

Tóth Márton¹ – Lénárt László²

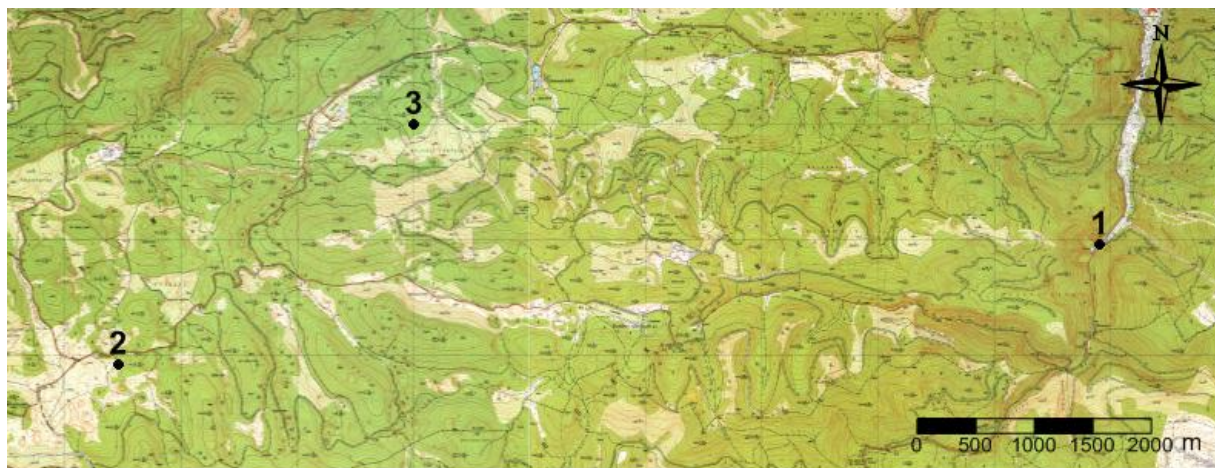
A TALAJFAGY ÁRVÍZ KIALAKULÁSÁRA GYAKOROLT HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA A BÜKKBEN A SZINVA-FORRÁS ÉS AZ NV-17-ES KARSZTFIYELŐ KÚT VÍZSZINTVÁLTOZÁSAI ALAPJÁN HIDROGEOLOGIAI MODELLEZÉS CÉLJÁRA³

BEVEZETÉS

Télen, miután a talaj felső rétegeiben is tartósan 0 C° alá csökken a hőmérséklet, a felszínre hulló csapadékból származó víz beszivárgásának üteme lelassul, esetleg meg is szűnik. Így a levegő hőmérsékletében bekövetkező enyhülések során (olvadási léghőmérséklet esetén) az esőből, illetve a hóolvadásából származó víz döntően felszíni lefolyásként, töbrökön, víznyelőkön, mikro víznyelőkön keresztül jut be a karsztosodott kőzetbe.

A talajfagy e hatásának vizsgálatára összehasonlító elemzést végeztünk a Szinva-forrás és az Nv-17-es számú karsztfiyeelő kút vízszint adatai között. Lényegi különbség a két megfigyelőpont között, hogy az Nv-17-es kútban a vízszint 230-260 méter között változik a terepszint alatt, ellentétben a Szinva-forrással, amelynél a forrásban lévő mérési hely a felszínhez közel 0-8 m között helyezkedik el (Lénárt 2006b). Ezért felszíni lefolyás esetén a Szinva-forrás vízszintváltása hamarabb következik be, ellentétben az Nv-17-es kúttal, ahol a hosszabb felszín alatti elérési út miatt ugyanaz a csapadék késleltetve fejt ki hatását.

A vizsgálathoz szükséges meteorológiai adataink, mint a léghőmérséklet, csapadékmennyiség, talajhőmérséklet, a Jávorkúti automata meteorológiai mérőállomás idősorából származnak, ami 2005. december 6. óta üzemel és szolgáltatja az adatokat, amelyek nélkülözhetetlenek a hidrológiai folyamatok értékelésében.



1. Szinva-forrás 2. Nv-17-es kút 3. Jávorkúti meteorológiai mérőállomás

1. ábra: Átnézeti térkép a monitoring pontokról

¹Tóth Márton: Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, Hidrogeológia és Mérnökgeológia Tanszék
E-mail: hgtoth@uni-miskolc.hu

²Dr. Lénárt László: Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, Hidrogeológia és Mérnökgeológia Tanszék

E-mail: hgll@uni-miskolc.hu

³ A tanulmány/kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

A meteorológiai adatok és a vízszint adatok összevetése, elemzése során információt kaptunk arról, hogy télen a talaj tartósan fagyott időszakában az eső, illetve az olvadás következtében fellépő vízszintemelkedés milyen ütemben zajlik le és mennyire tér el a nyári félévvel jellemzőtől. Ez az információ hasznos, mert a meteorológia adatokból és a pillanatnyi vízszint adatokból becsülhetővé válik a várható vízszint tetőzés időpontja, így az esetleges árvíz helyzeteket is előre lehet majd jelezni és meg lehet tenni a szükséges intézkedéseket.

MONITORING PONTOK BEMUTATÁSA

A Nagyvisnyó-17-es (Nv-17) (EOV:758456, 304928) kútpereme a Bükk- Fennsík centrumában 779,9 m-es Balti-tenger feletti (mBf.) magasságban található (1. ábra). A vízszint körülbelül 521,8 mBf. és 549,6 mBf. között változik. A Szinva-forrás (EOV:766906, 305964) a Fennsík keleti részén, 359 mBf. magasságban fekszik. A vízszintje körülbelül 338 – 345 mBf. értékek között változik (Darabos & Lénárt 2008). Elhelyezkedésüket a Jávorkúti meteorológiai állomás helyzetéhez viszonyítva az 1. ábra szemlélteti.

