

**BARLANGI VÍZFOLYÁSOK VÁRHATÓ ÁRVÍZI VÍZSZINT-  
JÉNEK MEGHATÁROZÁSI MÓDSZEREI BÜKKI KARSZTÁRVI-  
ZEK ALAPJÁN**

**METHODS TO ESTIMATE THE EXPECTED IN-CAVE PEAK  
WATER LEVELS  
DURING FLOODS, BASED ON BÜKK KARST FLOOD DATA**

SÚRÚ PÉTER

ME MFK Hidrogeológiai- Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék,  
3515 Miskolc-Egyetemváros; hgsurup@uni-miskolc.hu

*Abstract: Research of karst floods in the caves of the Bükk was begun in 2004 at the Létrási-Vizes Cave and the Szepesi-Láner Cave System. There have been three recorded major karst floods so far. The first one was in early-summer 2006, the second and third one were in the spring and the early summer of 2010. Monitoring these floods is a useful tool in the investigation of cave connections. For example, delay of the culmination show us the heading of flow in these conduits. In the Létrási-Vizes Cave culmination is slower than in the Lake of Szepesi Cave. Consequently, flow from Létrási-Vizes Cave to the Szepesi Cave is not possible despite of earlier concepts of István Sárváry. 1D flow modelling of siphons is a useful tool in interpretation of hydrographs. Rising of water level near active sumps indicate the size of continuing passage. Close estimation can be made for dimensions of passages in the sump because the key parameters of the model have different relationship with the flood hydrograph.*

**Bevezetés**

A bükki barlangok karsztárvizeinek kutatása 2004-ben kezdődött meg a Létrási-Vizes-barlangban és a Szepesi-Láner-barlangrendszerben. Az itt szerzett tapasztalatok alapján a mérési helyek számát később jelentősen bővítettük. Eddig 13 barlangban voltak hosszabb-rövidebb mérések a Bükki Karsztvíz Észlelő Rendszer (BKÉR) keretében, de jelenleg kérdéses a mérések folytatásának finanszírozása (LÉNÁRT, és mtsai., 2013).

A barlangi mérések gyakorlati kivitelezése sokszorosan nehezebb feladat, mint a foglalt forrásokban vagy a karsztvízfigyelő kutakban történő mérés. Számítalan esetben nehéz megbecsülni, hogy az árhullámok maximumán mennyire emelkedést fognak eredményezni egy-egy barlangban. (Ezt a tanulságot sajnos több mérőeszközünk tönkremenetele után vontuk le.) Volt olyan barlang, melynek vízszintjét évtizedek óta állandónak tekintettük, de a karsztárvizek során néhány órára több méteres vízszintemelkedés alakult ki. Sokszor az alacsony, vagy éppen a tartósan magas

vízszintek miatt nem lehet a műszereket optimális helyre telepíteni, illetve szükség esetén kihozni. Ezért minden értékelhető adatnak nagy a jelentősége.

A barlangi vízfolyások gyorsan reagálnak a csapadékra, míg a karsztvízfigyelő kutak általában nincsenek ilyen közvetlen kapcsolatban a fő járatrendszerrel (KIRÁLY, 2002), így a két különböző mérés egymás kiegészítéseként jól felhasználható a karsztos területek vízháztartásának modellezésében. Az árhullámok levonulásának módjából következtethetünk a barlangjáratok közötti összefüggésekre, a ma még nem ismert járatok kiterjedésére, jellegére, a környező karsztos tömeg átlagos hézagterfogatára, egyéb hidrológiai jellemzőire és nem utolsósorban az adott barlang bejárásának biztonságosságára is (GABROVSEK & PERIC, 2006).

