

## A VÍZÁRAMLÁSI MODELLKÍSÉRLETEK VÁLYÚRENDSZEREKEN

DEÁK GYÖRGY<sup>1</sup>-SAMU SZABOLCS<sup>1</sup>-PÉNTEK KÁLMÁN<sup>2</sup>-MITRE ZOLTÁN<sup>2</sup>-VERESS MÁRTON<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Nyugat-magyarországi Egyetem, Természettudományi Kar, Földrajz és Környezettudományi Intézet, 9700 Szombathely, Károlyi Gáspár tér 4.

<sup>2</sup>Nyugat-magyarországi Egyetem, Természettudományi Kar, Matematika és Fizikai Intézet pentek@ttk.nyme.hu

*Abstract* We examined the amalgamation conditions after joining of main and side branches of type-B karst channels at different  $\alpha$  slope angles and  $\varphi$  joining angles, during the flow of water with different weight ratio. We measured the distances between the joining point ( $T_0$ ) and the beginning of the amalgamation ( $T_1$ ), the end of the amalgamation ( $T_2$ ), so we could determine the  $D$  length of the effect of amalgamation. We try to find relations during our mathematical analysis between the fitted functions from the measured data to determine the beginning  $T_1$ , ending  $T_2$  points of the amalgamation, the length of  $D$  interval, in the function of  $\alpha$  slope angles and  $\varphi$  joining angles of the channel system.

### 1. Bevezetés

Az oldódás kemizmusának ismerete nem ad magyarázatot a karrvályúk változatosságára. Ezen formák jellemzőit, típusba sorolását, valamint genetikai kapcsolatát VERESS *et al.* (2009, 2010, 2011) számos tanulmányban rögzítette.

A rinnenkarrok (vályúkarrok) lejtésirányú, zárt csatornák (VERESS 2009) Szélességük és mélységük legfeljebb néhány dm, míg hosszuk néhányszor 10 m lehet. Jelentőségük miatt számos kutató vizsgálta e karrformákat (ECKER 1898, WAGNER 1950, SWEETING 1955, HASERODT 1965, LOUIS 1965, BÖGLI 1976, JENNING 1985, GLADYSZ 1987, WHITE 1988).

A vályúk vízágak alatt jönnek létre és fejlődnek (BÖGLI 1960, 1976, TRUDGILL 1985, FORD-WILLIAMS 1989, 2007, VERESS 1995, 2010). A vizsgálatok megmutatták (VERESS 2010, VERESS *et al.* 2009, KOZMA-MITRE 2012), hogy a vályúk alakjuk és kialakulásuk szerint két csoportra különíthetők: a nagyobb méretű, meredek oldalú (U alakú), nagy vízgyűjtő területű B típusú vályúkra és a kisebb méretű, lankásabb oldalú (V alakú), kis vízgyűjtő területű A típusú vályúkra. A B típusú vályúk kétfélek lehetnek. Az egyik típusukat egyetlen B típusú vályú alkotja. Az ilyen vályúknak

csak A típusú mellékvályújuk van. A másik típusba a vályúrendszerek tartoznak. A vályúrendszer fővályújához mellékvályúk kapcsolódnak. A mellékvályúk lehetnek A és B típusúak egyaránt.

A kialakító vízág áramlási viszonyai azonban *in situ* nem tanulmányozhatóak. Az áramlási viszonyokat azért kívánjuk vizsgálni, mert a B típusú fővályúk kiszélesedései *VERESS et al.* (2011) szerint ott jönnek létre, ahol a vályúk vízága örvényesen áramlik. *VERESS et al.* (2012) szerint az örvényességet a mellékvályú és a fővályú vízágának keveredése okozza. Örvénylés esetén ugyanis az oldódás nagyobb, mint lamináris áramlásnál. Munkacsapatunk ezért laboratóriumi körülmények között, modellkísérletben, egy kiválasztott formát (B típusú vályú) kíván vizsgálni. Az áramlási és keveredési viszonyokat a terepi körülményekhez leginkább hasonlító modell segítségével elemezni, az elemzésből nyert adatokat a terepi tapasztalatokkal összevetni.