Geológiáját tekintve, mindkét vizsgálati pont a Bükkfennsíki Mészkö Formációban helyezkedik el. Ez egy világosszürke, anchimetamorf mészkő, amiben karbonátplatform fáciesű, korallós zátony, finoman rétegzett lagúna és crinoideás mélyebb vízi kifejlődések különíthetők el. A Bükk központi részét alkotja, ami a Nagy-fennsíkot és a Répáshuta-Kisgyőr közötti fennsíkot foglalja magába. Vastagsága elérheti az 1000 m-t, kora a ladintól a rhaetig terjed (Pelikán 2005).

Vizsgálatunk szempontjából az azonos geológiai környezet kedvező, mivel így az nem tekinthető befolyásoló tényezőnek a vízszintváltozások elemzése során, ugyanis a beszivárgó víznek ugyanabban a típusú kőzetben kell haladnia.

VIZSGÁLATI IDŐSZAK

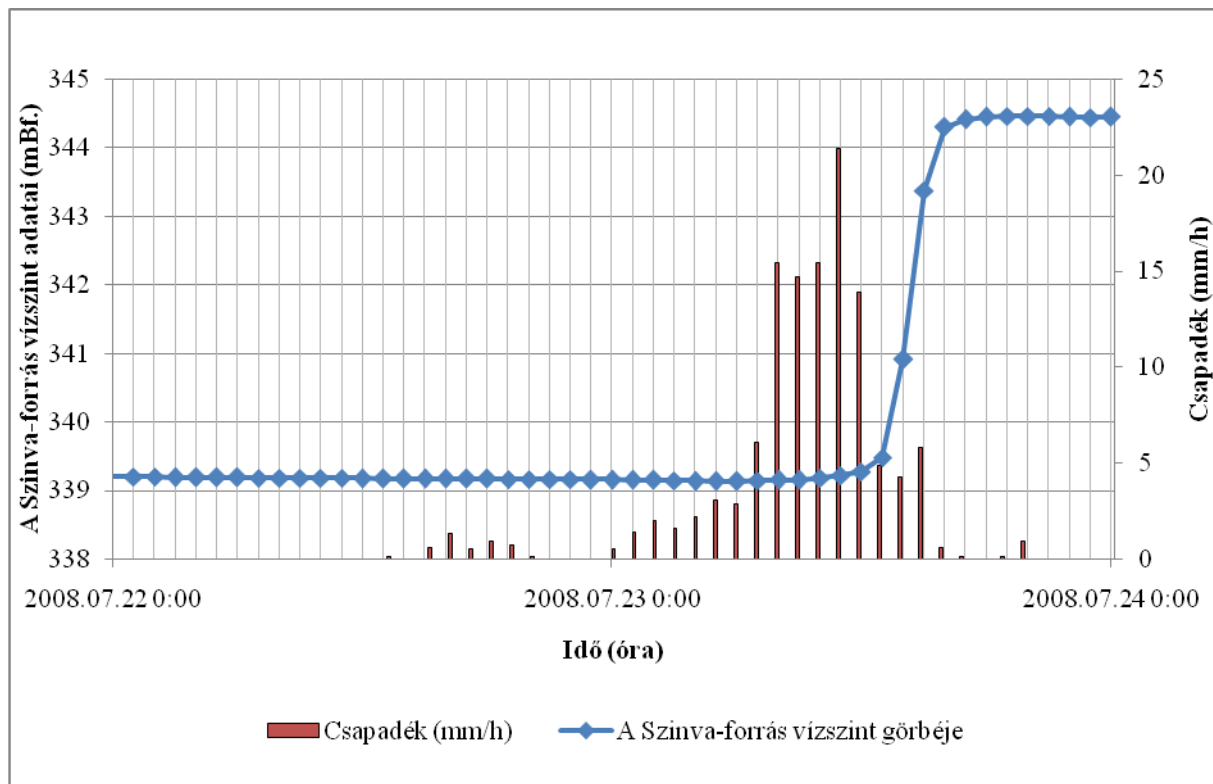
A vizsgálatot az elmúlt öt évre visszamenően végeztük el, tehát a 2007 és 2012 közötti teleket foglalta magába. A vizsgált 5 periódus így elegendően hosszú idősort adott, hogy a feltárt összefüggéseket több példával is alátámasszuk. A 2010/2011-es és 2011/2012-es telek adatai, témánk szempontjából nem szolgáltak információval, mert a talajfagy idején esett csapadékmennyiségek vagy elhanyagolhatóan kicsik voltak, vagy a talajfagyos időszak nem volt egybefüggő, mert a hőmérsékletemelkedés olyan nagy volt, hogy a talajfagy időszakosan kiengedett.

A vizsgálatok során négy esemény típust határoztunk meg és vettünk nagytípust alá. Először nyári, eső hatására bekövetkező, másodjára télen, talajfagy idején eső hatására bekövetkező, harmadikként télen, talajfagy idején hóolvadás és eső hatására bekövetkező, majd hóolvadás miatt bekövetkező vízszintemelkedést vizsgáltunk. Az egyes esemény típusok tetőzési ideje között szignifikáns különbséget tapasztaltunk, amellyel, hogy az egyes eseménytípusokhoz tartozó vízszint görbék áradó ága is sajátos karakterisztikát mutat. Összehasonlító elemzésünk alapját a tetőzési idő képezte, ami nem más, mint azoknak a napoknak a száma, ami az eső, vagy olvadás napjától eltelik a Szinva-forrás vagy az Nv-17 kút vízszintjének tetőzéséig. Vizsgálatunk során ezt használtuk fel arra, hogy számszerűsítsük a talajfagy hatását, ugyanis a talajfagy idején és azon kívül jellemző tetőzési idők közötti különbség nyilvánvalóan ebből fakad.