## **Módszerek**

### *Barlangi vízszintmérések*

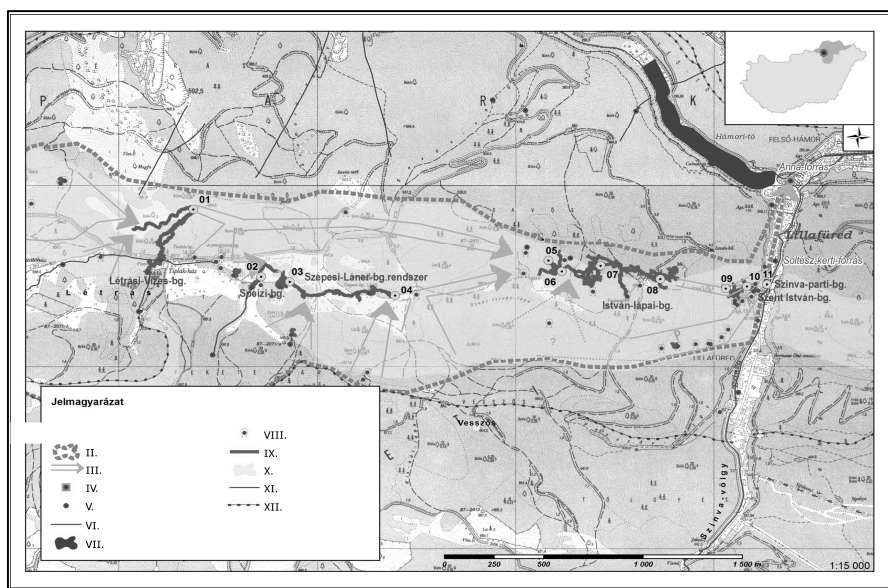
A barlangi vízszintmérésekhez a DATAQUA cég műszereit használtuk. Ezek jellemzői:

- fémmembrános nyomásszenzor, a légnyomás-változások hatása kompenzált,
- hőérzékelő,
- vezetőképesség-érzékelő cella,
- mérésintervallumok szabadon megválaszthatóak,
- max. 120.000 mérési adat tárolása,
- hosszú élettartamú elem, ~5 év élettartammal.

A mérési helyek kialakítása úgy történt, hogy stabilan rögzítse a műszereket, ugyanakkor védelmet nyújtson számukra a víz által szállított hordaléktól (1. ábra). Környezetükben ismert koordinátájú fix pontokhoz ellenőrző kézi vízszintmérések történtek. Ezek a mérések a műszerek driftjének és esetleges elmozdulásának kiküszöbölésére szolgáltak. A 13 barlangban összesen 18 mérési hely lett kialakítva, néhány barlangban több ponton is folyt mérés. A legsűrűbb mérési hálózatot a Soltész-kerti-forrás vízgyűjtőterületén tudtuk kialakítani. Ennek mérőhelyei láthatóak a 2. ábrán. Az elhelyezett mérőműszerek többnyire 15 perces időközönként mértek. Vízsintet minden ponton, hőmérsékletet és vezetőképességet azonban csak néhány helyen mértünk.



1. ábra: Mérési hely kialakítása az István-lápai-barlangban  
Fig.1: Datalogger in the István-lápai cave