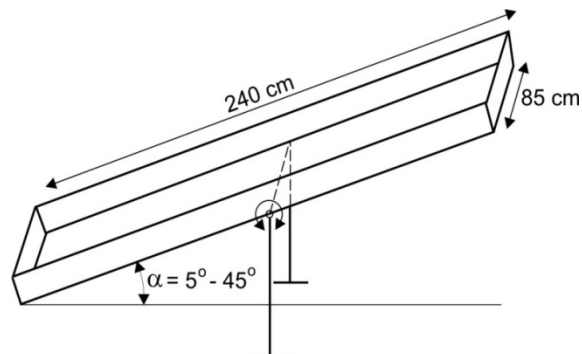
Feltételezzük, hogy a modellkísérletben vizsgálható B típusú vályúkban történő áramlási jellegzetességek extrapolálhatóak a természetben. Ezért a megalkotandó modellnek arányaiban hasonlítania kell a valóságra. A létrehozandó modellben hatnia kell ugyanazon erőknek, mint amit a terepi viszonyok között is számításba kell venni. A modellkísérlet során meg kellett oldani a vályú megfelelő anyagból való mintázását, az áramló folyadék hasonló feltételek közötti áramlását, keveredését és a jelenség rögzítésének módját.

## 2. A modellkísérlet leírása

A modellkísérlet során vizsgáltuk, hogy a vízág örvényes szakaszának hossza és helye hogyan függ a különböző paramétereiktől.

A plasztikus anyagot (gyurma) helyeztük az áramló víz elvezetését biztosító nyílással ellátott, 240 cm hosszú és 85 cm széles bádoglemezre. A gyurma felületén B típusú (U alakú) vályúkat alakítottunk ki úgy, hogy a fővályúba egy, vagy kettő mellékvályút csatlakoztattunk be.

A tartólemez hosszát felező egyenes mentén a lemez alsó felére tengelyt építettünk. E tengely mentén a tartólemez szabadon mozgatható, billenthető, így különböző lejtőszögre beállítható, így biztosítva a fő- és mellékvályúk  $\alpha$  lejtőszögét (*1. ábra*). A modell lejtőszögének fixálását kellő szög beállítása után a lemez alsó és felső végéhez illesztett rudak, és tartóoszlopok segítségével biztosítottuk. Ügyeltünk arra, hogy az alsó és a felső fixáló, valamint a tartóoszlop párok azonos magasságot tartsanak. Ezzel volt biztosítható az egyenletes lejtés.

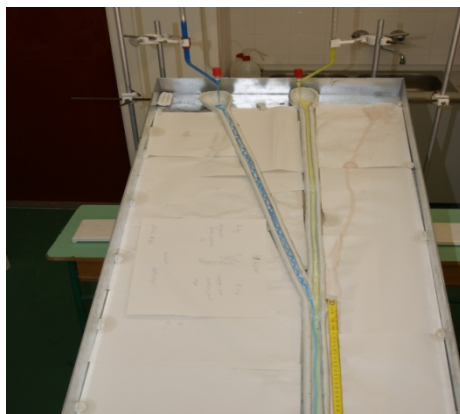


1. ábra: A modellező tálca  
Fig. 1.: The modeling tray

A fő- és mellékvályú vályúfőjénél madáritatót formáztunk a gyurma felületén. Innen indult el a folyadék áramlása. Ebbe a madáritató formába a víz betáplálása bűrettákból vagy rázó tölcsekből történt, attól függően, hogy az áramló folyadék tömegarányát a fő- és mellékvályúk között hogyan kívántuk megvalósítani (fővályú/mellékvályú tömegaránya 1 : 1 vagy 2 : 1, esetleg 1 : 2).

A keveredés és örvénylés érzékelésének lehetőségét az áramló folyadékok színezésével oldottuk meg. Színező anyagként vízfestéket használtunk (fehér, fekete változatban, vagy fekete és nem festett víz formában).

