táblázatban a hatékony csapadék csoportok csökkenésével csökken a mérőhelyek peremmagasságának Balti-tenger feletti magassága, valamint a Garadna-forrást kivéve szintén csökken a vízszintek átlag mélysége is.

A hatékony csapadék csoportok meghatározása egy korábban megfogalmazott definíció pontosítását eredményezte, amely szerint: „Hatékony csapadék csoporton azon napi csapadékok összegét értjük, melyek több napon keresztül - esetleg 1-2 nap megszakítással - meghatározóak a karsztvízszintek alakulásában, és összegük megközelíti, vagy meghaladja az 50 mm-t.”. Az új, pontosabb meghatározás pedig így hangzik: hatékony csapadék csoporton azon napi csapadékok összegét értjük, melyek hatásukat tekintve egyként kezelhetők, a csökkenő vízszintet – mérőhelytől függően – a sokéves vízszintingadozás legalább 5-10%-ával visszafordítják. Az általunk vizsgált mérőhelyek esetében az 1993 és 2006 között előfordult hatékony csapadék csoportok, ezen definíció alapján meghatározott értékeinek átlaga a *1. táblázatban* megtekinthetők.

1. táblázat: A vizsgált mérőhelyek esetében megállapított hatékony csapadék csoportok

Mérőhely	Átlag [mm]	α -levágott átlag [mm]	Átlagos vízszint a felszínhez képest [m]
Nv-17 (779,90 mBf)	68	65	-249,66
Tebepuszta (498,97 mBf)	60	55	-163,38
Garadna-forrás (497 mBf)	39	37	-0,98
Szinva-forrás (346,2 mBf)	39	37	-5,72
Felsőtárkány (241 mBf)	28	24	-4,77

Az *1. táblázatban* tehát láthatjuk, hogy a hatékony csapadék csoportok nagyságának csökkenésével csökken a mérőhelyek Balti-tenger feletti magassága is. Mindezek mellett szintén e-szerint csökken a mérőhelyek átlagos vízszintje a felszínhez képest (a Garadna-forrás kivételével).

4.5 Adott hatékony csapadékcsoport ismeretében a várható vízszintnövekedés mértékének és a tetőzés időpontjának meghatározása

Mindezek után a Garadna-forrásra meghatároztuk, hogy 30 mm fölötti nagycsapadék esetén a különböző mértékű vízszintváltozásoknak mekkora a valószínűsége. A *18. melléklet*ről leolvasható, hogy 30 mm-nél nagyobb csapadék esetén mekkora valószínűséggel lesz nagyobb a vízszintnövekedés, mint az x tengely értékei. Például 30 mm-nél nagyobb csapadék esetén 10 % annak a valószínűsége, hogy a vízszintnövekedés nagyobb lesz, mint 0,2 m. A valószínűség számítás módszere alkalmazható a tetőzési idő esetében is, erre egy példa a *19. melléklet*en látható, amelyen a Szinva-forrás adatai szerepelnek. Mivel a mért adatok napokban vannak megadva, és a követési idő átlagosan egy nap, a leolvasásnál érdemes az eredeti görbére illesztett trendvonalat figyelembe venni. Látható, hogy a legnagyobb valószínűség az 1 napos átlagos követési időhöz tartozik, az ettől nagyobb

követési idők valószínűsége kisebb, mint 50-60%. A tetőzési idők pontos meghatározásával a továbbiakban még foglalkozom.

▪ **A tetőzés ideje Nv-17 esetében**

A tetőzés idejét a 3. ábrán szürke háromszögekkel jelölt pontok mutatják, ezek a görbe csúcspontjai, „tetőzési pontjai”. Maga a tetőzési idő pedig nem más, mint a csökkenő vízszint legalább 5-10%-os visszafordulásától a vízszint helyi maximumának eléréséig eltelt idő. Az hogy az adott mérőhely esetében a vízszint visszafordulásának mérték 5, 8 vagy 10% attól függ, hogy melyik értékkel lesz elegendő vizsgálható eset. Kezdetben minden mérőhelyet igyekeztünk 10%-os visszafordulással vizsgálni, de ahol ez az érték túl magasnak bizonyult, ott a szükséges mértékben lejjebb vittük a vizsgálati határt. A tetőzési idő természetesen helyenként, ill. csapadékonként más és más.

Az Nv-17-re vonatkozó adatok alapján megfigyelhető, hogy minél nagyobb egy csapadék csoport annál inkább elhúzódik a tetőzés időpontja, ami ebben az 1996 és 2006 közötti időszakban 100 mm alatti csapadékcsoport esetében sosem haladta meg a 13 napot, 100 mm fölött pedig maximum 16 nap volt.

A tetőzés ideje a csapadék hullásától számítva 3 és 16 nap között változik, átlagosan 10 nap. Általánosan elmondható, hogy nagyobb csapadékok esetében, vagy ha a kiindulási vízszint már eleve magasabb, akkor hosszabb idő telik el a tetőzésig. Ennek oka pedig egy korábban már megfogalmazott megállapítás, amely szerint létezik maximális beszivárgási sebesség, ill. maximális vízszint növekedési sebesség, amely az Nv-17 esetén $1,67 \text{ m/nap}$.

A tetőzési idők és a hozzájuk tartozó jávorkúti csapadék adatok Nv-17-re vonatkozóan a 20. mellékleten oszlopdiagram formájában láthatóak. A 21. mellékleten szintén a tetőzési idők és a csapadék csoportok nagysága szerepel, de ez esetben pontokként ábrázolva valamint egy logaritmikus trendvonalat felvéve. A 70 és 120 mm-es csapadék, valamint a 10 és 12 napos követési idők tartományában az adatok sűrűsödése figyelhető meg.

▪ **A tetőzés ideje Garadna-forrás esetében**

A Garadna-forrásra vonatkozó vizsgálataink szerint a legalább a sok éves vízszintingadozás 8%-ával visszafordult vízszint tetőzése a csapadék hullást általában 1-3 nap múlva követi, átlagosan és legtöbbször 2 nap. Ha a néhány kivételtől eltekintünk, itt is láthatjuk a kapcsolatot a csapadék nagysága és a vízszint tetőzési ideje között, mely a 22. melléklet segítségével még szembevetőbbé válik a lineáris trendvonal felvétele után. Nagyobb csapadékok esetében általában hosszabb a tetőzés ideje (3 nap).

Más nézőpontból közelítve viszont, ha nem mindenképpen a csapadék csoport nagysága és a követési idő között szeretnénk összefüggést találni, akkor megadhatjuk azt is, hogy mekkora az 1, 2, ill. 3 napos követési idő valószínűsége. A fenti csapadék csoportokból kiindulva kaphatjuk meg – az előző fejezetben már tárgyalt – valószínűségi ábrát, (23. melléklet) amelyről leolvasható, hogy annak a valószínűsége, hogy a követési idő legalább 1 nap, 100%; annak a valószínűsége, hogy a követési idő a Garadna-forrás esetében legalább 2 nap 61%; és annak a valószínűsége, hogy a követési idő minimum 3 nap 23 %.

▪ **A tetőzés ideje Szinva-forrás esetében**

A tetőzés ideje legalább 5%-os vízszint visszafordulás esetén a csapadék hullásától számítva 1 és 5 nap között változik, átlagosan 2 nap. Ebben az esetben a tetőzési idő és a csapadékok között nem állapítható meg egyértelmű kapcsolat, ezért fajlagos (1 napra vonatkoztatott) csapadékokat és ennek megfelelően csökkentett tetőzési időket ábrázoltunk. Az eredmények szerint kis és közepes csapadékok esetén (50 mm alatt) az 1-2 napos tetőzési idő fordul elő leggyakrabban, ritkán 3 nap is tapasztalható. Az 50 mm feletti fajlagos csapadékok esetén 1 napos tetőzési idő figyelhető meg. Általánosan elmondható, hogy kis csökkenő tendencia és kisebb, valamint közepes fajlagos csapadékok esetében hosszabb idő telik el a tetőzésig, 1-3 nap.

▪ **A tetőzés ideje Tebepusztá – Tbp-1 esetében**

Azokban az esetekben, amikor a vízszint legalább 10%-kal visszafordul - a tetőzési idő 4 és 9 nap között változik, átlagosan és legtöbbször a vizsgált esetekben 6 nap.

▪ **A tetőzés ideje Felsőtárkány - Sz-5 megfigyelőkút esetében**

A tetőzési idő a vizsgálatok szerint 1 és 4 nap között változik, de 4 nap a vizsgált intervallumban csak egyszer fordult elő. Átlagosan és legtöbbször a vizsgált időszakban a tetőzési idő 2 nap volt.

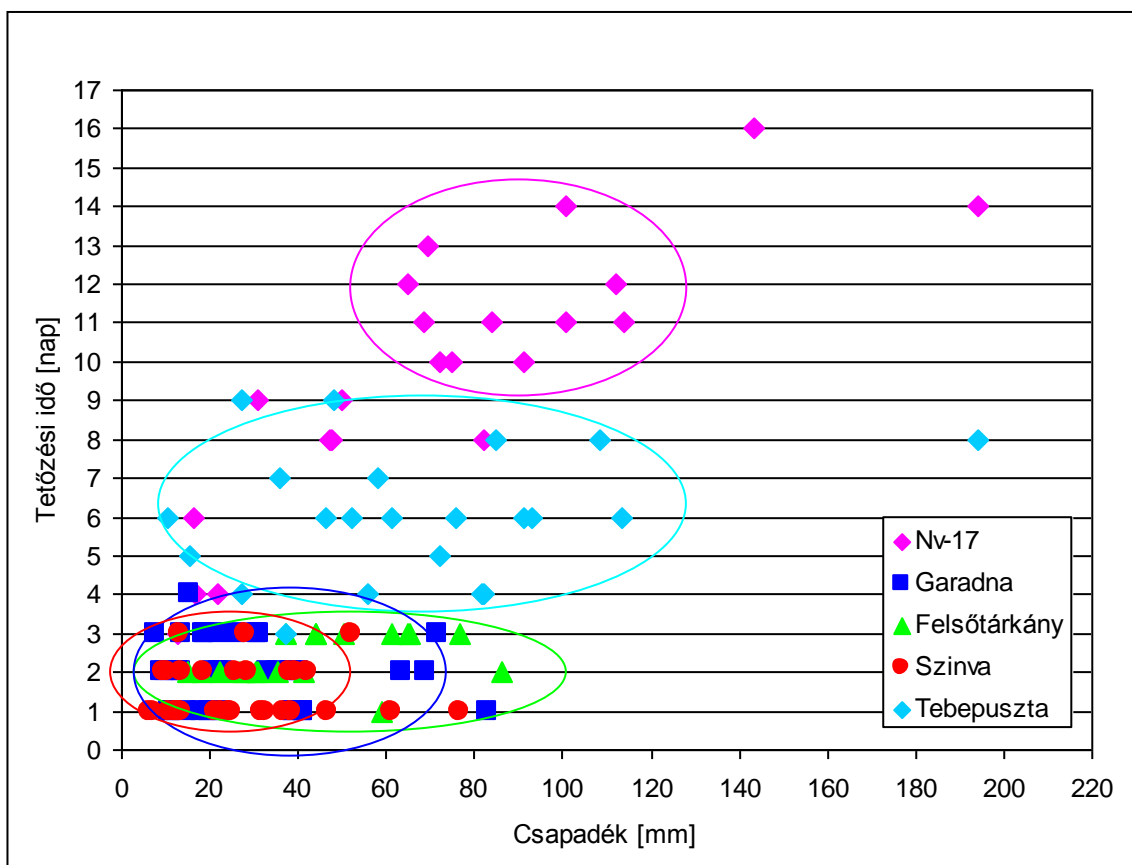
▪ **Az 5 mérőhely együtt ábrázolva**

A tetőzési időket a különböző mérőhelyek esetén érdemes egy közös diagramban ábrázolni. A 4. ábrán láthatjuk, hogy az egyes mérőhelyekhez tartozó értékek itt is csoportokat alkotnak, csapadék nagyság és tetőzési idő szerint tömörülnek.

Az Nv-17-re vonatkozó adatpontok a nagyobb csapadékok és hosszabb tetőzési idők, a tebepusztai mérőhelyre vonatkozó adatok az Nv-17-től kisebb, de relatíve szintén a nagyobb csapadékok és hosszabb követési idők tartományában helyezkednek el.

Ezzel szemben a Garadna-forrás és a felsőtárkányi mérőhely adatpontjai a 90 mm alatti csapadékok és a 4 nap alatti tetőzési idők tartományában helyezkedik el, míg a Szinva-forrás adatai a 80 mm alatti csapadékok és a 3 nap alatti tetőzési idők tartományába tömörülnek. Az egyes mérőhelyek tehát ismét Balti-tenger feletti magasságuk szerint csoportosulnak.

Azoknál a mérőhelyeknél, ahol a tetőzési idő csupán néhány nap, a további vizsgálatok során érdemes óránkénti csapadék adatokat használni, mivel az így meghatározott tetőzési idők valószínűleg pontosabbak lesznek.



4. ábra: A vizsgált mérőhelyek esetében megállapított tetőzési idők

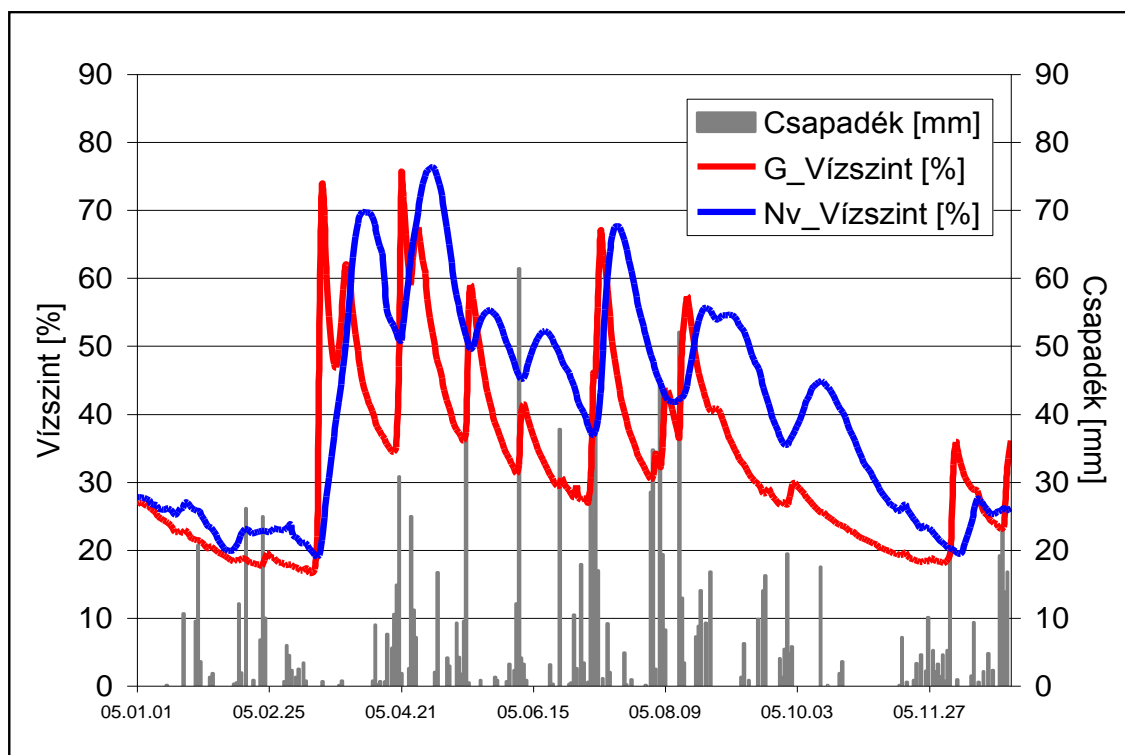
4.6 A különböző helyeken mért vízszintek közötti kapcsolat kimutatása korrelációszámítással

Az egyes mérőhelyek között megfigyelhető kapcsolat azért fontos, mert az adatsorok korrelációi alapján adathiányokat pótolhatunk keresztregresszióval. A módszer lényege, hogy megállapítjuk a két adatsor közötti függvénykapcsolatot. Ez alapján, ha az egyik mérőhelyen vannak adataink, a másikon viszont hiány van, akkor ezt a függvény segítségével számíthatjuk, pótolhatjuk. További lehetőségeket biztosít az adathiányok pótlására az autoregresszió, mikor a hiányt a mérőhely saját korábbi, vagy későbbi adatait is felhasználva pótoljuk. A mérőhelyek egymás közötti kapcsolatának kimutatása érdekében korrelációszámítást végeztünk, amely során minden mérőhelyet minden mérőhellyel összehasonlítottunk 2001 és 2006 között. A mérőhelyek közötti korreláció értékek a 2. táblázatban megtekinthetők.

A különböző görbéket összevetve a kapcsolaton túl megállapítható, hogy a vízszint reagálása a csapadékra 1 napon belül minden mérőhely esetében megjelenik - tetőzési időtől függetlenül -, viszont az egyes mérőhelyeken más-más ideig tart a vízszint növekedése. Példaként tekintsük az Nv-17 mérőhelyet és a Garadna-forrást az 5. ábrán, a jobb összehasonlíthatóság érdekében a vízszintek százalékos formában vannak. A vízszintnövekedés mindkét helyen azonnal megindul, viszont eltérő ideig tart: Nv-17 esetében átlagosan 12 nap múlva, Garadna-forrás esetében pedig 1 nap múlva következik be a tetőzés.

2. Táblázat: A mérőhelyek közötti korreláció értékek

Mérőhely 1.	Mérőhely 2.	A korreláció értéke
Garadna-forrás	Nv-17	0,85
Garadna-forrás	Szinva-forrás	0,81
Garadna-forrás	Tebepusza	0,36
Garadna-forrás	Felsőtárkány	0,42
Nv-17	Felsőtárkány	0,45
Nv-17	Tebepusza	0,68
Szinva-forrás	Nv-17	0,67
Szinva-forrás	Felsőtárkány	0,34
Szinva-forrás	Tebepusza	0,37
Tebepusza	Felsőtárkány	0,91



5. ábra: A Garadna-forrás és az Nv-17 mérőhely vízszint változásai százalékos formában (2005)

5. Az adatsorokból történő előrejelzés, adatkiegészítés

Az alábbi fejezetekben olvasható anyagok Németh Ágnes eddigi munkái alapján kerültek összeállításra összefoglaló tájékoztatóként. További részletek olvashatók az irodalomjegyzékben felsorolt kéziratokban, publikációkban.

5.1 Az adatpótlás és előrejelzés meghatározása

Adatpótláson az idősorok adatai közt fennálló hiányok pótlását értjük, előrejelzésen pedig a meglévő adatok jövőbeli alakulását próbáljuk megjósolni. A kettő közti legnyilvánvalóbb különbség az, hogy amíg adatpótlásnál egy folyamatos adatsorban keletkezett hiányt kell kiegészíteni (kezdeti - és véginformációnk is van), addig előrejelzésnél semmilyen információnk nincs a adatok további, jövőbeli alakulásáról. A két fogalmat azonban nem tudjuk teljesen külön választani egymástól, hiszen ha egy adatsorban keletkezett hiányt csak a meglévő, már korábbi (hiány előtti) adatok felhasználásával, a hiány utáni adatok nélkül pótoljuk, azt tekinthetjük úgyis, mintha egy folyamatos adatsor előrejelzését határoznánk meg.

5.2 Szakirodalmi áttekintés

Az idősorok előrejelzése, és hiányzó adatainak pótlása igen fontos feladatkör az élet bármely területén. Ezt támasztja alá, hogy igen szerteágazó területeken és sokrétű módon, az egyszerű megállapításoktól az egészen részletes matematikai elemzésekig található alkalmazása. Vegyük például az időjárás és közlekedési előrejelzéseket, a piaci termékek kínálatának és a pénzügyi piacok jövőbeni állapotainak jóslásait. A jövőbeli változások és fejlődések becslése igen meghatározó döntéseink meghozatalában, ezért is van folyamatos igény több precíz előrejelzési, adatpótlási módszerre.

Bár az idősorok analizésének problémája nagyobb múlttal rendelkezik, a terület „modern” irányzata 1927-től származtatható. Ekkor jelent meg Yule egy tanulmánya, melyben egy **autoregresszív modellt** alkalmazott a napfolttevékenység éves aktivitásának becslésére. Ez a modell a sorozat elemeit az azt megelőző megfigyelések súlyozott átlagaként becsülte, a kiugró viselkedést pedig külső beavatkozásokkal szimulálta. Az ezt követő 40-50 évben az uralkodó irányzatot hasonló, (zajokkal is kalkuláló) lineáris modellek képviselték. Az egyik ilyen csoport az úgynevezett **mozgó átlagoló modellek**. Itt felteszik, hogy adott egy külső, input sorozat, melynek segítségével képeznek egy másik sorozatot, a modell lineáris, és a rendszer rákövetkező elemét az aktuális, valamint néhány azt megelőző szabja meg. Ezt N-rendű mozgó átlagnak, vagy **FIR filternek** nevezik (Finite Impulse Response, Véges impulzusú válasz).

A modell dinamikussá tehető, ha visszacsatolást hozunk létre a sorozat outputja és inputja között, azaz nem külső értékekből képzik az eredményt, hanem az azt megelőző elemekből. Ez a sorozat M-rendű autoregresszív, vagy **IIR modell** (Infinite Impulse Response, Végtelen impulzusú válasz). Ez a modell már könnyedén alkalmazható egy idősor előrejelzéséhez, ha a paramétereket úgy állítják be, hogy a lehető legjobban illeszkedjen az output az ismert értékekre.

Az előző két módszer összekapcsolásával kapható meg az úgynevezett autoregresszív mozgó átlagolás, melyben az értékek számítása 1-1 autoregresszív és mozgó átlagolású tag összegeként történik. Yule munkájától kezdődően az **ARMA** (AutoRegressive Moving Average) modellek az egyik legnépszerűbb módszernek számítanak az idősorok előrejelzése terén.

Ezen modell-családnak nemlineáris elemeit is alkalmazták, ilyenek például a **Threshold Autoregressive Model**, melyek akkor lehetnek hatékonyak, ha rendelkezésre áll valamilyen eljárás, ami feltárja az adat egyes tulajdonságait a modell konstruálásához.

A fentebb ismertetett modellek az előrejelzési probléma valamilyen pontosságú közelítését adják. A lineáris **regressziók** elsődleges előnyei a jó átláthatóságukban, és könnyű alkalmazhatóságukban rejlik. A későbbiekben ez a módszer kerül bemutatásra. Ezek nemlineáris módosításai vagy nem szolgáltatnak azoknál döntően jobb eredményt, vagy (pl. egy magas fokszámú polinomiális regresszió esetén) a lehetséges közelítések nagy száma miatt a legjobb megoldás keresése válik nehézkessé.

Az utóbbi 15-20 év fejlődése a számítógépek teljesítménye terén lehetővé tette, hogy olyan adaptív, nem lineáris algoritmusokat alkalmazzanak a feladat közelítő megoldására, amelyek korábban elképzelhetetlenek voltak. Ezek az ismertetett módszereknél megbízhatóbb és pontosabb eredménnyel kecsegtetnek.

Hazánkban Füst A. folytatott tanulmányokat adatsorok előrejelzésének céljából. Munkájában karsztvízszint adatokat használ a négydimenziós modell-alkotás lépéseinek meghatározására, és leírja a térben és időben krigeállással történő becslés folyamatát, és az előrejelzési lehetőségeket.

James H. és Gary K. az előrejelzésen túlmenően próbált megoldást találni az idősorok adathiányának pótlására. Módszerük három részből áll. Az első fázisban egy többszörös, próbálkozással felépítendő modell felépítése a cél, amely megengedi az egyenletes időtrendek alkalmazását, átválthatóságot a keresztmetszeti értékek között, és tartalmazza az idő és tér közötti korrelációkat. A második részben egy olyan modellt kell felépítünk az adathiányokból, amely lehetővé teszi más, kiváló tanulmányok módszereinek felhasználását a hiányzó értékek pótlására. Harmadszor pedig - mivel a meglévő algoritmusok nem képesek annyi változót kezelni, mint amennyire szükségünk van - egy új algoritmusra van szükség, amely tartalmazza a próbálkozáshoz szükséges feltételek tartományát. Ehhez fejlesztettek ki egy nyílt forráskódú szoftvert.

A kentucky-i vízkutató intézet, és egyetem kutatói az idősorokon található ún. zaj csökkentésével próbálták megfogni az adatpótláskor illetve előrejelzéskor felmerülő problémákat. Véleményük szerint a zaj érzékelése és csökkentése függ az előrejelzés eszköztől. Tanulmányukban néhány felmerülő problémáról írnak, és kérdéseket próbálnak megválaszolni a zajcsökkentés megbízhatóságának vonatkozásában, illetve ennek felhasználhatóságában a kaotikus idősorok analízisére a hidrológiában.

Nem teljes adatsorok analízisére és hiányainak pótlására fejlesztették ki az **Amelia II.** programot, melynek segítségével a felhasználó megfelelő becsléseket kap a nem teljes adatsorához, megvizsgálja, hogy milyen megfigyelések szükségesek az adatsor pótlásához, illetve megelőzi a hiányzó adatok miatti félreértelmezéseket és nem hatékony munkát, amely a csak részleges megfigyelésekből dolgozó elemzések eredménye.

Az általunk is felhasználásra kerülő mesterséges neuronhálózat, az ANN modellje két részből tevődik össze. Az első az egymást követő idősorok hiányzó adatainak becslése. A második pedig a zajkeltő független változók és dimenziók segítségével felépített hidrológiai modell, melyben a be- és kimeneti csomópontok számának meghatározása is megtörténik.

Összegzésként elmondható, hogy mivel az események jövőbeni alakulásának ismerete alapvető fontosságú lehet a jelenben hozott döntések, cselekedetek szempontjából, ezért az életben mind jobb és jobb előrejelző, és ezzel együtt adatpótló technikákra van szükség.

5.3 Az adatpótlás lehetőségei

Az 1992-ben elkezdődött mérések során műszerhibákból, mérési hibákból adathiányok álltak elő, melyek pótlására még nem született megnyugtató megoldás. A karsztvízszint adatok korrekciója viszont több okból is meghatározó: teljes adatsorból ugyanis előre jelezhető a nem kívánatos csapadék okozta vízszintváltozások (aszály és árvíz), és ezzel együtt a megfelelő óvintézkedések is előre megtervezhetőek. Az összefüggések ismeretében hosszú távon kevesebb mérés is elegendő, és az előforduló mérési hibák is könnyebben kiküszöbölhetőek.

A karsztvízszint - adathiányok pótlására két lehetőséget tételeztünk fel: abban az esetben, ha több, hasonló lefutású görbe szerepel egymás mellett, ezek meglévő értékeihez viszonyítva az adathiányok pótlása lehetséges; ez az egyszerűbben elvégezhető, melynek alapját a regressziós vizsgálat (lineáris korreláció) adja. Hosszabb időszakokban azonban már összetettebb a feladat. Mind a geológiai mind a hidrológiai, éghajlati tényezők máshogy jelentkeznek a különböző mérési helyeken, melyek csak megnehezítik az esetleges korrelációk lehetőségét.

A Szegedi Tudományegyetem Számítógépes Algoritmusok és Mesterséges Intelligencia Tanszékén évek óta folynak kutatások idősorok elemzésének, pótlásának és előrejelzésének új matematikai, mesterséges intelligencia alapú megoldásaira. A háromfős kutatócsoport részére eljuttattuk a bükki karvízszint-megfigyelőrendszer adatait, akik a módszer fejlesztése és tesztelése érdekében elvégezték a futtatásokat, aminek hidrogeológiai - karsztvízföldtani kiértékelését mi végeztük el.

Az eddigi kutatási eredmények alapján a mérési rendszer legfontosabb tagja az Nagyvisnyóv-17 figyelőkút s ebből határozták meg a Bükkre általánosítható összefüggéseket.

A vízszint adatsorok korrelációs vizsgálatát először lineáris, majd egyéb, magasabb fokú regresszióval kezdték. Az adatsorok naponkénti lépcsőkben történő eltolásával megkeresték a legszorosabb kapcsolatot, és az így kapott eltolási időtartam megadta a két mérőhely közti késleltetési időt. Legegyszerűbben a lineáris korreláció értelmezhető, ezért a továbbiakban ez került felhasználásra: két észlelőhely korábbi kapcsolatának súlyozott átlagából létrehoztak egy korrigált adatsort.

A fentiek alapján tehát kétféle lehetőséget tételeztünk fel a karsztvízszint-adatok hiányának pótlására. Az első lehetőség az egyszerűbben kivitelezhető, lényegében hasonló a korábbi módszerhez: amennyiben az adatok egy emelkedési, vagy csökkenési szakasz részeként, nem túl nagy időintervallumban hiányoznak, azok pótlása interpolációval, vagy regressziós vizsgálattal lehetséges. Mi a regressziós módszert használjuk.

A másik lehetőség már némileg összetettebb. A következő vizsgálatokat végeztük:

- Először a vízszintadatok hatékony csapadékcsoportokkal való kapcsolatára próbáltunk összefüggéseket keresni. Megnéztük, hogy a különböző megfigyelőhelyek a hatékony csapadékcsoportra való reagálása hány nap után következik be, majd azt is, hogy ugyanezen csapadékcsoport hatására mikor érik el a vízszintek a maximum értékeiket.

Ezekből az adatpárokból meghatároztuk a görbék emelkedési szögét (iránytangensét) Megjegyeznénk, hogy a téli hónapokban a reagálási idő, és ebből kifolyólag a maximális vízszint eléréséhez szükséges idő több mint 10 nap (előfordult 45 nap is), ezt a késői, hirtelen felmelegedést követő olvadás okozhatja, ezért valószínűleg ezen adatokat a későbbiekben külön kell vizsgálni.

- Ezután megnéztük a csapadékcsoport kezdete és a reagálási idő, a csapadékcsoport kezdete és a maximum elérése között eltelt idő, és az emelkedés nagyságának kapcsolatát. A tapasztalat azt mutatja, hogy a csapadékcsoportokra való reagálások és a maximumok elérése minden egyes megfigyelőhelyen hasonlóan alakulnak, a legtöbb esetben pár napos eltérések figyelhetők meg.

Nagyon jó korrelációt mutat az Szinva-forrás és Garadna-forrás: néhány esettől eltekintve (ezek a téli hóolvadást követő időpontok) a csapadéokra történő reakcióik (főleg a reagálási idők) majdnem ugyanazon a napokon következnek be. Ez azért is lesz fontos, mert az egyikből becsülni tudjuk a másik hiányosságát. Mivel ismerjük a csapadékcsoport kezdetét, 1-2 napos eltéréssel jó közelítést tudunk adni mind a görbék emelkedésének kezdeti időpontjaira, mind a maximális vízszint eléréséhez.

Ugyanezt állapíthatjuk meg a Felsőtárkány Sz-5 és az Miskolctapolca 2. sz. megfigyelőhelyek esetében is, de itt is fenntartással kell élnünk a téli hónapokban. Azt is tudjuk azonban, hogy a Felsőtárkány Sz-5-re jellemző magas vízállás csak a 2000-es évtől tapasztalható, így a pótlás csak ettől az időponttól kezdve lehetséges. Mindezek ellenére a Miskolctapolca 2. sz. termelés hatására történő heves reagálásai miatt sem a regressziós, sem az összetett módszerrel nem pótolhatók az adathiányok.