AZ ESŐVÍZ INDUKÁLT VÍZSZINTVÁLTOZÁS ELEMZÉSE NYÁRON

Nyáron az eső következtében kialakuló vízszintemelkedés szinte robbanásszerűen következik be a Szinva-forrás esetében (2. ábra). Ezért a tetőzési idők meghatározását összehasonlítás céljából órás adatok alapján is elvégeztük, a pontosabb eredmények elérése végett. Az Nv-17-es kút esetében nincs szükség ilyen részletes elemzésre, mert a vízszint

mélysége miatt a tetőzési folyamat több napon ível keresztül, így a napi átlag vízszint értékek is elegendőek (Darabos, 2012).



2. ábra: A Szinva-forrás tetőzési ideje nyáron

A vízszintgörbét (2. ábra) megvizsgálva megállapítottuk, hogy a Szinva-forrás tetőzési ideje, nyáron 8 óra. Darabos (2012) órás adatok alapján átlagosan 16 órás tetőzési időt állapított meg. Egyébként a 2. ábrán bemutatott példa egy nem szokványos csapadékesemény következtében kialakuló áradást mutat be, mely során 16 órán belül 117 mm csapadék hullott. Ezért Szinva-forrás átlagosnál gyorsabb vízszintemelkedése feltehetően a hirtelen lehulló nagy csapadékmennyiség miatt következett be.

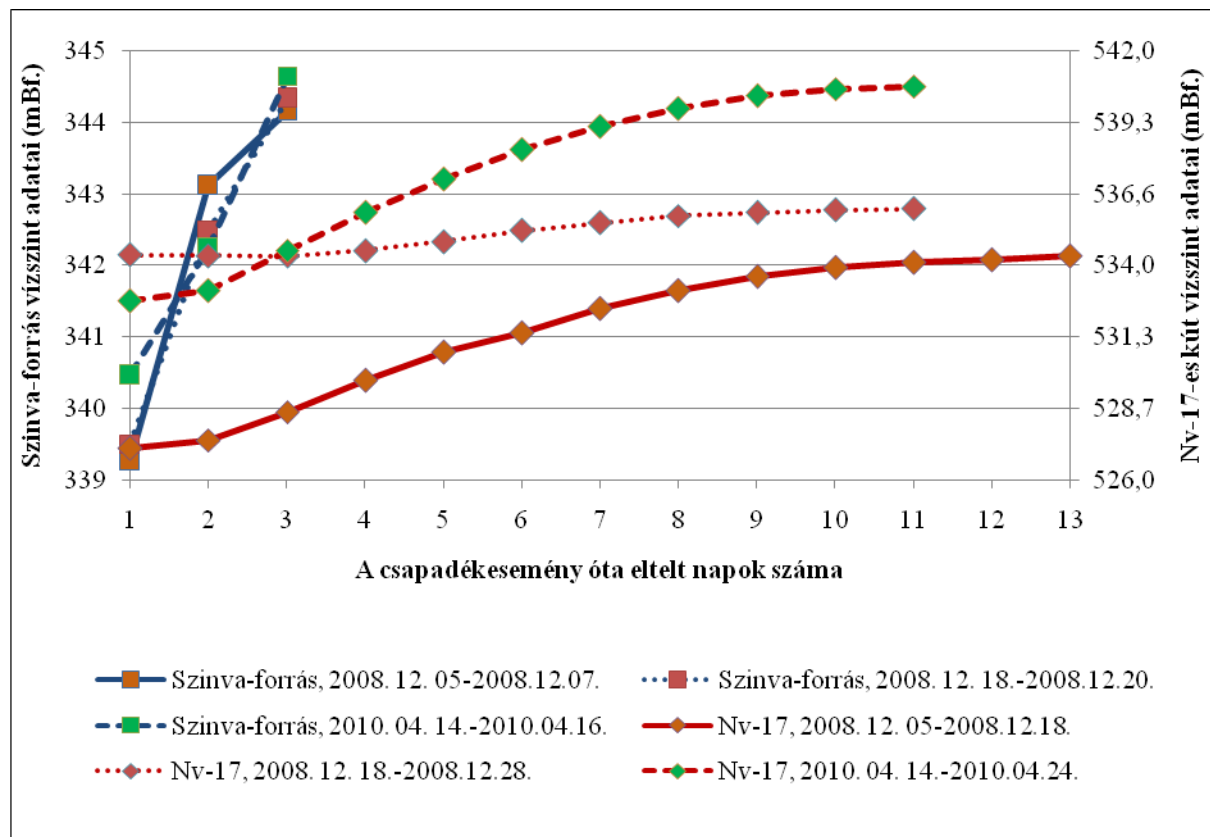
AZ ESŐVÍZ INDUKÁLT VÍZSZINTVÁLTOZÁS ELEMZÉSE TALAJFAGY IDEJÉN

Általánosságban megállapítható, hogy az eső formájában hulló csapadék gyorsabban indukál vízszintemelkedést a Szinva-forrás, de még az Nv-17 esetében is, ha nincs talajfagy. Amennyiben a talaj felső rétegében a hőmérséklet $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ alá csökken, a tetőzési idő meghosszabbodik. A grafikonok (3. és 4. ábra) értelmezésének megkönnyítése végett a Szinva-forrás görbéit négyzet alakú jelölővel, az Nv-17-es kút vízszint görbéit pedig rombusz alakú jelölővel, továbbá azonos stílusú vonallal jelöltük azokat a vízszintemelkedés görbéket, amelyeket ugyanaz a csapadékmennyiség indukált.