Fontos részfeladat volt, hogy az áramló folyadék közel azonos sűrűségű, viszkozitású legyen, mint a természetes csapadék vagy hóolvadék. Az áramlási kísérletekben felhasznált desztvíz tulajdonságát a festék anyaga igen kis mértékben módosította ( $\rho=1,006 \text{ g/cm}^3$ , illetve  $1,005 \text{ g/cm}^3$ ).



2. ábra: A modell felülnézeti bemutatása  
Fig.2.: Plan view of the model

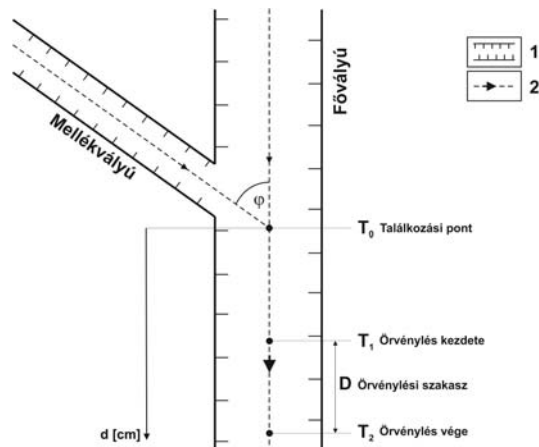
A megmintázott vályúk felületének olyan tulajdonságot kellett biztosítani, ami a természetes körülmények között a mészkő felületére is jellemző. A hidrofób tulajdonságú plastik felületét detergens típusú anyaggal (mosószer) ecsettel minden mérés előtt átkentük. Ez az anyag hidrofób felével a plastik anyagra tapadt és hidrofil felével pedig az áramló víz molekuláihoz fordult (DÉKÁNY 1985). Ezáltal létrejön egy olyan folyadékfilm a gyurma és a vízág vize között, amely utóbbinak szabad áramlását biztosítja.

A kísérletek során tapasztaltuk, hogy az örvényes szakasz hosszát a fő- és mellékvályú közötti  $\varphi$  becsatlakozási szög is befolyásolja. Ezért különböző becsatlakozási szögeket kellett kialakítani a fő- és mellékvályú között.

Borotvapengét építettünk be a csatlakozási ponthoz. Ezáltal kiküszöböltük az újramintázás során fellépő alakváltozást a mellékvályú elveződésénél.

### 3. Mérés, adatrögzítés

Milliméter beosztású mérőszalag mellett (2. ábra), melyet a fővályú mentén helyeztünk el, mérhető a folyadékok találkozása után az a szakasz, amelyen a keveredés és örvénylés megtörtént.  $T_1$ -nek nevezzük a fővályúban azt a helyet, ahol az örvénylés elkezdődik,  $T_2$ -nek, ahol befejeződik. (3. ábra).



3. ábra: A mérési pontok  
Jelmagyarázat: 1. „B” típusú vályú, 2. Áramlás iránya  
Fig. 3.: Measurement points  
Legend: 1. „Type B” channel, 2. Direction of flow

A jelenség rögzítésének eszköze egy Casio exilim ex. kr-100. fényképezőgép, amely nagysebességű felvételre alkalmas (5 kép/sec). Ez az eszköz követte nyomon a megfestett folyadékok elkeveredését. Az állványon rögzített gép mindig azonos távolságból a vizsgált felületre merőlegesen tekintett, és rögzített. Ez alatt az idő alatt biztosítottuk, hogy a megfestett folyadék tömege a megválasztott feltételek mellett ( $\alpha$  lejtőszög,  $\varphi$  találkozási szög, folyadékágak víztömege) azonos legyen (4. ábra).

A vizsgálat állandó és változó paramétereit

Jelen vizsgálatunkban *állandó paraméter* volt:

- a vályú típusa: B típus
- a fővályú hossza (80 cm) a találkozás pontjáig
- a vályúk keresztmetszete (1,5 cm)
- a vályúk mélysége (0,8 cm)

*változó paraméterek:*

- a vályúk  $\varphi$  találkozási szöge ( $5^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ , ...,  $45^\circ$  és  $60^\circ$ )
- a mellékvályú hossza (20 cm 40 cm, 60 cm 80 cm)
- az  $\alpha$  lejtőszög, dőlésszög ( $2^\circ$ ,  $4^\circ$ ,  $6^\circ$ ,  $8^\circ$ , ...,  $34^\circ$ ,  $36^\circ$ ,  $40^\circ$ )
- áramló folyadékok mennyiségi aránya (fővályú/mellékvályú)  
1 : 1, 2 : 1 és 1 : 2



4. ábra: Az adatok leolvasása  
Fig.4.: Reading of values

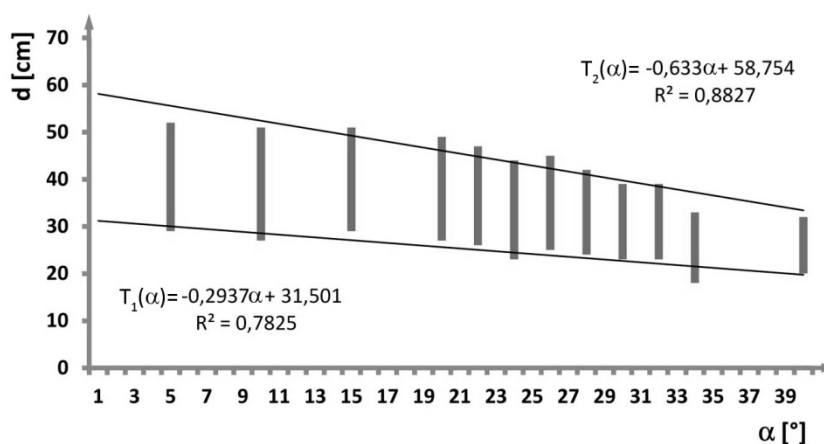
#### 4. A mérések kiértékelése

A mérési adatok feldolgozásának első ütemében az alábbiakat rögzítettük:

- (a) az áramló folyadékok fővályú/mellékvályú mennyiségi aránya = 1 : 1,
- (b) a fővályú és a mellékvályú  $\varphi$  találkozási szöge =  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $25^\circ$  és  $30^\circ$ ,
- (c) a fővályú és mellékvályú  $\alpha$  lejtőszöge =  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $22^\circ$ ,  $24^\circ$ ,  $26^\circ$ ,  $28^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $32^\circ$ ,  $34^\circ$  és  $40^\circ$ ,
- (d) a fővályú hossza a találkozási pontig = 80 cm,
- (e) a mellékvályú hossza a találkozási pontig = 20 cm, 40 cm, 60 cm és 80 cm.

A megadott mennyiségi arány (a) és fővályú hossza (d) esetén egy-egy kiválasztott találkozási szög (b) és mellékvályú hossz (e) mellett közös derékszögű koordinátarendszerben ábrázoltuk az összefolyás  $T_0$  helyétől kiindulva az örvénylelés  $T_1$  kezdetét, illetve  $T_2$  végét, mint az  $\alpha$  lejtőszög függvényét. A vízszintes tengelyen az  $\alpha$  lejtőszöget, a függőleges tengelyen az összefolyás helyétől mért  $d$  távolságot folyásirányban tüntettük fel.

Az így nyert mérési pontok  $T_1(\alpha)$  és  $T_2(\alpha)$  halmazához egyeneseket illesztettünk lineáris regresszió felhasználásával. Meghatároztuk a korrelációs együtthatókat, valamint függőleges pálcák segítségével tüntettük fel az egyes összetartozó mérési pontpároknál az örvénylelés kezdetét és végét jelző helyek összekötő szakaszait (5. ábra).