Ha ugyancsak eltekintünk a hóolvadás és a kora tavaszi esőzések okozta vízszintemelkedésektől, Nagyvisnyó-17-re és a Tebepusza-1-re is ráillik a fenti megállapítás, kiegészülve még azzal, hogy a Tebepusza-1 reagálásai általában korábban kezdődnek.

Ha az előző megállapítást felhasználjuk, és átlagoljuk a követési időket, akkor:

- a reagálási idő: a Szinva-forrás és Garadna-forrás között 0 nap, a Felsőtárkány Sz-5 és Miskolctapolca 2.sz. figyelőkút között 3 nap, és a Nagyvisnyó-17 és a Tebepusza-1 között pedig 1 nap lesz az eltérés értéke.
- a maximum eléréséhez szükséges időtartam pedig: az Szinva-forrás és Garadna-forrás között 0 nap, Nagyvisnyó-17 és a Tebepusza-1 között 5 nap, Felsőtárkány Sz-5 és Miskolctapolca 2.sz. figyelőkút között 1 nap.

▪ **Az egyszerűen elvégezhető pótlások**

Az egyszerűen elvégezhető adatpótlások csoportjába azokat az adathiányokat soroltuk, melyek vagy egy emelkedési, vagy egy lecsengési időszak nem túl hosszú időtartama alatt adódtak.

Első lépésben megvizsgáltuk a különböző görbék regressziós kapcsolatát. Ez alapján választottuk ki a legszorosabb korreláltságot mutató görbepárokat, s a továbbiakban ezeket együtt használtuk az adathiányok kiegészítésére. Azonban a feladatot megnehezítette az a tény, hogy csaknem minden görbénél az adathiányok néhány esetben közel azonos

időszakokban léptek fel, ezért ilyenkor a második legszorosabb korrelációt mutató adatrendszer került felhasználásra. Így előfordult, hogy egy összefüggő adathiány pótlása két másik megfigyelőhely adataiból készült el.

▪ **Az összetett adatpótlás**

Összetett adatpótlás alatt azok a vizsgálatok értendők, melyek nemcsak egy emelkedési vagy lecsengési szakasz intervallumába esnek, hanem több hónapot, esetleg évet átölelnek. A következő módon végeztük a megfigyeléseket:

- A hatékony csapadékcsoportra történő legszorosabb reagálást illetve maximumot mutató megfigyelőhelyeket továbbiakban páronként vizsgáltuk. A kiszámított átlag értékek segítségével megkaptuk azoknak a megfigyelőhelyeknek is a reagálási illetve maximum elérési időpontjait, melyek még hiányoztak. Bár meg kell jegyezni, hogy sok esetben mindkét figyelőhely vízszintadata hiányzott, így ilyenkor más évek átlagából pótoltam a hiányokat.

- Következő lépésben a hiányzó iránytangenseket pótoltuk az egyes megfigyelőhelyek esetében. Három alaphelyzet fordult elő:

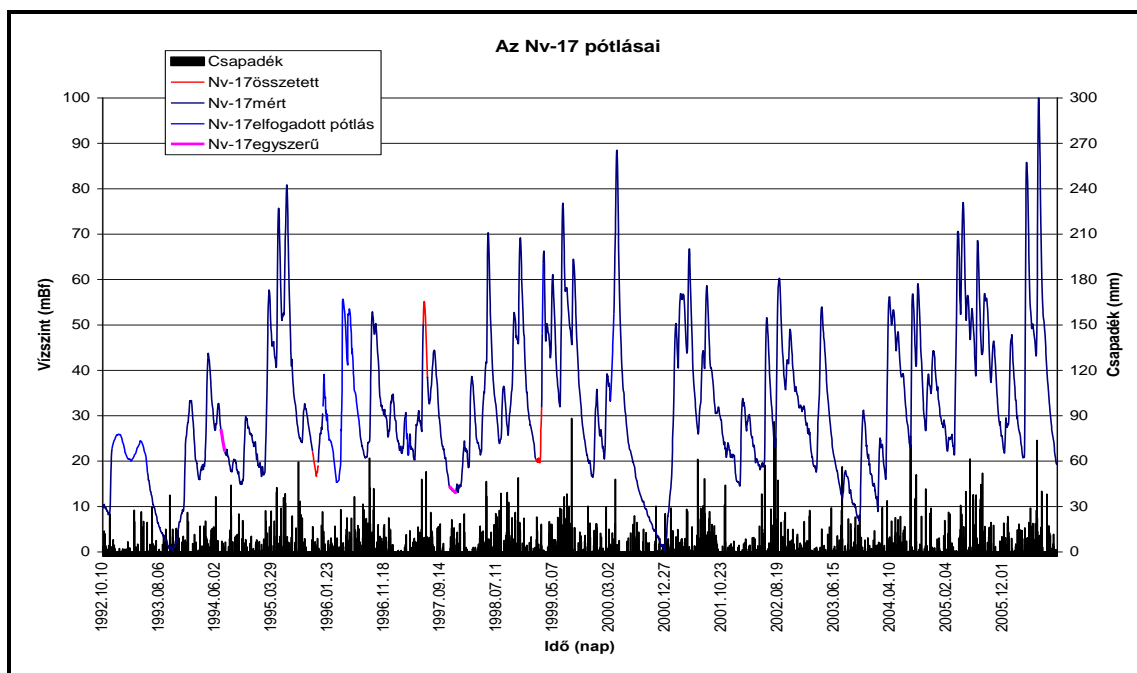
1. Ha csak a reagálási időpontot kellett pótolni, akkor az árhullám emelkedésének, vagy lecsengésének (esetenként mindkettő a pontosabb eredmény érdekében) iránytangensét véve könnyen vissza tudtuk számolni azt. Ugyanígy működik ellenkező esetben is, amikor a maximum időpontja hiányzik.
2. Ha reagálási és maximum időpont sincs, akkor a többi év átlagából megnéztük a szóba jöhető időpontokat, hiszen sok esetben közel azonos nap után következik be a csapadékra történő reagálás. Ezek után már csak a megfelelő csapadékcsoportozathoz kellett illeszteni az eredményt.
3. Ha ugyancsak hiányzik a reagálási időpont, és a maximum időpontja is, akkor a további megfigyelőhelyek időpontjaira támaszkodva az előző fejezetben számolt átlagreakalásokat és átlagmaximumokat használtuk a hiányok pótlására.

(Megjegyzendő, hogy a legpontosabb eredmény érdekében érdemes minél több esetet megvizsgálni)

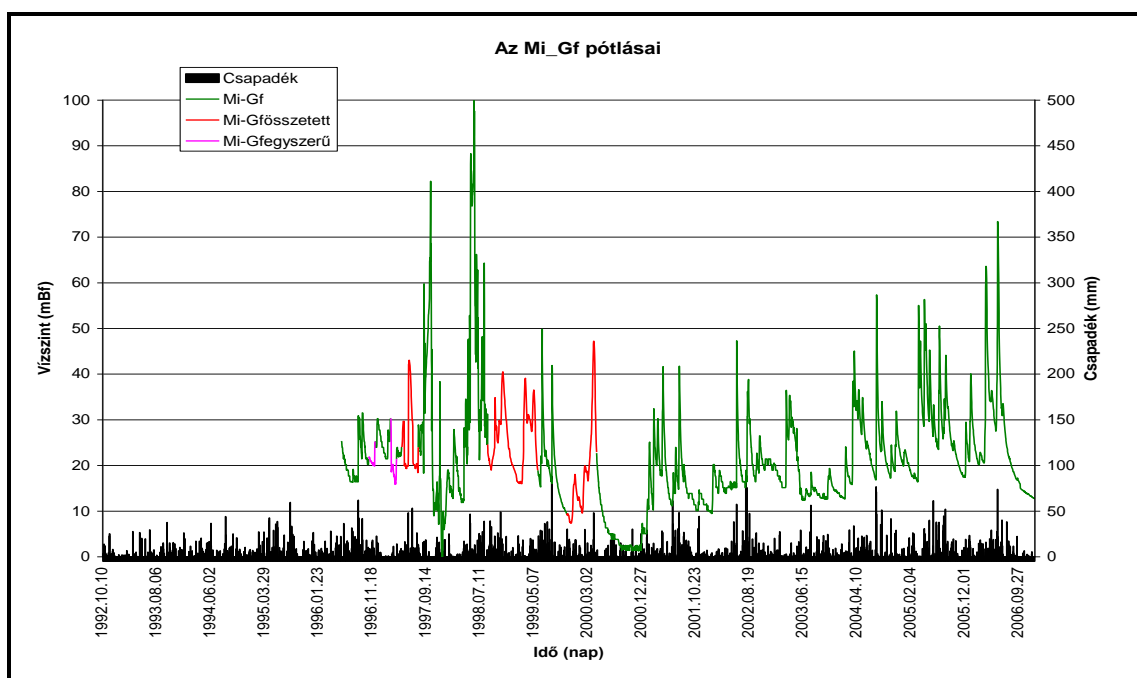
Miután az iránytangenseket, és az emelkedési és lecsengési szakaszok kezdeteit és maximumait megkaptuk, az előzőekben készített regressziós összefüggéseket felhasználva, a késleltetési idő függvényében néhányszor lehetőség nyílt a vízszintek pótlására. Előfordult az is (pl.: Szinva-forrásnál), hogy semmilyen regressziós összefüggés nem hozott megnyugtató megoldást, ilyen esetekben a megfigyelőhely további emelkedési vagy csökkenési szakaszainak eltolásával történt a pótlás.

A 6. ábrán az Nagyvisnyó-17 adatsora található, megkülönböztetve az egyszerű, az összetett, és a felülvizsgálat után el nem fogadott pótlásokat. Ez utóbbi esetben csak 40-50 cm-es különbséget tapasztaltunk a korábbi és az általunk kapott pótlások között. A 7. ábrán a Garadna-forrás regresszióval, illetve összetett vizsgálattal történő pótlásai láthatók. A legtöbb esetben az Nagyvisnyó-17 vízszint-észlelőkúttal mutatott regressziós kapcsolata alapján történt a hiányzó értékek pótlása. A Szinva-forrás pótlásait a 24. melléklet mutatja. Mint azt

már korábban is megállapítottuk, annak ellenére, hogy a Garadna-forrás vízszintjeivel mutatta a legszorosabb kapcsolatot, hiányzó vízszintjeinek pótlásai mégis az Nagyvisnyó-17 vízszintadatainak felhasználásával adódtak. Ennek oka az, sem az árhullám növekvő, sem a csökkenő ágában nem mutat a Garadna-forráséval hasonlóságot. A Felsőtárkány Sz-5 pótlásait mind a Nagyvisnyó-17, mind a Tebepusztá-1 vízszintadatainak alkalmazásával nyertük, melyek a 25. melléklet található.



6. ábra: A Nagyvisnyó-17 egyszerű, és felülvizsgált pótlásai,



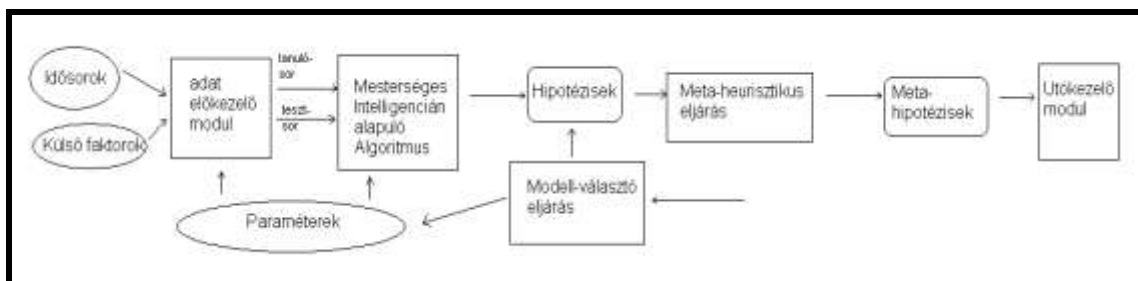
7. ábra: A Garadna-forrás egyszerű, és összetett pótlásai

➤ A neuron hálózaton alapuló megoldás

A vízszint-idősorok pótlásának és előrejelzésének matematikai jellegű értelmezése neuronhálózatok alapján történhet. A vízszint-idősorokat többváltozós függvényként tételezték fel, melyek egyenessé transzformálásához szükséges függvények megtalálásához öntanuló algoritmusokat használtak. Az algoritmusok úgy keresik a transzformált térben az idősort legjobban közelítő egyenest, hogy mérik a közelítés hibáját, majd ezt minimalizálni próbálják. A hiba nagyságát az n dimenziós térben vizsgálják, aminek lokális és abszolút minimumhelyei lehetnek. Annak érdekében, hogy lehetőleg a modell megtalálja az abszolút minimumhelyeket, ezért a hibaminimum keresés során lehetőség van a lokális minimumot jelentő térségekből való kilépésre.

A Szegedi Tudományegyetem Számítógépes Algoritmusok és Mesterséges Intelligencia Tanszékén évek óta folynak kutatások különféle problémák mesterséges intelligencián alapuló megoldásaira. A Busa-Fekete Róbert, Ormándi Róbert, Szarvas György alkotta kutatócsoport idősorok elemzésével és pótlásával új matematikai megoldások kidolgozásával foglalkozik, akik részére Szanyi János hidrogeológus támogatásával számos vízföldtani észlelési adatsort, köztük a bükki karvízszint-megfigyelőrendszer adatait is eljuttattuk. A Szegedi Tudományegyetemen elvégezték a futtatásokat a módszer fejlesztése és tesztelése érdekében, aminek hidrogeológiai – karsztvízföldtani értékelését magunk végeztük el.

A neurális hálózatok működése két fő fázisra különíthető. Az első fázisban, melyet tanulásként nevezünk, eltároljuk a háló struktúrájába a kívánt információ-feldolgozó eljárást, majd a másodikban a tárolt eljárás felhasználásával végezzük el az információ-feldolgozást (8. ábra).



8. ábra: A neuron hálózat működésének elvi rajza

Először a vízszint-idő függvény egy előzetes matematikai szűrésen megy keresztül, aminek célja a transzformált térbeli illesztések lehetségessé tétele. Ilyen szűrések során az eredeti adatrendszer kis mértékben módosul, amennyiben a függvényről valamilyen kiugró érték pl. mérési hiba kerül kiszűrésre akkor a minőség javul, de a szűrésnek hasznos információk is áldozatul eshetnek, ami a végén az adatszűrés vagy az előrejelzés minőségében jelentkezik. A szűrés során egyben megtörténik az adatsor normalizálása, a magas dimenziójú paraméterek dimenziójának csökkentése. Ennek megfelelően a vízszintváltozások abszolút nagysága a matematikai megoldás során az eredményeket nem befolyásolja.

Aztán a két részre osztott adatok a tanuló algoritmusba kerülnek, ahol a tanuló modul a rendszer tanítását végzi - a rendelkezésre álló adatokon, illetve megfelelő paraméter-beállítás mellett. Az ún. hipotézisek terében – többdimenziós tér, az input adatokon az összes szóba jöhető szabályszerűség – keressük a tanulási példákra legjobban illeszkedőt. Ezután, - a jobb tanulás érdekében - a megtanult hipotézis helyességét a tesztalmazon ellenőrizzük, és mérjük annak hibáját. A hiba egy „jósági” – fitness – függvényt határoz meg, melynek értékét

heurisztikus kereséssel, a mi esetünkben szimulált hűtéssel (SA, Simulated Anheating) próbáljuk maximalizálni. A maximum érték meghatározásával a rendszer egy jó hipotézist állít fel a meglévő adatok segítségével. A keresés végén kapott fitness függvény értékét meghatározva döntünk arról, hogy optimum-e vagy nem, ha nem, akkor újraindítjuk a tanulókat a maradék (eredeti) tréninghalmazon, amivel a hipotézis folyamatosan javul. A modell-választó a legjobb hipotézis megtalálásáig finomítja az értéket, miközben a beállításokat az egész iteráció alatt megőrzi.

A megfelelő hipotézis megtalálása után a hipotéziseket egy ún. meta-heurisztikus eljárással tovább finomítjuk, meta-hipotéziseket gyártva, melyek közül az egyik megadja a pótlás illetve az előrejelzés jövőbeli értékét. Egy ún. választó – decision – függvény segítségével kiválasztjuk azt a legjobb hipotézist, ami a teszt-sorozat legkisebb empirikus hibáját tartalmazza.

Végül, miután az első lépésben az adatokat normalizáltuk, a végső eredmény eléréséhez az utókezelő modulban az adatok denormalizálása történik.

A számítások során kétféle algoritmust, az ANN-t (Artificial Neural Network) és az SVR-t (Support Vector Regression) használtunk fel, miközben az adatkótlások során egy vagy több egyidejű idősor adataiból is próbáltunk számításokat végezni. Az előrejelzések során értelemeszerűen további adatsorok felhasználása nem lehetséges, hiszen azokat sem ismerjük, ugyanakkor a transzformációs-függvények képzéséhez más közeli mérőpontok vízszint vagy csapadék-adatai is felhasználhatók.

➤ **A neuron hálózatok alkalmazásával kapott eredmények**

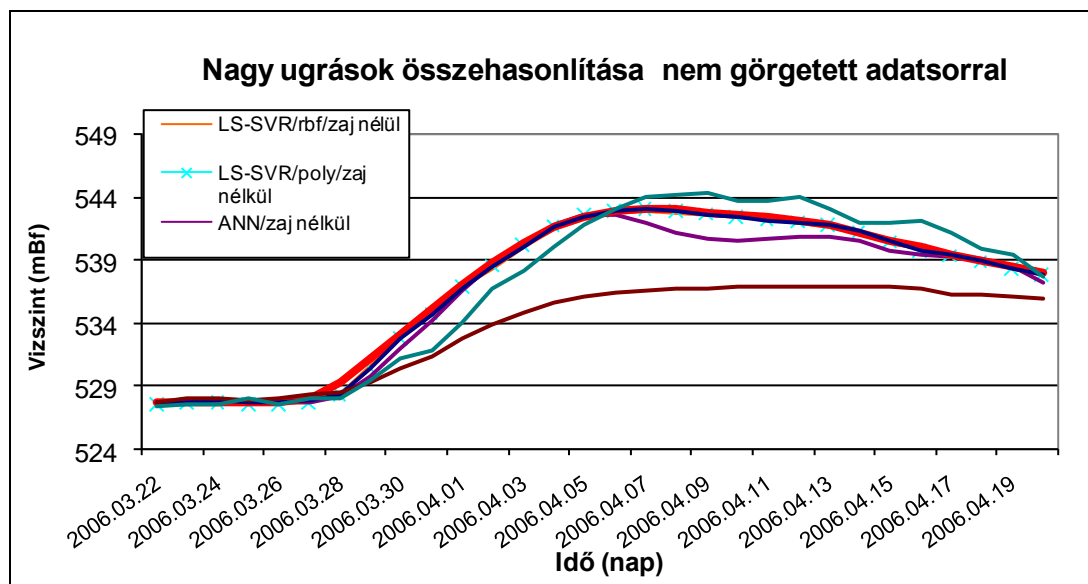
Az adatok pótlására a kiválasztott évet megelőző év ugyanazon hónapját használtuk fel. Minden egyes módszernél inputként kétféle bemeneti információval közelítettük: az egyik esetben kizárólag az Nagyvisnyó-17 adatait használták, másik esetben pedig az Nv-17 adataihoz hozzárendelték még a Tebepusztá-1 és a csapadék adatokat is, melyeket zajként, illetve beágyazott, magas dimenziójú adatként értelmeztünk.

A vizsgálatok során kétféle adat-felhasználási metodikát alkalmaztunk. Az egyik - amiket a továbbiakban „nem görgetett” vízszint adatsornak neveztünk el - abból adódott, hogy az adatok pótlása csak a meglévő, mért adatok transzformációjával történt, a másik megoldásban - „görgetett” vízszintadatok - viszont a hiányzó vízszint adatokat már a korábban megjósolt adatok felhasználásával, és azok transzformációjával pótoltuk. A módszer lényege az, hogy a mért vízszintekből megjósoljuk a következő napra várható vízszintet, majd az azt követő nap pótlását a mért és az előtte lévő, megjósolt nap értékeiből is számítjuk. Ebben az esetben azonban több a hiba-keletkezés lehetősége, hiszen az előrejelzett (*jósolt*) adatok már önmagukban is tartalmazhatnak valamennyi hiba-paramétert, és ezek halmozása az újabb adatok pótlásában csak növeli az újonnan kapott értékek hibáit. Amint a 9. ábrán is jól látszik, ez a megoldás semelyik vízszintváltozásnál nem adott elfogadható megoldást, a későbbiekben tehát a görgetett adatsorból történő pótlásokat kizártnak tekintjük (elkészítettük mind a három hónap görgetett adatsorral történő futtatások eredményeit, azonban helyhiány miatt nem részleteznénk – mindhárom eset alátámasztja a megállapítást).

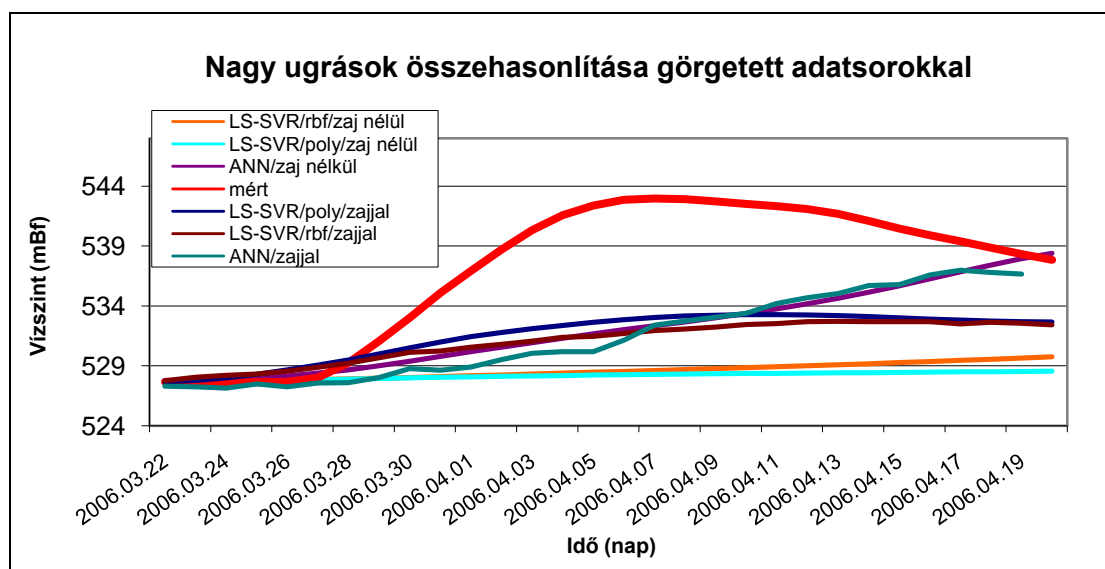
Azonban azt meg kell jegyezni, hogy más területeken, ahol ilyen hirtelen, ugrásszerű változások nem jellemzőek, pl. talajvízszintek előrejelzésénél ez a fajta hiba-halmozásos módszer megfelelő eredménnyel, szolgálhat.

A 8. és 9. ábrán a lehetséges öntanuló algoritmusok alkalmazásával nyert eredményeket ábrázoltuk a kiválasztott legnagyobb vízszintingadozást (15 m) mutató hónap lefuttatásával

(2006.03.22- 2006.04.20.). Az első csak a mért értékekből történő adatpótlást mutatja, a második pedig a mért értékek és a már megjósolt értékek további felhalmozásából adódó pótlást. Legjobb illeszkedést az LS-SVR módszer, rbf transzformációjával kaptunk, zaj - és magas dimenziójú inputparaméterek nélkül.



8. ábra: 15 m-es vízszintváltozások összehasonlítása a különböző algoritmusok alkalmazásával, nem görgetett adatsorokkal



9. ábra: 15 m-es vízszintváltozások összehasonlítása a különböző algoritmusok alkalmazásával, görgetett adatsorokkal

A 26-27. melléklet szintén az összes lehetséges öntanuló algoritmus által kapott eredményt mutatja az eredeti mért adatok alkalmazásával, különböző input-paraméterek betáplálásával, azzal a különbséggel, hogy a vizsgált időszakban a vízszintváltozások 6-7 m (2006.04.21-2006.05.21), illetve 1-2 m (2007. 01. 03 – 2007. 02. 02.) közöttiek. Az SVR polynomiális illesztése, zaj beadásával adta a legjobb megoldást.

A fentiek szerint tehát az SVR öntanuló algoritmus 2 különböző bemeneti információval/paraméterrel szolgáltatta a legjobb illeszkedést a három választott - különböző vízszintváltozású - adatsorra.

Érdeemes kicsit részletesebben elemezni a nagy vízszintváltozású görbéknél kapott eredményt, hiszen ezen görbék közül a zaj, és magas dimenziójú paraméter betáplálása nélkül kapott görbe (függvény) adta a legjobban illeszkedő megoldást, annak ellenére, hogy a gyakorlatba azt feltételeznénk, hogy épp az ilyen nagy változásoknál szükséges a hatékony csapadékcsoportok ismerete. A másik két esetben (kicsi, illetve közepes vízszintváltozásnál) viszont a zaj input paraméterként való használatával nyertük a legszorosabb kapcsolatot a mért és pótoltt értékek között. Ennek valószínűleg az az oka, hogy a tavaszi esőzések és hóolvadások hatására csaknem minden évben hasonló trendet mutatnak a vízszintértékek (nagy ugrású hónap, 2006. 03. 22 – 2006. 04. 20.), az árhullám megemelkedik. Az ezt következő időszakban (közepes ugrás, 2006.04.21– 2006. 05. 20) viszont a csapadék mennyiségétől függően tovább emelkedik a karsztvízszint, vagy pedig leürül, ezért van szükség a külső tényezők ismeretére. A téli hónapban történt vizsgálatnál is hasonló indokból adhatott jobb megoldást a külső paraméterek felhasználása (2007. 01. 03 – 2007. 02. 02.), többször előfordult már ugyanis csapadékban bő, enyhe tél, amikor a talaj felső részét nem borította hó, és a víz akadály nélkül eljutott a karsztvíztárolókig. Nem kell azonban szem előtt téveszteni azt a tény sem, hogy a második legpontosabb illesztést mindhárom hónapban - a kicsi illetve közepes vízszintváltozású időszornál a különbséget csak a módszer zaj nélküli változata jelenti - az SVR módszer ugyanazon függvény-transzformációja (polynomiális illesztése) szolgáltatja, ugyanúgy hiba-paraméter hozzáadása nélkül.

Összességében tehát megállapítható, hogy mindhárom időszornál az eredményként kapott legjobb és az utána következő hiba-érték közötti különbség 0,004-0,01 m közé esik, ami két dolgot jelent a jövőbeli pótlások alakulását tekintve. Az egyik, hogy nem feltétlenül kapunk rossz eredményt, ha nem ismerjük a csapadék- ill. éghajlati viszonyokat, vagy más megfigyelőhelyek vízszint-adatsorát. A másik pedig, ha 1 hónapnál is hosszabb időszakban kívánjuk a hiányzó értékeket pótolni – tehát előfordulhat 1-20 m közötti vízszintváltozás is -, akkor elfogadható megoldást kaphatunk, ha zaj nélküli inputokkal, csak az SVR (poly) algoritmust használjuk a hiányzó vízszintek pótlására.

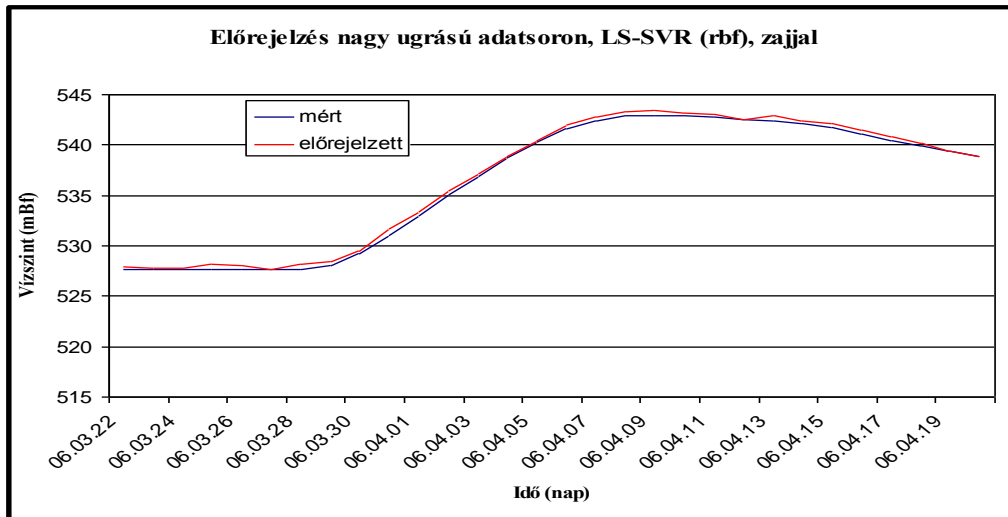
5.4 Karsztvízszintek előrejelzésének eredményei neuronhálózatok felhasználásával

Karsztvízszint-adatsorok mesterséges intelligencián alapuló neuron hálózatokkal történő előrejelzése ugyanolyan elven működik, mint (ugyanazon) adatsorok hiányainak pótlására alkalmazott módszer, annyi különbséggel, míg az adatpótlások során egy vagy több (egyidejű) adatsor adatait is felhasználhattuk a számítások elvégzésére, addig az előrejelzések során értelemeszerűen további adatsorok nem állnak rendelkezésre a feladat megoldása érdekében, hiszen azokat nem ismerjük. Ugyanakkor a transzformációs-függvények képzéséhez más közeli mérőpontok vízszint vagy csapadék-adatai is felhasználhatók.

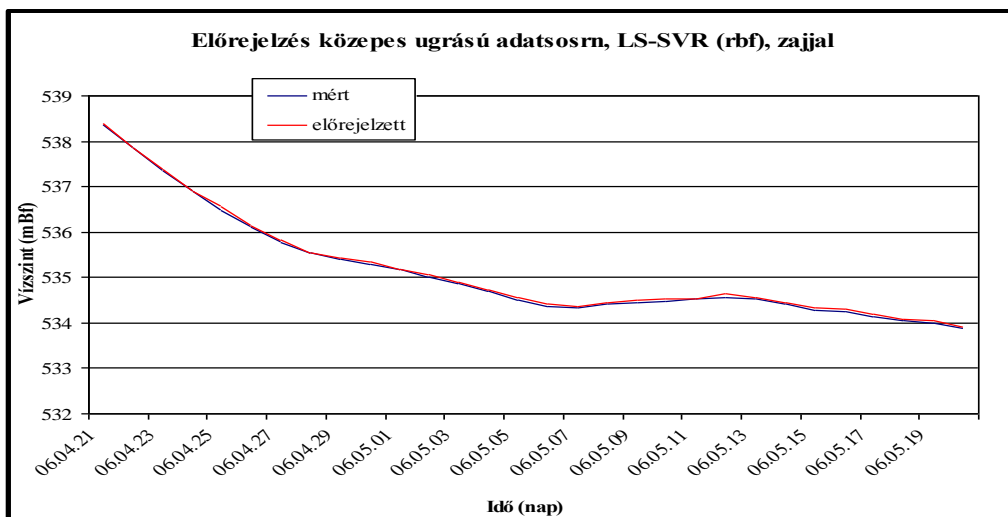
Az ANN és SVR (rbf és polinomos illesztés) mesterséges intelligencián alapuló algoritmusokkal kapott eredmények közül előrejelzésnél a tréning-sorozaton történő összehasonlítás után szintén az SVR módszer, rbf (rule based forecast/meghatározott szabályokon alapuló előrejelzés) típusú illesztése nyújtotta a legpontosabb illesztéseket, annyi különbséggel, hogy a kiválasztott mindhárom hónapnál külső faktor betáplálásával történt a

jövőbeli adatok becslése. Ennek főleg az lehet az oka, hogy előrejelzésnél jövőbeli értékeket nem ismerünk, ezért lehet szükség egy másik (hasonló) adatsor felhasználására is.