Mivel Lénárt (2005) korábbi vizsgálataiban a Szinva-forrásra 2 napos, Nv-17-es kútra 12 napos tetőzési időt állapított meg a napi átlag vízszint adatokból, így a továbbiakban az összehasonlíthatóság végett, napi átlagokból határoztuk meg a tetőzési időket. A talajfagy mentes téli időszakokban, vizsgálataink alapján, a tetőzési idő a Szinva-forrásnál 2 nap, az Nv-17-nél 10-12 nap (3. ábra). Ezek az értékek láthatjuk, megegyeznek a korábban (Lénárt, 2005) megállapított tetőzési időekkel. A további elemzések során ezeket tekintjük az összehasonlítás alapjának és az ettől való eltérést a talajfagy hatásának tekintjük.

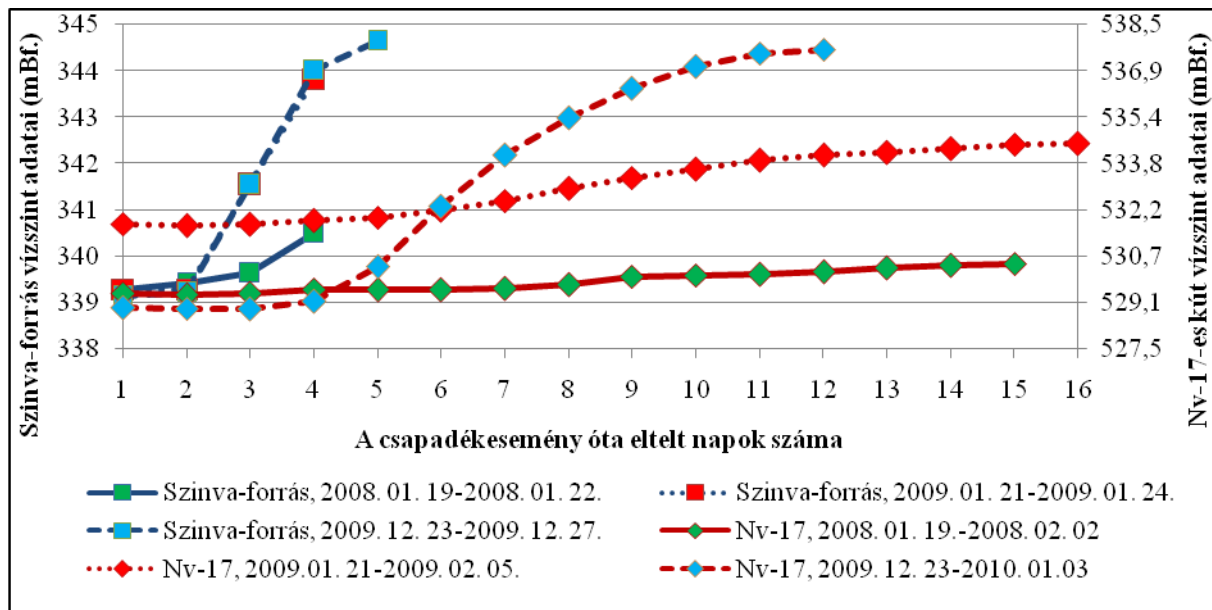
Az idősorok elemzése során azt tapasztaltuk, hogy talajfagy idején a Szinva-forrás tetőzési ideje 3-4 napra, míg az Nv-17-es kútnak 14-15 napra hosszabbodik (4. ábra). Az

összehasonlíthatóság végett olyan csapadékeseményeket választottunk példának, amelyek előtt huzamosabb ideig nem esett jelentős csapadékmennyiség, így a Szinva-forrás vízszintje 339,25-339,50 mBf. közötti intervallumban váltakozott. A folytonos vonallal jelölt vízszint görbe a Szinva-forrás esetében (4. ábra) eltér a másik kettőtől, ennek valószínűleg az az oka, hogy azt kisebb csapadékmennyiség eredményezte. Viszont a másik két görbe esetében a vízszintemelkedés ugyanazon tendenciával futott fel. Az Nv-17-es kút esetében a szaggatott vonallal jelölt görbe jelentősen eltér a folytonos és pontozott vonalú görbektől, így az ehhez tartozó tetőzési időt figyelmen kívül hagytuk, csakis a teljesség igénye miatt tüntettük fel.



3. ábra: A Szinva-forrás és Nv-17-es kút tetőzési ideje télen, talajfagy mentes időszakban eső hatására

Darabos (2010) szerint a csapadék hatására bekövetkező vízszintváltozás minden általa vizsgált BKÉR monitoring kútban, forrásban bekövetkezik még a csapadék napján. Ez a vízszintemelkedés még a mély kutakban is kimutatható, ahol a vízszint 200 m-rel a felszín alatt található. A 3. ábrán látható, hogy a csapadék hatására azonnal megindul a vízszintváltozás mind a Szinva-forrás, mind az Nv-17-es kút esetében, ami az előbbi megállapítást igazolja. Ezzel ellentétben a 4. ábrán, a talajfagy beszívargás késleltető hatása figyelhető meg, ugyanis a grafikonok elején a Szinva-forrás esetében 1-2 napos, az Nv-17-es kút esetében 3-4 napos periódus figyelhető meg, amikor a vízszint szinte ugyanazon az értéken áll. Valószínűsíthető, hogy a talajfagy hatására alakul ki ez néhány napos késleltetés.