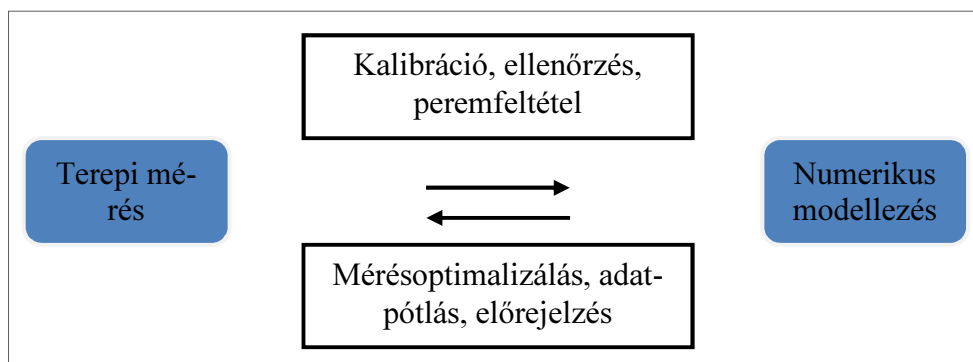
2. ábra: A bükki Soltész-kerti-forrás vízrendszerének vízszintészlelő helyei: 01: Létrási-Vizes-bg. Tava; 02: Speizi-bg. I.-szifon; 03: Láner-bg. Homok-szifon; 04: A Szepesi-barlang Tava; 05-08: István-lápai-bg. IV.-szifon, II.-szifon, I.-szifon, Keleti-ág Tava; 09-10: Szent István-bg. Pokol, Vasas-akna; 11: Szinvaparti-barlang (I.: barlangi vízszintészlelő hely; II.: vízgyűjtőhatár; III.: felszín alatti vízáramlás iránya; III.: Vízellátásba kapcsolt forrás; IV.: egyéb forrás; V.: vízfolyás; VI.: állóvíz; VII.: barlangbejárat; VIII.: feltérképezett barlangjárat; IX.: Fehérkői Mészkö Formáció; X.: tektonikai törésvonal; XII.: feltolódás

Fig. 2: Karst water observation points on the watershed of the Soltész-kerti Spring: 01: Lake of the Létrási-Vizes-Cave; 02: Speizi Cave. I. Sump; 03: Láner Cave Homok Sump; 04: Lake of the Szepesi Cave; 05-08: István-lápai Cave IV. Sump, II. Sump, I. Sump, Lake of the eastern Branch; 09-10: Pokol and Vasas Pit in Szent István Cave; 11: Szinvaparti Cave (I.: water level monitoring point; II.: spring catchment; III.: direction of subsurface flow; IV.: spring with waterworks; V.: other springs; VI.: stream; VII.: Pond; VIII.: cave entrance; IX.: surveyed cave passage; X.: Fehérkői Limestone formation; XI.: tectonic fractures; XII.: reverse fault

### Járatrendszer modellezése

A karsztos járatok numerikus áramlástanai modellezése egy olyan eszköz, ami helyesen alkalmazva segíthet megérteni a mérés során tapasztalt jelenségek okait. Használható lehet például a csapadékesemények keltette árvizek előrejelzésében, a járatrendszer átalakítása (gondoljunk itt járatátgításra, lezárások, forrásfoglalások vagy egyéb műtárgyak beépítésére), vagy az éghajlati jellemzők módosulása miatt várható változások meghatározásában, nem ismert járatszszakaszok legvalószínűbb paramétereinek megadásában. Információkkal támogathatja még a mérési helyek, mérőműszerek, mért paraméterek, mérési időköz helyes megválasztását, de jól jöhet a mérési adathiányok pótlásánál is (3. ábra).

A karsztos járatokban való áramlást 1D-s modellezéssel vizsgáltuk, mert elsősorban a hosszirányú változások érdekeltek minket, a keresztirányú hatásokat elhanyagoltuk (CAMPBELL & SULLIVAN, 2002).



3. ábra: Mérés és modellezés kölcsönhatása  
Fig. 3: Feedback between field measurements and models

A fizika megmaradási törvényei alapján végezhető el a vízáram matematikai leírása mérlegegyenletek segítségével. A mérlegegyenletek az áramló folyadék egy-egy parányi ellenőrző térfogatára a megmaradási törvények alapján felírt parciális differenciálegyenletek. 1D-s nempermanens áramlás modellezésére a St. Venant egyenleteket használjuk.