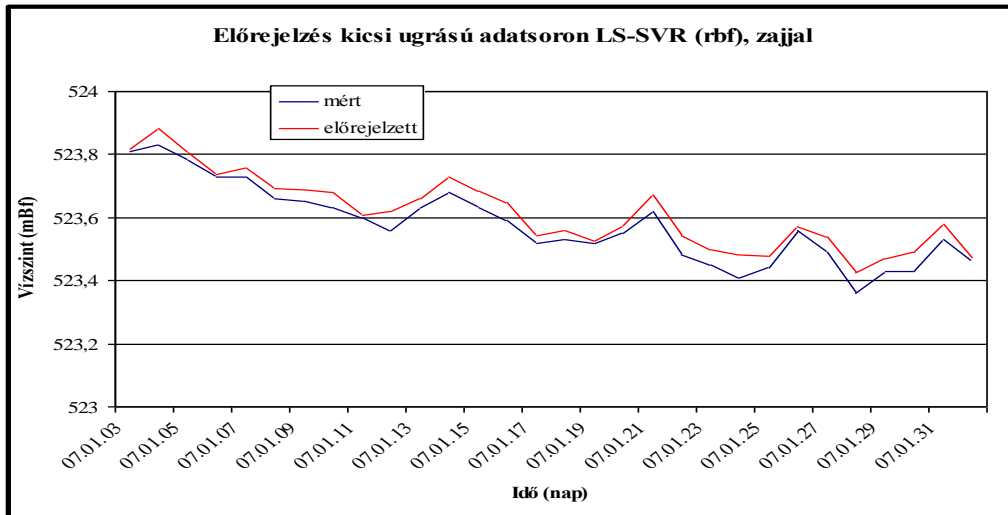
A 10.-12. ábrák a legpontosabb illesztések eredményeit mutatják a három különböző vízszintváltozás esetén. Mindhárom ábrán nagyon szépen követik egymást a becslült illetve a valódi értékek görbéi, mind a kisebb, nagyobb vízszintváltozások „játékai” megmutatkoznak. Hidrogeológiai szempontból mindenképpen elfogadható a közelítéssel szolgál az SVR öntanuló algoritmus, rbf típusú illesztése.



10. ábra: Előrejelzés LS-SVR módszer, rbf típusú illesztésével, zaj betáplálásával, nagy vízszintváltozású adatsoron



11. ábra: Előrejelzés LS-SVR módszer, rbf típusú illesztésével, zaj betáplálásával, közepes vízszintváltozású adatsoron



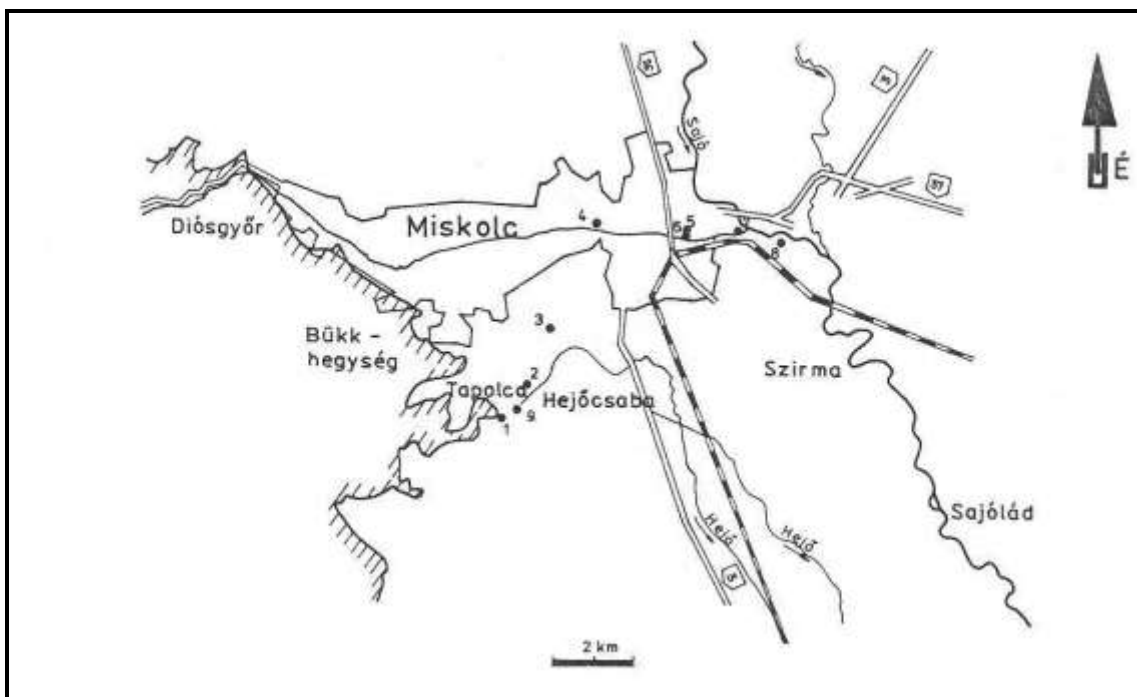
12. ábra: Előrejelzés LS-SVR módszer, rbf típusú illesztésével, zaj betáplálásával, kicsi vízszintváltozású adatsoron

6. További kapcsolódó anyagok

6.1 A miskolci karsztos hévízkutak

Ez a fejezet Fedor Eleonóra eddigi munkái alapján került összeállításra. További részletek olvashatók az irodalomjegyzékben felsorolt kéziratokban, publikációkban.

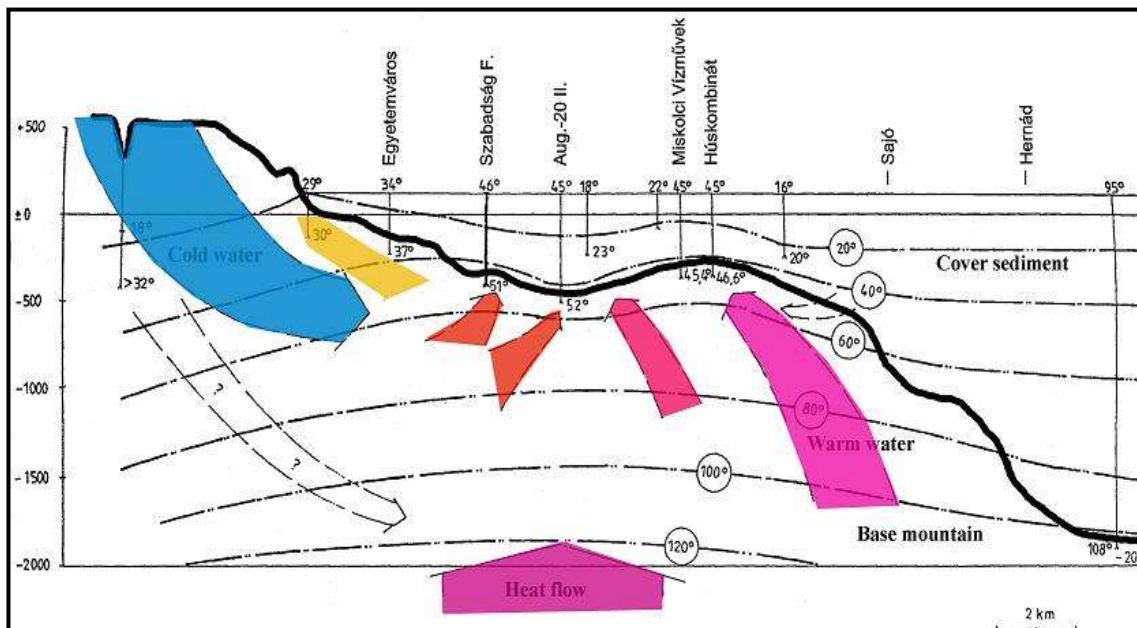
Miskolc város közigazgatási területén összesen kilenc karsztos hévízkút található, melyeket az alábbi 13. ábra mutat.



13. ábra: A miskolci termálvizes kutak helyszínrajza

1. Tapolca Strandfürdő kútja (Termál-forrás)
2. Szezelem-szigeti kút
3. Egyetemvárosi kút
4. Erzsébet (Szabadság) Fürdő kútja
5. Augusztus 20. I. kút
6. Augusztus 20. II. kút
7. MIVÍZ Kft. Központi (Kertészeti) Telepi kút
8. ÁHV kútja
9. Tapolca Strand (Parki) kút

Miskolc-Tapolcán 3 termálkút is van: a Strand (Parki) kút, a Szezelemszigeti kút illetve a Barlangfürdő termálkútja (Termál-forrás). A Miskolci Egyetem is rendelkezik egy termál kúttal. A város belterületén 3 hévízkút létesült: az Erzsébet (Szabadság) Fürdő kútja a Városházterén és az Augusztus 20. Strandfürdő I., II. számú kútjai a Selyemréten. A város külterületén szintén található 2 kút: a MIVÍZ Kft. Központi (Kertészeti) Telepi kútja és az ÁHV kútja. A Miskolc városban található termál kutak a Bükk karsztjából nyerik vizüket, különös tekintettel a Miskolc-Tapolcán létesült kutak. A 14. ábra szemlélteti néhány termál kút helyzetét a térségben, illetve a hideg és meleg víz áramlási irányait Szlabóczky Pál elképzelései alapján. A térképen feltüntette a kutak hőmérsékletét is, így látható, hogy a Miskolci Egyetem területén található hévíz kút, illetve a térképen fel nem tüntetett tapolcai kutak, hőmérséklete jóval alacsonyabb, mint a város más területén lévő kutaké.



14. ábra: A termál kutak helyzete és a víz áramlások iránya a térségben

▪ Műszaki adatok

A kutak alapadatait, műszaki adatait a 28. mellékletben lévő táblázat mutatja. Az értékeket a kutak vízföldtani naplójából vettük át, néhány helyen azonban nem szerepelnek adatok, mivel azokat a naplóban sem találtuk meg. Tekintve, hogy a Barlangfürdő kútja nem egy kiépített kút (Termál-forrás néven ismert), ezért az sem vízföldtani naplóval sem pedig kútkataszteri

adatokkal nem rendelkezik. A táblázatban szereplő vízhasznosítás jellegét a vízhasználati járulék szerinti besorolás alapján adtam meg.

▪ A kutak tulajdonosai

A Miskolc- Tapolcán található három hévízkút mindegyike a MIVÍZ Kft. tulajdonában van, ugyanúgy ahogyan a belvárosi Augusztus 20. Strandfürdő I, II. és az Erzsébet Fürdő kútja is. Természetesen a MIVÍZ Kft. Központi Telepi kútja a nevéből is adódóan az Ő tulajdonukban van. A Miskolci Egyetem területén lévő hévízkút az Egyetem tulajdonát képezi.

A város külterületén található ÁHV kútjának tulajdoni viszonyai még a mai napig nem tisztázottak. A kút 1998-as üzemeltetési szabályzatából az derül ki, hogy a kutat a KOLOS Húsipari Rt. jogelődje a Borsod-Abaúj-Zemplén megyei Húsipari Vállalat építette. Felszámolása során a teljes hévízellátó rendszert a Miskolci Hűtőipari Rt. megvásárolta és üzemelteti.

▪ A kitermelt víz mennyisége

A kutakból az évek során kitermelt vizek mennyiségét a következő 3. táblázat foglalja magába. Az értékeket m³-ben adtuk meg. A meglévő adatokat a MIVÍZ Kft. állapotrögzítő terveiből állítottuk össze a Miskolc-Tapolcán található, az Augusztus 20. I-II, az Erzsébet Fürdő és a MIVÍZ Kft. Központi Telepén található kutakra vonatkozólag, a többi kút esetében pedig Lénárt László nyilvántartása volt a forrás.

Jelenleg üzemen kívül van a Miskolc-Tapolcán található Strandi (Parki) kút és a Szerelemszigeti kút, valamint az Erzsébet Fürdő termálkútja egyaránt.

3. Táblázat: Termelési adatok

Év/kút	Aug. 20. I-II	MIVÍZ Közp.	Termál-forrás	Szerelemsziget	Strandi (Parki)	ME	Erzsébet Fürdő	ÁHV
1994	1153545	94985	597407				119376	207951
1995	1096167	119590	488328				109987	135736
1996	1015014	116469	390853				76970	281551
1997	1050806	113611	395290				0	215257
1998	1304769	111090	887991				0	255138
1999	1317227	129045	711988			23773	0	310712
2000	1296511	103510	683775			44388	0	298686
2001	1289854	91260	346800			37978	0	321422
2002	1332414	92970	1402989			30051	0	352392
2003	1234377	90860	1555712			22431	0	363560
2004	1297973	80780	1365253	57348	3	19407	0	388454
2005	1313108	69180	1682579	17826	0	18971	0	388452
2006	1112774	49810	1040912	13106	18790	21160	0	388452
2007	1327780	82691	1361578	24321	0	19733	0	52971
2008	146267	16250	149055			21847	0	52968
2009	384000	130000	1200000	5000	499		0	

▪ **A kitermelt víz felhasználása**

A kutakból kitermelt víz felhasználását a 4. táblázat tartalmazza. A vízhasznosítás jellegét a vízhasználati járulék szerinti besorolás alapján adtuk meg.

4. táblázat: A kitermelt víz hasznosítása

Aug.20.I-II.	fürdő
MIVÍZ Közp.	közcélú+gazdasági célú egyéb
Termál-forrás	fürdő
Szerelem sz.	fürdő
Strandi (Parki)	fürdő
ME	közcélú
Erzsébet Fürdő	fürdő
ÁHV	gazdasági célú ivó

A Miskolci Egyetem termál kútjának vizéből biztosítják az egyetem területén található kollégiumok vízellátásának egy részét.

A MIVÍZ Kft. Központi Telepi kútjának vizét fűtésre, illetve szociális melegvíz ellátásra fordítják.

A MIVÍZ Kft. állapotrögzítő terveiből kiderül részletesen, hogy a Miskolc-Tapolcán található, illetve az Augusztus 20. Strandfürdő I-II termál kutak vizét pontosan mire használják. Az Aug.20. Strandfürdő I. kútjának vizéből a fürdőépület padlófűtését és a kinti zuhanyzók vizét, míg a II. kút vizéből a medence vízpótlását biztosítják. A Termál-forrás kitermelt vize a Barlangfürdő vízellátására, a Tapolcai vízmű ivóvízpótlására, a csónakázó tó frissvíz pótlására és strandtöltésre fordítódik. A Strandi (Parki) kút vizét a Tapolcán lévő fürdők vízellátására használják fel. A Szerelem-szigeti termál kút vizet biztosít a strand felé és a Békás-tó ökológiai vízigényét is innen biztosítják.

▪ **A használt víz elhelyezése**

A Miskolc-Tapolcán található termál kutakból (Strandi kút, Termál-forrás, Szerelem-szigeti kút) kitermelt és felhasznált vizet a Hejő-patakba vezetik el. A Miskolci Egyetem kútjának használt vize, tekintve hogy a kollégiumok vízellátását biztosítja, a szennyvízcsatornába kerül. Az Erzsébet Fürdő kútjának üzemelése jelenleg szünetel az uszoda felújítási munkálatai miatt, így ott sem vízkivétel sem használt víz elhelyezés nincs. Az Augusztus 20. Strandfürdő használt vizét a Szinva-folyóba vezetik. A MIVÍZ Kft. Központi Telepi kútjának használt vize egyrészt a Szinva-folyóba kerül, másrészt pedig a város szennyvízcsatornájába. Az ÁHV termál kútjának vízelhelyezéséről nincs információnk, de tekintve hogy gazdasági célú ivóvizet biztosítanak belőle, ezért feltehetőleg használt vize a szennyvízcsatornába kerül.

▪ **A kutakban történt mérések, vizsgálatok és azok eredményei**

A kutak közül jelen esetben példaként a Miskolci Egyetem területén található kúton végzett vizsgálatok és mérések eredményeit mutatjuk be.

A Geoservice Kft. 2001-ben végzett vizsgálatának dokumentációjából kiderül, hogy a kútban a nyitott szakaszig már nem lehet lejutni szondával a csövezett szakaszból, viszont a víz a nyitott szakaszból származik. A kút eredeti mélysége 343 m, míg 1988-ban 270 m-ig sikerült lejutni, ugyanúgy, ahogyan 1996-ban is. Az 1996-ban rögzített bőségszelvény alapján megállapították ennek okát is, mely abban rejlik, hogy a 261,8–263,8 m közötti szakaszon a furat átmérője 43 mm-re csökken. 263,8–270 m között pedig kavernát mértek, melynek átmérője átlagosan 500 mm volt. A 2001-es vizsgálatok során a csövezett szakaszból többszöri próbálkozás ellenére sem tudtak kijutni, ezért további vizsgálatokat illetve közbeavatkozásokat nem javasolnak. A kút korróziós állapota megállapításuk szerint nem romlott. A 125 l/perc-es hozam mellett elvégzett reométerezés kimutatta, hogy a kútban mozgó teljes vízmennyiség a talpról (261,8 m-ről) származik. A talpon mért hőmérséklet 34,2 °C-nak adódott. Esetlegesen kialakuló buborékpontot nem határoztak meg. (Geoservice Kft. 2001.)

A 2003-as vizsgálataik legfontosabb megállapítása az, hogy ugyanúgy ahogyan a 2001-es évben sem ekkor sem tudtak a szondákkal lejutni a nyitott szakaszra. A kút fémszerkezetének korróziós állapotát nézve romlást nem tapasztaltak. A reométerezés szerint a vízmennyiség a talpról származik. A talpon mért hőmérséklet 33,8 °C-nak adódott, buborékpontot ez esetben sem mutattak ki. Összességében elmondható, hogy lényegi változás a 2001-es adatokhoz képest nem történt.

A 2005-ben elvégzett vizsgálataikból kiderül, hogy a kút állapota lényegében nem változott, ugyanúgy nem lehet lejutni a nyitott szakaszra, ahogy az eddigiekben sem lehetett. A talpon mért hőmérsékleti érték 262,6 m-ben 33,63 °C-nak, míg a kifolyó víz hőmérséklete 33,23 °C-nak adódott. Ebben az évben lyuktelevíziós vizsgálatokra is sor került. Az aknatalpra kifolyó víz hozama ismeretlen volt, így a kúton belüli áramlási sebességből számítottak hozamot, mely 107–118 l/perc között változott. A kút leállítása utáni nyugalmi vízszint az aknafedlap fölött 7 cm-rel állt be. A lyukfalon a kút teljes hosszában kiülepedéseket regisztráltak, melyekre „gumós, félgömb alakú vagy éppen amorf dudorok” települtek. Külön kiemelnek egy átmérő csökkenést 34 m mélység alatt. A lyuktelevíziós felvételeken 252,6 m-től lefelé egy vékony rudat figyeltek meg, mely 262,6 m-ig jelen volt. A talpon (262,6 m-en) egy összerogyott hegymászó kötél halmot is észleltek, melynek átmérőjét 8–12 mm-re becsülték. Feltehetőleg 1996 és 2001 között történhetett a kötél beejtése, hiszen 2001-ben a korábbi 270 m-hez képest már csak 262,6 m-ig lehetett lejutni a kútban. Megállapították, hogy a kút akkori állapotában a vonatkozó szabványok szerint csökkent értékűnek tekinthető, felújítását indokoltnak és kötelezőnek mondták, illetve felhívták a figyelmet egy esetlegesen létesítendő új kút szükségességére.

▪ **A meglévő adatok, adatsorok vizsgálata, összehasonlítása kutanként**

A kutak közül itt szintén példaként a Miskolci Egyetem kútjának műszaki-földtani szelvényét, helyszínen készített képeit és a vízminőségi adatsorok összehasonlítását mutatjuk be. A vízkémiai adatok táblázatát a 29. melléklet tartalmazza. Az éves termelési adatsorokat már összefoglaltuk a 3. táblázatban. Ezekből a meglévő termelési adatokból diagramot készítve mutatjuk be, hogyan változott a kitermelt víz mennyisége az évek során.

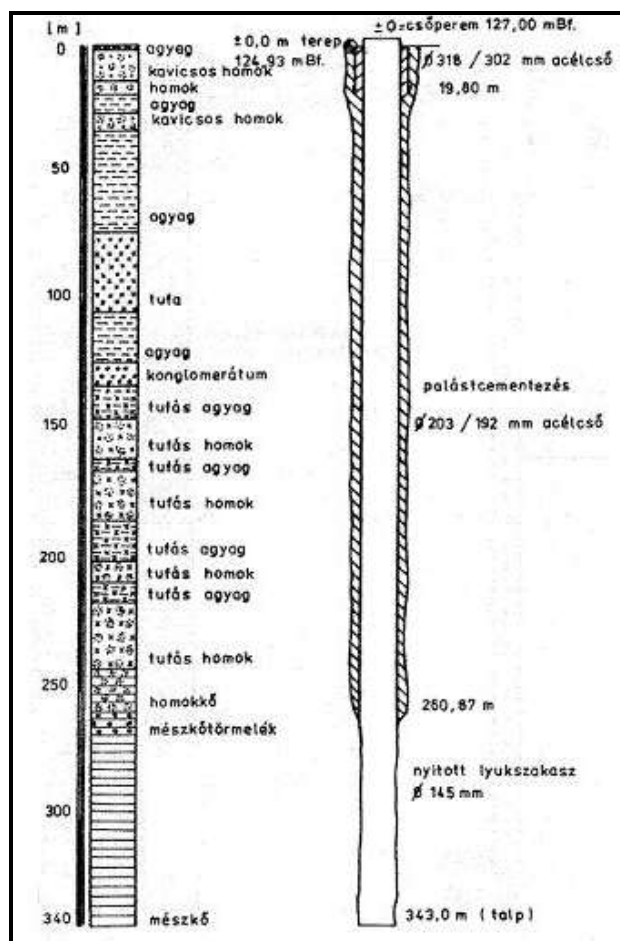
A hévízkút a Miskolci Egyetem sport pályái mellett található. Helyszínen készült felvételeket a 7. és 8. fotó mutatja. Az egyetemi kút műszaki illetve földtani szelvényét mutatja be a 15. ábra.



7. fotó: A Miskolci Egyetem hévízkútja



8. fotó: A Miskolci Egyetem hévízkútja



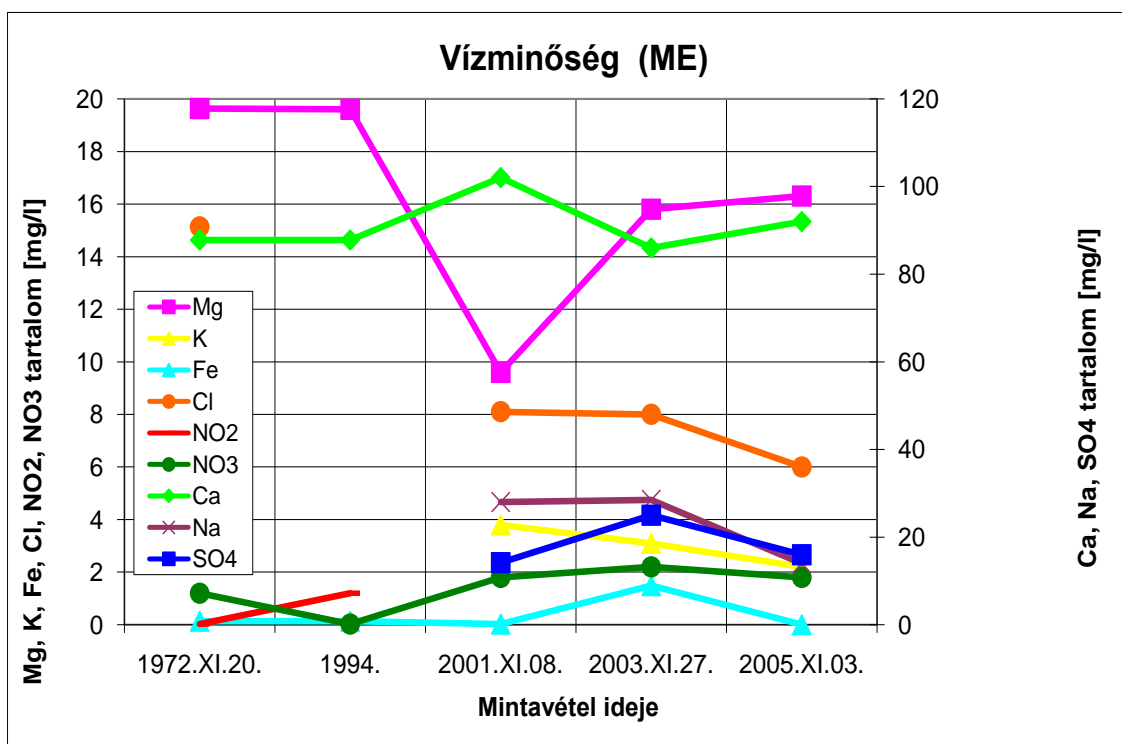
15. ábra: Műszaki, földtani szelvény (ME)

A 16. ábra mutatja be a vízben oldott anyagok mennyiségében történt változásokat 1972 és 2005 között. Összességében elmondható, hogy a K, Fe, Cl, NO₃, Na és SO₄ tartalom 2005-re csökkenő tendenciát mutat, míg Mg és Ca mennyiség növekszik. A NO₂ koncentrációt nézve csak 1994-ig ismertek értékek és növekedés vehető észre.

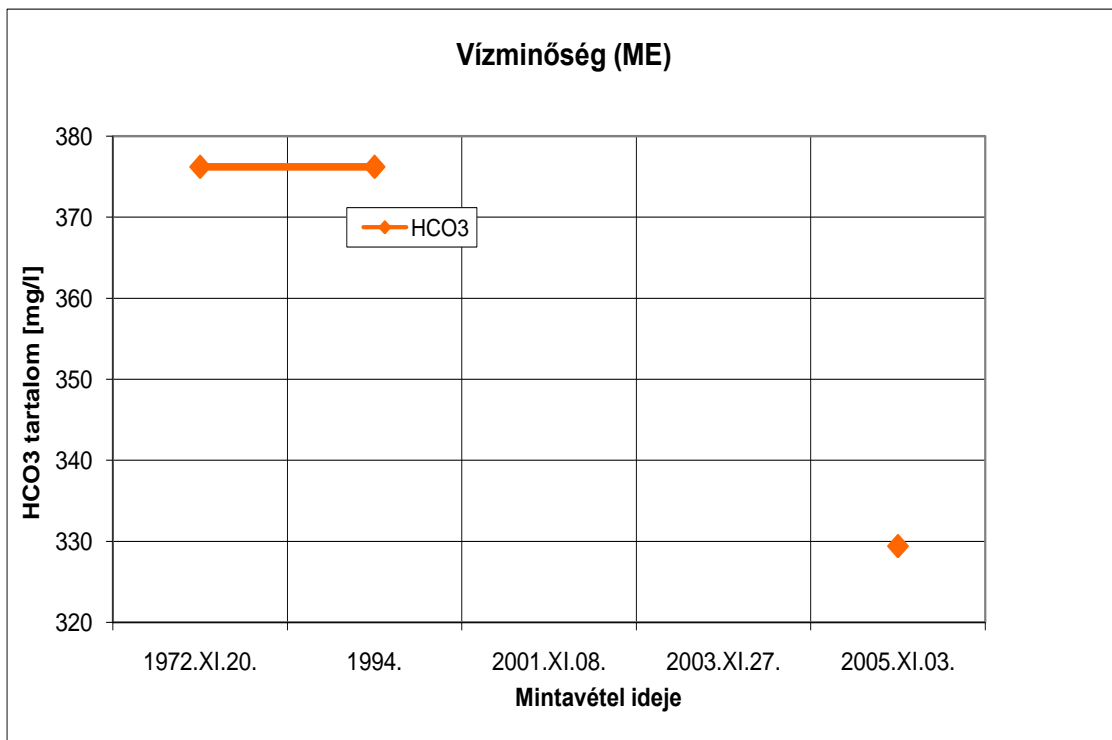
A HCO_3 -tartalom vizsgálatánál nem lehet biztos következtetést adni, de megállapítható, hogy az 1994-es értékhez képest 2005-ben lényegesen alacsonyabb a HCO_3 -tartalom. (17. ábra)

A harmadik diagramon (18. ábra) ábrázolt adatsorokból szembevetendő változás csak az összes keménységben látható, mely 2005-re növekvő tendenciát mutat.

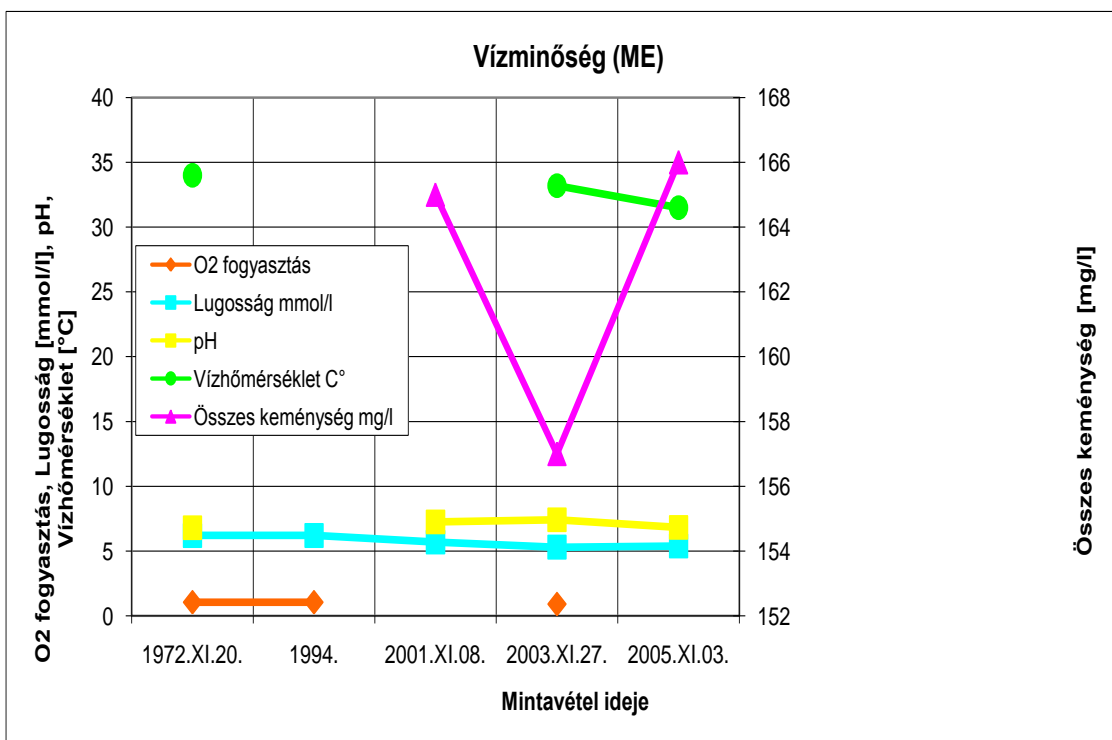
A 19. ábrán látható, hogy a Miskolci Egyetem területén lévő hévíz kút termelése hogy alakult 1999 és 2008 között. Kiugró vízkivételt a 2000-es év mutat, míg szintén nagy mennyiségű vizet vettek ki 2001-ben és 2002-ben. A további években nem tért el nagyon egymástól a felhasznált víz mennyisége.