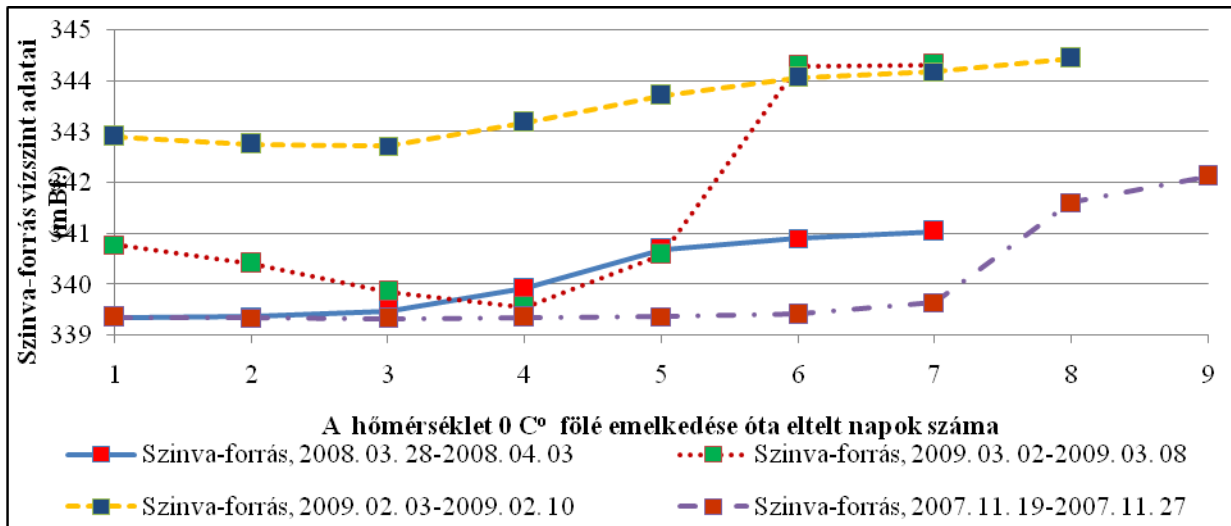
4. ábra: A Szinva-forrás és Nv-17-es kút tetőzési ideje télen, talajfagy idején eső hatására

Azt is láthatjuk, hogy talajfagy mentes időszakban a Szinva-forrásra jellemző felfutó vízszintgörbék csaknem lineárisak (3. ábra), 95-99%-os korrelációs együtthatóval. Ezzel szemben a 4. ábra alapján a Szinva-forrás árhullámainak áradó ága talajfagy esetén lineáris regresszió helyett jobban közelíthetők harmadfokú polinommal, amit szintén 95-99%-os korrelációs együttható jellemez. Ez a különbség egyértelműen a talajfagy beszivárgás késleltető hatását mutatja.

HÓOLVADÁS INDUKÁLT VÍZSZINT VÁLTOZÁS ELEMZÉSE TALAJFAGY IDEJÉN

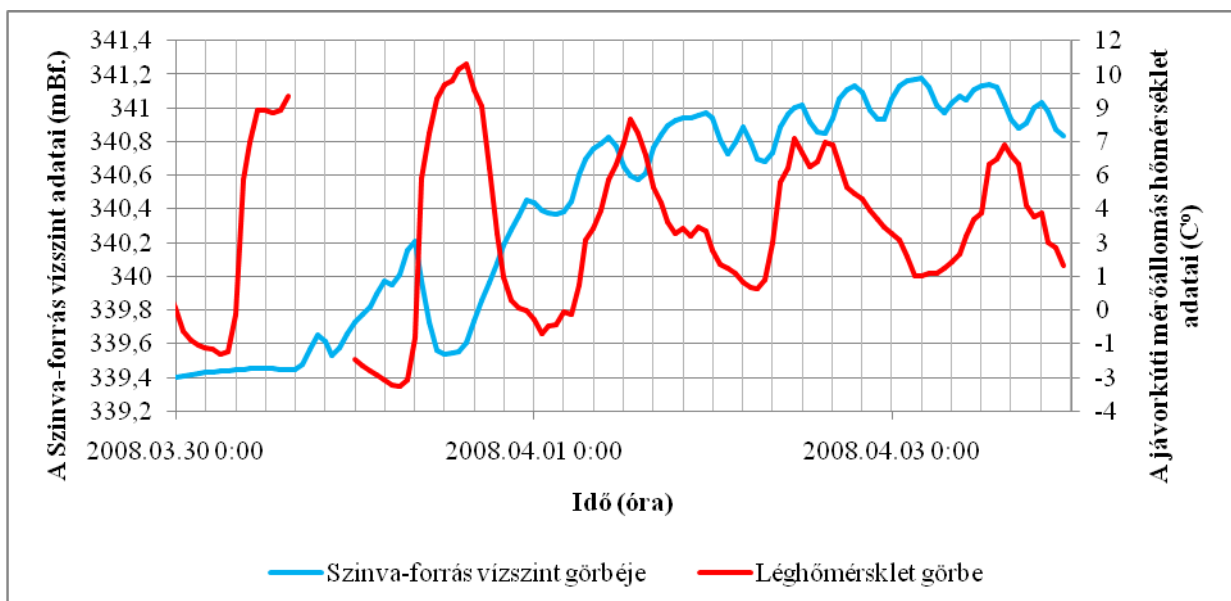
Felszíni beszivárgás a víztartóba csak abban az esetben következhet be, ha a levegő hőmérséklete $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ felett van, mert ellenkező esetben a csapadék hó formájában tárolódik a felszínen, amely legközelebb csak olvadáskor mobilizálódik. Ugyanakkor egy csekély mértékű beszivárgás elképzelhető a fagyott talajzónából, mert a közetrésekben felemelkedő meleg levegő megolvasztja azt, de az ebből származó vízmennyiség elhanyagolható. A tartósan fagyos időszakok alatt a Szinva-forrás esetében gyors, az Nv-17-es kút esetében lassú vízszint csökkenés következik be. A Szinva-forrás esetében a lecsökkent vízszint egy szűk intervallumon belül állandósul, amennyiben nincs beszivárgó csapadék. Ez a forrásra jellemző alaphozammal magyarázható. Az Nv-17 esetében csak a vízszint csökkenés figyelhető meg, ami az újabb csapadék mennyiség hatására megáll, majd újból növekedésnek indul. A hóolvadáskor kialakuló vízszintváltozásokat bemutató grafikonokon (5. ábra, 7. ábra) a görbék attól a naptól kezdve mutatják be a változást, amikor a levegő napi átlag hőmérséklete meghaladta a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot.