- Folytonossági egyenlet:

$$(1) \quad \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

Impulzusegyenlet:

$$(2) \quad \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\beta Q^2}{A} \right) + gA \left( \frac{\partial z}{\partial x} + S_E \right) = 0$$

ahol

Q: térfogatáram [m<sup>3</sup>/s]

A: szelvény terület [m<sup>2</sup>]

t: idő [s]

$\beta$ : impulzusdiszperziós tényező általában 1

z: vízszint [m]

S<sub>E</sub>: energiavonal esése [1/m]

A súrlódási veszteséget a modell a Manning-képlettel számolja:

$$(3) \quad S_f = Q^2 / \left[ \left( \frac{\beta}{n} \right)^2 \cdot A^2 \cdot R^{4/3} \right]$$

n: Manning érdesség

R: hidraulikus sugár [m]

$\beta$ : 1.0 metrikus rendszerben való számolásnál

A modellezéshez az EPA (Environmental Protection Agency) SWMM (Storm Water Management Model) szoftverének 5.022-es verzióját használtam fel.

A barlangi szifonok visszaduzzasztó hatását 1D-s áramlási modell segítségével is vizsgáltuk a Szepesi-Láner-barlangrendszer Tavának példáján keresztül.

## Eredmények

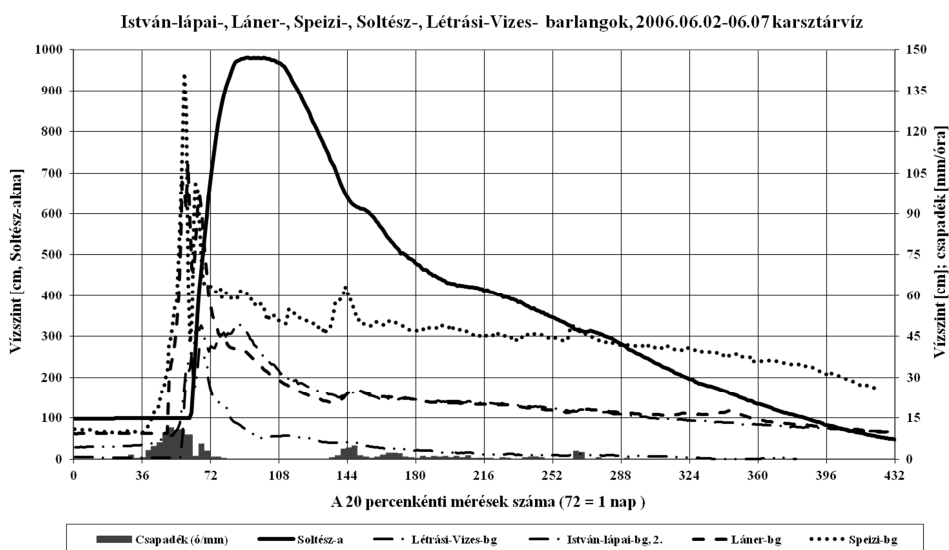
### *Barlangi vízszintmérések*

Eddig három nagyobb, a teljes Bükkre kiterjedő karsztárvizet sikerült megfigyelnünk: 2006 nyár elején, illetve 2010 tavaszán és nyár elején. Legtöbb információt az árhullámok levonulásáról akkor nyertünk, hogyha egy forrás vízgyűjtőjének több pontján is zajlott mérés.