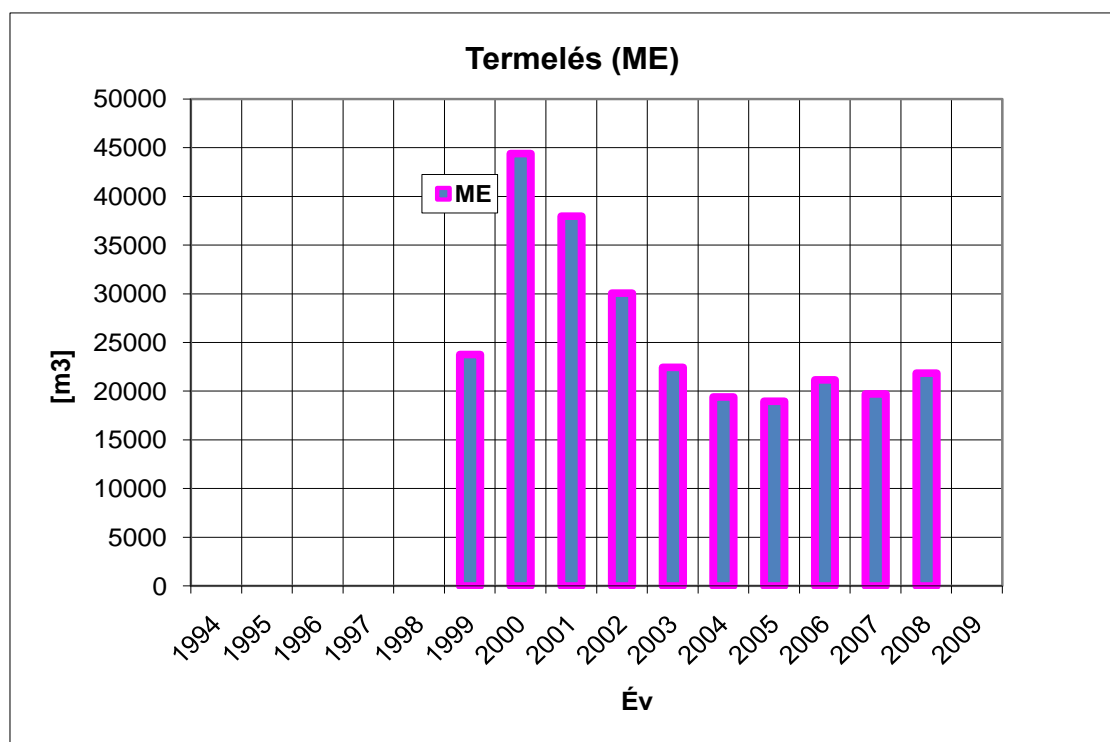
16. ábra: Vízminőségi adatsor (ME)



17. ábra: Vízminőségi adatsor (ME)



18. ábra: Vízminőségi adatsor (ME)



19. ábra: A kút termelése (ME)

▪ A kutak egymásra hatásának jellege, mértéke

Köztudott, hogy a Miskolc város területén található termál kutak kapcsolatban állnak egymással. Többen bizonyították már ezt a tényt, ezek közül a megállapítások közül szeretnék bemutatni néhányat. Horányiné Csiszár Gabriella a „Miskolc város termálvíz ellátásának hidrogeológiai sajátosságai, működésük biztonságos feltételei” című munkájában foglalkozott a témával és rendszerezte az eddigi ilyen jellegű vizsgálatok eredményeit.

1964-ben, amikor az Augusztus 20. Strandfürdő I. számú kútjának megkezdték üzemeltetését azt tapasztalták, hogy a Miskolc-Tapolcán található Termál-forrás elapadt, illetve a szintén Miskolc-Tapolcán lévő Szerelem-szigeti kútnak jelentős mértékben csökkent a vízszintje. Ez azért érdekes, hiszen az Augusztus 20. Strandfürdő kútja a belvárosban található, míg a másik két kút igen messze létesült tőle.

1972-ben szoros összefüggést mutattak ki a tapolcai termálkút a Miskolci Egyetem termálkútja és az imént említett Augusztus 20. Strandfürdő két kútja között.

1988-ban interferencia vizsgálatokat végeztek, melyek keretén belül megállapították, hogy az Augusztus 20. Strandfürdő I. és II. kútja között nyomásbeli összefüggés van.

1991-ben az akkori nevén ÉVÍZIG (ma ÉKÖVÍZIG) előírta, hogy végezzenek egymásrahatás vizsgálatokat az ÁHV, a MIVÍZ Kertészeti kútja és az Augusztus 20. Strandfürdő kútjai között. Ennek eredményeképpen miután az ÁHV kútjának vízszintjét 10 m-rel leszárták, a Kertészeti kútban 0,6 m-es vízszint csökkenést észleltek.

A Miskolci Vízmű megbízásából 1989 és 1995 között méréseket végzett a Miskolci Egyetem, mely vizsgálatokból a következő tapasztalatokat vonták le. Az egyetemi kút és a Termál-forrás között a regresszió értéke 0,99, ami azt jelenti, hogy órán belüli a közvetlen hatás

kiváltása. A Termál-forrás vízszintje és a MIVÍZ kút kútfejnnyomása között a regressziós kapcsolat 0,97. A MIVÍZ kút kútfejnnyomása és az Augustus 20. Strandfürdő II. számú kútjának kútfejnnyomása közti regresszió 0,88. Nem csak a termál kutak állnak egymással szoros kapcsolatban, hanem a hideg karsztvizet csapoló kutak is. Ezt bizonyítja, hogy 1992-ben a Miskolc-Tapolcán található Új-kúton (mely hideg karsztvizet csapol) próbatermeltetést végeztek. Az okozott depresszió hatását ezt követően ki tudták mutatni a miskolci termálvízrendszerben is, ami kútfejnnyomás és vízszintesökkenés formájában jelent meg. 1994-ben az ÁHV kút engedélyeztetési folyamatának részeként került sor a miskolci termál kutakon végzett interferencia vizsgálatra. A vizsgálatba bevont hévíz kutakat két csoportra lehet osztani. Az első csoportba azok a kutak tartoznak, amelyeken folyamatos óránkénti mérések történtek: ÁHV kútja, MIVÍZ Központi Telepi kút, Augustus 20. Strandfürdő II. számú kútja. A második csoportba tartozó kutaknál naponta négyszer történtek mérések: Szabadság Fürdő kútja, Miskolci Egyetem kútja és a Termál-forrás. A vizsgálatok eredményeként elmondható, hogy az egymásrahatások üzemi hozamok mellett 0,05–0,1 bar közöttiek voltak, de megállapításaik szerint ezek csak elenyésző százalékban befolyásolják a kutak teljesítményét. Hozambeli változást tehát nem okozott egyik kúton sem. 1,5 km-ig 0,2 bar ; 2,5 km-ig 0,4 bar míg 5,5–6 km-ig 0,6 bar volt a nyomás csökkenés. 1997-ben készült egy elemzés a Miskolci Egyetem kútjáról. Megvizsgálták mekkora hatás várható a tapolcai és a miskolci víznyerő helyeken, ha a kútból a tervezett vízmennyiséget kiveszik. Szlabóczky Pál szerint, ha az egyetemi kútban 700 l/perc feletti hozammal több hétig folyik a termeltetés, akkor ez Tapolcán dm-es nagyságrendű vízszintsüllyedéseket eredményezhet. Megállapította, hogy az egyetemi kút nincs közvetlen kapcsolatban a tapolcai hideg karsztvízzel. Ha Tapolcán tartósan több ezer m³/napos a vízkivétel, akkor ez dm-es vízszint csökkenést okoz az egyetemi kútban. Ugyanakkor említést tesz arról, hogy az egyetemi kút és a Szabadság Fürdő kútja között nem lehet összefüggést kimutatni az üzemeltetési feltételek miatt, de valószínűsíti az előzőekben említett mértékű összefüggést. Nem valószínűsít viszont kapcsolatot az Augustus 20. Strandfürdő kútjaival. Összegzésképpen elmondható, hogy a tervezett vízkivétel minimálisnak bizonyult a régió, illetve Miskolc vízkivételéhez képest. A Termál-forrásra gyakorolt hatása legalább egy nagyságrenddel kisebb, mint a Termál-forrásnak az Egyetemi-kútra kifejtett hatása, hiszen a kút kb. 95 l/perc-es tartós vízkivétele 10 cm-nél nagyobb vízszintesökkenést nem okoz a Termál-forrásnál és várhatóan sem hőmérséklet, sem hozam változás nem lép fel. Az eddig elvégzett vizsgálatok és megállapítások alapján látható, hogy a város területén lévő mind termál mind hideg vizes karsztkutak vízkivételének mennyiségére nagyon oda kell figyelni. Attól függetlenül, hogy milyen mértékű a kutak egymásrahatása, bizonyított, hogy valamilyen szinten minden kút kapcsolatban áll a többivel. A kutak folyamatos monitorozásával elkerülhetőek az esetleges negatív következmények. Ugyanakkor Lénárt László egyik cikkében felhívja a figyelmet arra, hogy a bükk termálkarsztvíz termelés elért egy olyan szintet, amely fölött egy újabb termelés már veszélyezteti a teljes rendszer biztonságát.

6.2 Az Egerszalók - Demjéni hévízkutak vizéből történő recens kiválások vizsgálata

Ez a fejezet Bányai Andrea eddigi munkái alapján került összeállításra. További részletek olvashatók az irodalomjegyzékben felsorolt kéziratokban, publikációkban.

Az Egerszalókon található két termálkút (De-42, De-42/a), valamint Demjén község szélén található két (K-10, K-11) hévízkút vizeiből történő karbonátos kiválások vizsgálatával foglalkozunk ebben a fejezetben.

Demjén szélén, a Kenderföld Vadászles nevű mezőgazdasági területen 536/34 helyrajzi szám alatt található a K-11-es számú hévízkút a Laskó-pataktól 350-450, és a Demjén-Egerszalók műúttól 600-700 m-re. A kút a magminta nélküli rétegsor alapján feltételezhetően részben eocén, de főleg triász korú mészkőösszetlemből nyeri vizét. Jelenleg a kút próbaüzeme folyik.

Demjén K-10 kút a Demjén 083/36 helyrajzi számú ingatlanon, a Hegyeskői-völgyben található. A hévízkút elsődleges célja a gombatermesztő üzem geotermikus energiával történő ellátása, illetve fürdővízként való további felhasználását, tehát a kitermelt hévíz többcélú hasznosítását tervezték. Jelenleg fürdő vízellátását biztosítja.

Egerszalók D-i szélén található kutak a De-42 és a De-42/a. 1961-ben történt meg az első fúrás (De-42), amely olajkutató fúrás volt. A kút végül hévizet szolgáltatott, amit fürdőzés céljára hasznosítottak, valamint a sódomb építésére. Ma a fürdőt a De-42/a kút vize látja el, ami a De-42 kút melléfúrásos felújítása.

Ezen kutakból kifolyó víz, jelentős karbonáttartalommal rendelkezik. Több alkalommal történt mintavétel, amit a Miskolci Egyetem Hidrogeológiai- Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék laboratóriumában vizsgáltunk.

Az Egerszalókon és demjéni vizsgált kutakból kifolyó víz, jelentős karbonát tartalommal rendelkezik. Mindhárom területen más-más formában jelenik meg a karbonátos kiválás, mely különböző vastagságú, illetve alakú vöröses illetve fehér kiválásokat eredményezett. Ezen sókiválások tanulmányozására több alkalommal végeztünk terepi méréseket, mintavételeket, vízmintavételezést vízminőség meghatározásának céljából, a kutakból, valamint a kiválások mintavételi helyein, az áramló vízből. A kutak vízminőségének összehasonlításához régebbi vízminőségi adatokat is felhasználtunk.

▪ **A hévizekből történő só kiválások keletkezéseinek vízföldtani, műszaki okai**

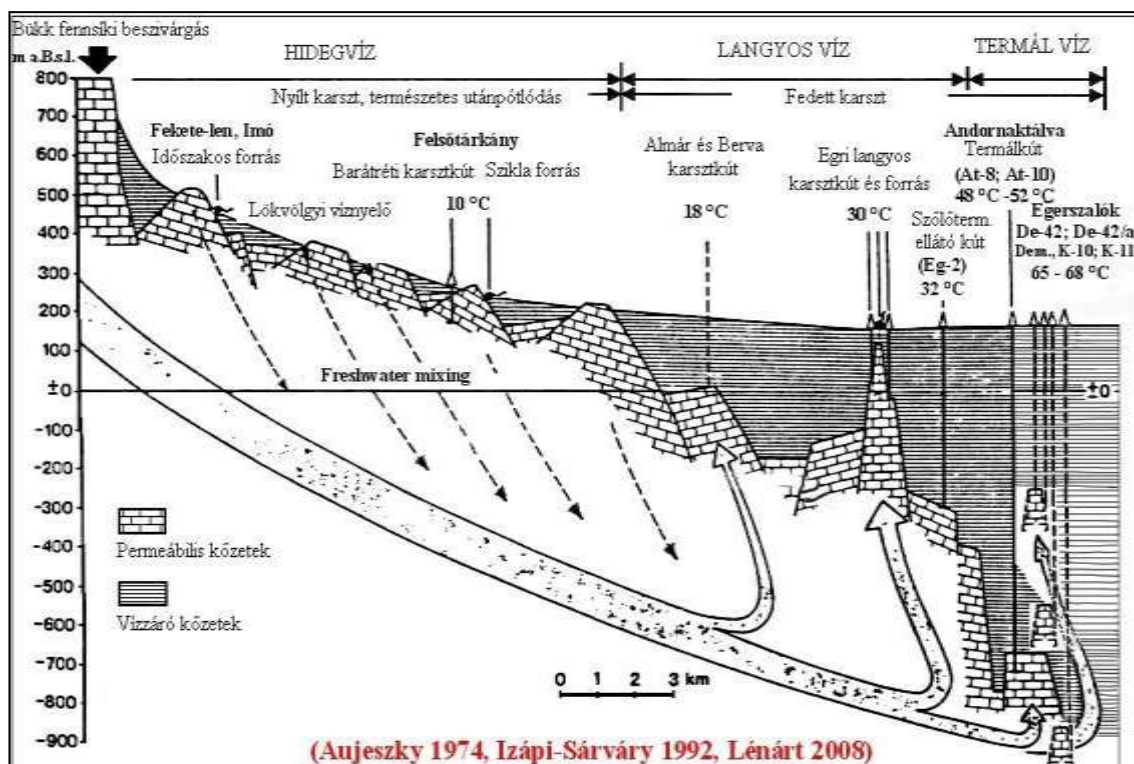
A felszínen keletkezett vízkövek szerkezete az illóanyag gyors eltávozása végett laza szerkezetű. Vízkőnek tekinthető: CaSO_4 , CaCO_3 , BaSO_4 , SrSO_4 , FeCO_3 lerakódásait és ezek oxidjait, hidroxidjait, ha azok vízkőképződésre alkalmas folyadékokból, kinetikai vagy hidrodinamikai viszonyok megváltozásával jöttek létre.

Hévizek só kirakódási hajlama függ a víz kémiai jellegétől, hőmérsékletétől valamint a gáztartalomtól. A vizsgált területen a vízelvezető árokban történő kiválások oka, a vízből fokozatosan távozó széndioxid csökkenése. Kisebb mennyiségben szerves szennyeződést is tartalmaznak ezen kiválások.

▪ **A terület földtani-vízföldtani viszonyai**

A vizsgált terület földtanilag igen összetett, ezért csak az egyszerűsített földtani viszonyokat tekintjük át röviden: a terület nagyobb részében triász karbonátok, zömmel mészkő, másodsorban agyagpalák, alárendeltebb porfiritek és kréta vulkanitok találhatóak. A mészkő zömmel összefüggő, hegységnyi tömegben, részben pedig az agyagpala környezetéből kibukkanó formában fordul elő.

A paleogént eocén mészkő, szárazföldi tarkaagyag, homok valamint oligocén agyag és mészmárga közbetelepült homokkő és andezittufa réteges homok képezi. A neogént miocén-pliocén vegyes üledékek adják, melyben területileg legelterjedtebb a miocén riolittufa a benne elhelyezkedő riolittal, dácittal, dácit tufával. A miocén kavics, homok, tufás szárazföldi tarkaagyag valamint pliocén homok, agyag mennyisége alárendeltebb.



20. ábra: Az Eger környéki termálkarszt rendszer vázlata

Vízföldtanilag jó vízvezető mészkő, és vízrekesztő kőzetekre lehet felosztani. A mészkőrétegek tektonikusan összetörve különböző mélységekbe süllyedtek (20. ábra). A terület termálvíz beszerzése szempontjából, eocén karsztosodott karbonátos összlet. A harmadidőszaki kőzetekből álló dombvidék már zárt tükrű, fedett karsztövhöz tartozik. A karsztvíz csapadékból való összegyülekezése itt is zömmel a felszínen történik, de a felszín alatti, zömmel karsztosodott kőzetben mozgó víz útja akár több ezer év is lehet. Annál melegebb a víz minél mélyebbről és minél hosszabb idő alatt ér a felszínre.

▪ A vizsgálati módszer kidolgozása, alkalmazásának összefoglalása

Demjén K-11 kút esetében:

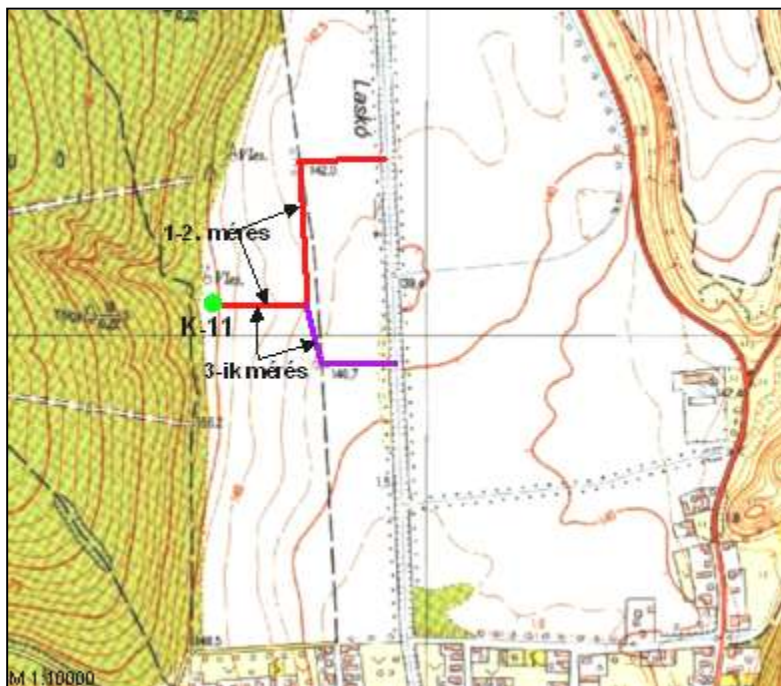
2008 tavaszától végeztünk vizsgálatokat a kútnál (21. ábra). Három időpontban történt mintavétel. 2008 06. 28. – 2008 09.13. között, valamint 2008 10. 11-én és 2009 02. 15- én. Mindhárom alkalommal más-más körülmények voltak jellemzők.

Első méréseink alkalmával, a terepi munkálatok első fázisában, terepbejárás után 5 elméleti szakaszra osztottuk fel a kúttól egészen a Laskó-patakba bevezető mesterséges árkot. Szakaszoktól függően más-más mérési távolságokat állapítottunk meg.

- Az első hosszú változó lejtésű szakaszon a kiválások jellegének minél pontosabb nyomon követésére 5 m-es mérési távolságot határoztunk meg.
- Második szakasz rövidege, valamint a kiválás lecsökkenése miatt itt már 2 m-es távolságokat tartottunk megfelelőnek a mintavétel szempontjából.
- Harmadik szakasz szintén rövid, ezért itt is hasonlóan a második szakaszhoz 2 m-es távolságokat állapítottunk meg a későbbi mintavételezésre.
- A 4.-5. szakaszon már a kiválás kevésbé volt intenzív és szemmel látható nagy változást nem véltünk felfedezni köztük, így itt 10 m-es mintavételezést elegendőnek tartottunk.

Második mérésünk alkalmával a kút hozamát 420 l/p értékűre emelték, így a kiválások vörös színe hófehérre váltott. Ekkor már nem az egész szakaszon csak az első 200 m-en végeztünk mintavételezést, amíg a fehér kiválás megfigyelhető volt.

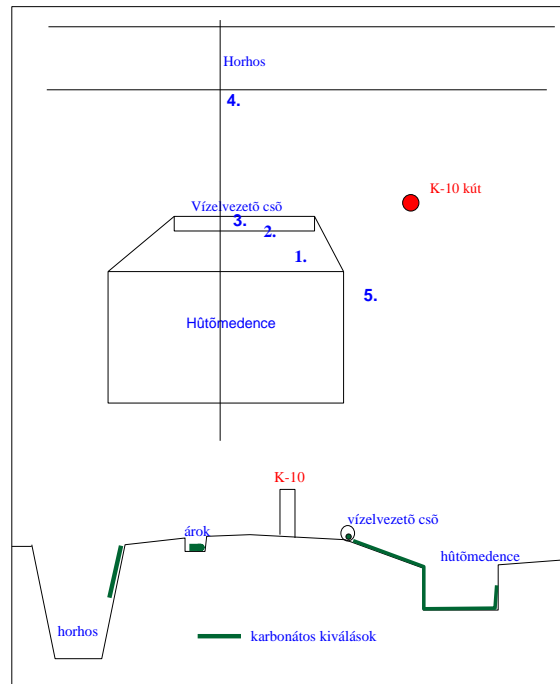
Harmadik mérésünk alkalmával, a régebben kialakított medret már betömték és egy újabb közvetlenül a régi mellett kialakított mederben vezették el a vizet a Laskó patakba, de más nyomvonalon. Közel fél év leforgása alatt már teljesen más megjelenésű kiválások voltak megfigyelhetőek. Ekkor már csak 25-50 m-ként vettünk mintát.



21. ábra: Demjén K-11 kútnál történő mérések szakaszai

Demjén K-10 kút esetében:

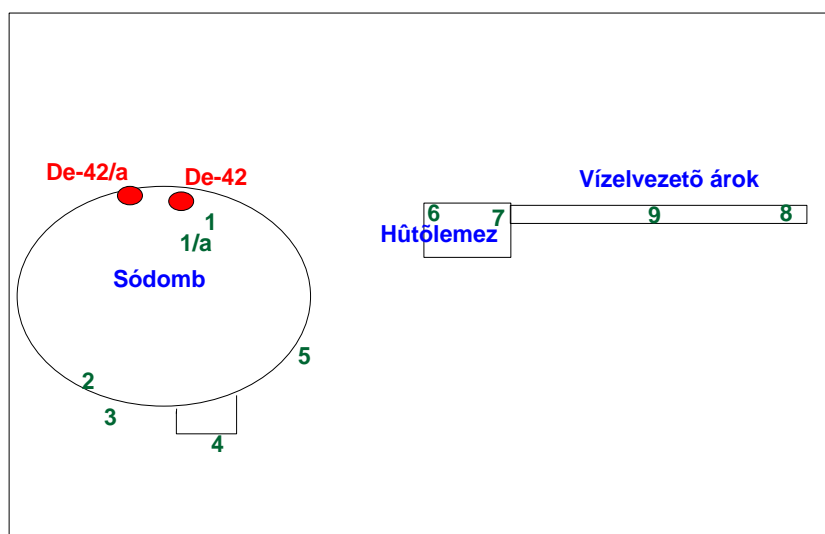
A kútból kifolyó vizet a kúttól 4 m-re található hűtőmedencébe vezetik egy vascsövön keresztül, a csőből kifolyó víz egy 3 m hosszúságú lejtőn jut a medencébe. A kiválások jelen esetben már az elvezető vascsőben megkezdődnek és a fóliával borított lejtőn is megfigyelhetőek, valamint a medence aljában (22. ábra). Mind a vascsőnél, mind a medence tetején és aljánál is végeztünk mintavételezést. Korábbi üzemeltetésnél még a vizet egy horhosba vezették így annak partján, növényekre is megtörtént a kiválás, ahonnan szintén gyűjtöttünk mintát.



22. ábra: Demjén K-10 kút környéki kiválások helyszínrajza

Egerszalók De42; De42/a kutaknál:

Ez a két kút egymás mellett található, a sódomb tetején. Mivel a hévíz által épített domb védett, így innen csak kevés helyen engedélyezték a mintavételezést. A kútból közvetlenül kifolyó víznél a sódomb tetején, valamint aljáról történt a mintavételezés. A víz egy részét egy hűtőlemezen keresztül, majd egy árokban továbbvezetve juttatják el az egerszalóki régi, kisebb fürdőmedencékhez, így a hűtőmedencéről és a vízvezető árokból is történt mintavétel (23. ábra).



23. ábra: Egerszalók De-42, De-42/a helyszínrajza

▪ **A minták laboratóriumi feldolgozása**

A következő méréseket végeztük:

- Kőzetmintákon elvégzett vizsgálatok: makroszkópikus leírás, sűrűség, savban oldhatóság, összes karbonáttartalom meghatározása.
- Vízhőmérséklet vizsgálatok: kloridion, pH meghatározása, vízkeménység, szulfát mérés.
- A kiválások rétegenkénti anyagvizsgálata

Mind a kenderföldi, mind a hegyeskői kutak esetében a karbonátos kiválások nagy részénél megfigyelhető volt a rétegzett megjelenés. A kiválások rétegeiből a vas, magnézium és kalcium koncentráció mérését PU 9100 atomabszorpciós spektrométerrel végeztük. Ezen mérésre azért volt szükség, mert eddig csak az összes karbonáttartalmat mutattuk ki a só kiválásokban, ezen vizsgálattal pedig a rétegekben pontosan meg tudjuk adni a karbonát összetételét.

▪ **Mérési eredmények kiértékelése**

A mintákat keménység, rétegződés, kiválás és rétegződés vastagsága, színe, színárnyalati különbsége, valamint növényre, csőre illetve talajra való kiválás szerint osztályoztuk. A kiválásokról makroszkópos leírást készítettünk.

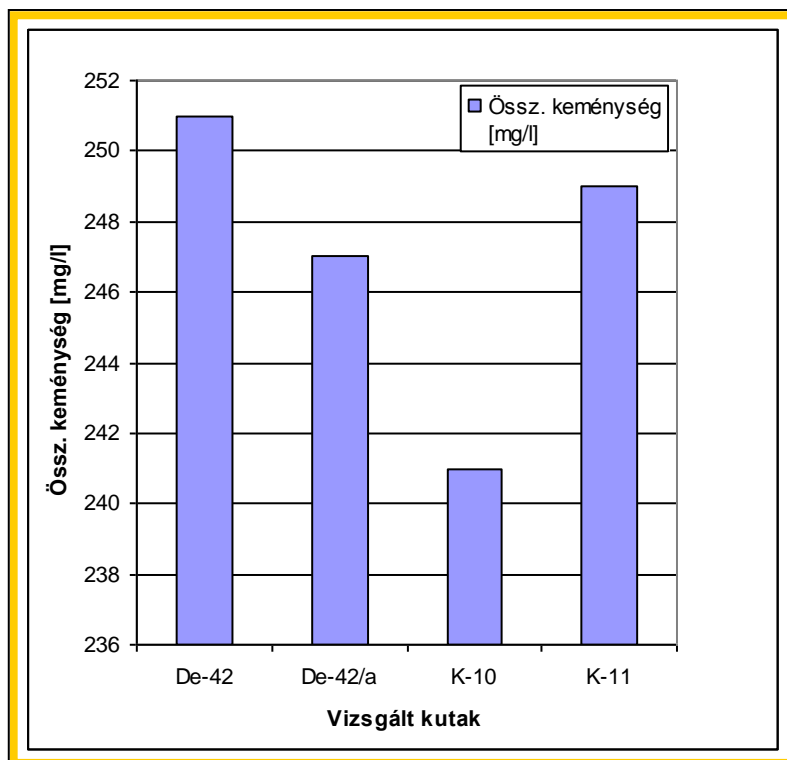
- Demjén K-11 kút esetében kezdetben sötétvörös tömör, rétegzett kiválás volt a jellemző, amely a kúttól távolodva egyre lazább szerkezetűvé vált. Talajra és növényzetre egyaránt megtörtént a karbonátos kiválás. Három hónap elteltével a kút hozamának növelése után (420 l/p), már sokkal világosabb, sárgás volt a kiválás. A régebben vett mintákra jellemző rétegződés már nem volt megfigyelhető. Inkább egy lazább, likacsos szerkezet jelent meg, amely a növényzetre rakódott ki. Közel egy éves próbaüzemeltetés után a kút közvetlen közelében (5 m) Fehér puha, míg a kúttól távolodva világosszürke, rétegzett kiválás volt a jellemző.
- Demjén K-10 kút esetében világosabb szürke és fehér rétegződés figyelhető meg a kiválásokon, hasonlóan a Demjén K-11 számú kút mintáihoz. A vascsőnél vett minta: fehér, sárgásfehér, puha, kenhető kiválás. Hasonló a 2009. februárban Demjén K-11 kút közelében vett mintákhoz. Horhos oldaláról vett minta 3-10 cm vastag növényzetre, faágakra történő kiválás, a kemény, sárgásbarna-barna színű, rétegződés szabad szemmel is megfigyelhető rajtuk.
- Egerszalók De42; De42/a kutak esetében a kiválások fehér színűek, melyek tömörek, kemények. A kútból kifolyó részen viszont különböző átmérőjű oolitok képződtek, melyek keresztmetszeti képe rétegeket mutat.

A Demjén K-10, K-11 kutakból történő kiválások megjelenése, morfológiája azonos, viszont az egerszalóki kutak kiválásainak megjelenése eltér a demjéni kutakétól.

A só kiválásokból vett mintákon végzett összes karbonáttartalom és savban oldhatósági vizsgálatok alapján elmondható, hogy a három területről származó minták közel azonos értékű karbonáttartalommal rendelkeznek.

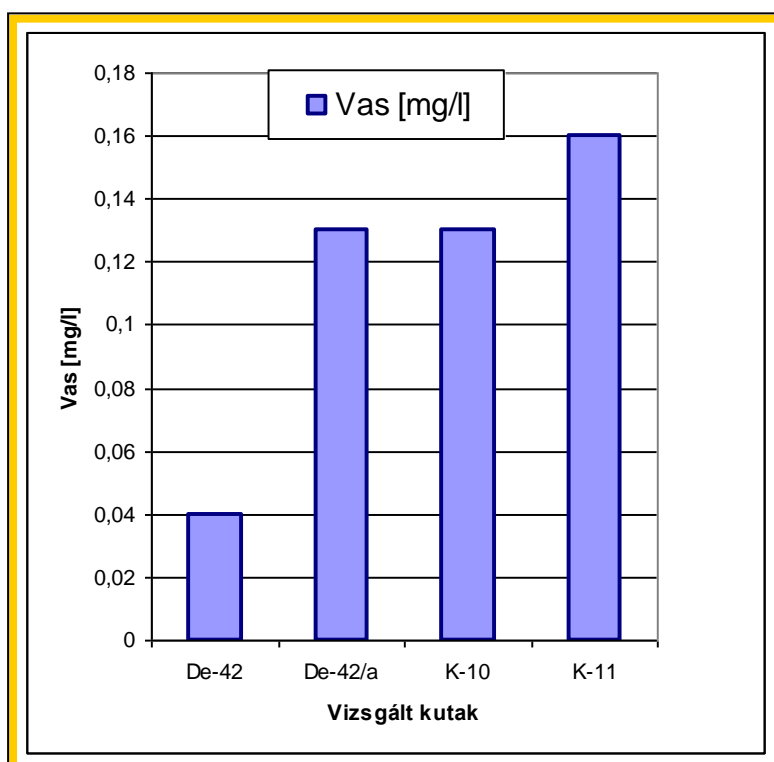
A vízminőségi vizsgálatok eredményei alapján ábrázolva az összes keménység értékét (24. ábra) látható, hogy az egerszalóki, és a kenderföldi kutak esetében magasabb a karbonát keménység. A három vizsgált terület közül ez a két helyszín az, ahol intenzívebben, nagyobb

tömegben történik a karbonátos kiválás. Ezt igazolja az is, hogy 1961 és 2000 között a De-42/a kút vizéből 1600 m³ mésztufa, míg a K-11 kút esetében 2008-ban 27 m³ vált ki.