A Szinva-forrás esetében két eltérő karakterisztikájú áradás görbét látunk (5. ábra). Ez abból adódik, hogy a folytonos és a vonal-pont görbe esetében a Szinva-forrás vízszintje a már korábban említett 339,25-339,50 mBf. közötti intervallumból, az ún. alaphozamról indul. A pontozott és a szaggatott vonalú görbe esetében a vízszint egy korábbi olvadás hatására megemelkedett, majd csökkenésnek indult a hőmérséklet újbóli fagypontra való csökkenése miatt. Viszont az alaphozamra nem volt ideje visszaállni, mivel az olvadás hamarabb következett be, ezért figyelhető meg a csökkenő szakasz is. A Szinva-forrás esetében a hóolvadás miatt bekövetkező áradás esetében 7-9 napos tetőzési időt állapítottunk meg.



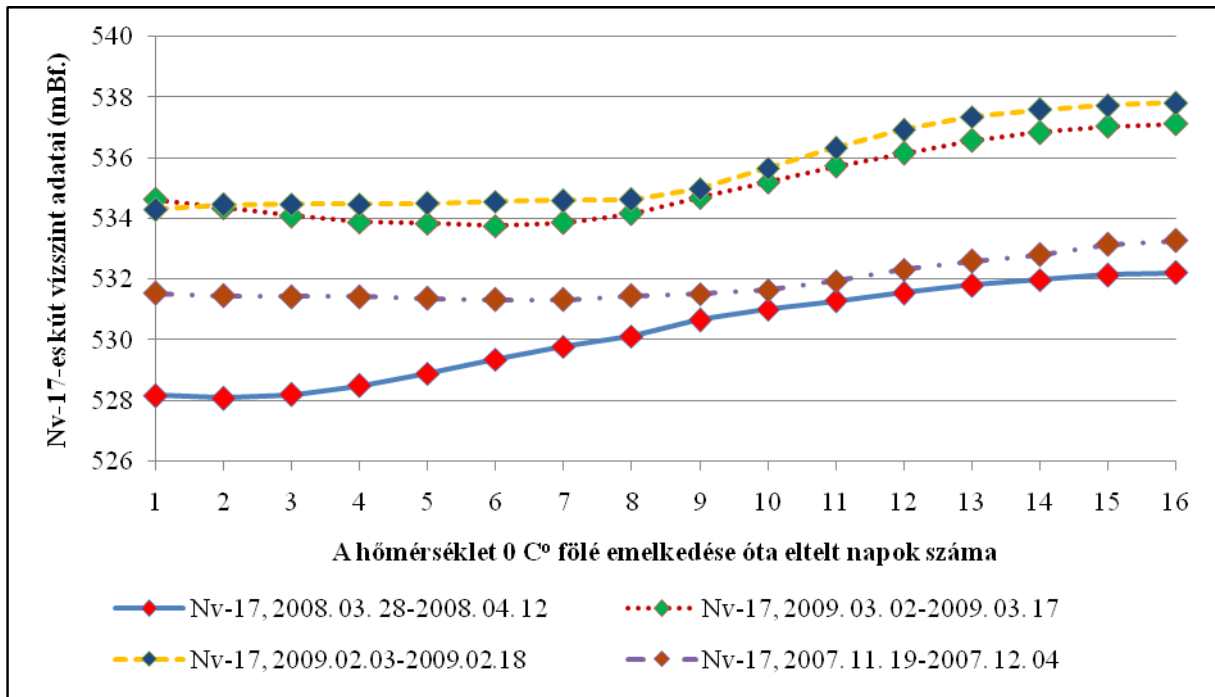
5. ábra: A Szinva forrás vízszintjének változása a hóolvadás hatására

Az olvadáskor kialakuló vízszintváltozások tüzetesebb megvizsgálásának céljából elemzést végeztünk órás adatokból is. Ezt megint csak a Szinva-forrás esetében végeztük el (6. ábra). A vízszint görbén jól megfigyelhető a vízszintemelkedés sajátos karakterisztikája, ami azt olvadáskor jellemzi. Március 31-én probléma volt a hőmérsékletregisztráló műszerrel, így néhány órás adathiány keletkezett, de ez érdemben nem befolyásolja a grafikonelemzést, mivel a hőmérséklet változása kikövetkeztethető. Megfigyelhető, hogy az éjszakai fagyok során újra visszafagy a víz, így megszűnik a beszivárgás, aminek következtében a vízszint is csökkeni kezd. Március 31-én éjszaka a jelentős lehülés miatt a vízszint is határozott csökkenésbe kezdett, majd a nappali felmelegedés következtében újra emelkedni kezdett. Április 1-én hajnalban a hőmérséklet épp csak 0 C° alá csökkent, amit a csekély mértékű vízszintcsökkenés is mutat. Ám a vízszintgörbe további fluktuációjára még nem sikerült egyértelmű választ találni, de bizonyos, hogy nem a fagy miatt következett be. Mivel az ingadozásban egyfajta periodicitás is megfigyelhető, elképzelhető, hogy a Hold árapály jelensége okozza (Lénárt 2005). De ennek megállapítása további vizsgálatokat igényel.



6. ábra: A Szinva-forrás vízszintgörbéjének karakterisztikája hóolvadáskor

Az Nv-17-es kút esetében mind a négy vizsgált esetben 15 napos tetőzési időt állapítottunk meg (7. ábra). A pontozott illetve a szaggatott vonalú görbén megfigyelhető a Szinva-forrás esetében már bemutatott jelenség, hogy egy korábbi csapadék hatására csökkenő vízszintre szuperponálódik az olvadásból származó víz. Ám ez korántsem olyan látványos, mint a Szinva-forrás esetében, ami a megfigyelő pontok különbözőségéből adódik, hiszen az Nv-17-es kút vízszintje kb. 250 m-rel a felszín alatt található.