5. ábra: A  $T_1(\alpha)$ ,  $T_2(\alpha)$  és a  $D(\alpha)$  függvények ábrázolása  $\varphi=5^\circ$  találkozási szög és 80 cm mellékvályúhossz esetén

Fig. 5.: Representation of  $T_1(\alpha)$ ,  $T_2(\alpha)$  and  $D(\alpha)$  figures at a joining angle of  $\varphi=5^\circ$ , side channel length of 80cm

E regressziós egyenes párokat elemezve az alábbi megállapításokat tehetjük:

- I. A  $T_1(\alpha)$  és  $T_2(\alpha)$  ponthalmazokhoz illesztett regressziós egyenesek negatív meredekségűek (csökkenők), a  $T_2(\alpha)$  regressziós egyenese meredekebben süllyed, mint a  $T_1(\alpha)$  egyenese.
- II. Az örvénylési szakasz  $D(\alpha) = T_2(\alpha) - T_1(\alpha)$  hossza a lejtőszög növekedésével csökken.
- III. Bármely rögzített (b) és (e) feltételek mellett a  $T_1(\alpha)$  és  $T_2(\alpha)$  ponthalmazokhoz illesztett regressziós egyenesek lefutása független a mellékvályú (e) szerinti hosszától.

Ezután a meghatározott regressziós egyenesek paramétereinek (meredekség, tengelymetszet) változását vizsgáljuk meg a (b) szerinti  $\varphi$  összefolyási szög változásának függvényében.

A feldolgozott regressziós egyenesek  $A_i$  meredekségei és  $B_i$  tengelymetszetei ( $i = 1, 2$ ) is a tapasztalatok szerint a (b) pontban feltüntetett  $\varphi$  összefolyási szög lineáris függvényei, a  $T_1(\alpha)$  regressziós egyenese esetén:

$$(1) \quad A_1(\varphi) = -0,005 \varphi - 0,255 \quad \text{és} \quad B_1(\varphi) = -0,085 \varphi + 31,136,$$

a  $T_2(\alpha)$  regressziós egyenese esetén pedig:

$$(2) \quad A_2(\varphi) = -0,016 \varphi - 0,213 \quad \text{és} \quad B_2(\varphi) = -0,463 \varphi + 47,866.$$

Ennek felhasználásával a  $T_1(\alpha, \varphi)$ ,  $T_2(\alpha, \varphi)$  és a  $D(\alpha, \varphi)$  függvények alakja a következő lesz.

Az örvénylés kezdete

$$(3) \quad T_1(\alpha, \varphi) = A_1(\varphi) \cdot \alpha + B_1(\varphi) = \\ = [-0,005 \varphi - 0,255] \cdot \alpha + [-0,085 \varphi + 31,136],$$

az örvénylés vége

$$(4) \quad T_2(\alpha, \varphi) = A_2(\varphi) \cdot \alpha + B_2(\varphi) = \\ = [-0,016 \varphi - 0,213] \cdot \alpha + [-0,463 \varphi + 47,866],$$

végül az örvénylési szakasz hossza

$$(5) \quad D(\alpha, \varphi) = T_2(\alpha, \varphi) - T_1(\alpha, \varphi) = \\ = [A_2(\varphi) \cdot \alpha + B_2(\varphi)] - [A_1(\varphi) \cdot \alpha + B_1(\varphi)] = \\ = [A_2(\varphi) - A_1(\varphi)]\alpha + [B_2(\varphi) - B_1(\varphi)] =$$

$$\begin{aligned}
&= [(-0,016 \varphi - 0,213) - (-0,005 \varphi - 0,255)] \alpha + \\
&+ [(0,463 \varphi + 47,866) - (-0,085 \varphi + 31,136)] = \\
&= [-0,011 \varphi + 0,042] \alpha + [0,548 \varphi + 16,730].
\end{aligned}$$

A (3), (4) és (5) összefüggések tehát a megadott  $\alpha$  és  $\varphi$  paraméterek ismeretében meghatározzák a  $T_0$  összefolyás helyétől az örvénylés kezdetének  $T_1(\alpha, \varphi)$ , az örvénylés végének  $T_2(\alpha, \varphi)$  távolságát, végül az örvénylési szakasz  $D(\alpha, \varphi)$  hosszának értékét.

## 5. Összegzés

A dolgozatban ismertetett hidrodinamikai modell alkalmazása új eljárás a karsztmorfológiai kutatásokban.

A mért adatok felhasználásával függvénykapcsolatokat kerestünk az egyes paraméterek között lineáris regressziós módszerrel. Vizsgálataink alapján kiderült, hogy a fő- és a mellékvályú  $T_0$  összefolyási pontja utáni, folyás irányban mért keveredési örvénylés  $T_1$  kezdő helyét, örvénylés  $T_2$  végpontját, s a kettő közötti  $D$  örvénylési szakasz hosszát is alapvetően a térszín  $\alpha$  lejtőszöge és a  $\varphi$  összefolyási szöge határozza meg.

A mérések alapján felállított matematikai modell a terepi kutatások, mérések új szempontrendszerét formálja, mert ötleteket és követendő módszereket ad a további vizsgálatokhoz azon tartományokban, ahol az oldódási folyamatok lezajlanak.

*A vizsgálatok a TÁMOP-4.2.1.B-09/IKOV program támogatásával készültek*

## IRODALOM

- BÖGLI, A. (1960): Kalklösung und Karrenbildung – Zeit. f. Geomorph. N. E. Supl. 2. pp. 4-21.
- BÖGLI, A. (1976): Die Wichtigsten Karrenformen der Kalkalpen – In: Karst Processes and Relevant Landforms. ISU Commission on Karst Denudation, Ljubljana pp. 141-149.
- DÉKÁNY I. (1985): Határfelületek tulajdonságai. Kolloidika, szerk. Rohrsetzer S. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 155 p.
- ECKERT, M. (1898). Die Karren oder Schratten – Pet. Mitteilungen, pp. 69-71.
- FORD, D. C. – WILLIAM, P. W. (2007): Karst Hydrogeology and Geomorphology – John Wiley & Sons, Ltd, 561. p.



- GLADYSZ, K.* (1987): Karren on the Quatsino Limestone. Vancouver Island – BSc thesis, McMaster University
- HASERODT, K.* (1965): Untersuchungen zur Hohen – und Altersgliederung der Karstformen in den nördlichen Kalkalpen – Munchner Geogr. H. 27.
- JENNINGS, J. N.* (1985): Karst Geomorphology – Basil Blackwell, New York 293 p.
- KOZMA K. – MITRE Z.* (2012): Variations of the 'A'-type channels in Totes Gebirge – Zeits. f. Geomorph. Supplement, 56 (2) pp. 37-46.
- LOUIS, H.* (1965): Allgemeine Geomorphologie – Berlin
- SWEETING, M. M.* (1955): Landforms in North-West Country Clare, Ireland – Trans, Inst. Br. Geog. 21. pp. 218-249.
- TRUDGILL, S. T.* (1985): Limestone geomorphology – Longman, New York 196. p.
- VERESS M.* (1995): Karros folyamatok és formák rendszerezése Totes Gebirge-i példák alapján – Karsztfejlődés I. (Totes Gebirge karrjai), Pazu Kiadó, Szombathely, pp. 7-30.
- VERESS M.* (2010): Karst Environments – Karren Formation in High Mountains – Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 230. p.
- VERESS M.-ZENTA, Z.-PÉNTEK K.-EÓRY M.-MITRE Z.* (2009): Vályúfejlődés csupasz lejtőkön – Karsztfejlődés XIV. TTMK, Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, pp. 139—159.
- VERESS M.-ZENTAI Z.-PÉNTEK K.-MITRE Z.* (2010): Vízágas vályúkarrok fejlődési típusai - Karsztfejlődés XV. NYME TTK Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, pp. 61—85.
- VERESS M.-ZENTAI Z.-PÉNTEK K.-MITRE Z.* (2011): Rinnenkarr rendszerek fejlődése - Karsztfejlődés XVI. TTK Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, pp. 71—85.
- VERESS M.-ZENTAI Z.-PÉNTEK K.-MITRE Z.-DEÁK GY.-SAMU SZ.* (2012): Vályúrendszerek fővályúinak fejlődése – Karsztfejlődés XVII. TTK Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely (megj. alatt)
- WAGNER, G.* (1950): Rund um Hochifen Gottesackergebiet – Öhringen pp. 72-80.
- WHITE, B.W.* (1988): Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains – Oxford University Press, New York 464 p.