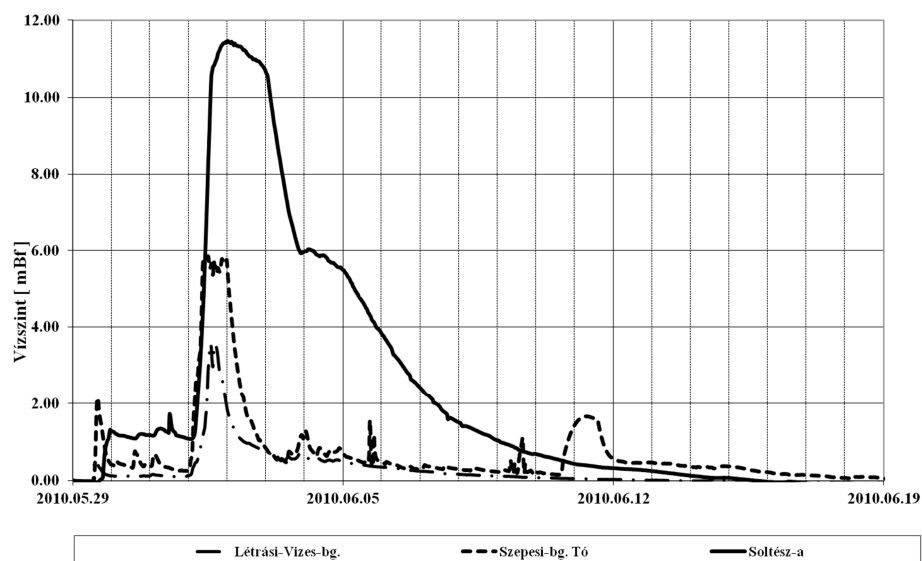
A Soltész-kerti-forrás vízgyűjtőjén fekvő mérőhelyek görbéit közös koordináta-rendszerben ábrázolva a 4. és az 5. ábra diagramjait kaptuk az árhullám levonulására.

Jól látható rajtuk, hogy a forráshoz közelebb eső mérési pontokban mért vízszintváltozások futása egyre kiegyenlítettebb és a tetőzés egyre nagyobb késésben van a csapadékhoz képest, néhány görbe pedig kettős csúcsot mutat.

A tetőzések késéséből bizonyos következtetéseket vonhatunk le a vizsgált barlangok kapcsolatára vonatkozóan. Az, hogy a Létrási-Vizes-barlangban később tetőzik az árhullám, mint a Speizi-, Láner- és Szepesi-barlangokban, arra utal, hogy Sárváry István korábbi elképzelésével szemben (SÁRVÁRY, 1969) a Vizes-barlang biztosan nem csatlakozik be ebbe a rendszerbe a Speizi- és Láner- barlangok környezetében (I. táblázat).



4. ábra: A 2006-os árhullám lefutása az egyes mérőhelyeken  
 Fig. 4: Hydrographs of the 2006 flood



5. ábra: 2010-es árhullám lefutása az egyes mérőhelyeken  
Fig. 5: Hydrographs of the 2010 flood

Egyes görbéken látható többes csúcs olyan mérési pontoknál alakult ki, ahol több eltérő összegyülekezési idejű járatrendszer találkozik, például a Szepesi-barlang Tavánál a barlang főága és a barlangi forrás járatrendszere, vagy a Létrási-Vizes-barlang végpontján a Patakos Fő-ág és a Búvár-ág.

1. táblázat:  
Table 1

A tetőzés késése az egyes mérőhelyeken a csapadék legnagyobb intenzitásához képest  
Lag between the crest of the hydro- and hyetograph

Csapadék maximum	Tetőzés késése					
	Létrási-Vizes-bg. (01)	Szepesi-bg. (04)	Szinvarparti-bg. (11)	István-lápai-bg. II.-szifon (07)	Láner-bg. (03)	Speizi-bg. (02)
06.6.2 16:00	5,4 h	~4,0 h	14 h	5 h	2,7 h	2,2 h
10.6.2 8:00	5,5 h	4 h	16 h	-	-	-

### Modellezés

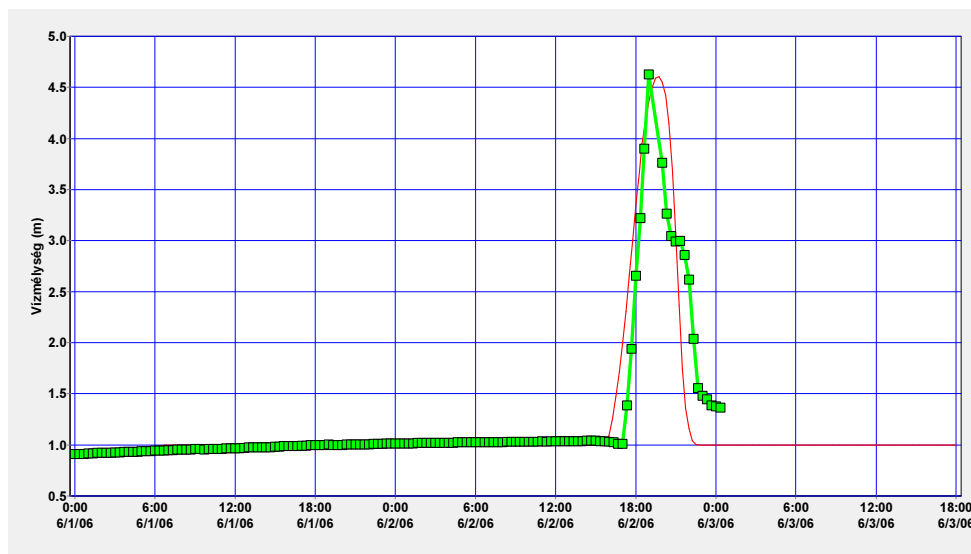
A barlangjárat 1D-s áramlási modellje készült el a Szepesi-barlang Tavánál. A már feltérképezett részek adatai egyszerűsítésekkel, de a méréseknek

megfelelően épültek be. A járathosszokat, szélességeket és magasságokat a valóságnak megfelelően adtuk meg. A keresztmetsvényeket téglalapokkal és ellipszisekkel közelítettünk. A járatfalak hidraulikus érdessége szakirodalmi adatok alapján lett felvéve (LI, JIANG, YUAN, & LI, 2008) (PETERSON & WICKS, 2006). A nem ismert részekre a terület hasonló barlangi szifonjai alapján tettünk becsléseket, majd a paramétereket addig iteráltuk, amíg a modellben kapott vízszintemelkedés a legjobb egyezést nem adta a kalibráló árhullámmal (6. ábra). Ez a legjobb egyezés az ismeretlen oldalon feltételezett két szakasz alábbi paramétereinek következtében következett be:

II. táblázat  
Table II

A legjobb kalibrációt adó járat paraméterek.  
Conduit model parameters for the modelled hydrograph with the best calibration results

Járat száma	Hossz [L]	Magasság [H]	Szélesség [W]	Hidr. sugár [R]	Hidr. érdesség [n]	Keresztmetsvény alakja
4	3.3	0.3	0.45	0.135	0.025	Fekvő téglalap
5	30	0.6	1	0.352	0.02	Fekvő ellipszis



6. ábra: Modellezett vízszintváltozás (vékony vonal jelölő nélkül) a CsP2 pontban és a mért értékek (vastag vonal jelölővel)

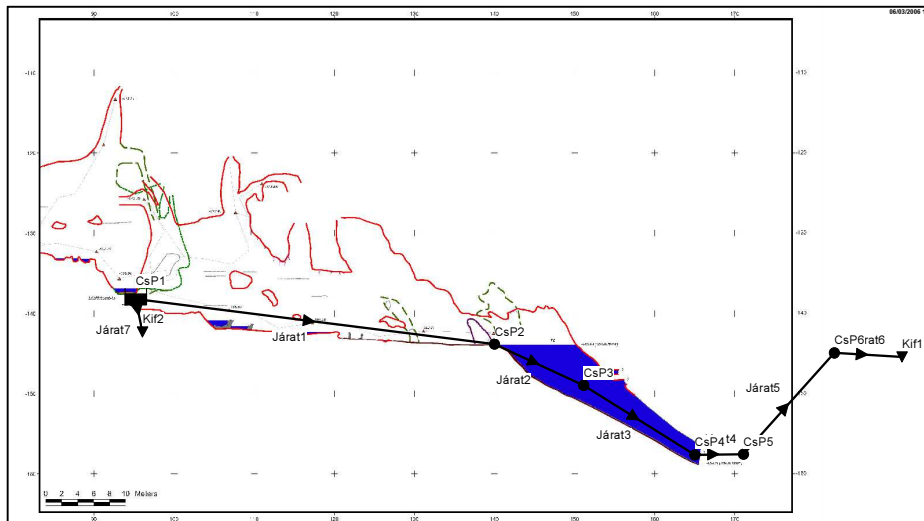
Fig 6: Hydrograph in the CsP2 node: modelled (thin line without markers); measured (thick line with markers)

A modell felépítéséhez szükség volt csapadék és vízszint adatokra is. Ez csak a 2006-os árvíz idejére állt rendelkezésre, ezért ennek az árvíznek



az adataival kalibráltuk a modellt. A szifonba befolyó vízhozam az egység árhullámok módszerével lett generálva a csapadék idősor, az egység árhullám és a területnagyság megadásával.

A barlangban tett megfigyelések szerint a Speizi-barlang víznyelője felől (SÚRŰ, 2010) a Tavat tápláló járatokon csak egy bizonyos vízszint felett folyik végig a patak, kis vízhozamnál már korábban elnyelődik a mederben. Ugyanakkor a Tónak van egy nagyon stabil hozzáfolyása a Keleti-ág Forrásából. Ez úgy épült be a modellbe, hogy a hozzáfolyó vízhozam egy része azonnal eltűnhet egy kifolyón keresztül, és csak a kifolyó kapacitását meghaladó hányada folyik tovább. Ugyanakkor a Tó előtt be lett építve egy kicsi, de állandó hozamú hozzáfolyás (7. ábra).



7. ábra: Szepesi-barlang Taváról készült 1D modell felépítése  
Fig 7: Model structure for the Tó in Szepesi Cave

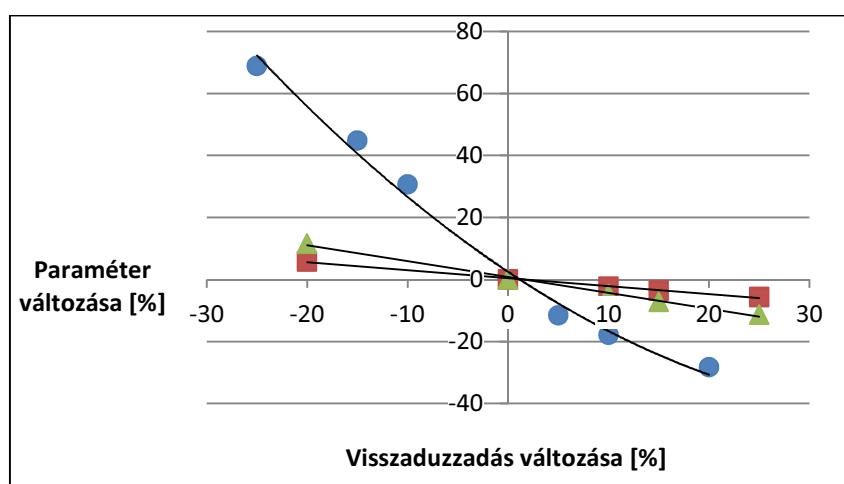
Az így elkészült modell eltérő mértékben reagál az egyes paraméterek változására (PETERSON & WICKS, 2006).

A Tó szifonjának ismeretlen oldalán felvett járatok paramétereit változtatva a modellfuttatások során kapott visszaduzzadás értékek eltérő mértékben változnak (8. ábra). A visszaduzzasztás mértéke a járáthossz és a hidraulikus érdesség változásával egyenesen arányos. A járáthossz változása feleakkora mértékben befolyásolja a visszaduzzadást, mint a hidraulikus érdesség. Legnagyobb mértékben a hidraulikus sugár változtatása befolyásolja a modellfuttatás végeredményét.

## Összefoglalás

A vízszintváltozások regisztrálása hasznos eszköz lehet a barlangjáratok összefüggésének vizsgálatában.

A szifonterek 1D-s áramlási modelljével visszaadhatóak a mért vízszintváltozások. A modell érzékenysége az egyes kulcsparaméterekre eltérő, így a területre jellemző szifonforma (tektonikus előkészítettség) ismeretében megadható a várható járatfutás (BOUDINET, 2012), és járatméretek (FORD & WILLIAMS, 2007) tartománya.



8. ábra: Modellparaméterek változásának hatása a visszaduzzadásra (négyzet: járáthossz; háromszög: hidraulikus érdesség; kör: hidraulikus sugár)

Fig. 8: Effects of changed model parameters (square: length of conduit; triangle: hydraulic roughness; circle: hydraulic radius)

A modell még pontosítandó, és ellenőrizendő ismert, teljesen feltérképezett szifonokon, valamint meghatározásra vár az áradások során kiöblítő hordalék járatszűkítő, vízvisszaduzzasztó hatása is.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS (ACKNOWLEDGEMENTS):



A tanulmány/kutató munka a Miskolci Egyetemen működő Fenntartható Természeti Erőforrás Gazdálkodás Kiválósági Központ TÁMOP-4.2.2/A-11/1-KONV-2012-0049 jelű „KÜTFŐ” projektjének részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális

Alap társfinanszírozásával valósul meg.

The research was carried out in the framework of the Sustainable Resource Management Center of Excellence at the University of Miskolc, as part of the TÁMOP-4.2.2/A-11/1-KONV-2012-0049 „WELL aHEAD” project in the framework of the New Széchenyi Plan, funded by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

## IRODALOM

BOUDINET, P. (2012). A statistical model of karstic flow conduits - *Speleogenesis*, 12, 9-16.

CAMPBELL, W. C., & SULLIVAN, S. M. (2002). Simulating time-varying cave flow and water levels using the Storm Water Management - Model. *Engineering Geology*, 65(2-3), 133-139.

FORD, D. C., & WILLIAMS, P. (2007). Karst Hydrogeology and Geomorphology. - West Sussex: John Wiley & Sons Ltd., London, 561 p.

GABROVSEK, F., & PERIC, B. (2006). Monitoring the flood pulses in the epiphreatic zone of karst aquifers: the case of Reka River System, karst plateau, SW Slovenia - *Acta Carsologica*, 35(1), 35-45.

KIRÁLY, L. (2002). Karstification and Groundwater Flow - In: F. GABROVSEK (szerk.), *Evolution of karst: from prekarst to cessation* pp. 155-190. Postojna-Ljubljana: ZRC.

LÉNÁRT, L., DARABOS, E., CZESZNAK, L., HERNÁDI, B., KOVÁCS, P., TÓTH, K., . . . BALLA, B. (2013). A Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer 20 éves fennállása alatt elért legfontosabb kutatási eredmények, ill. a jövőbeli kutatási irányok áttekintése - In B. Zákányi, & K. B. Faur (Szerk.), *IX. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia* pp. 378-383). Miskolc: Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar.

LI, Y., JIANG, Y., YUAN, D., & LI, L. (2008). Modeling hydrological responses of karst spring to storm events: example of the Shuifang spring (Jinfo Mt., Chongqing, China) - *Environmental Geology*, 55, pp. 1545-1553.

PETERSON, E. W., & WICKS, C. M. (2006). Assessing the importance of conduit geometry and physical parameters in karst systems using the storm water management model (SWMM) - *Journal of Hydrology*, 329, 294-305.

SÁRVÁRY, I. (1969). A Létrás-Istvánlápai-barlangrendszer - *Karszt és Barlang*, II., pp. 53-56.

SÚRÚ, P. (2010). Legújabb karszthidrogeológiai kutatási eredmények a Fehérkői Mészke Formáció Szinva-völgytől nyugatra eső szakaszán - *Diplomaterv*, Kézirat, Miskolci Egyetem, Miskolc pp. 24-32.