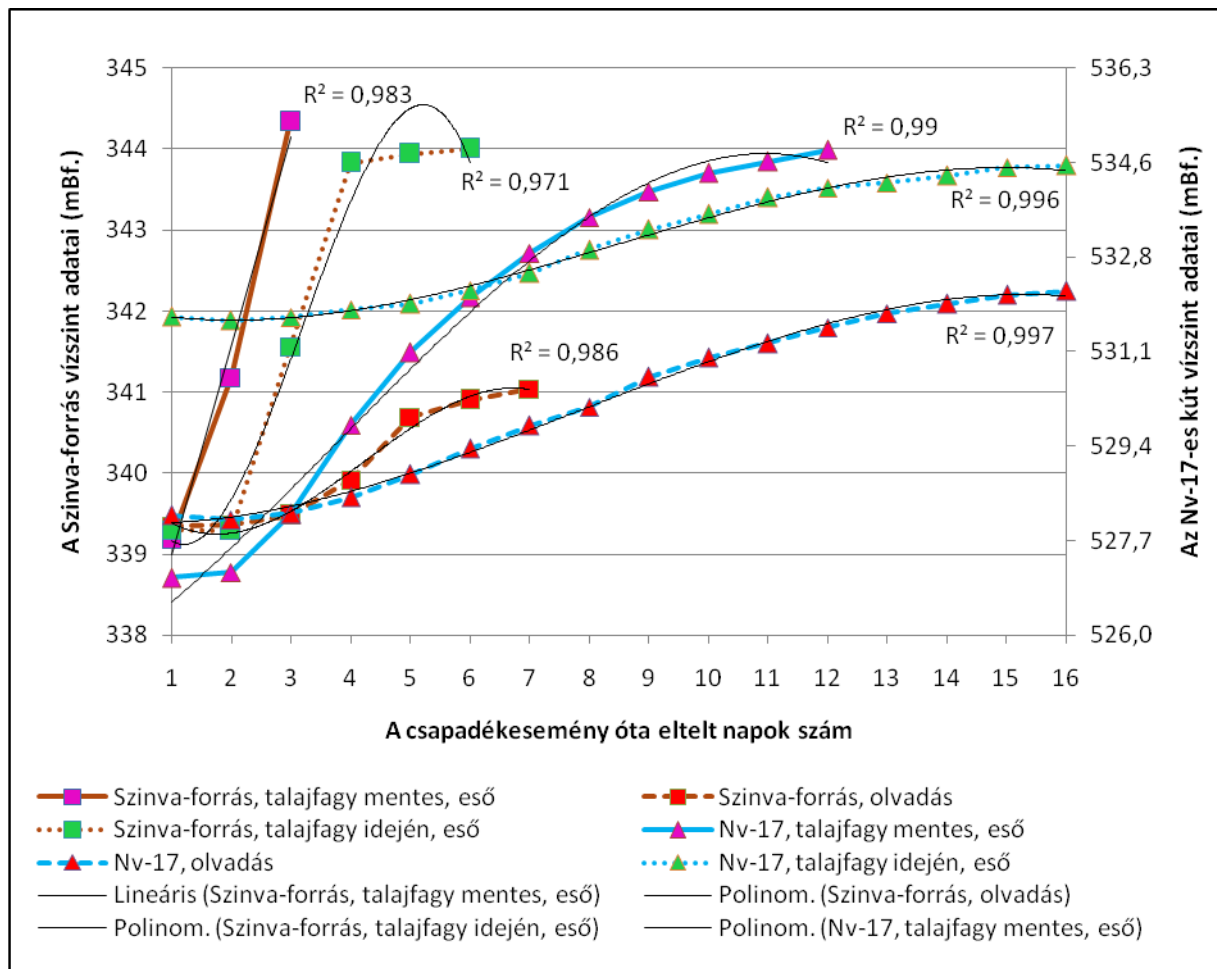
7. ábra: Az Nv-17-es kút vízszintjének változása a hóolvadás hatására

AZ EGYES ESEMÉNYTÍPUSOK ÁLTAL INDUKÁLT VÍZSZINTVÁLTOZÁSOK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

A Szinva-forrás vízszint görbéit négyzet, az Nv-17-es kút görbéit háromszög alakú jelölővel jelöltük. A számszerű jellemzés érdekében trendvonalat illesztettünk az egyes görbékre. Korrelációs vizsgálatok korábban már készültek a Bükki Karsztvíz Észlelő Rendszer monitoring pontjaiból származó adatokból (Darabos et al., 2012). Mivel korrelációs koefficiens értéke minden esetben meghaladja a 85 %-ot, így elmondható, hogy az illesztett trendvonalak jól közelítik a görbéket. Egy görbe kivételével, minden görbét harmadfokú polinommal sikerült a legjobban közelíteni.

A Szinva-forrás esetében itt is látszik, hogy talajfagy mentes időszakban és talajfagy idején kialakuló vízszintemelkedés görbék karakterisztikája különböző. A nyári csapadékesemény után azonnali, meredek és közel lineáris felfutású a vízszintgörbe (8. ábra).

Talajfagy idején, eső következtében emelkedő vízszintgörbe áradó ágnak van egy szakasza, ami a meredekségét tekintve szinte megegyezik a nyári vízszintgörbe meredekségével. Mégis a tapasztalható differencia abból adódik, hogy a csapadék után van egy napos késleltetés, amíg a vízszint határozott emelkedésnek indul, majd szintén egy elnyújtott két napos szakasz következik, ahol a vízszint még emelkedik, de kisebb intenzitással. Ez utóbbi a vizsgálat szempontjából már nem érdekes, mert azt valószínűleg a későbbi kisebb csapadékmennyiségek okozták. Viszont a görbe elején tapasztalt késleltetés szignifikáns differencia, melyből úgy gondoljuk, hogy a talajfagy hatása.