24. ábra: Összes keménység változásának alakulása a vizsgált kutakon

A 24. ábrán jól látható, hogy legmagasabb összes keménység értékekkel a De-42 kút bír, éppen az, amelynek a „feladata” a sódomb növelése. A K-10 kút lényegesen kisebb értéket mutat, a só kiválás is ennél a kútnál a legkisebb mértékű.



25. ábra: Vastartalom változásának alakulása a vizsgált kutakon

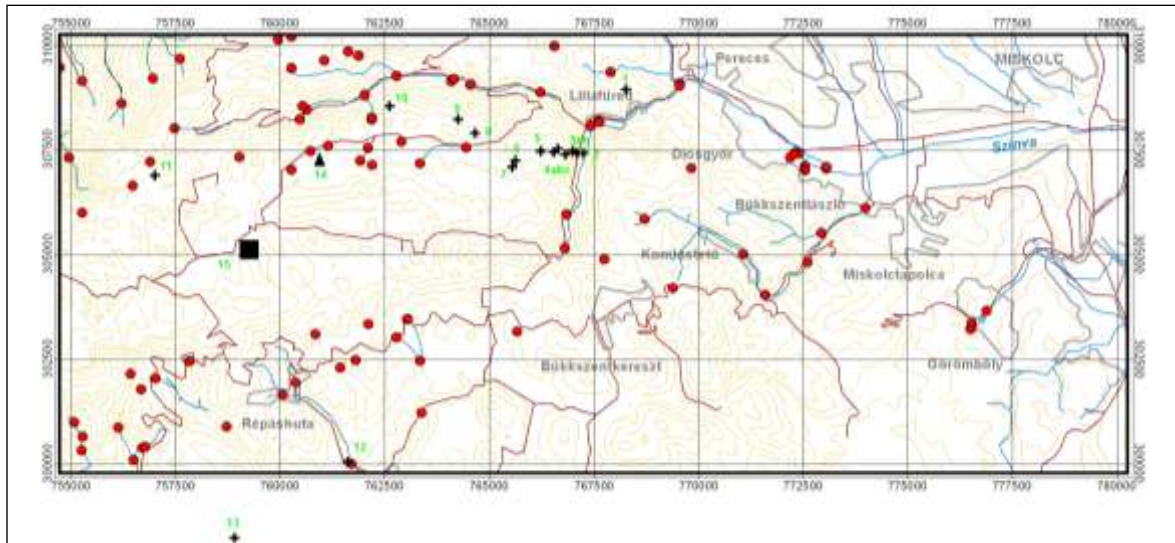
Az egerszalóki kutaknál és a demjéni K-10 kútnál jellemzően fehér szürkésfehér a kiválás, mivel itt a vízben igen alacsony a vastartalom (25. ábra). A K-11 kútnál kezdetben vörös színű volt a kiválás, mivel a víz vastartalma 3,4 [mg/l] volt, de mára ez az érték lényegesen lecsökkent (0,16 [mg/l]), ezáltal világos színű kiválás vált jellemzővé. Ebből a kútból folyik a termelés a legrövidebb idő óta, így a vastartalom csökkenése a későbbiekben még valószínű.

6.3 Szpeleohidrogeológiai vizsgálatok és eredményei

A következő barlangokban végzett mérésekről kívánunk áttekintő információkat adni:

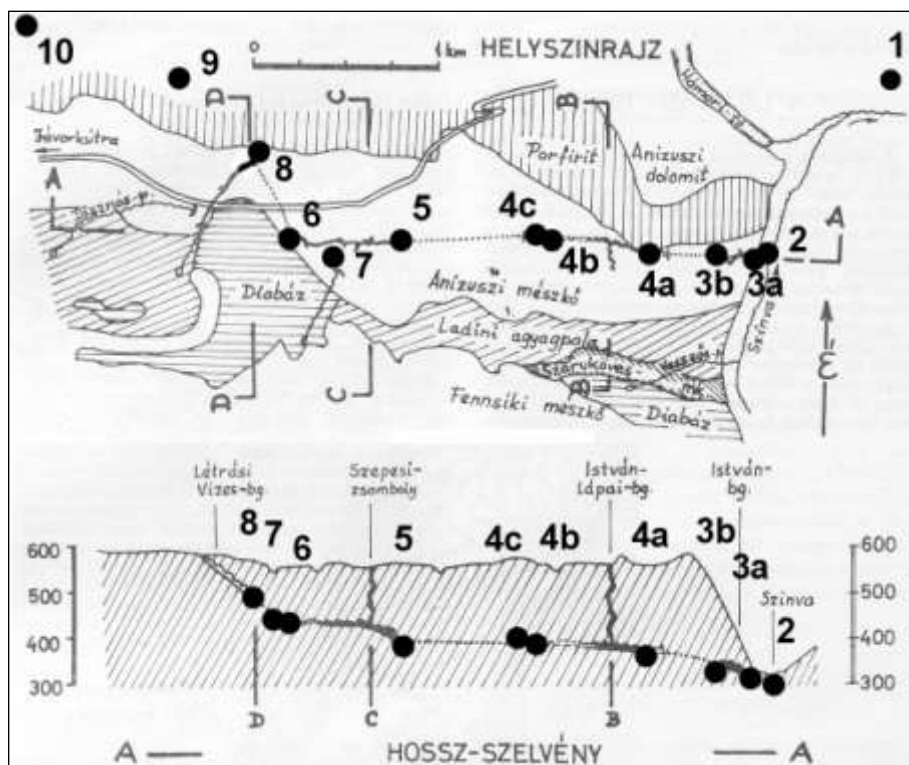
- 1: Szeleta-zsomboly, patakos ág: ismert, nyitott víznyelő nélküli zsomboly
- 2: Soltész-akna = Szinva-parti-barlang: a Szinva-völgyet kitöltő mésztufában lévő üreg, mesterséges aknával feltárva, közvetlen felszíni kapcsolat nélkül
- 3a: Szt István-barlang, Vasas-akna: forrásbarlang alsó szintje, a barlangnak nem ismerünk víznyelőjét
- 3b: Szt István-barlang Pokol: forrásbarlang alsó szintje, a barlangnak nem ismerünk víznyelőjét
- 4a: István-lápai-barlang, Keleti-ág, Középső-szifon: átmenő barlang része, alsó szint, közvetlen víznyelőjét nem ismerünk
- 4b: István-lápai-barlang, Nyugati-ág, 2. szifon: átmenő barlang része, alsó szint, közvetlen víznyelőjét nem ismerünk
- 4c: István-lápai-barlang, Nyugati-ág, 4. szifon: átmenő barlang része, alsó szint, közvetlen víznyelőjét nem ismerünk
- 5: Szepesi-Láner-barlangrendszer, Szepesi-rész, Tó: átmenő barlang része, barlangi mélypont, közvetlen víznyelője a Bükkös-forrás nyelője (Bükkös-forrás, Zsidókúti-víznyelő) lehet, ill. időnként kaphat vízutánpótlást a Láner-barlangrész felől (felszíni vízfolyás nélkül). A Speizi-víznyelőbarlanggal való kapcsolat nem tisztázott.
- 6: Szepesi-Láner-barlangrendszer, Láner-rész, Homokszifon: időszakos víznyelőbarlang, de nem a barlang bejáratán keresztül
- 7: Speizi-barlang, végponti szifon: állandóan aktív víznyelőbarlang
- 8: Létrási Vizes-barlang, végponti Tó: víznyelőbarlang, a Tavi-nyelő csaknem egész évben aktív, az I. bejáraton időszakosan történik vízbelépés
- 9: Jáspis-barlang, végponti szifon: időszakos víznyelőbarlang
- 10: Fekete-barlang, végponti szifon: időszakos víznyelőbarlang
- 11: Diabáz-barlang, Nagy-akna-talpa: változó hozammal, de csaknem állandóan aktív víznyelőbarlang, nagyon sokszor aktív felszíni patakkal
- 12: Balla-völgyi Békás-barlang, végpont: időszakos patak mellett lévő, az útépítéssel megszüntetett víznyelőbarlang jellegű, de a felszín alatt élő víznyelő kapcsolattal
- 13a: Hajnóczy-barlang, Stromfi: magasan fekvő, bizonytalan genetikájú, koncentrált vízbelépés nélküli barlang, mélypont

13b: Hajnóczy-barlang, Tsitsogó: magasan fekvő, bizonytalan genetikájú, koncentrált vízbelépés nélküli barlang, mélypont közelében lévő teremben lévő vízmedence

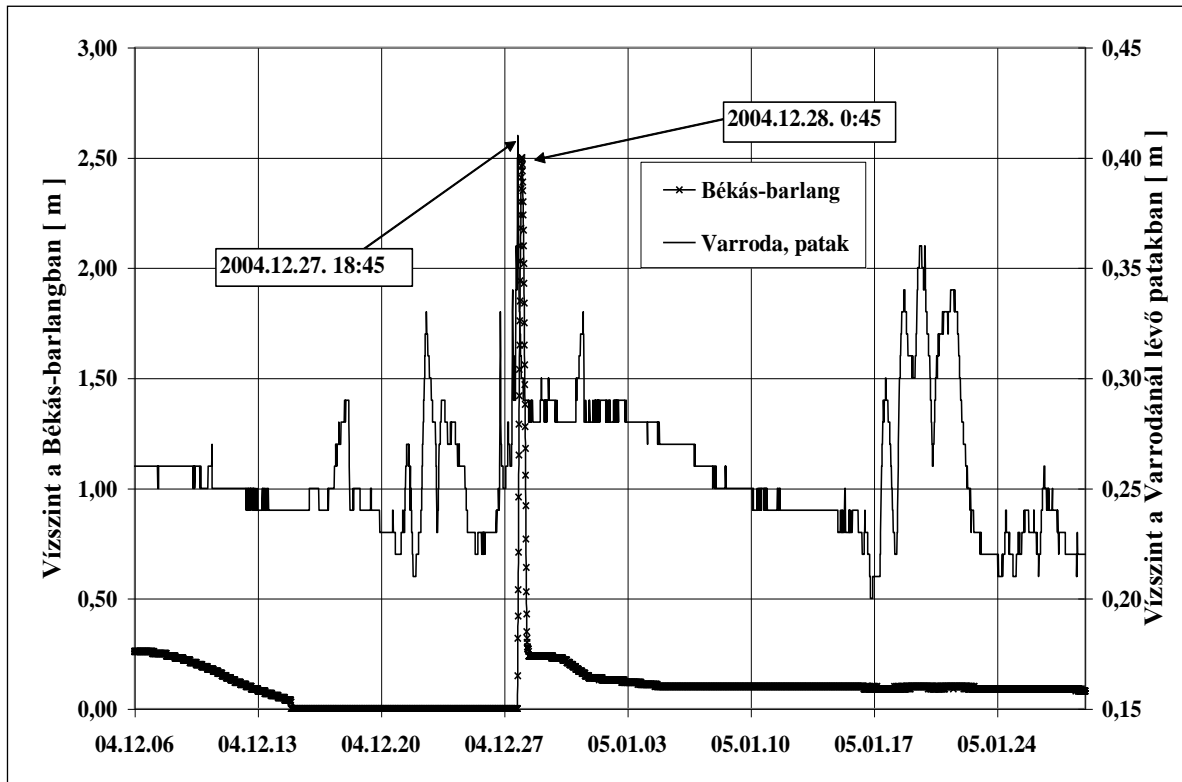


26. ábra: Barlangi mérőhelyek

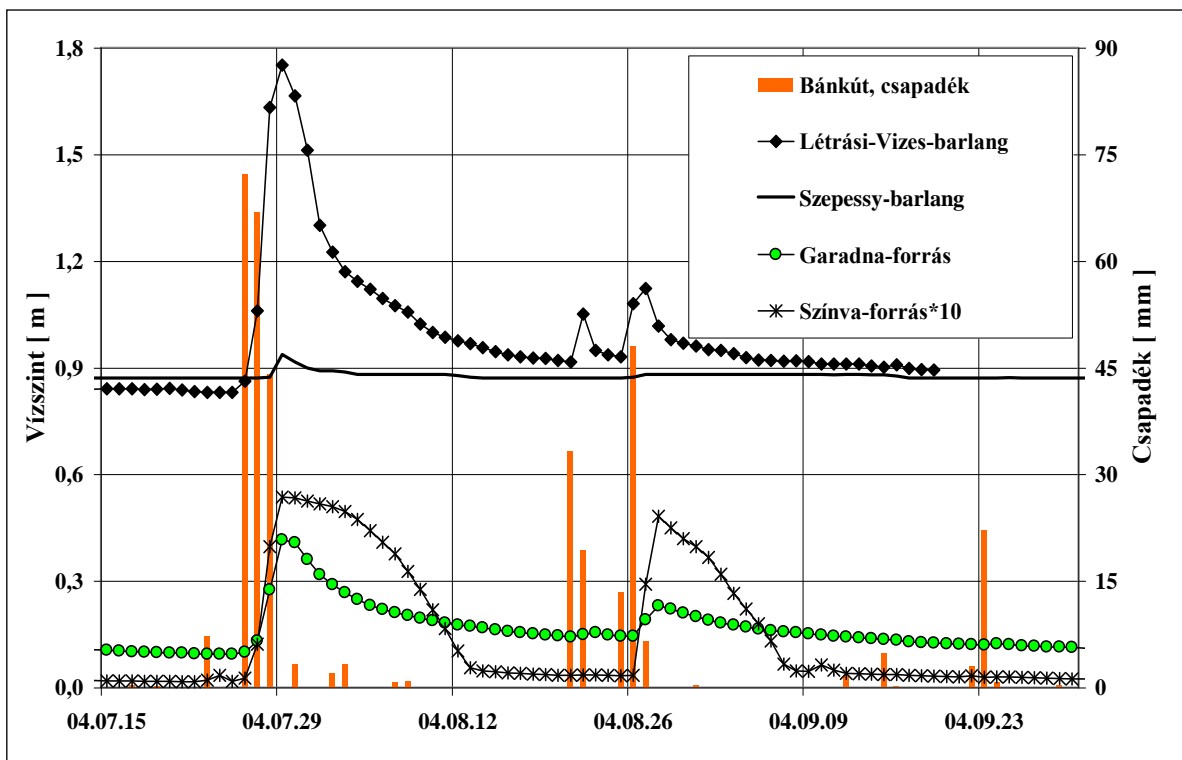
(Alaptérk.: Smaragd GSH-Kft, 2006; jelmagy.: 1: Szeleta-zs, 2: Soltész-akna = Szinva-parti-bg, 3: Szt István-bg, a: Vasas-akna, b: Pokol, 4: István-lápai-bg, a: Keleti-ág, Középső-szifon, b: Nyugati-ág, 2. szifon, c: 4. szifon, 5: Szepesi-Láner-bgrends, Szepesi-rész, Tó, 6: Szepesi-Láner-bgrends, Láner-rész, Homokszifon, 7: Speizi-bg, 8: létrási Vizes-bg, 9: Jáspis-bg, 10: Fekete-bg, 11: Diabáz-bg, 12: Balla-völgyi Békás-bg, 13: Hajnóczy-bg, a: Stromfi, b: Tsitsogó 14: Jávorkúti automata csapadékmérő áll., 15: Nv-17 figyelő kút



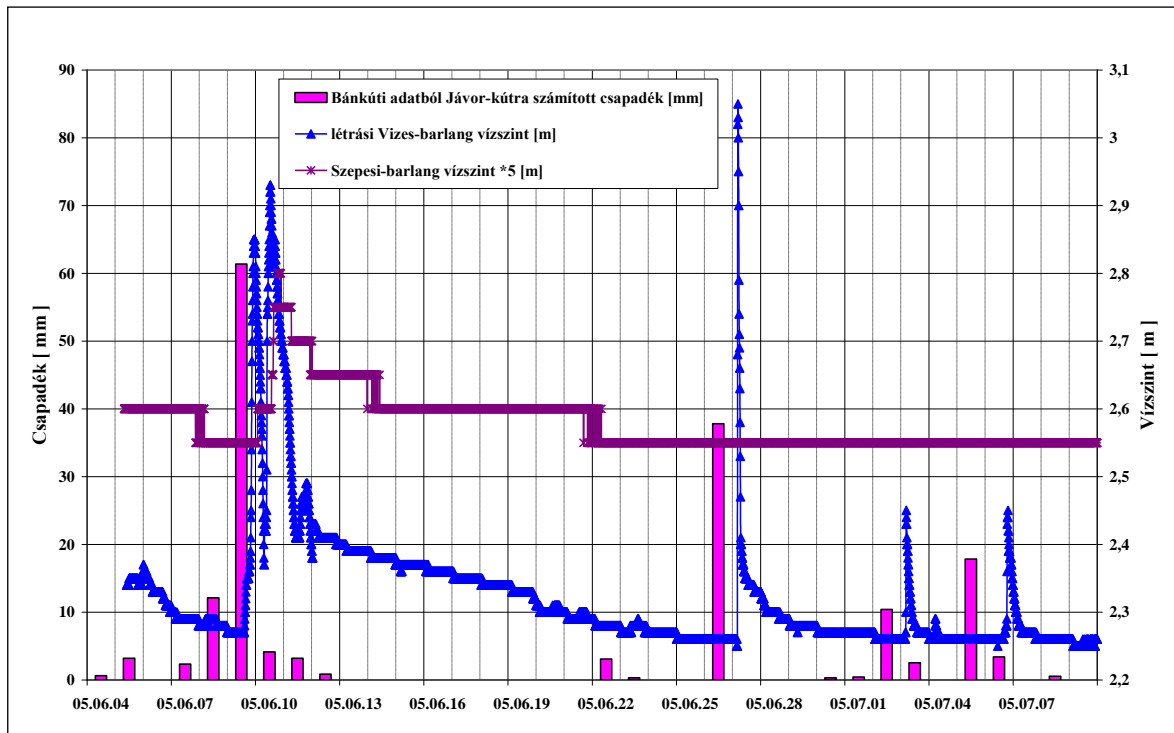
27. ábra. Jávorkút-Szinva-völgy közötti barlangi mérőhelyek
(Alaptérkép: Sárvány I., 1969; a számozás azonos az előző ábra számozásával)



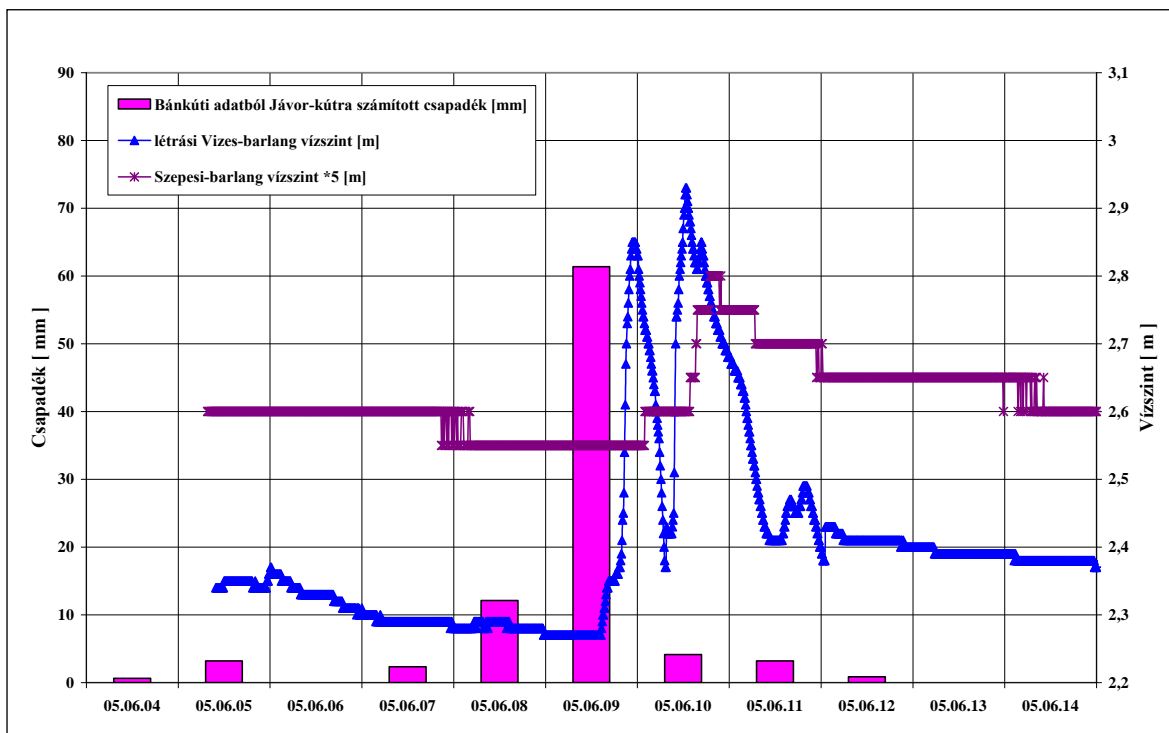
30. ábra. Répáshuta, Balla-völgyi patak és barlangi vízszint összefüggése (Fedor B.)



30. ábra. Napi csapadékok és vízszintek összefüggése (Létrási Vizes-barlang, Szepesi-Láner-barlang Szepesi rész, Tó, Szinva-forrás, Garadna-forrás)



31. ábra. A Szepesi-barlang és a létrási Vizes-barlang tavai napi vízszintjeinek összehasonlítása a napi csapadék függvényében (2005.06.04 – 2005.07.09)



32. ábra. A Szepesi-barlang és a létrási Vizes-barlang tavai napi vízszintjeinek összehasonlítása a napi csapadék függvényében (2005.06.04 – 2005.06.14)

A vizsgálatokhoz a Jávorkúti automata csapadékmérő állomás adatait (és annak hiányában a Bánkúti-adatokat) és a nagyvisnyói Nv-17 figyelő kút adatait használtuk fel.

A répáshutai Balla-völgyi patak és Békás-barlang (Balla-völgyi-víznyelőbarlang) 15 perces gyakoriságú vízszintváltozásait a 30. ábrán mutatjuk be. A patak maximuma 2004.04.12-én 18:45 perckor volt, a barlangban a vízszint maximuma a következő nap 0:45 perckor alakult ki. A két árhullám csúcsa közötti 6 órás különbség 1800 m-es úton alakult ki, ami 300 m/órás sebességnek felel meg. (Az nem egyértelmű, hogy a víz az útján mekkora részt tett meg a mészkőben kialakult felszíni időszakos patakmederben és mekkorát a felszín alatt mészkőben.)

Mivel óránkénti adatokat szolgáltató csapadékmérő állomás a Bükkben csak 2005. decemberétől van, ezért a vízszinteket is napi átlagként vizsgáltuk. (A mérési gyakoriság 15-60 perc volt mindenhol.)

A nyári csapadékok hatását négy helyen (két barlangban és két forrásban) vizsgáltuk meg, három hatékony csapadékcsoporthoz figyelembe véve (31. ábra).

A létrási Vizes-barlang és a Garadna-forrás esetében 50 mm körüli csapadékcsoporthoz már hatékony, azaz vízszint emelkedést okoz.

A Szinva-forrás vízszintemelkedéséhez már 70 mm körüli csapadékcsoporthoz szükséges.

A Szepesi-barlang vízszintjének megemelkedéséhez 100 mm körüli csapadékcsoporthoz szükséges.

Hatékonyak akkor tekintünk egy csapadékcsoporthoz, ha az eső formájában hullott csapadékok között maximum egy esőmentes nap van, s az vízszintemelkedést okoz valamely mérőhelyen.

A 32.-33. ábrákon az előző értékeket megpróbáltuk pontosítani, 15 perces gyakoriságú méréseket felhasználva. (A csapadék még mindig csak napi bontásban állt rendelkezésünkre.) 2005.06.04-12 között 85 mm-es csapadékcsoporthoz mind a létrási Vizes-barlangban, mind a Szepesi-barlangrész tavában érdemi változást okozott. 2005.06.30-07.08 közötti 35,3 mm-es csapadék csak a létrási Vizes-barlangban okozott vízszintemelkedést. Ily módon az előző megállapításunk úgy pontosítható, hogy 35 mm-es csapadékcsoporthoz a létrási Vizes-barlang esetében már hatékony, ill. 85 mm-es csapadékcsoporthoz már a létrási Vizes-barlangon kívül a Szepesi-barlangrészben is hatékony. (Rögzítettük, hogy a létrási Vizes-barlangnak két aktív víznyelője is van, a Szepesinek bizonytalan, hogy van-e.)

A létrási Vizes-barlang esetében a görbék lefutása alapján minimálisan 12-14 órás reagálást feltételezünk, de ennél ez lényegesen gyorsabb is lehet, amit majd a részletesebb vizsgálatoknál látunk.

A nyári csapadékmegoszlást a 2006-os, igen rendkívüli csapadék megoszlású évre vizsgáljuk. A tavaszi vízszintemelkedést az olvadó hóból származó csapadék és az erre hulló csapadék okozta, a nyári vízszintemelkedést pedig egy nagy hatékony csapadékcsoporthoz, melynek a legvégén volt egy nagycsapadék.

Hely	Vizsgálat szintje [mBf]	Tavaszi csúcs ideje	Nyári csúcs ideje
Diabáz-bg.	757	03.29 18:40	06.02 19:20
Létrási Vizes-bg.	504	03.29 22:50	06.02 21:40
Speizi-bg.	463	03.29 21:20	06.02 19:20

Láner-bg.	450	adathiány	06.02 20:00
Fekete-bg.	416	03.30 16:00	06.04 11:30
Jáspis-bg	393	03.28 12:00	06.03 09:20
Szepesi-bg.	385	03.29 12:40	06.02 19:00
István-lápai-bg., 2. sz.	355	03.30 02:40	06.03 05:00
István-lápai-bg., 4. sz.	345	03.27 után	adathiány
Soltész-a.	316	03.30 05:30	06.03 09:20
Szt. István-bg., Vasas	316	03.30 05:30	06.03 10:45 után
Szt. István-bg., Pokol	312	03.30 05:15	06.03 09:15
Szeleta-zs.	270	03.21 19:00	06.02 23:00

Valószínűsíthető, hogy a tavaszi vízszintváltozás a térszín magasságával (hóolvadással) van kapcsolatban, de ennek kimondásához további vizsgálatokra van szükség. A mérőhelyek felett általában 100-300 m vastag kőzet található, kivéve a Soltész-aknát, ahol kb. 12 m vastag holocén mészkővel (mésztofával számolhatunk).

Az István-lápai-barlang 4-es szifonjában lévő víz alakulását vizsgáltuk meg. Az olvadás hatására 03.22-én megindult a vízszint emelkedése, az első jelentősebb csapadék 03.27-én hullott. Az olvadásból származó víz még azonos vezetőképességet mutat 03.27-ig, ahol is jelentős csökkenés következik be 03.30-ig, ahonnan enyhe emelkedés történik. 03.26-tól intenzívebbé válik az olvadásból táplálkozó vízutánpótlódás, a 03.27-i csapadék hatására a vízszintgörbe meredek emelkedésbe vált. Az olvadás és a csapadék vize kb. fele-fele arányban részesedhet a 38! m-es vízszint emelkedésben. (Ez lényegesen nagyobb is lehetett volna, de a víz a szifon küszöbén átesapott, „lefejezte” az árhullámot, ill. a szifon aktívvá vált, mely 10 napon keresztül tartott.)

A vízhőmérséklet csökkenés 03.22-én megkezdődött és 03.30-ig tartott – hasonlóan a vezetőképességhez – onnan emelkedett.

A március végi – április eleji csapadék hatása nem látszik, mert a szifon küszöbén átbukott a víz. Ezzel szemben a 04.06-i, 04.11-i, 04.18-i, 04.20-i, 04.25-i csapadékok viszont a csökkenő görbén kitűnően és azonnal (néhány órai késéssel) megjelennek. Véljük, hogy a karszt igen telített állapotba került, ezért ilyen gyors a reagálás. (Nagy valószínűséggel 2006. nyarán hasonló volt a helyzet, csak nagyobb csapadékmennyiségekkel, ill. hatékonyabb csapadékcsoportokkal.)

A Fekete-barlang esetében a vízszint a csapadéokra kb. 10-14 óra alatt reagált. A hatékony csapadék csoport legjelentősebb tagja (2006.06.02 16-17 óra között) és az árvízcsúcs (2006.06.04 11:30) között 32 óra telt el. (Időszakosan aktív víznyelő, 200-300 m vastag dolomitrétegben lévő barlang.)

A Soltész-akna esetében a vízszint 5-7 óra alatt reagált a csapadéokra. A hatékony csapadék csoport legjelentősebb tagja (2006.06.02 16-17 óra között) és az árvízcsúcs (2006.06.03 09:20) között 16,5 óra telt el. (A mésztufa völgykitöltésben lévő barlang fölött kb. 12 m vastag kőzet található.)

6.4 Barlangi fotók

- Szennyezést bemutató barlangi fotók



9. fotó: Miskolctapolca, Felső-barlang (szennyezés megszüntetve) (MLBE fotók)



10. fotó: Miskolctapolca, Felső-barlang (szennyezés megszüntetve) (MLBE fotók)

▪ **Vízmozgás nyomait bemutató barlangi fotók**



11. fotó: Barlangi áradásra utaló nyomok a Bolhás-Jávorkúti-víznyelőbarlangban és a Bórokási 2. sz. zsombolyban 2006. őszén (MLBE – Kiss János fotók)



12. fotó: Barlangi áradásra utaló nyomok a Bolhás-Jávorkúti-víznyelőbarlangban és a Bórokási 2. sz. zsombolyban 2006. őszén (MLBE – Kiss János fotók)

▪ **Barlangi mérési helyek**



13.-14. fotó: Barlangi mérések az István-lápai-, a Szinvaparti- és a Szepesi-Láner-barlang Láner-ágában (MLBE fotók)



15. fotó: Barlangi mérések az István-lápai-, a Szinvaparti- és a Szepesi-Láner-barlang Láner-ágában (MLBE fotók)

▪ **Víznyelőfotók**



16. fotó: A Diós-patak nyelője és a Koporsós-víznyelő (Czesznak L. – Fedor B. fotók)



17. fotó: A Diós-patak nyelője és a Koporsós-víznyelő (Czesznak L. – Fedor B. fotók)

7. Összefoglalás

Összegzésként elmondhatjuk, hogy a kapott eredmények alapján kiválasztottuk az egyes vízszint mérőhelyekhez a nekik leginkább megfelelő csapadékmérő állomást. Ennek eredményeképpen az általunk vizsgált 5 mérőhelyet a – Bükk hegység egészét is jól jellemző – jávorkútról származó csapadék adatokkal vizsgáltuk, ill. célszerű vizsgálni.

Első lépésben az Nv-17 megfigyelő kút 2006-os adatsorának segítségével ismertettük az 2006-os nyári karsztárvíz eseményeit, majd vizsgáltuk az Nv-17-et és a Garadna-forrást árvízi időszakban, megadtuk az árvízi időszakhoz tartozó tetőzés idejüket, az Nv-17 esetében napi adatokat, a Garadna-forrás esetében órákra lebontott adatokat használtunk.

Ezt követően az - Nv-17 mérőhelyre 1994 és 2007 között - azonos napra rendezett vízszint adatsorokból kiindulva összehasonlítottuk a hóolvadás miatt bekövetkező vízszintemelkedést a nagycsapadék miatt bekövetkező vízszintemelkedéssel.

A diagramok felfutó ágának egyező meredekségéből arra következtettünk, hogy létezik maximális beszivárgási, ill. vízszint növekedési sebesség, amely az Nv-17 esetében $1,67 \text{ m/nap}$. A leszálló ágak egyező meredeksége vezet a jelleggörbe előállításához, amely nem más, mint a karszt „leürülésének” folyamata csapadékmentes időszakban, segítségével előállítható a relatív vízszintváltozási görbe, amely segítségével a vízszintváltozások jobban észlelhetőek, a csapadék vízszint növelő hatása könnyebben kimutatható.

Ezután a Bükk csapadékcsoportjainak lehatárolása, a hatékony csapadék csoport definiálása volt a célunk.

A hatékony csapadék csoportok meghatározása egy korábban megfogalmazott definíció pontosítását eredményezte, amely szerint: „Hatékony csapadék csoporton azon napi csapadékok összegét értjük, melyek több napon keresztül - esetleg 1-2 nap megszakítással - meghatározóak a karsztvízszintek alakulásában, és összegük megközelíti, vagy meghaladja az 50 mm-t”. Az új, pontosabb meghatározás pedig így hangzik: hatékony csapadék csoporton azon napi csapadékok összegét értjük, melyek hatásukat tekintve egyként kezelhetőek, a csökkenő vízszintet – mérőhelytől függően – a sokéves vízszintingadozás legalább 5-10%-ával visszafordítják. Az általunk vizsgált mérőhelyek esetében az 1993 és 2006 között előfordult hatékony csapadék csoportok, ezen definíció alapján meghatározott értékeinek átlaga a megfelelő táblázatban megtekinthetőek.

Az adott hatékony csapadékcsoport ismeretében a várható vízszintnövekedés mértékének és a tetőzés időpontjának meghatározásáról szól. Az előállított ábráról leolvasható, hogy Garadna-forrás esetében 30 mm-nél nagyobb csapadék hullásakor mekkora valószínűséggel lesz nagyobb a vízszintnövekedés egy adott értéktől. A valószínűség számítás módszere alkalmazható a tetőzési idő esetében is. Ezután a tetőzési idők mérőhelyenkénti meghatározásával foglalkoztunk nem statisztikai módszerek segítségével. A megfelelő ábrákon láthatjuk, hogy az egyes mérőhelyekhez tartozó értékek itt is csoportokat alkotnak, csapadék nagyság és tetőzési idő szerint tömörülnek.

Az Nv-17-re vonatkozó adatpontok a nagyobb csapadékok és hosszabb tetőzési idők (10-12 nap), a tebepusztai mérőhelyre vonatkozó adatok az Nv-17-től kisebb, de relatíve szintén a nagyobb csapadékok és hosszabb követési idők tartományában helyezkednek el (5-7) nap. Ezzel szemben a Garadna-forrás és a felsőtárkányi mérőhely adatpontjai a 90 mm alatti

csapadékok és a 2 napos tetőzési idők tartományában találhatóak, míg a Szinva-forrás adatai a 80 mm alatti csapadékok és az 1-2 napos tetőzési idők tartományába tömörülnek.

Korrelációs számításokkal a különböző helyeken mért vízszintek közötti kapcsolatot mutattuk ki. A különböző görbéket összevetve a néhol igen szoros kapcsolaton túl megállapítható, hogy a vízszint reagálása a csapadékokra 1 napon belül minden mérőhely esetében megjelenik - tetőzési időtől függetlenül -, viszont az egyes mérőhelyeken más-más ideig tart a vízszint növekedése.

Mindezek alapján úgy gondoljuk, hogy az átlagos tetőzési idők, a hatékony csapadék csoportok nagyságának ismerete, az előállított diagramok segíthetik a vízbázis védelmét, egy esetleges árvíz helyzet kialakulásának előrejelzését, ill. a hálózat 2006-hoz hasonló elszennyezésének megelőzését.

A 4. fejezetben ismertetett regresszió módszer alkalmazásával az adathiányok majdnem minden esetben pótolhatóak, vagy egy ugyanazon évben jelenlévő másik észlelőhely/észlelőhelyek vízszintadatai segítségével, vagy pedig az ugyanazon észlelőhely másik éveiben, ugyanerre az időszakra ismert értékei alapján. A valós, mért és „becsült” (számított) értékek közötti eltérés a legtöbb esetben cm-es nagyságrendűnek adódott, előfordult azonban dm-es nagyságrendű különbség is. A Nagyvisnyó-17 nagyon sok esetben jó viszonyítási alapul szolgál, számos helyen - adathiányt kivéve - jó korrelációt mutat a vízszint - adatsorok nagy részével.

A neuron hálózaton alapuló megoldás eredményei alapján megállapítható, hogy karsztvízszint-adatsorok pótlására illetve előrejelzésére neuron hálózatok alkalmazása megfelelő megoldással szolgált, mind adatpótlásnál, mind előrejelzésnél a SVR (Support Vector Regression), rbf (rule based forecast) típusú illesztése adta a legpontosabb vízszintértékeket, azzal a különbséggel - amit sejteni is lehetett -, hogy adatpótlásnál külső faktor alkalmazása nélkül, előrejelzésnél pedig külső faktor alkalmazásával nyertük a legjobb illesztéseket. Valószínűleg ennek az oka, hogy míg pótlásnál a vízszint-adatsoron „korábbi és későbbi” információk is rendelkezésünkre állnak, addig előrejelzésnél nem ismerjük az idősorok jövőbeli alakulását.

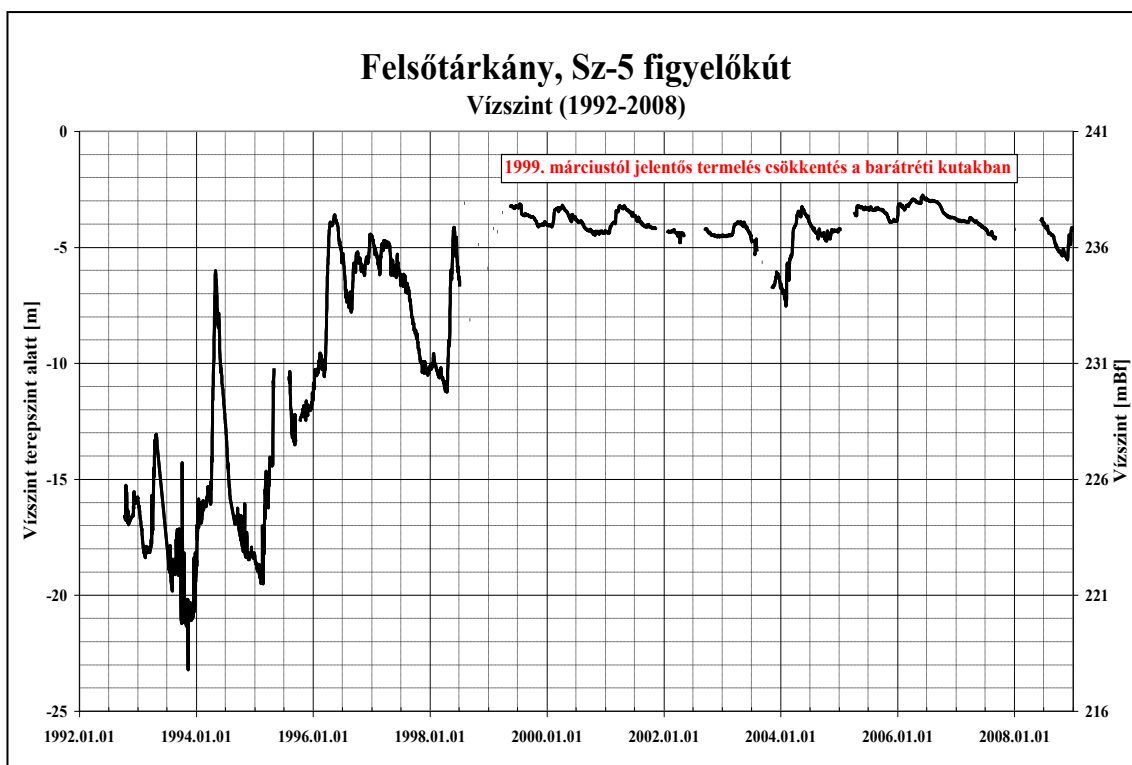
A vízszint idősorok pótlására, előrejelzésére mindkét módszer megoldása elfogadható - a valós vízszintértékekhez képest igen közeli - vízszintértékeket nyújtott. Regressziós vizsgálatnál cm-es és dm-es - de előfordult, hogy m-es - különbségek adódtak a mért és számított vízszintek között; az öntanuló algoritmusok által kapott megoldások pedig - nagy vízszintváltozások előrejelzésétől eltekintve, ami 2 m-es eltérést is mutatott - 20 cm alatti hibabecsléssel közelítették a karsztvízszinteket. Tehát megállapíthatjuk, hogy ezen vizsgálatok eredményei is alátámasztják a bükk karsztrendszer összefüggő voltát.

Bár hidrogeológiai szempontból a jövőben mindkét eljárással megfelelő pontossággal tudjuk becsülni a hiányzó vízszintértékeket, és előre jelezni a nem kívánatos csapadék okozta vízszintváltozásokat, a továbbiakban a matematikai alapon történő, öntanuló algoritmusok által kapott eredmények felhasználását javasoljuk. Bár igaz, hogy az idősorok futtatásához időre van szükség, de a későbbiekben hosszú távú előrejelzésekhez és pótlásokhoz mindenképpen pontosabb megoldás nyújthat.

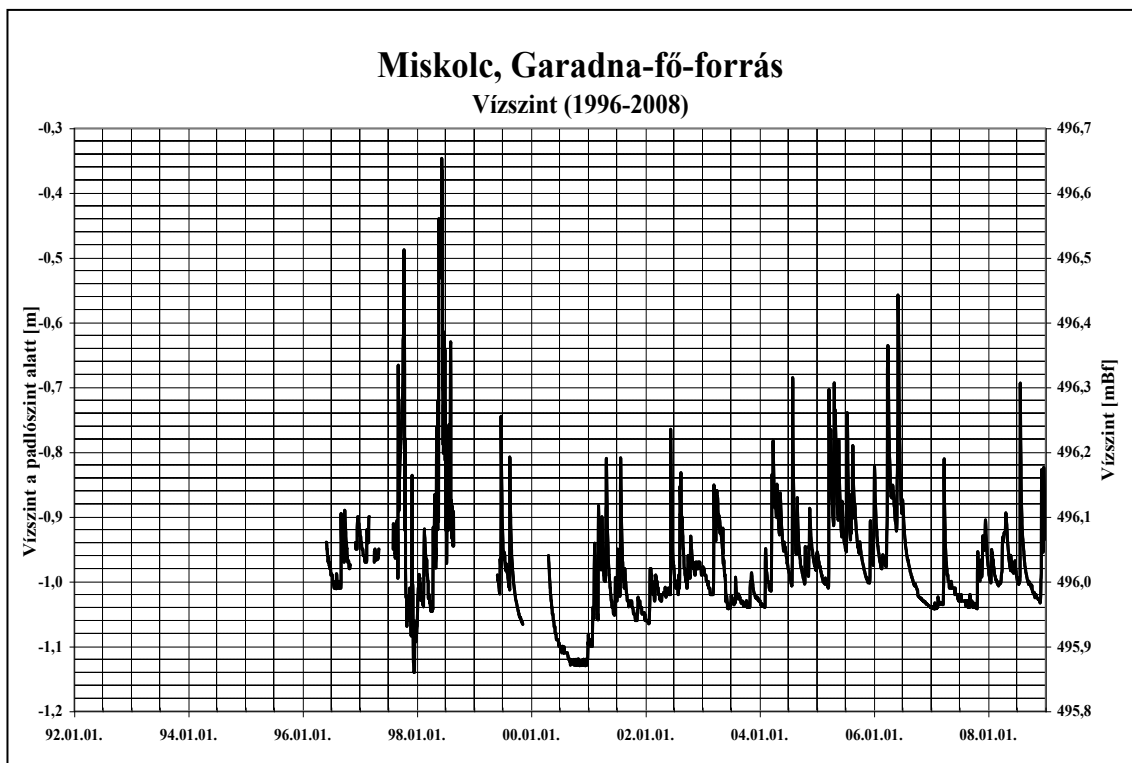
Az 5. fejezet eredményei alapján elmondható, hogy a vízminőség, a víz vastartalma és a vízbe jutó egyéb anyagok befolyásolják a kiválások színét. A víz karbonáttartalma befolyásolja a kiválások nagyságát, hiszen minél nagyobb a karbonáttartalom, annál jelentősebb a só kiválások mennyisége. A víz hőmérséklet csökkenése illetve a meder lejtése, ebből adódóan a víz sebessége és a vízből távozó széndioxid a kiválás mértékét mutatja. Vizsgálataink során bebizonyosodott, hogy a hűlő vízben vastag, tömör a kiválás (10-15 cm), melynek sűrűsége is magas értékeket ad. Ezen kiválások vastagsága pár mm-től egészen dm-es nagyságig nőtt. A

K-11 kútnál figyelhető meg legjobban, hogy egy nagyobb lejtésű szakaszon a széndioxid távozásával megkezdődik a karbonátos kiválás folyamata, míg 40 °C alatti víz esetében a kiválások elhanyagolhatóak. Magyarázatot adhat az is, hogy a vízben ekkorra jelentősen lecsökkent a karbonáttartalom. A vízhozamok változásával összefüggésbe hozható a kiválások rétegzettsége, hiszen nagy vízhozamnál, nagy vízmennyiségből nagyobb mennyiség tud kiválni, mint alacsony hozamoknál. A rétegződésen megfigyelhetők azok a színváltozások, melyeket leginkább a kútból kifolyó hévíz vastartalma okozott. A kiválások pontos összetételének meghatározása érdekében a továbbiakban a vizsgálatok kiterjesztése, más tudományterületek és más vizsgálati módszerek bevonása (ásványtani és geokémiai) szükséges.

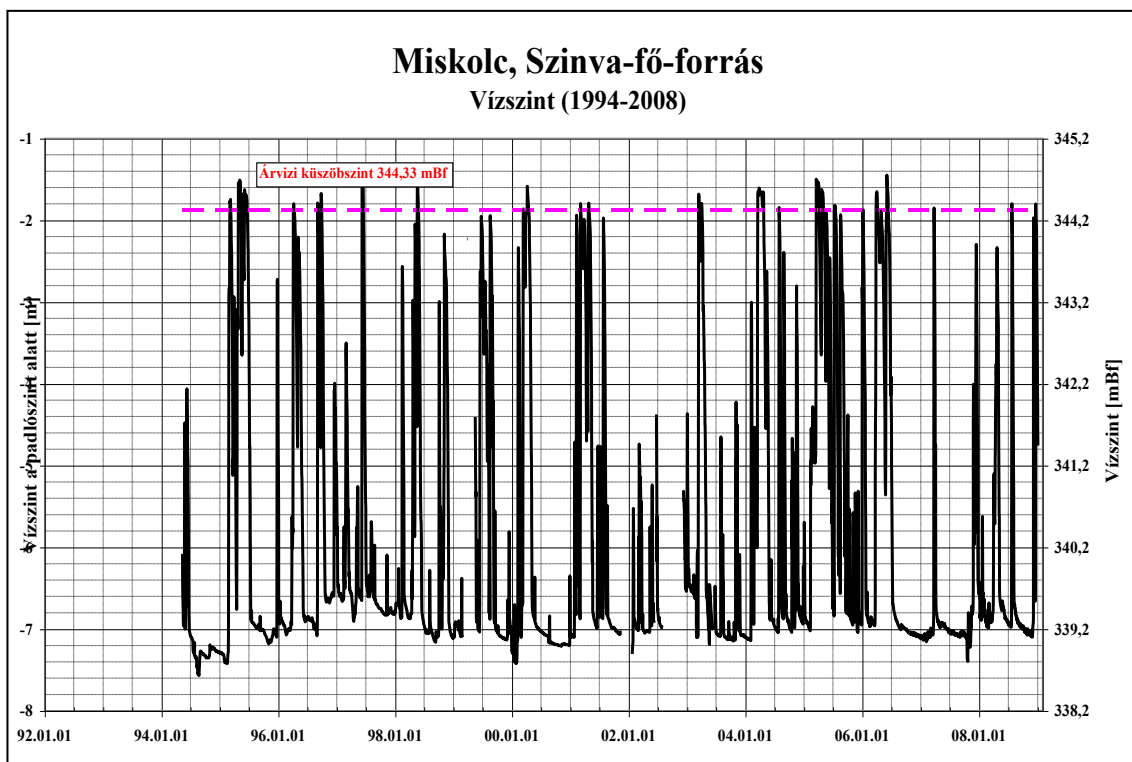
1. melléklet: A Felsőtárkányon mért vízszintek (1992-2008)



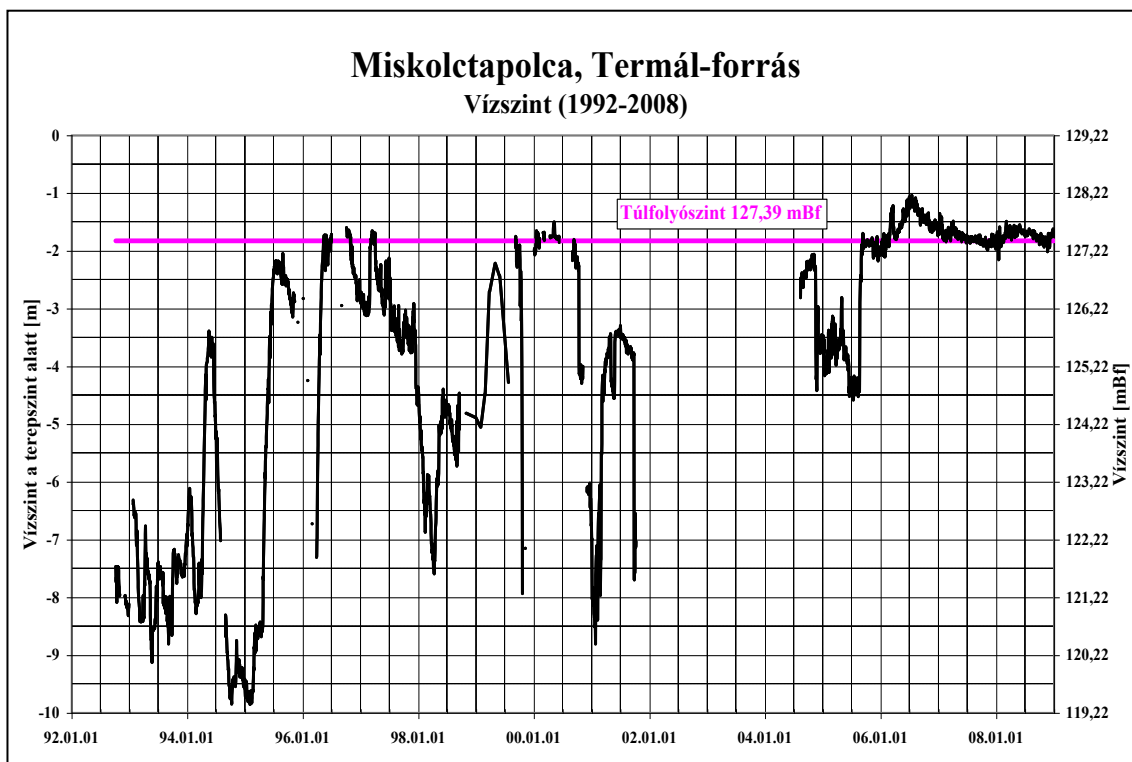
2. melléklet: A Garadna-fő-forrás vízszintjei (1996-2008)



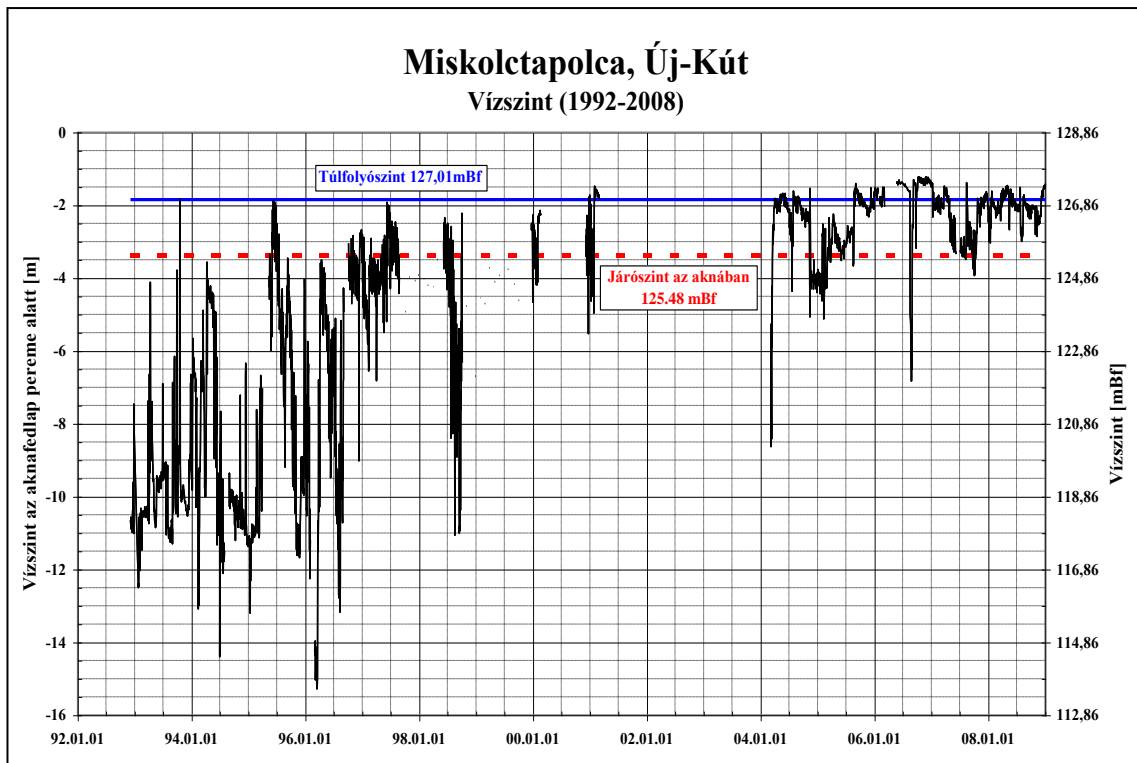
3. melléklet: A Szinva-fő-forrás vízszintjei (1994-2008)



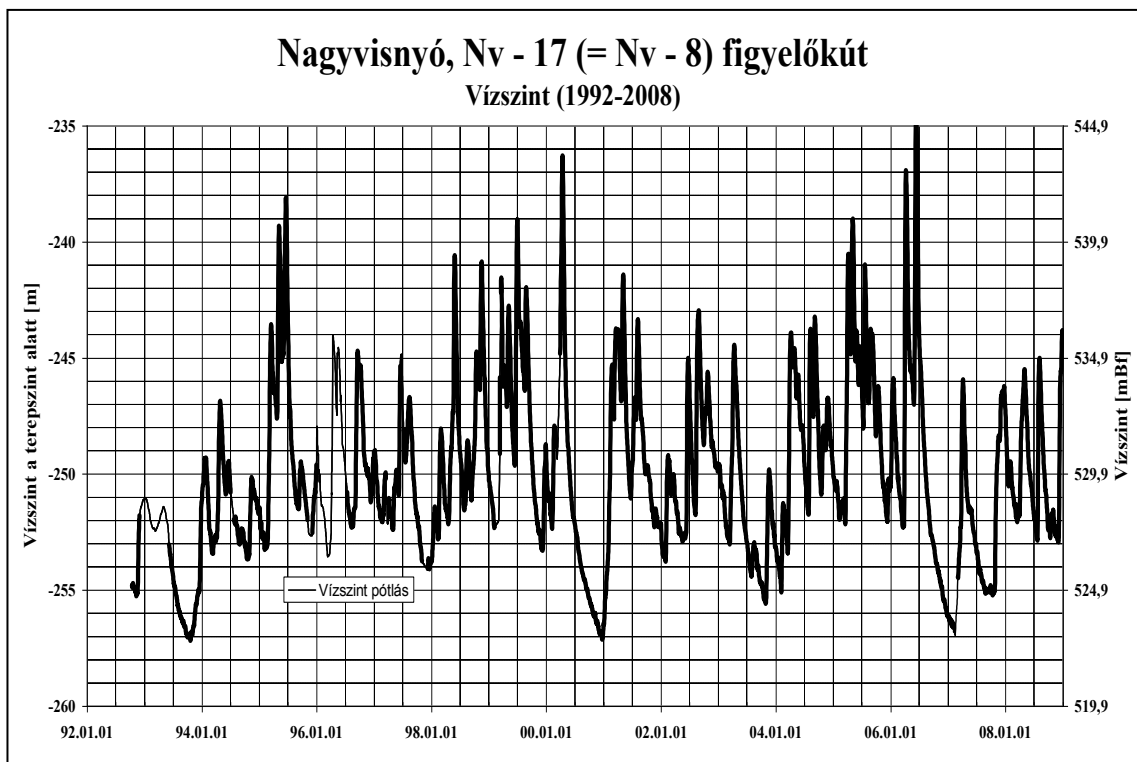
4. melléklet: Miskolctapolca, Termál-forrás vízszintjei (1992-2008)



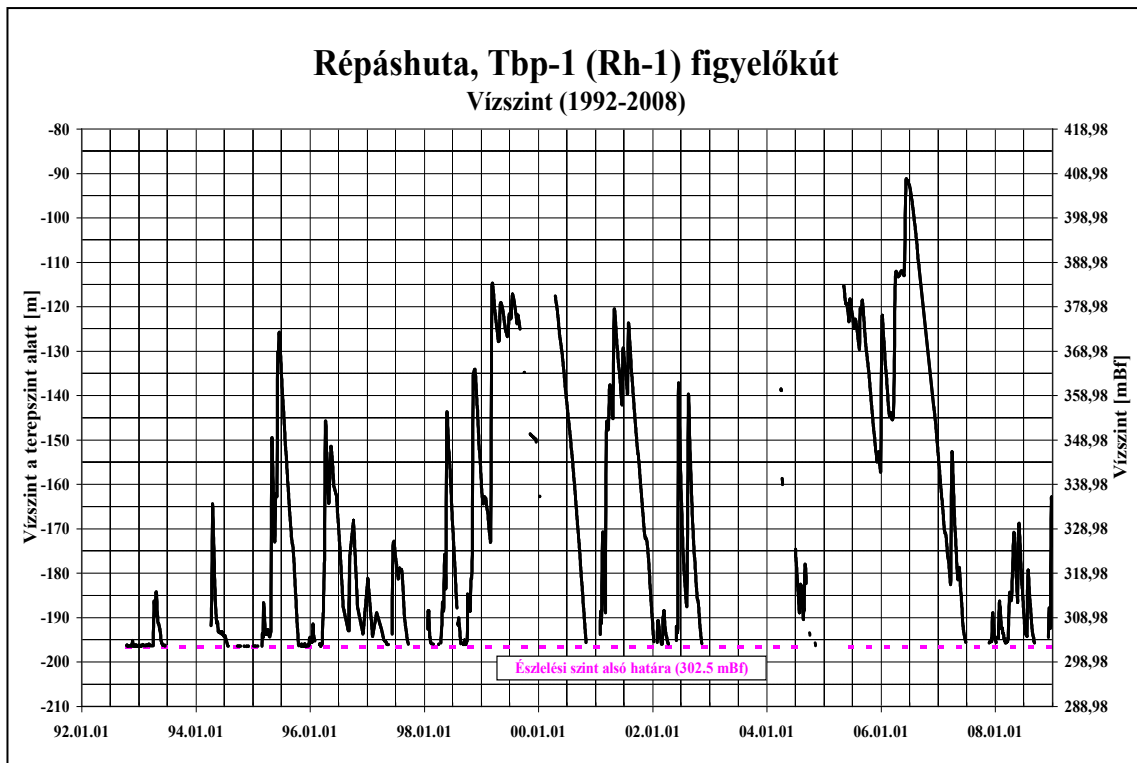
5. melléklet: Miskolctapolca, Új-kút vízszintjei (1992-2008)



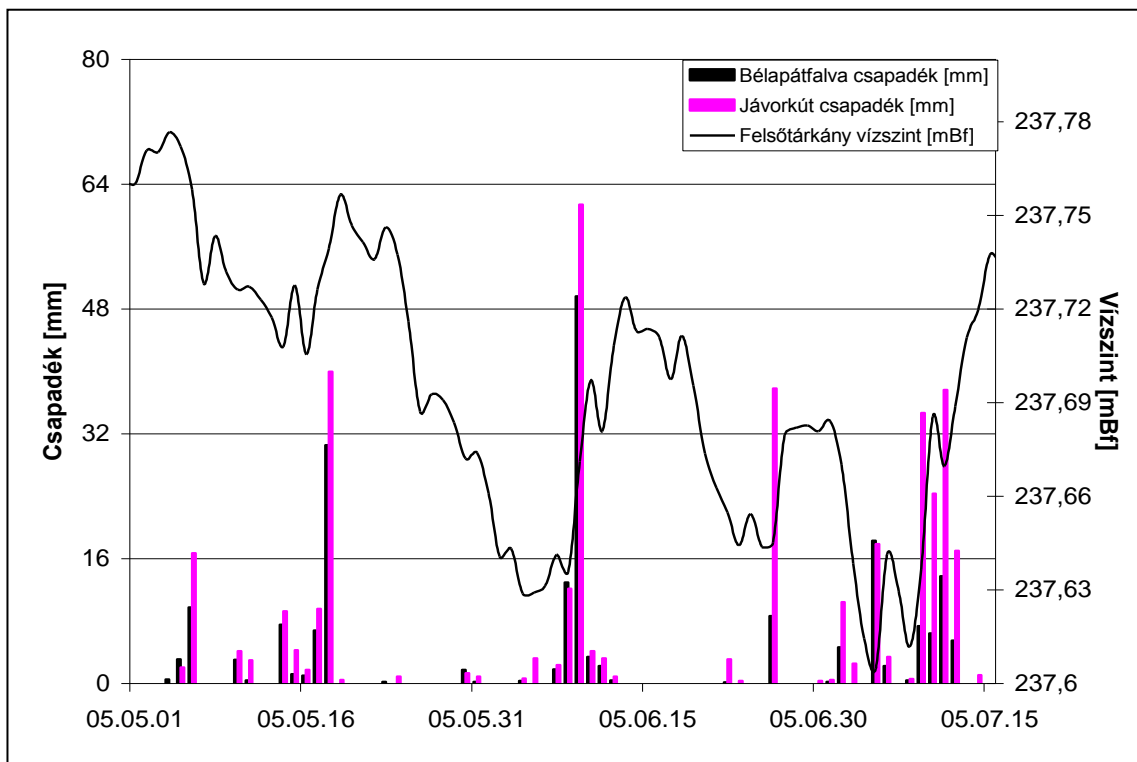
6. melléklet: Nagyvisnyó, Nv-17 figyelőkút vízszintjei (1992-2008)



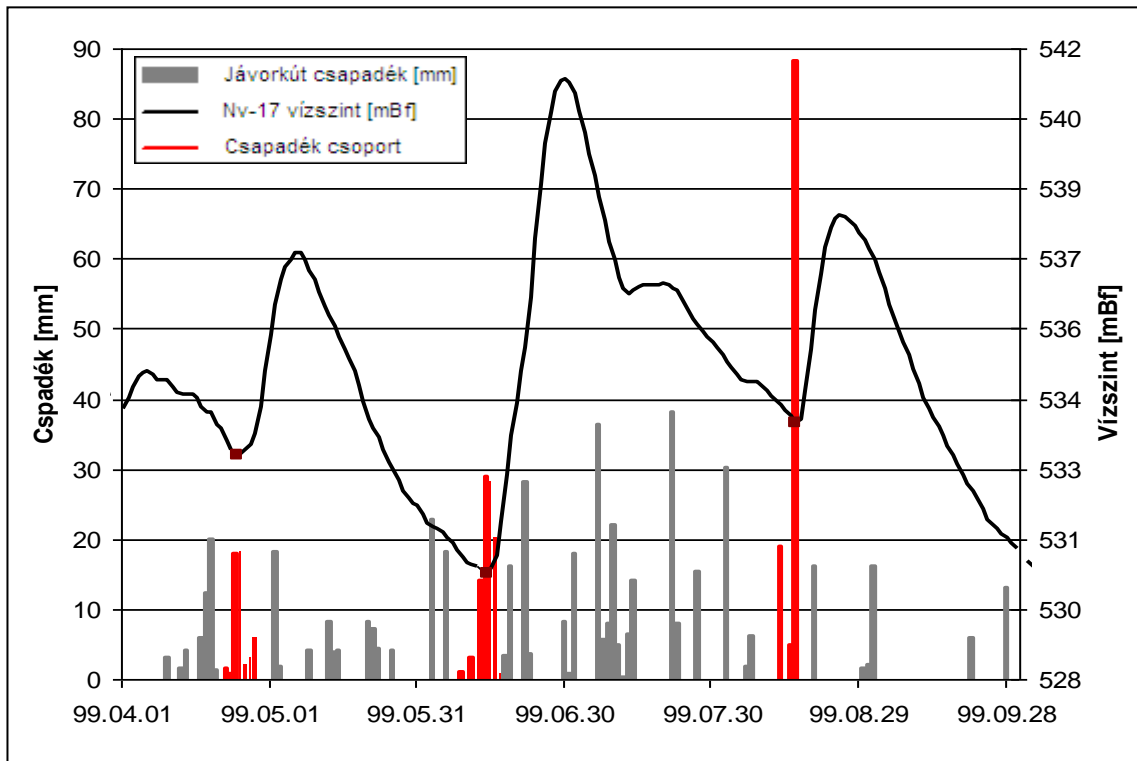
7. melléklet: Répáshuta, Tbp-1 figyelőkút vízszintjei (1992-2008)



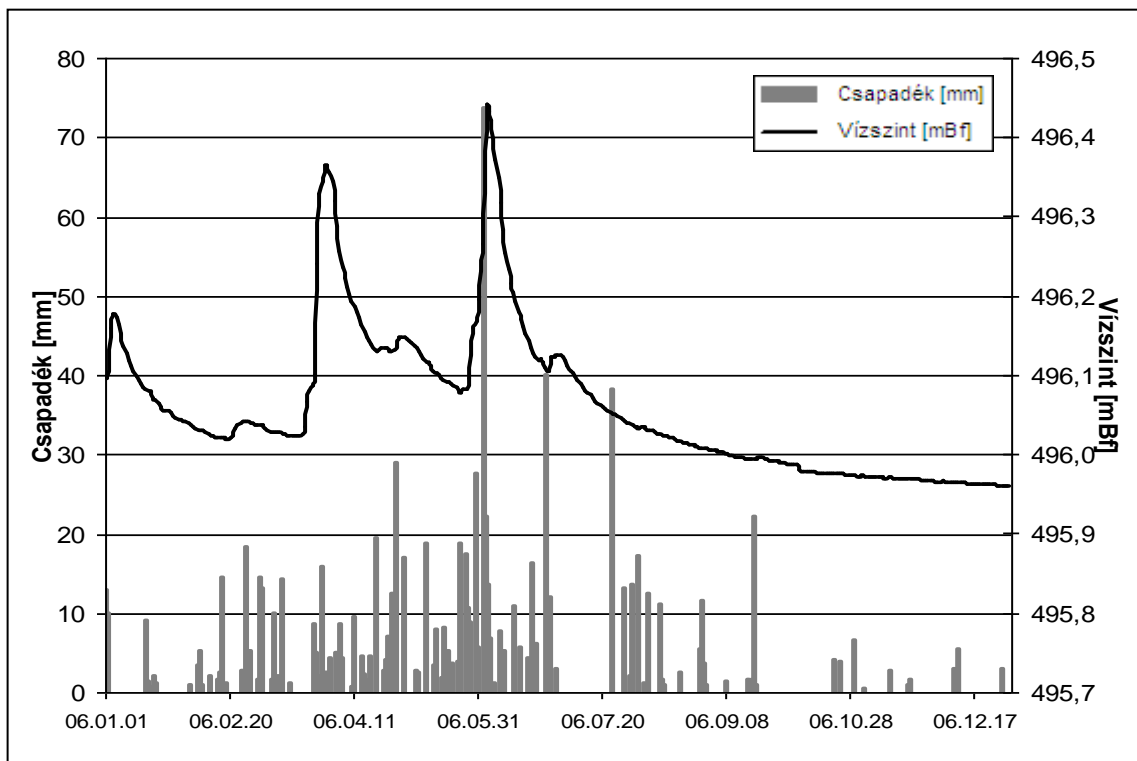
8. melléklet: Felsőtárkányi vízszintek a jávorkútról és a bélapátfalváról származó csapadék adatokkal ábrázolva (2005. 05. 01-2005.07.15)



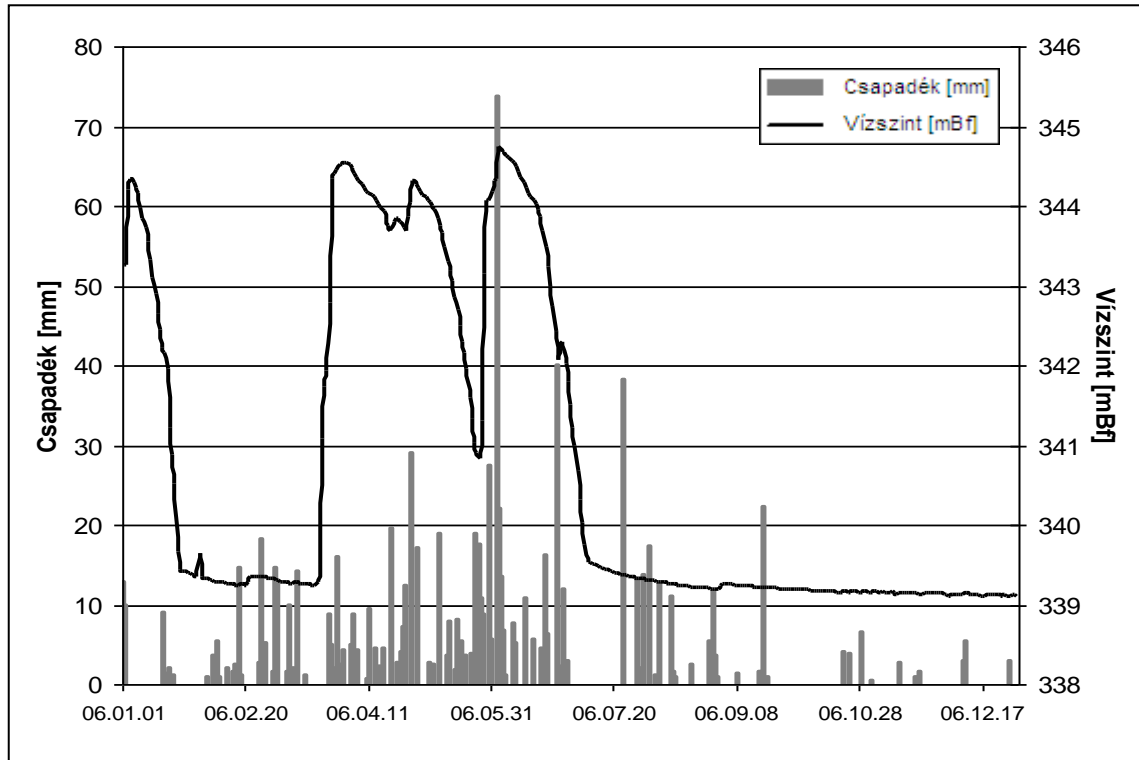
8.a. melléklet: Az Nv-17 vízszint és a jávorkútról származó csapadék adatok az 1999-es hidrológiai nyári félévben



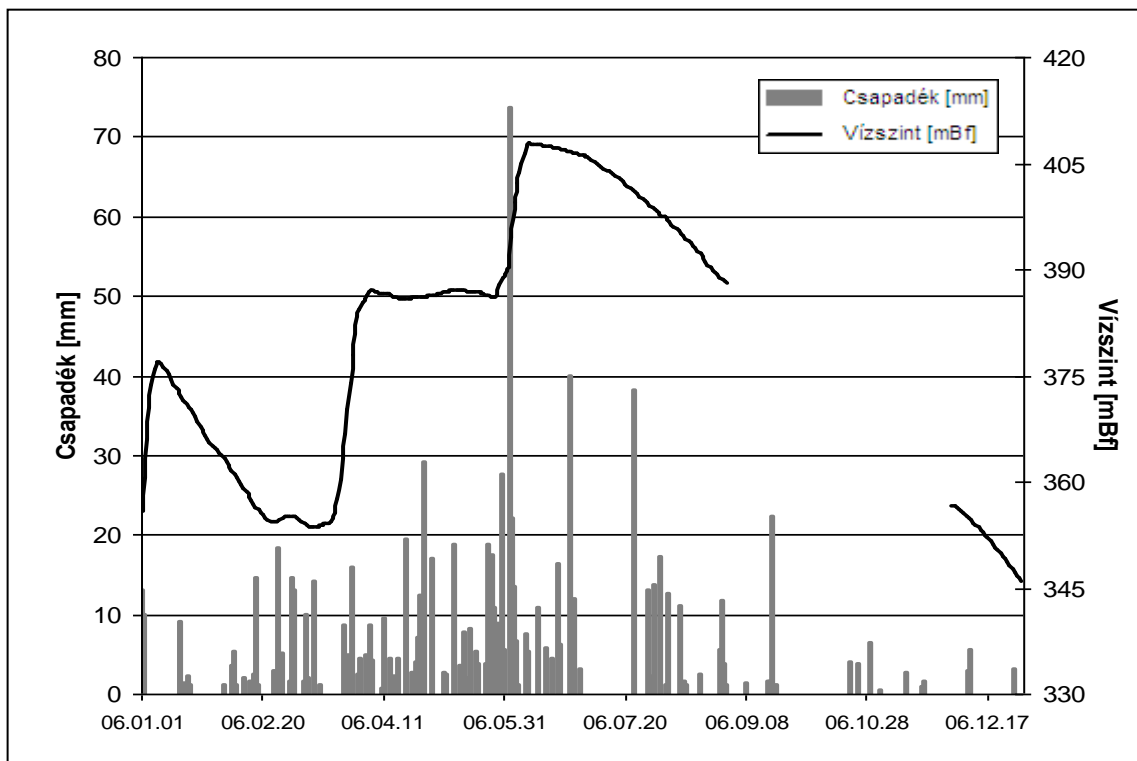
9. melléklet: a Garadna-forrás 2006-ban regisztrált vízszintjei a jávorkúti csapadékadatokkal ábrázolva



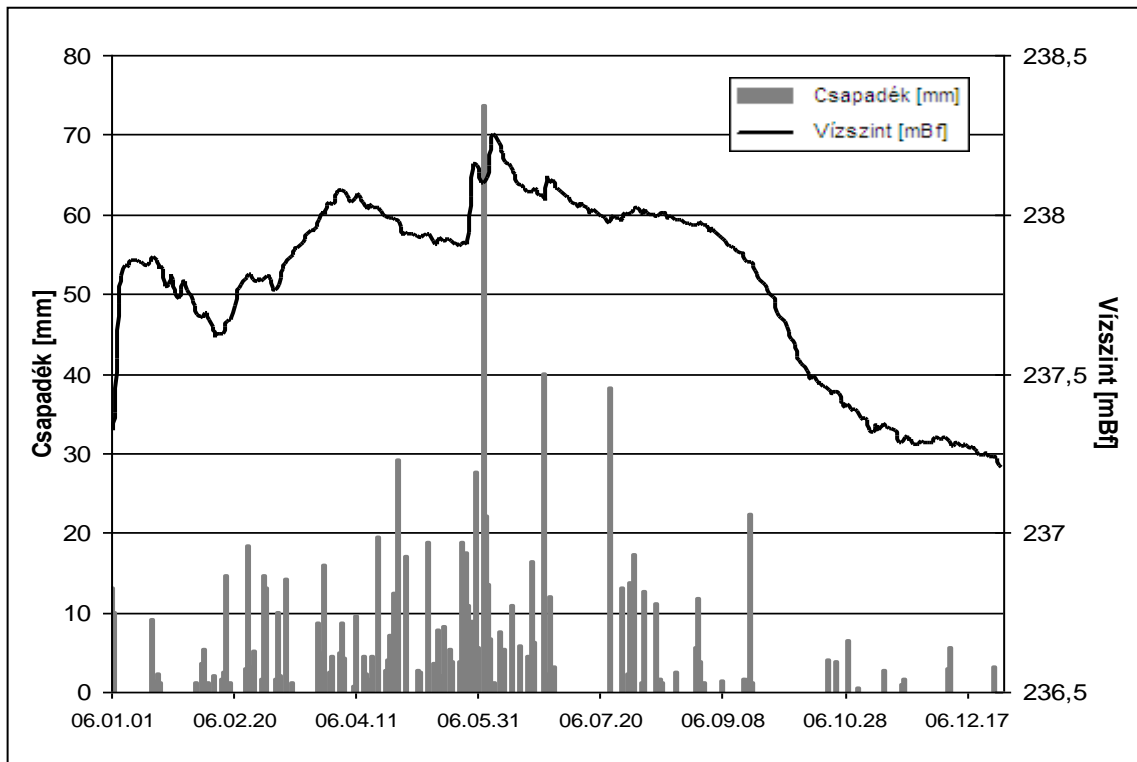
10. melléklet: a Szinva-forrás 2006-ban regisztrált vízszintjei a jávorkúti csapadékadatokkal ábrázolva



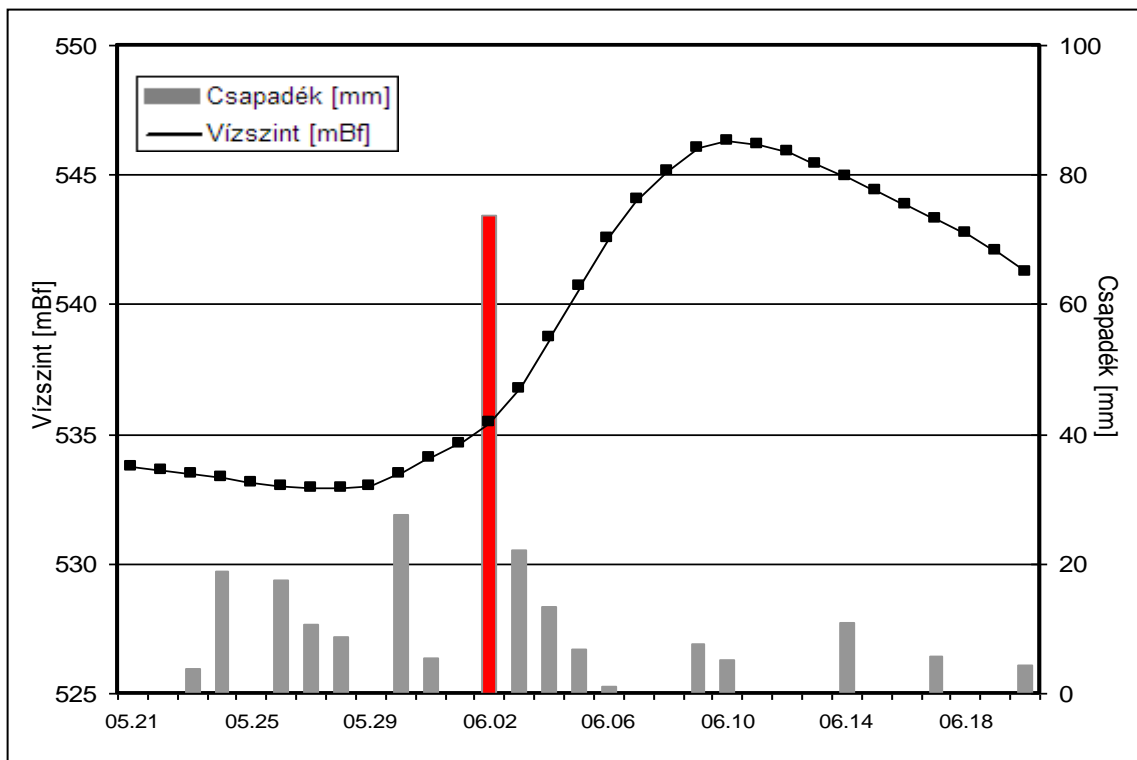
11. melléklet: Tebepusza 2006-ban regisztrált vízszintjei a jávorkúti csapadékadatokkal



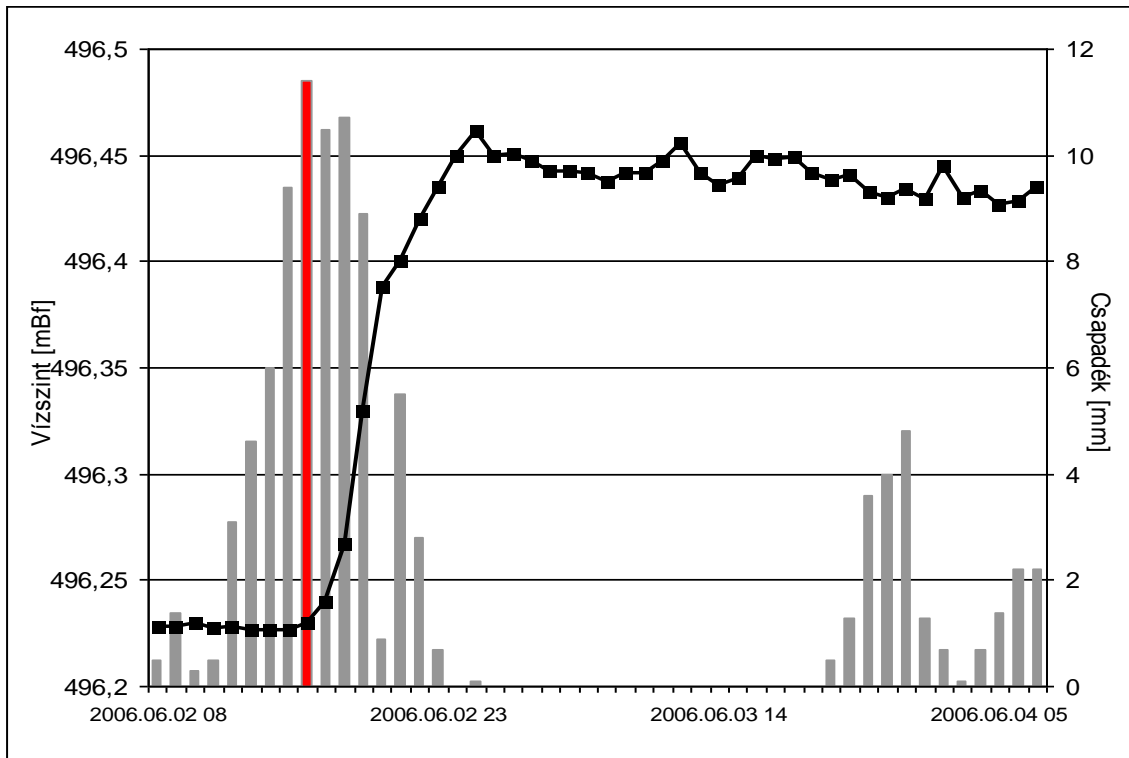
12. melléklet: Felsőtárkány 2006-ban regisztrált vízszintjei és a jávorkúti csapadék



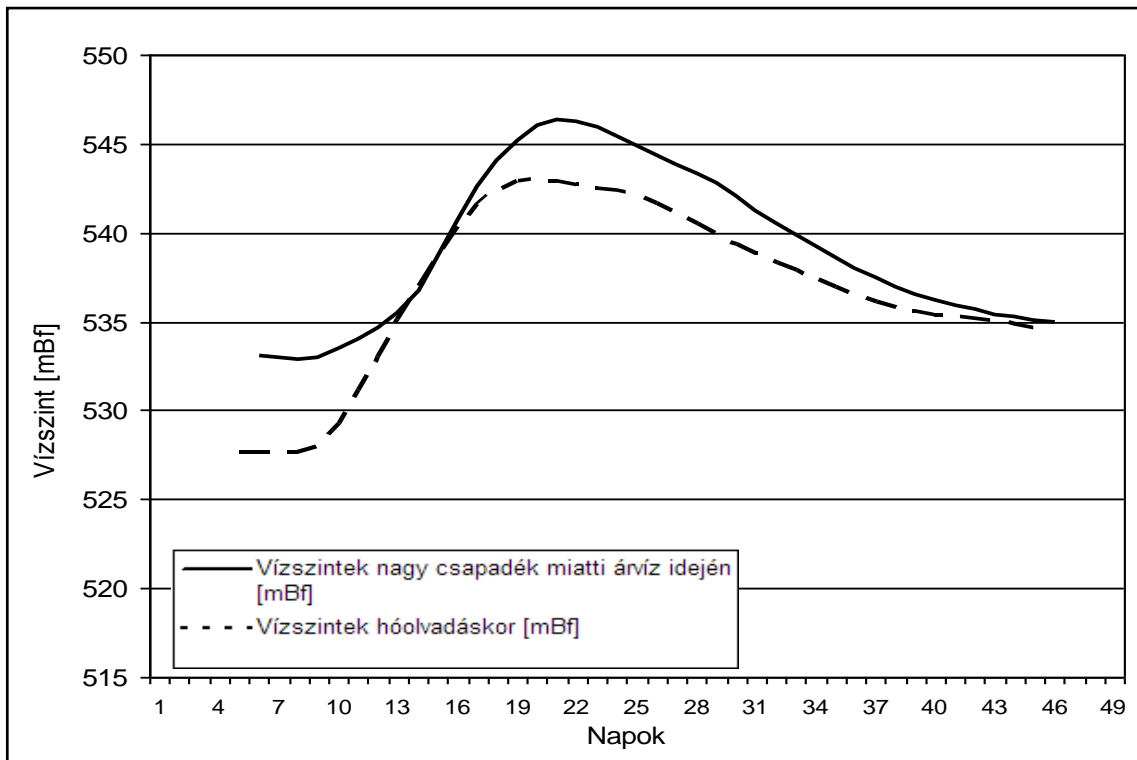
13. melléklet: Nv-17 mérőhely, csapadék-vízszint 2006. 05.21-06.20



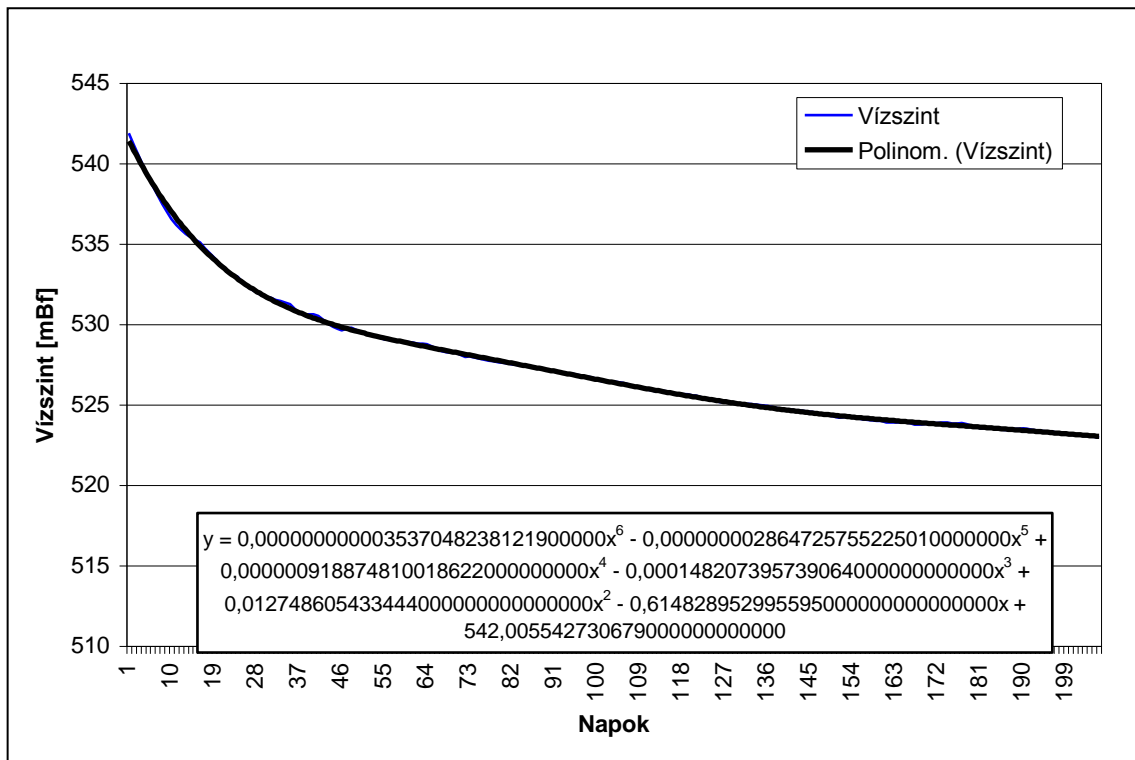
14. melléklet: Garadna-fő-forráshoz tartozó vízszint és csapadék, órára lebontott adatokból 2006. 06.02-06.04



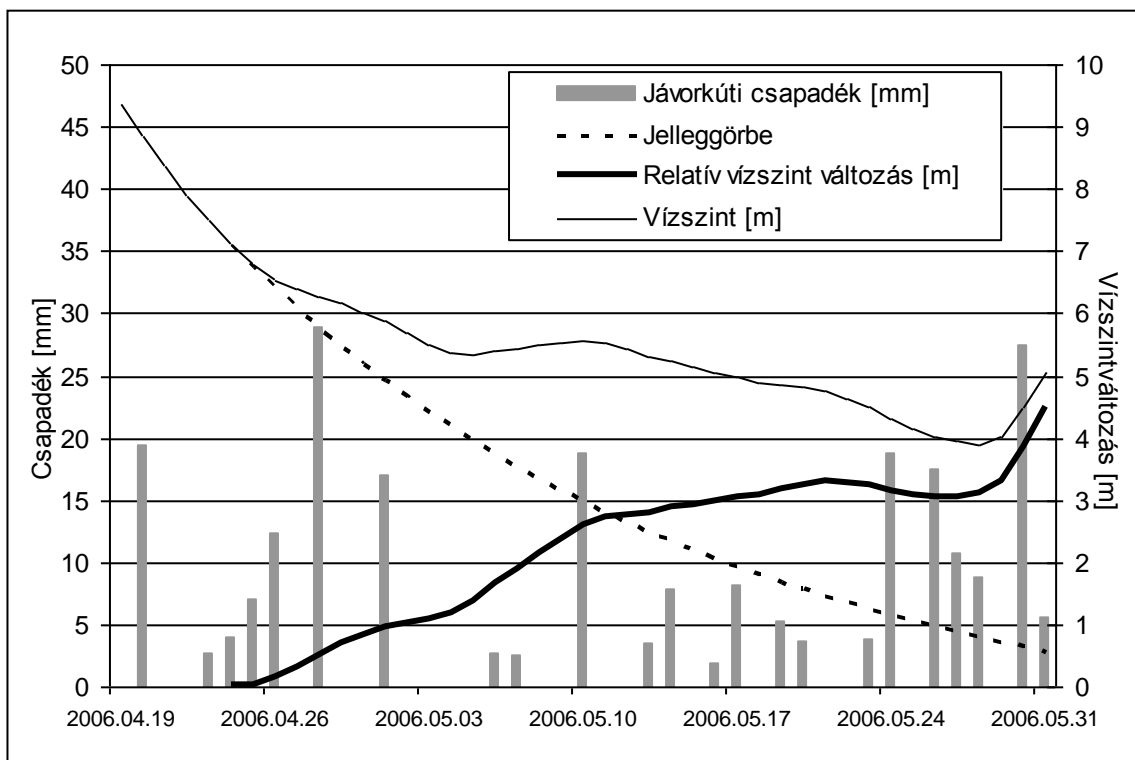
15. melléklet: Nv-17 mérőhely vízszintváltozása hóolvadás után és árvíz esetén



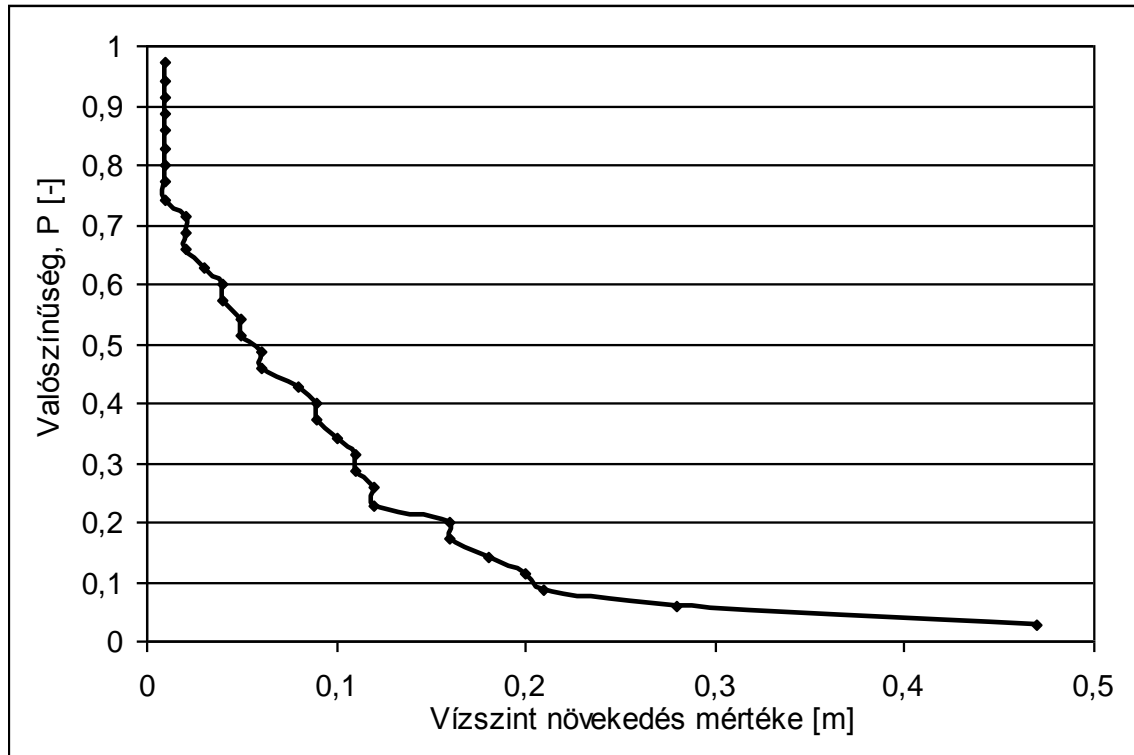
16. melléklet: Az Nv-17 megfigyelőkút jelleggörbéje



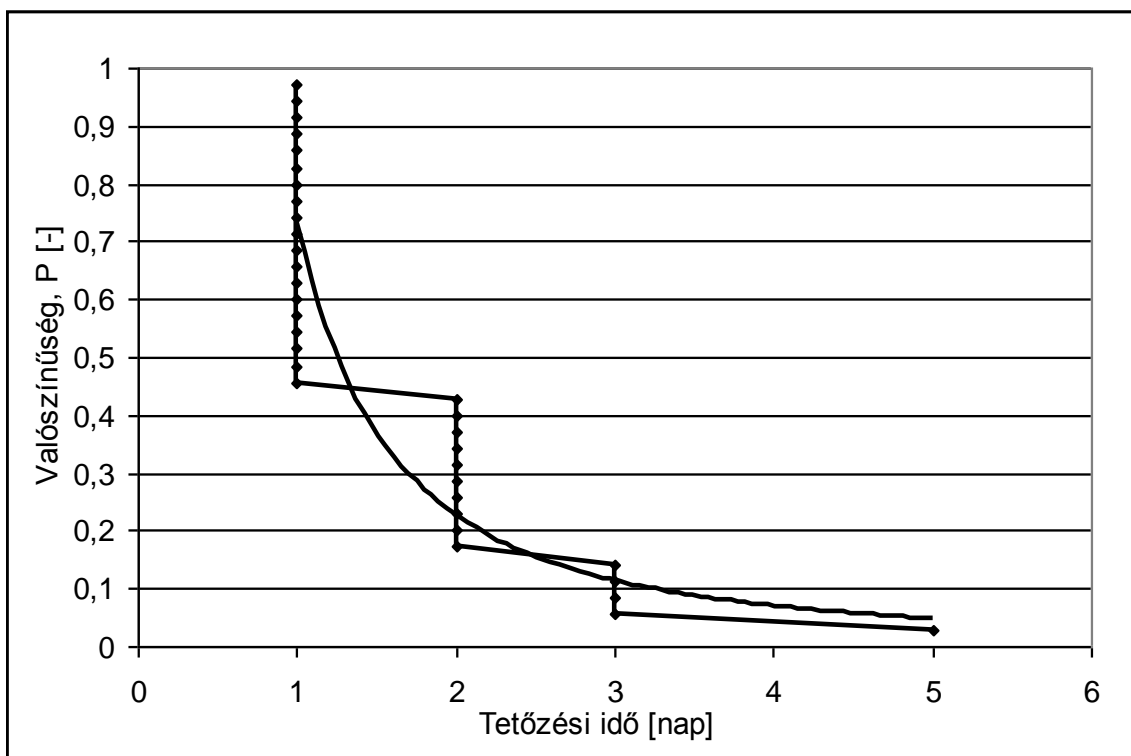
17. melléklet: A jelleggörbe segítségével előállított relatív vízszintváltozás Nv-17 esetén 2006. 04.19- 2006. 05. 31



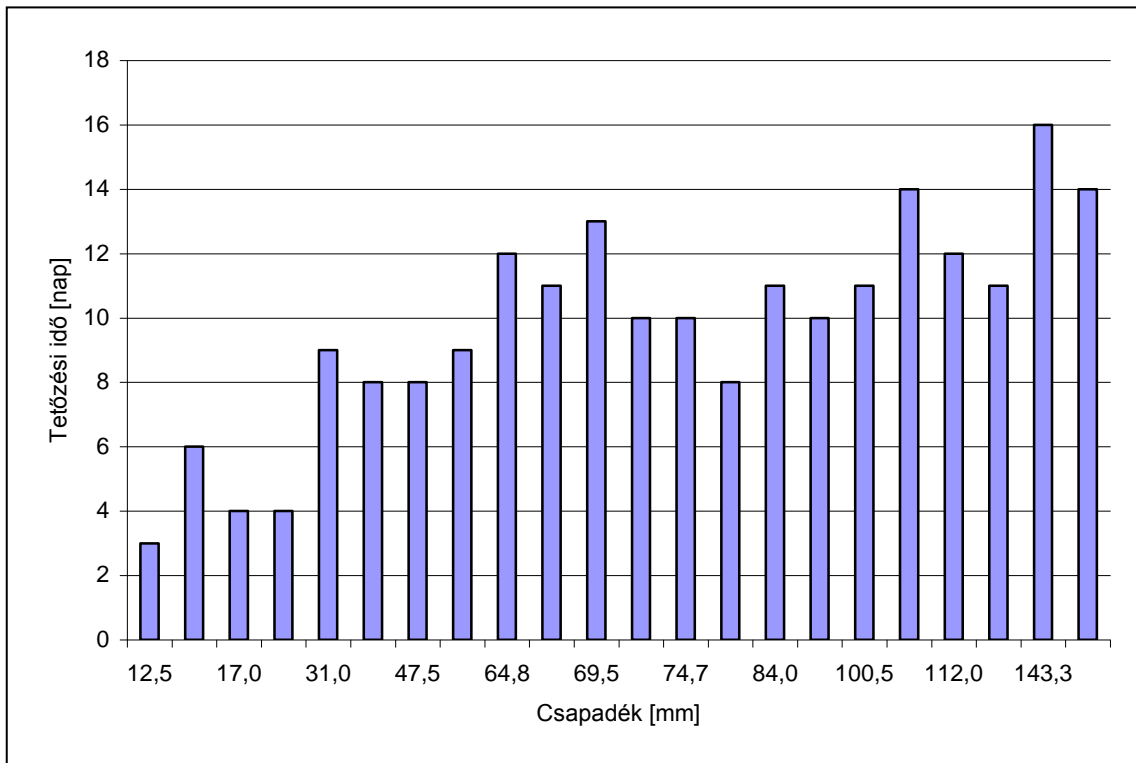
18. melléklet: A vízszintnövekedés mértékének valószínűsége a Garadna-forrás esetében



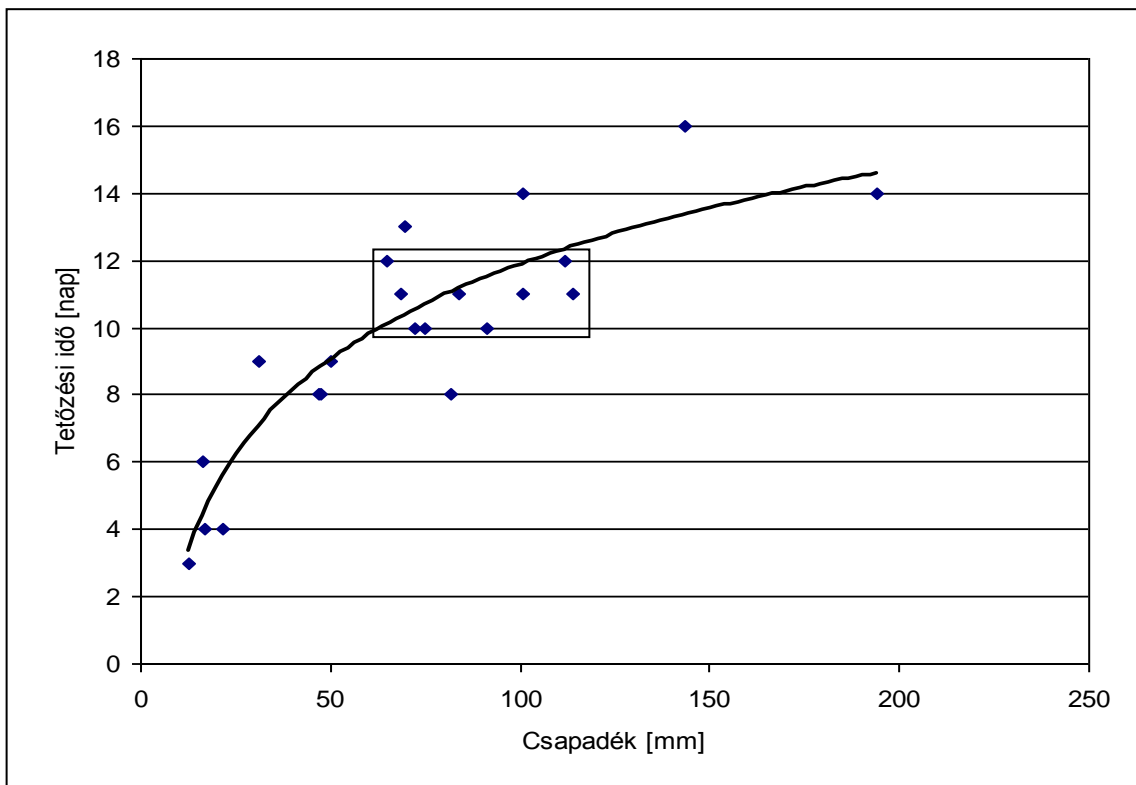
19. melléklet: A tetőzési idő valószínűsége Szinva-forrás esetében



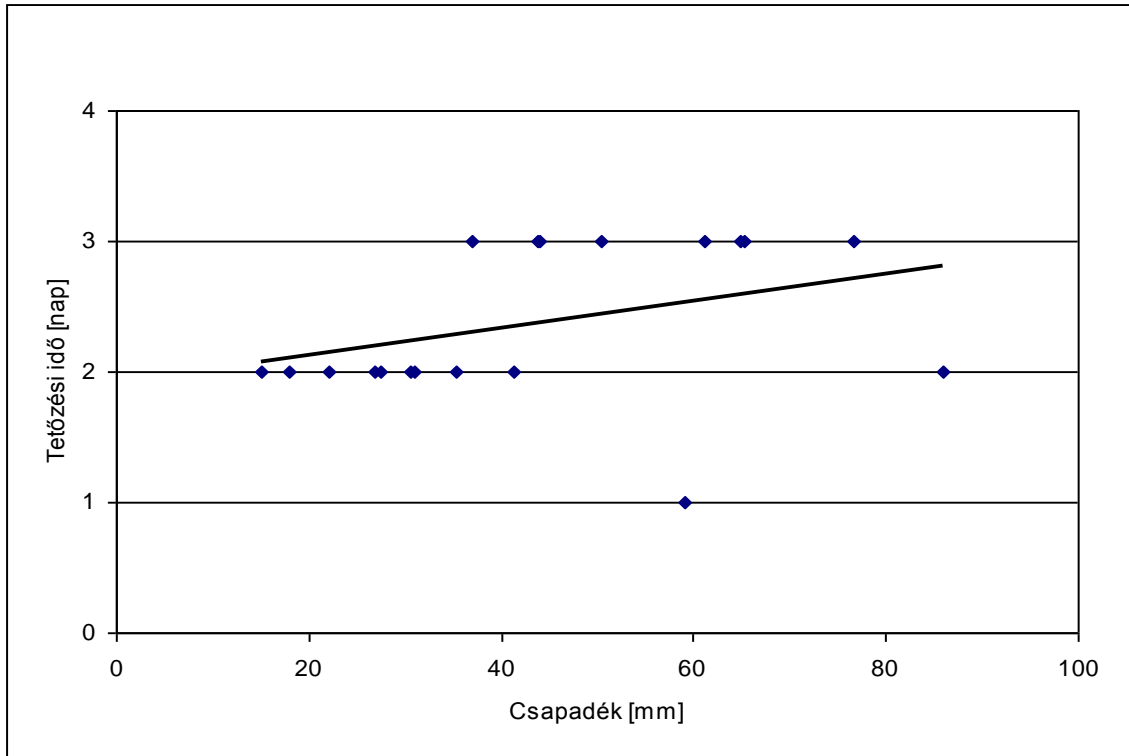
20. melléklet: Nv-17 mérőhely csapadék csoportjai és a tetőzés ideje legalább 10 %-os visszafordítás esetén (1993-2006)



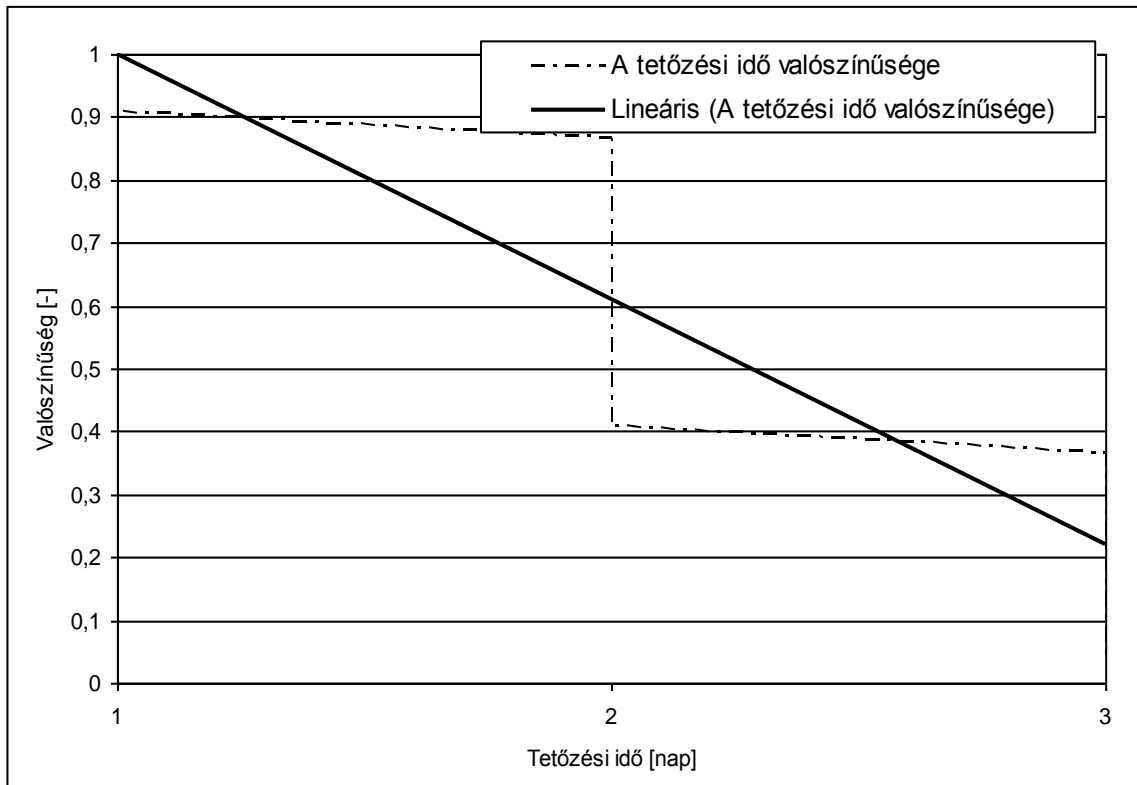
21. melléklet: Nv-17 mérőhely csapadék csoportjai és a tetőzés ideje legalább 10 %-os visszafordítás esetén pontokkal ábrázolva és logaritmusos trendvonalat felvéve (1993-2006)



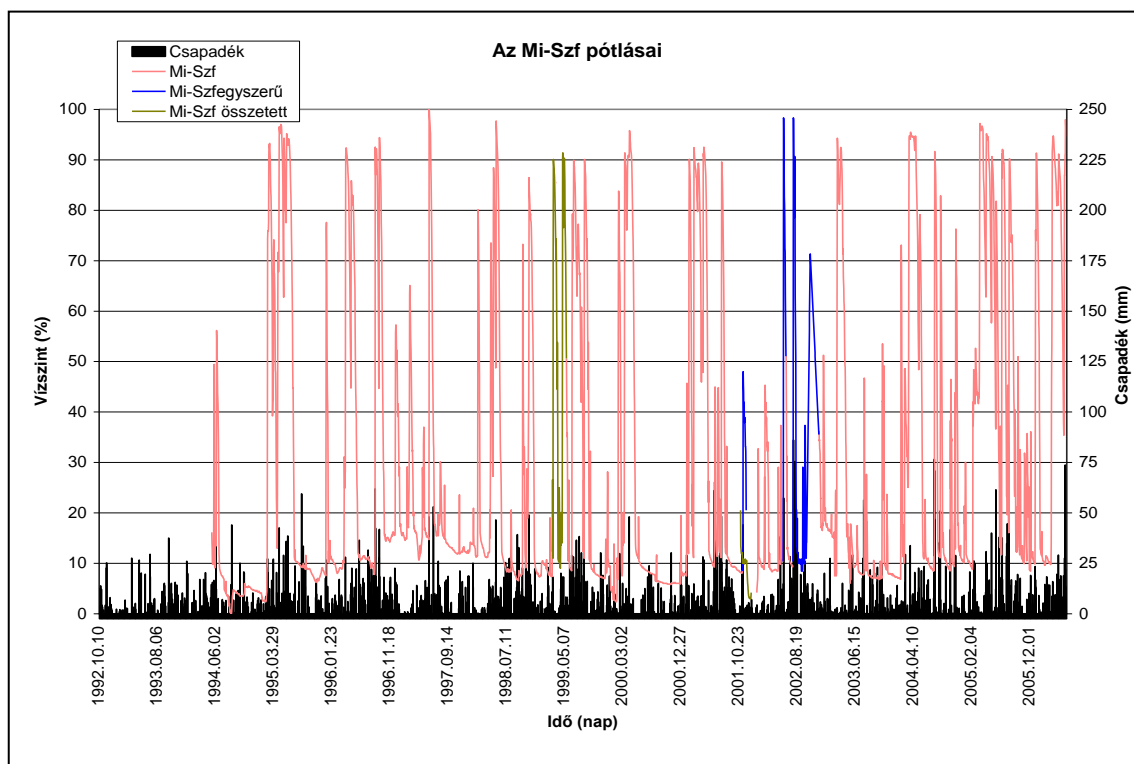
22. melléklet: A tetőzés ideje legalább 8%-os vízszint visszafordulás esetén Garadna-forrásra vonatkoztatva, valamint lineáris trendvonal felvétele mellett (2001-2006)



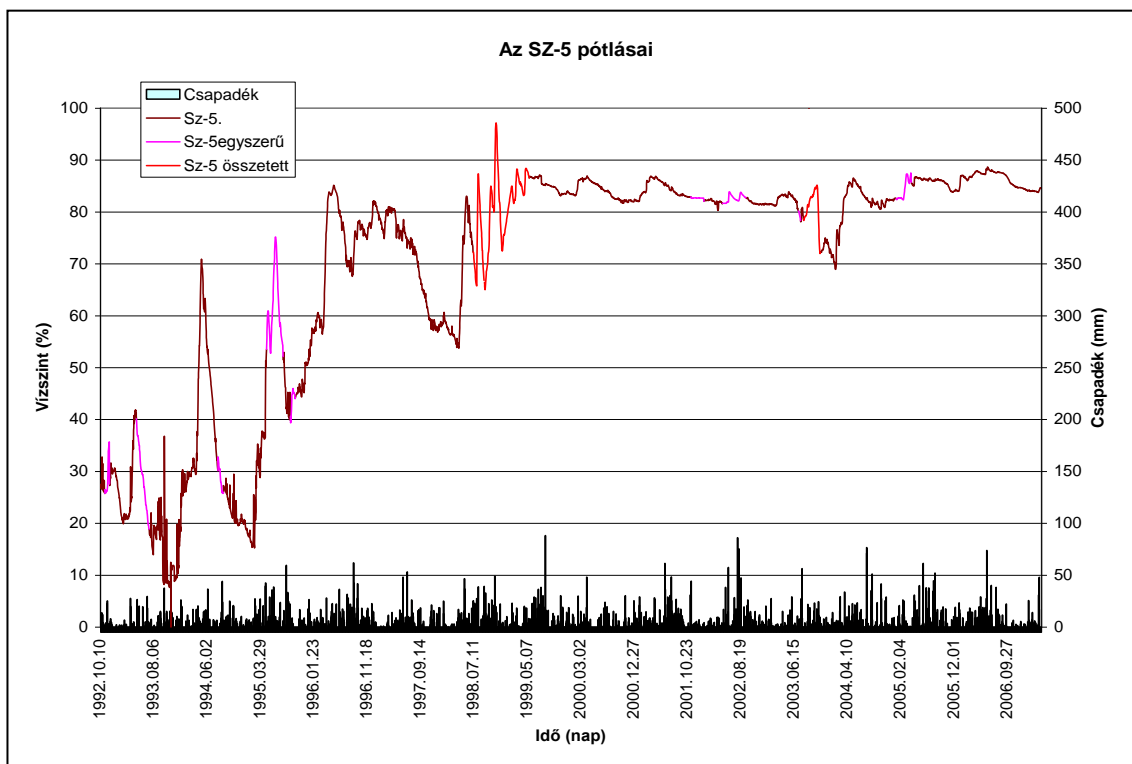
23. melléklet: A tetőzési idők valószínűsége Garadna-forrás esetében (2001-2006)



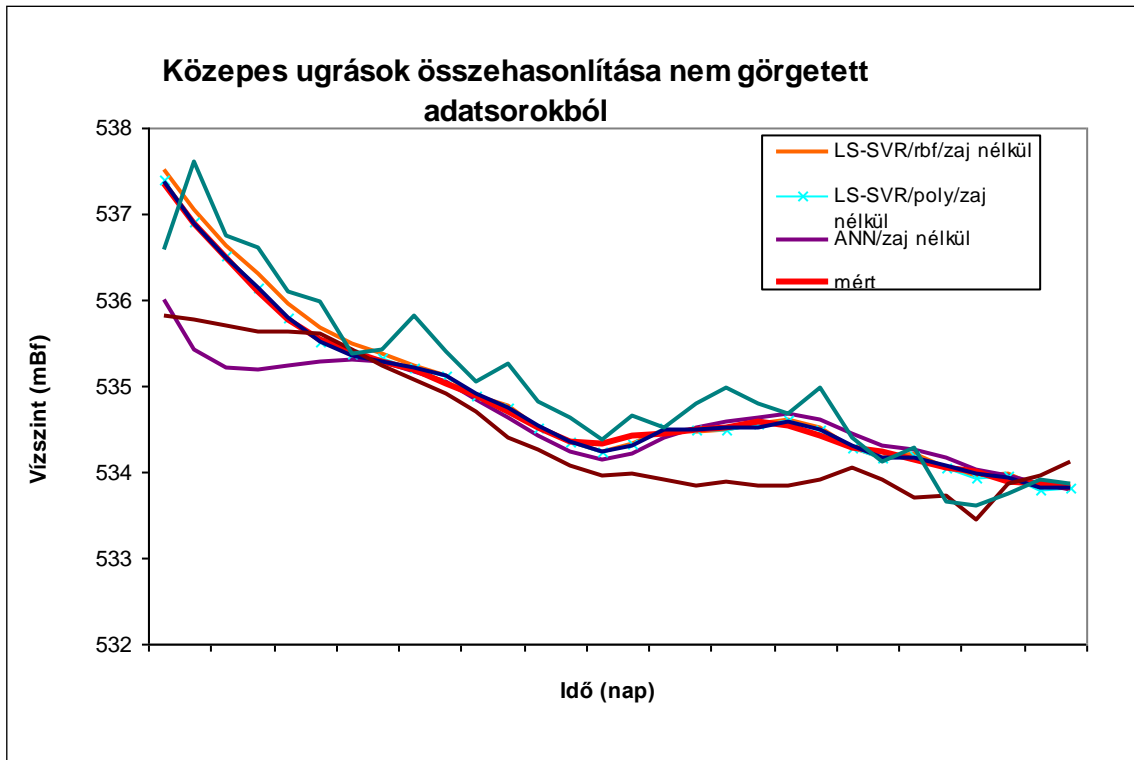
24. melléklet: A Szinva-forrás egyszerű, és összetett pótlásai



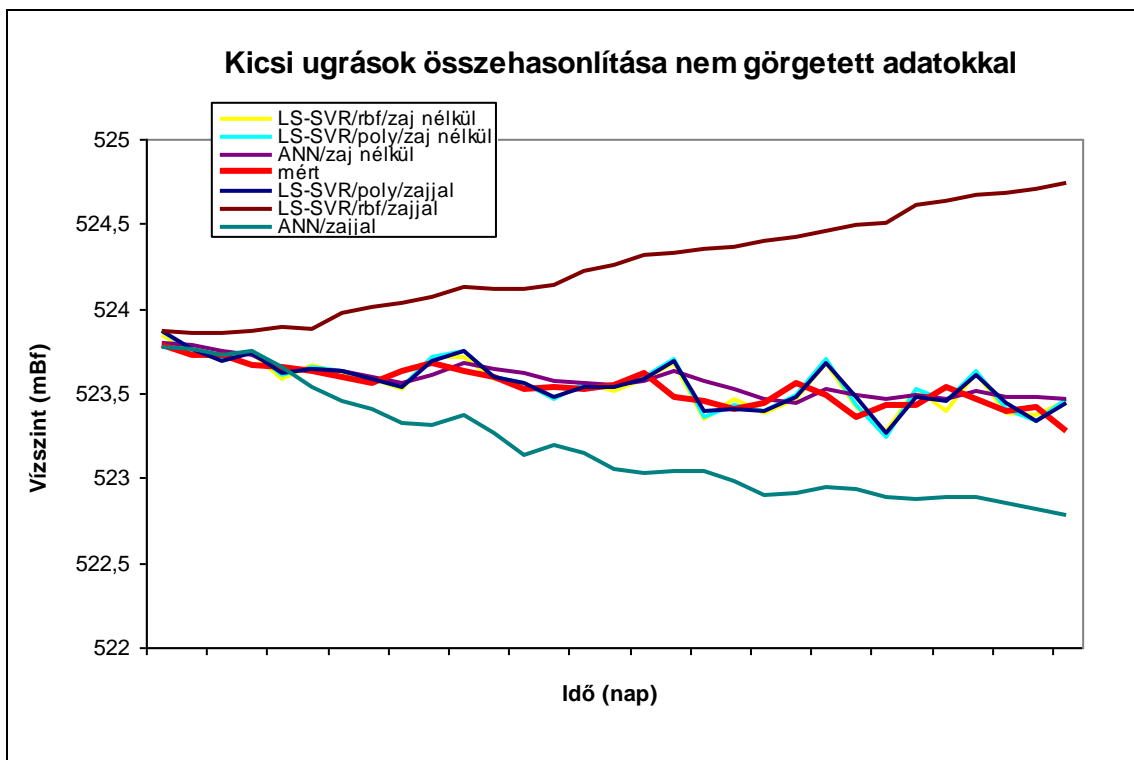
25. melléklet: Felsőtárkány, Sz-5 figyelőkút egyszerű és összetett pótlásai



26. melléklet: 6-7 m-es vízszintváltozások összehasonlítása a különböző algoritmusok alkalmazásával, nem görgetett adatsorokkal



27. melléklet: 1-1,5 m-es vízszintváltozások összehasonlítása a különböző algoritmusok alkalmazásával, nem görgetett adatsorokkal



28. melléklet A kutak műszaki adatai a vízföldtani naplók alapján

Kataszteri Szám	Fúrás éve	Hévízkút. Kat. Szám	eov z [mBf]	Talpm. [m]	Csövezés		Szűrőzés		Kor	Nyug. Vízzsz. [m]	Üzemi vízzsz. [m]	Vízhozam [l/p]	Fajlagos hozam [l/pm]	Vízhőm. [°C]	Talphőm. [°C]	Vízhasznosítás jellege	Hévíztermelés [Mm3]	Geotermikus grad. [°C/km]			
					átm. [mm]	mélység [m-m]	helye [m-m]	módja											Közet	[mBf]	[°C/m]
B-10	1953	4-3	116,770	559,4	273	0,0-444,6	599-627	ny	T2	12,0	0,5	923		43,0	49,0	fürdő	0,315/1989.	70			
Strandfürdő I.			307939,56	633,2	168	0,0-599,4				128,8											
			781029,31																		
B-109	1986	4-41	115,910	464,0	324	0,0-77,8	447,2-464,0	sz	T/m	10,2	9,5	1040	1485,7	45,0	45,4	közcsélú+gazdasági célú egyéb	0,098/1993.	75,4			
Városi Vízmű, Központi tp.			308035,69	466,0	178	73,1-464,0				126,1	7,0	1560	487,5								
			782340,50							3,0	2600	361,1									
K-117	1988	4-44	112,310	453,0	508	0,0-8,6	427,0-453,0	sz	T2	13,0	1,6	910		44,9	46,0	gazdasági célú ivó		78,5			
Húsipari Vállalat			307409,26	453,0	244	0,0-412,5					1,2	1100									
			783761,64								178	0,0-453,0			0,5				1300		
B-69	1964	4-4	116,930	592,0	318	1,0-32,5	592,0-620,0		T2	13,30	1,8	4850	421,7	45,0	52	fürdő	0,003/1989.	67,5			
Strandfürdő II.			307816,38	620,0	244	0,8-104,7				130,2											
			781060,25												241				104,7-592,0		
B-72	1966	4-22	129,800	469,5	229	0,0-19,9	469-483	ny	T2	3,6	0,0	1020	283,3	47,0	51,0	fürdő	0,168/1993.	85,1			
Szabadság Fürdő			308003,53	482,7	168	0,0-469,5				132,7	2,5	530	481,8								
			778879,12																		
K-103	1973	4-35	124,73	260,8	318	0,0-19,8	260,8-343	nysz	T2	1,10	0,0	200	181,8	34,0		közcsélú		nem számítható			
Egyetemváros			303335,66	343,0	203	0,0-260,8				128,5	-4,8	500	84,7								
			776750,88																-11	700	57,9
Miskolc-Tapolca Barlangfürdő			128,000 [mAf]																		
B-160	1960		127,240	14,20	305/292	0,47-14,20	14,20-14,80	nysz	T	+0,16	0,63	720	911,39	29,08	29,08						
Miskolc-Tapolca Szerelemsziget			303444,65							14,80	127,4	0,80	820		854,17						
			776742,97																		
K-93	1970		126,746	74,0	318/302	0,0-10,0	74,0-242	nysz	T	+0,7	0,0	600	857,1	29,0	30						
Miskolc-Tapolca Strandi termálkút			242,0	241/228	0,0-74,0	127,446				-0,4	890	809,0									
													-0,8		1080				720,0		
										-1,0	1160	682,3									

29. melléklet: A Miskolci Egyetem kútjának vízkémiai adatai

	1972.XI.20.	1994.	2001.XI.08.	2003.XI.27.	2005.XI.03.
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Ca	87,8	87,8	102	86	92
Mg	19,63	19,6	9,6	15,8	16,3
K	359,89		3,8	3,1	2,2
Na			28	28,5	14
Fe	0,14	0,14	0,03	1,49	0,01
NH₄	0			<0,02	
HCO₃	376,2	376,2			329,4
Cl	15,13		8,1	8	6
SO₄	710,84	710,8	14,2	25	16
NO₂	0,03	1,2		ND	
NO₃	1,2	0,03	1,8	2,2	1,8
O₂ fogyasztás	1,04	1,04		0,9	
Lugosság	6,2	6,2	5,69	5,3 mmol/l	5,4
Összes keménység nk°	16,75	CaO 17	165	CaO 157mg/l	166
pH	6,8		7,25	7,42	6,83
Mn-ion	0	0		0,03	
Víz hőmérséklet C°	34			33,2	31,5