8. ábra: A különböző eseménytípusok vízszintgörbéi

A hóolvadáskor kialakuló vízszintemelkedés elnyúlik, így a meredeksége kisebb, ami a hosszabb tetőzési időből és a kisebb vízszintváltozásból adódik (8. ábra).

Az Nv-17-es kút vízszint görbéit összehasonlítva kitűnik, hogy itt is a nyári csapadékeseményhez tartozó görbe meredeksége a legnagyobb. A talajfagy idején hulló eső és a hóolvadás hatására bekövetkező vízszintváltozást szemléltető görbék meredeksége már csak kismértékben tér el egymástól. A nyári csapadékhhoz tartozó görbével összevetve az előbb említett két görbét, jól látható a tetőzési idők közötti különbség is. A talajfagy idején hulló eső esetén ez nyilvánvalóan a talajfagy miatt változik meg. Hóolvadáskor a Szinva-forrás esetében már korábban bemutatott olvadás-visszafagyás folyamata játszódik le, ami miatt szintén megnő a tetőzési idő.

ÖSSZEFOGLALÓ

Jelen munkánk felvezetője egy összetett kutatási témának, amely a beszivárgás és a talajfagy kapcsolatát hivatott részletesen feltárni a bükki karszton. A kutatási téma első lépéseként összehasonlító vizsgálatot végeztünk a korábban már részletesen kifejtett eseménytípusokra, melyek következtében vízszintemelkedés következhet be a Szinva-forrásnál és az Nv-17-es kútban, melyeket monitoring pontoknak választottunk. A vízszint és a meteorológiai adatok összevetésével tártuk fel a különbségeket, a nyári, illetve a téli, a talajfagy idején tapasztalható tetőzési idők között.

A vizsgálat során megállapítottuk, hogy télen, talajfagy idején az eső által indukált vízszint emelkedés tetőzési ideje a Szinva-forrásnál 3-4 nap, ami a talajfagy mentes

állapothoz képest 1-2 nappal hosszabb, az Nv-17-es kút esetében 14-15 nap, ami a talajfagy mentes állapothoz képest 3-4 nappal hosszabb.

A hóolvadás következtében bekövetkező vízszint emelkedés tetőzési ideje a Szinva-forrás esetében 6-8 nap között változott, ami a nyáron tapasztalt tetőzési időhöz viszonyítva 4-6 nappal hosszabb, az Nv-17-es kút esetében 15 nap, ami a nyári tetőzési időhöz képest 4 nappal hosszabb.

Tehát a monitoring pontok vízszint és meteorológiai adataiból sikerült kimutatni, hogy a talajfagy milyen hatást gyakorol a beszivárgás ütemére és ezt a késleltetést számszerűsíteni is sikerült. Továbbá megállapítottuk, hogy milyen tetőzési időekkel lehet számolni hóolvadás során a Szinva-forrás és az Nv-17-es kút esetében.

A tetőzési idők között tapasztalt különbségek jelentősek, így a kutatási munka következő lépésének tűzzük ki, hogy részletesebben is feltárjuk, pontosan milyen folyamatok és hogyan zajlanak le a karszton a talaj tartósan fagyott időszakában. A kutatásból származó adatok a hidrodinamikai modellek peremfeltételeiként szolgálhatnak és pontosabbá tehetik modellező munkánkat, melyek segítségével pontosabb transzportmodellek készülhetnek karsztos területeken.

Továbbá vizsgálatunk eredményei segítségünkre lehetnek a vízellátás előre tervezésében és közelebb kerülhetünk a karsztárvizek megismeréséhez, valamint az ebből fakadó problémák elkerüléséhez, kezeléséhez.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

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

FELHASZNÁLT IRODALOM

- DARABOS E., LÉNÁRT L. 2008. Csapadék és karsztvíz szintek összefüggéseinek vizsgálata a 2006. évi bükki karsztárvíz elemzése során, *Karsztfejlődés* XIII. pp. 43-60, ISBN 963 7173 93 5 Ö, ISBN 978-963-9871-15-1, SZOMBATHELY
- DARABOS E. 2010. Examining Relationships data recorded with the Bükk karst water monitoring system. *Karst Development*, Volume 1, Issue 1, ISSN 1585-5473., pp. 6-12 Szombathely
- DARABOS E., SZUCS P., NÉMETH Á. 2012. Application of the ace algorithm on hydrogeological monitoring data from the Bükk mountains, *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, Volume 47, Number 2, June 2012, pp.: 256-270 Akadémiai Kiadó, Budapest
- DARABOS E. 2012. A 2006-os és a 2010-es bükki karsztárvizet okozó karsztvízszint változások a Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer (BKÉR) mérőhelyein, VI. Magyar Földrajzi Konferencia, Konferencia kiadvány, Szeged (in press)
- LÉNÁRT L. 2005. Some aspects of the „3E's” (Economics-Environment-Ethics) model for sustainable water usage in the transboundary Slovakian and Aggtelek karst region based on some examples from the Bükk Mountains. PhD thesis work, Kassa/Kosice,
- LÉNÁRT L. 2006B. A Bükk-térség karsztvízpotenciálja – a hosszú távú hasznosíthatóságának környezetvédelmi feladatai. *Észak-magyarországi Stratégiai Füzetek*. III. évf. 2. sz., pp. 17-28, Miskolc
- PELIKÁN P.(ED) 2005. A Bükk hegység földtana. *Magyarázó a Bükk-hegység földtani térképéhez (1:50000)*. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest