

VÁLYÚRENDSZEREK FEJLŐDÉSE

THE DEVELOPMENT OF RINNENKARREN SYSTEMS

VERESS MÁRTON – SAMU SZABOLCS – SZÉLES GYULA –
DÖBRÖNTEI LJUBOV – ZENTAI ZOLTÁN – MITRE ZOLTÁN

Nyugat-magyarországi Egyetem Természettudományi Kar
Földrajz és Környezettudományi Intézet
Szombathely, Károlyi Gáspár tér 4., vmarton@ttk.nyme.hu

Abstract: In this study the development of rinnenkarren systems is analysed. During the field studies 36 rinnenkarren systems were investigated. The width and depth were measured at every 10 cm on the channels and shape (i.e. the width-depth ratio) was calculated to these places. Artificial water flow was performed on artificial rinnenkarren system. A relation was looked for between the density of tributary channels and the average shape of the main channel (1), between the distance of tributary channels from each other and the shape of a given place of the main channel (2), as well as between the specific total length of tributary channels and the average shape of the main channel calculated to its lower one meter long segment (3). It can be stated that the average shape of the main channel calculated to its total length depends on the density of the tributary channels (1), while the average shape of its lower one meter long segment depends on the specific total length of the tributary channels (3). At any place of the main channel, the calculated shape depends on the distance between this place and the nearest tributary channel (2). The main channel shape is smaller if little water flows on the floor for a long time because of the small density of the tributary channels, the great specific total length or the great distance between the tributary channels. In this case the channel deepens, but it does not widen. The change of the channel shape (and that of the width) depends on when the tributary channel developed as compared to the main channel (the rivulet of the main channel compared to the rivulet of the tributary channel). The width of the main channel can increase or decrease towards its lower end. In case of a simultaneous development of the main and tributary channels, their rivulets are of the same age. In this case, the rivulet of the main channel and thus, the main channel also widen at the rivulets of the tributary channels, while both the main rivulet and (by this) the main channel become narrower below this place since the distance of water supply increased. If the rivulets of the tributary channels develop after the development of the main channel, the main channel does not widen at its upper end. Since the main rivulet widens downwards, the developing main channel becomes wider in this direction. The main channel maintains this characteristic feature during its growth.

Bevezetés

A tanulmányban a vályúrendszerek fővályúinak alakját (az alakot a vályú szélességének és mélységének a hányadosa adja) vizsgáltuk a célból, hogy a fővályúk növekedését és a vályúrendszereknek a fejlődési módját megismerjük.

A vályúk (rinnenkarrok) kialakulása és fejlődésének vizsgálata azért fontos, mert e karrok a magashegységi karsztok csupasz lejtőinek uralkodó karrformái. Így az Alpok törpefenyőövében az összes fajlagos szélesség (ez megadja a lejtő 1 m-én a különböző karrformáknak, vagy valamely

karrformának az összegzett szélességét) 67%-át, míg a növénytelen övben 54%-át a vályúk képezik (VERESS 2009). Jelentőségük miatt számos kutató vizsgálta e karrformákat (ECKERT 1898, WAGNER 1950, SWEETING 1955, HASERODT 1965, LOUIS 1968, BÖGLI 1976, JENNINGS 1985, GLADYSZ 1987, WHITE 1988, HUTCHINSON 1996).

A vályúk (rinnenkarrok) lejtésirányú, zárt csatornák, amelyek keresztmetszete U, V és kiöblösödő lehet (ECKERT 1898, WAGNER 1950, SWEETING 1955). Szélességük és mélységük legfeljebb néhány dm, míg hosszuk a néhányszor 10 m-t is elérheti. Típusaikat és morfológiai jellemzőiket több munkában is összefoglaltuk (VERESS 2009, VERESS 2010). A vályúk morfológiája igen változatos. Így talpukon madáritatók, kürtök és medencék, kiszélesedő részek fordulhatnak elő, vagy a talp lépcsősen feltagolt lehet (GLADYSZ 1987, CROWTHER 1997, VERESS 2009, 2010, VERESS et al. 2013). A vályúknak különböző típusait különítik el: kerekkarrt (BÖGLI 1976), Horton-típusú csatornákat (FORD – WILLIAMS 1989, 2007), túlfolyási csatornákat (BÖGLI 1976, FORD – WILLIAMS 2007), valamint I., II. és III. típusú vályúkat (VERESS 2009). A kerekkarrok vályúit lekerekített háta választják el egymástól. A Horton típusú csatornák összetett rendszerek (e tanulmányban e képződményeket vályúrendszereknek nevezzük). Az I., II., III. típusú vályúk különböző méretűek (az I. típusú vályúk mélysége és szélessége néhány dm, a III. típusúaké néhány cm, a II. típusúak mérete az I. és III. típusúak közé esik.) E típusok vályúi egymásban is kifejlődhetnek. Ezek az összetett vályúk (VERESS 2009). A vizsgálatok megmutatták (VERESS 2010, KOZMA – MITRE 2012, VERESS et al. 2015), hogy a vályúk alakjuk és kialakulásuk szerint két csoportra különíthetők: a nagyobb méretű, meredek oldalú (U alakú), nagy vízgyűjtő területű és nagy fajlagos vízgyűjtő B típusú vályúkra és a kisebb méretű, lankásabb oldalú (V alakú), kis vízgyűjtő területű és kicsi fajlagos vízgyűjtő A típusú vályúkra. A vályúk (különösen a fővályúk) alsó részükön meanderkarrokká formálódhatnak (VERESS 2010). A karrmeanderek aszimmetrikus keresztmetszetű vályúk, amelyek lehetnek hurok-, roncs-, megszűnő-, és kifejlődő meanderek (VERESS – TÓTH 2004). A meanderkarrok a nagyobb (I. típusú) vályúk talpán is létrejöhetnek (VERESS – TÓTH 2004).

A vályúk vízágak alatt alakulnak ki (BÖGLI 1960, TRUDGILL 1985, FORD – WILLIAMS 1989). A vízágak csapadékvízből, hófolt vízből, vagy madáritató túlfolyó vízből táplálóznak. Vízágak csak csapadékos időszakban fordulnak elő a vályúkban (aktív időszak). Az év nagyobb részén a talpuk teljesen víztelen (nem aktív időszak).

A vályúk gyakran vályúrendszereket alkotnak. A vályúrendszerek nagyméretű (gyakran 30-50 m hosszúságot) is elérő fővályúból, valamint ezekhez csatlakozó A és B típusú mellékvályúból épülnek fel. A B típusú mellékvályúk is összetettek lehetnek. Ilyenkor a mellékvályúknak kisebb B típusú, valamint A típusú mellékvályúik lehetnek.

A fővályúk vályúalakja, amely kifejezi, hogy adott vályúmélységhez mekkora szélesség tartozik, ritkán egyforma annak különböző részein. A fővályú egyes részein a szélesség lokálisan megnő, kiszélesedések alakulnak ki. A lokális kiszélesedések azért jönnek létre, mert a mellékvályúból beáramló víz örvénylést idéz elő, amely az oldódás lokális megnövekedését okozza (VERESS et al. 2013). A lokális kiszélesedésektől függetlenül gyakori, hogy a vályúk a felső végétől az alsó végük felé nagyobb mértékben szélesednek, mint mélyülnek. Gyakori ennek fordítottja is: a vályúk alsó végük felé nagyobb mértékben mélyülnek, mint szélesednek. Előfordul, hogy alsó részükön nem csak relatíven (a mélységükhöz képest), hanem ténylegesen is lecsökken a szélességük. A csökkenés mindig bekövetkezik túlfolyási vályúknál (1. kép), de előfordul a vályúrendszerek fővályúinak alsó részein is (2. kép).



1. kép: Lefelé elkeskenyedő és csökkenő keresztmetszetű túlfolyási vályúk (Totes Gebirge)

Picture 1: Decantation channels which become narrower and have a smaller cross-section downwards (Totes Gebirge)



2. kép: Vályúrendszer alsó részén elkeskenyedő fővályúja (Totes Gebirge)
 Jelmagyarázat: 1. szűk, alsó fővályú szakasz, 2. szélesebb fővályú szakasz.

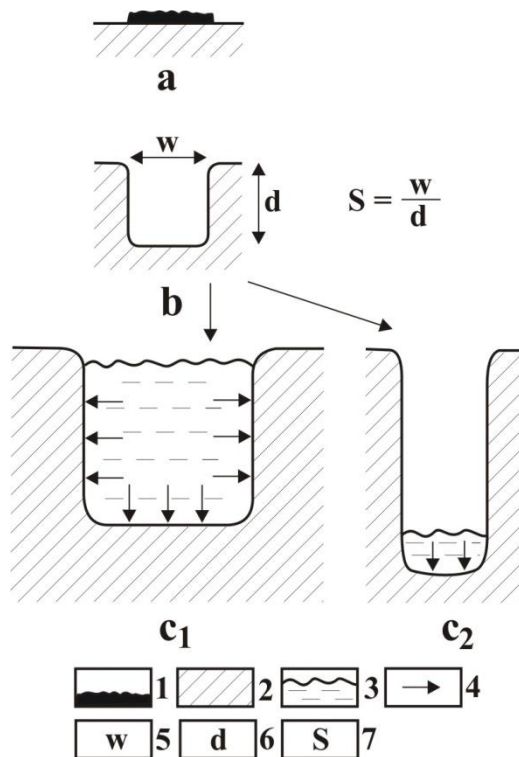
Picture 2: The main channel of the rinnenkarren system which becomes narrower on its lower part (Totes Gebirge)

Legend: 1. narrow, lower main channel section, 2. wider section of the main channels

A geomorfológiai modell

A vályú alakot, a biogén eredetű lokális hatásoktól eltekintve (amely adott helyen a vályú szélességének és mélységének a hányadosa), a vályúban áramló oldóképes víz (a vízág vize) alakítja. Ha a vályúban tartósan sok víz (a vályú vízzel kitöltött, amit a továbbiakban nagy vízhozamoknak nevezünk) áramlik és az oldóképes, a vályúfal és a vályútalp is oldódik, tehát szélesedik és mélyül is (1c1. ábra). A vályú keresztmetszete úgy nő, hogy a szélesség és mélység aránya csak kis mértékben változik. Ha a vályúban tartósan kevés víz áramlik (a víz a vályú talpát éppen elborítja,

amit a továbbiakban kis vízhozamnak nevezünk), úgy oldódás csak a vályú talpon történik. A vályú nem szélesedik, csak mélyül (1c₂. ábra).



1. ábra: A vályú alak és fejlődésének modellje

Jelmagyarázat: 1. vízág a felszínen, 2. kőzet, 3. vízág a vályúban, 4. oldás helye, 5. vályú szélessége, 6. vályú mélysége, 7. vályú alakja, a. vízág, b. vályú létrejötte, c₁. nagy vályú alak (oldódás a vályú falakon is történik), c₂. kicsi vályúalak (oldódás csak a vályú talpon történik)

Fig. 1: Model of the channel shape and its development

Legend: 1. rivulet on the surface, 2. rock, 3. rivulet in the channel, 4. place of dissolution, 5. width of the channel, 6. the depth of the channel, 7. shape of the channel, a. rivulet, b. development of the channel, c₁. large channel shape (there is dissolution on the channel walls too), c₂. small channel shape (there is dissolution on the channel floor only)

Egy fővályúban a nagy vízhozam és kis vízhozam időtartamának a hossza változik. A kétféle vízhozam időtartamának az aránya megszabja a vályú alakját, vagyis a szélesség és mélység arányát. Minél hosszabb a nagy vízhozam időtartama adott helyen a kicsihez képest, annál szélesebb és annál nagyobb keresztmetszetű vályú alakul ki. Minél rövidebb időtartamú a nagy vízhozam, annál kisebb szélességű és nagyobb keresztmetszetű (a mélyülés miatt a keresztmetszet nő) vályú alakul ki.

Előző esetben a vályú alak nagy, vagy növekvő tendenciájú, utóbbi esetben kicsi, vagy csökkenő tendenciájú a vályúfejlődés során. Miután a nagy és

kis vízhozamok között átmeneti vízhozamok is előfordulnak, a vályú oldalak nem feltétlenül oldódnak egyformán (VERESS 2009). Valóban megfigyelhető, hogy vannak a peremük felé kiszélesedő (V keresztmetszetű), ill. lefelé kiöblösödő vályúk. Ezen keresztmetszetek kialakulásának értelmezésével nem foglalkozunk a tanulmányban.

A potenciális vályúalak változás függ a keresztmetszet nagyságától is. Nagyobb keresztmetszetenél nagyobb vízhozam csökkenés (változás) okozhat talpi oldódást, tehát alakváltozást. Ennek oka, hogy nagyobb keresztmetszet esetén ugyanannyi víz a vályút kevésbé tölti ki. Míg kisebb keresztmetszetenél kisebb vízhozam változásnál is bekövetkezhet talpi oldódás, tehát alakváltozás.

Módszer

- Az egyik totes gebirge-i mintaterületen, amely a Taplitz alm közeli Tragl csúcs alatti gleccservölgy, 36 vályúrendszert térképeztünk fel. Ebből a különböző feldolgozásokba változó számban (25-30 db között) vontunk be vályúrendszereket. Egyes esetekben egy-egy vályúrendszernek az összetettebb rendszert alkotó mellékvályúját külön is vizsgáltuk (ezáltal az adott feldolgozások során a 30 db-ot meghaladta az esetszám). A vizsgált vályúknak mértük a szélességét és a mélységét 10 cm-ként.

- A vályúknak 10 cm-ként számítottuk az alakját (S) az alábbi módon (1.b. ábra):

$$S = \frac{w}{d}$$

ahol w a szélesség,
 d a mélység.

- Számítottuk a vályúknak 10 cm-ként a vályú keresztmetszet területét (A) U keresztmetszet esetén is az alábbi módon:

$$A = w \cdot d$$

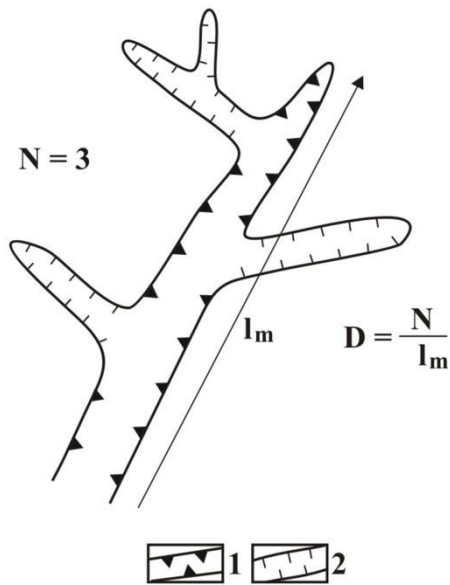
Míg V keresztmetszet esetén az alábbi módon:

$$A = \frac{1}{2} \cdot w \cdot d$$

- Számítottuk a vályúrendszerek mellékvályúinak a sűrűségét (D) a következőképpen (2. ábra):

$$D = \frac{N}{l_m}$$

ahol N a mellékvályú darabszám,
 l_m a fővályú hossz.

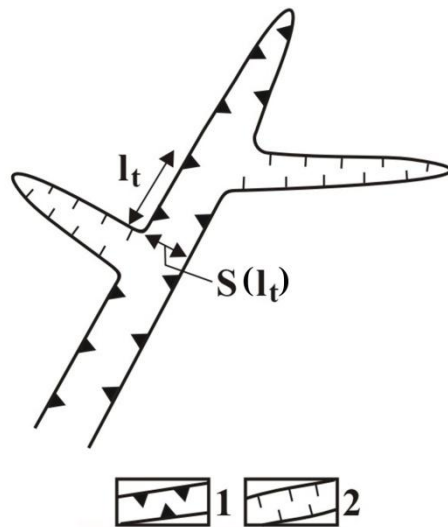


2. ábra: A mellékvályúk sűrűségének a számítása

Jelmagyarázat: 1. fővályú, 2. mellékvályú, N a mellékvályúk darabszáma, l_m a fővályú hossza

Fig. 2: The calculation of the density of tributary channels

Legend: 1. main channel, 2. tributary channel, N is the number of tributary channels, l_m is the length of the main channel



3. ábra: Mellékvályúk távolsága és a fővályú alakjának a mérési helye

Jelmagyarázat: 1. fővályú, 2. mellékvályú, l_t a két mellékvályú közti távolság, az $S(l_t)$ az a hely, ahol a fővályú alakját figyelembe vettük

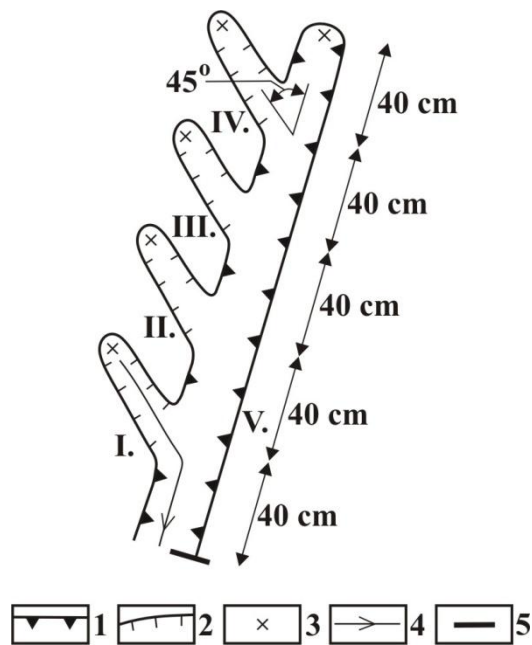
Fig. 3: The distance of tributary channels from each other and the place of measurement of the shape of the main channel

Legend: 1. main channel, 2. tributary channel, l_t the distance between two tributary channels, $S(l_t)$ is the place where the shape of the main channel was taken into account

- Függvénykapcsolatot kerestünk a fővályú átlagos alakja (S_0), amelyet a teljes hossza 10 cm-ként számított alakok átlagából képeztünk és a mellékvályúk sűrűsége között.
- Függvénykapcsolatot kerestünk a két mellékvályú távolsága (l_t), valamint a fővályú azon helyének [$S(l_t)$] alakja (S) között, amely az alsóbb helyzetű mellékvályúnak közvetlenül a becsatlakozási helye felett van (3. ábra).
- Függvénykapcsolatot kerestünk a fővályú 1 m-es hosszához tartozó mellékvályú összhosszúság, amit a továbbiakban fajlagos mellékvályú összhosszúságnak nevezünk (t_s) és a fővályú alsó 1 méteres szakaszára számított átlagos alakja között (S_{fa}). A fajlagos mellékvályú összhosszúságot az alábbi módon számítottuk.

$$t_s = \frac{\sum l_t}{l_m},$$

ahol: $\sum l_t$ a mellékvályúk összegzett hossza,
 l_m a fővályú hossza.



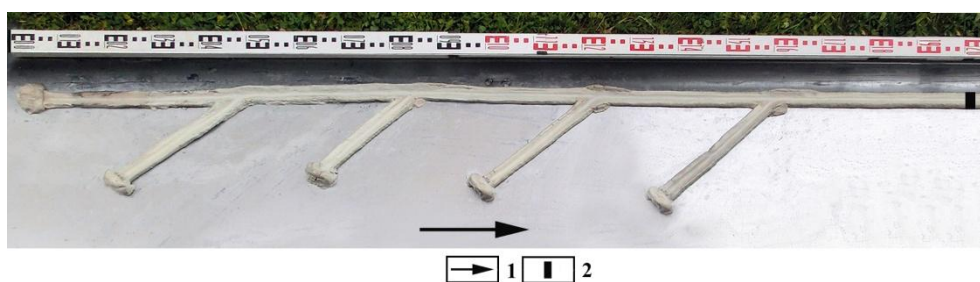
4. ábra: A laboratóriumi kísérlet vályúrendszerének elvi ábrája

Jelmagyarázat: 1. fővályú, 2. mellékvályú, 3. vízbepótlási hely, 4. vízáramlás, 5. átfolyási idő mérésének a helye, I-IV. mellékvályú, V. fővályú

Fig 4: The theoretical figure of the rinnenkarren system of the laboratory experiment

Legend: 1. main channel, 2. tributary channel, 3. place of water supply, 4. water flow, 5. place of measurement of the transit time, I-IV. tributary channels, V. main channel

- Megadtuk az alsó részükön elkeskenyedő fővályúk mellékvályú darabszámát azok felső és alsó részén. Felső résznek tekintettük azt a szakaszt, amely magába foglalta a legnagyobb mellékvályú sűrűségű szakaszt és a kiszélesedő részt is. Alsó résznek azt a szakaszt, ahol a fővályú átlagos szélessége kisebb volt, mint a fővályú nagyobb sűrűségű részének az átlagos szélesség értéke. Megállapítottuk az alsó részén elkeskenyedő fővályúk szélességeinek a változását. Ehhez a fővályú alsó részének átlagos szélességéből kivontuk a kiszélesedő szakasz átlagos szélességét.



3.kép: A laboratóriumban kialakított vályúrendszer
 Jelmagyarázat: 1. tálca dőlésiránya 2. mérési hely
 Picture 3: Rinnenkarren system created in laboratory
 Legend: 1. dip direction of the tray 2. place of measurement

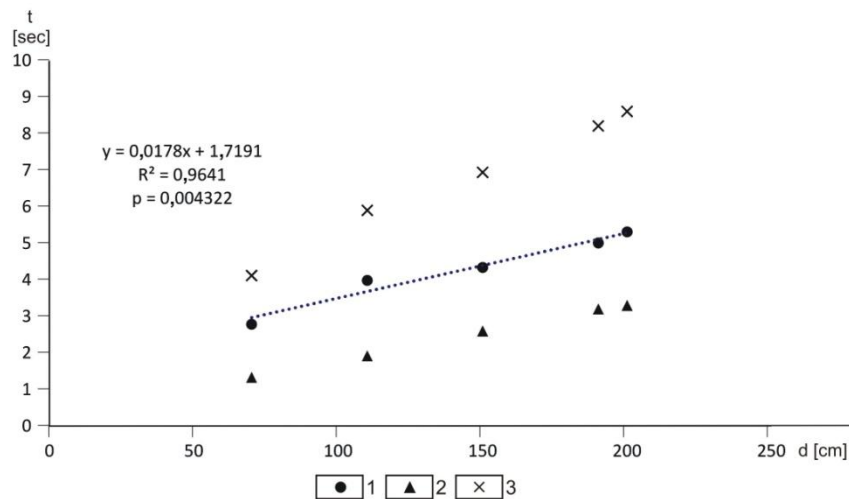
- Laboratóriumban vályúrendszereket hoztunk létre egy 15 °-os dőlésű lejtőn gyurmából (4. ábra, 3. kép). A fővályúk mélysége 0,7 cm, szélessége 0,5-1 cm, a mellékvályúk mélysége 0,5 cm, szélessége 1 cm volt. A fővályú hossza 200 cm, a mellékvályúké 30 cm volt. A mellékvályúk száma 4 db, ezek közti távolság 40 cm, a fővályúba a becsatlakozás szöge 45° volt. A vályúkba külön-külön 1,7 cm³ vizet engedtünk pipettából szabadeséssel és mértük a fővályú elvégződésénél a beengedett víznek az átfolyási idejét (ez a tényleges átfolyási idő) úgy, hogy a vízáramlási időpont kezdetének és végének a különbségét vettük. Először csak egyetlen vályúba engedtünk vizet (1. kísérletsorozat). Ezt követően egyidejűleg 2 db (2. kísérletsorozat), majd 3 db (3. kísérletsorozat), azután 4 db vályúba (4. kísérletsorozat) engedtünk vizet. Végül egyidejűleg 5 vályúba engedtünk vizet (5. kísérletsorozat). Ekkor az ötödik betáplálási hely a fővályú végénél volt. A vízbevezetés mindig a vályúk felső elvégződésénél történt. Az I. táblázatban látható, hogy az 1. kísérletsorozathoz 5 db, a 2. kísérletsorozathoz 10 db, a 3. kísérletsorozathoz ugyancsak 10 db, a 4. kísérletsorozathoz 5 db, míg az 5. kísérletsorozathoz 1 db kísérlet tartozik.

- Függvénykapcsolatot kerestünk a laboratóriumi kísérletnél (1. kísérletsorozat) az átfolyási idő és a vízbepótlási valamint a mérési hely távolsága között.

- Vizsgáltuk, hogyan alakul a tényleges és az összegzett átfolyási idő hossza egymáshoz képest, amikor növeltük a vízbepótlási helyek sűrűségét és távolságát (2, 3, 4, 5. kísérlet sorozatok). Az összegzett átfolyási időt úgy számítjuk, hogy az 1. kísérletsorozat során kapott tényleges átfolyási időket összeadjuk.

A párhuzamos laboratóriumi és terepi vizsgálatok azért szükségesek, mert a laboratóriumnál csak az átfolyási időt tudtuk mérni. Ugyanis a vályúalakra, ill. annak változására oldódás hiányában nem kapunk adatot. A terepi vizsgálatnál az oldódásra csak következtetünk az alakból, de az átfolyási időt nem ismerjük (ezt a vízág időszakossága miatt nem tudtuk mérni).

Kiértékelés



5. ábra: Függvénykapcsolat a modellkísérletnél a betáplálási hely távolsága és az átfolyási idő között, amikor betáplálás egyidejűleg csak egy helyen történt (1. kísérlet)

Jelmagyarázat: 1. tényleges átfolyási idő, 2. a betáplált víz beérkezésének kezdete a mérési helyen, 3. a betáplált víz lefolyásának a vége a mérési helyen, t. a mérés időtartama d. a mérési hely és a betáplálási hely közötti távolság

Fig. 5: The functional relation between the place of water supply and the transit time at the model experiment when there was a water supply simultaneously at one place only

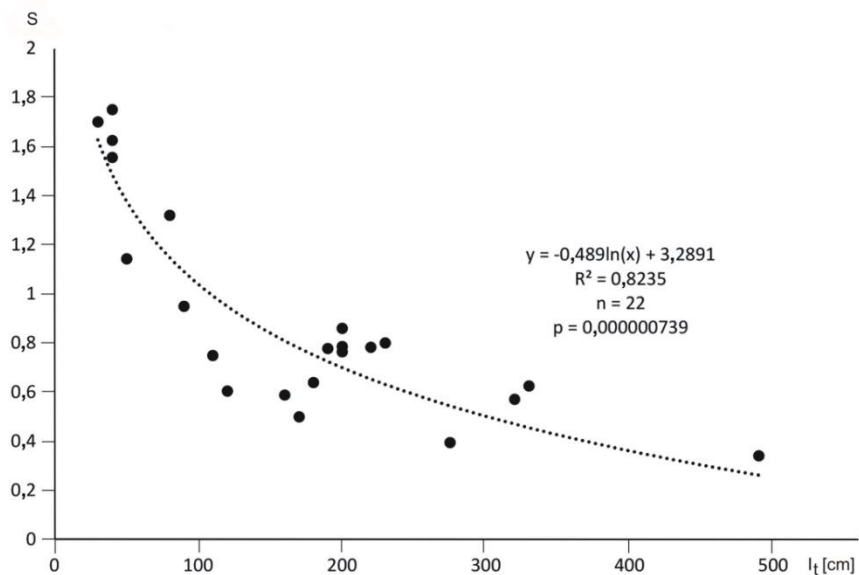
Legend: 1. actual transit time, 2. the beginning of the arrival of the intake water at the place of measurement, 3. the end of the flow of the intake water at the place of measurement, t. duration of measurement d. distance between the place of measurement and the place of water supply

I. táblázat
Table I.

A kísérleti vályúrendszeren mért átfolyási idők
Transit times measured on the experimental rinnenkarren system

Kísérlet sorozat	Kísérlet-sorozat száma	Bepótlási helyek	Betáplálási helyek száma	A mérési helyhez képest az összegzett vízáramlási hossz [cm]	Vízáramlás kezdete	Vízáramlás vége	Tényleges átfolyási idő [sec]	Összegzett átfolyási idő [sec]
1	1	I	1	70	1,33	4,113	2,783	2,783
	2	II	1	110	1,916	5,903	3,987	3,987
	3	III	1	150	2,6	6,94	4,34	4,34
	4	IV	1	190	3,2	8,21	5,01	5,01
	5	V	1	200	3,297	8,61	5,313	5,313
2	1	I-II	2	100	1,356	3,452	2,096	6,77
	2	I-III	2	140	1,404	4,512	3,108	7,123
	3	I-IV	2	180	1,406	3,974	2,568	7,793
	4	I-V	2	190	1,34	4,012	2,672	8,096
	5	II-III	2	140	2,084	4,168	2,084	8,327
	6	II-IV	2	180	1,846	4,084	2,238	8,997
	7	II-V	2	190	1,862	3,922	2,06	9,3
	8	III-IV	2	180	2,51	4,226	1,716	9,35
	9	III-V	2	190	2,566	4,298	1,732	9,653
	10	IV-V	2	190	2,926	5,816	2,89	10,323
3	1	I-II-III	3	170	1,424	6,846	5,422	11,11
	2	I-II-IV	3	210	1,332	8,172	6,84	11,78
	3	I-II-V	3	220	1,368	8,034	6,666	12,083
	4	I-III-IV	3	210	1,396	8,564	7,168	12,133
	5	I-III-V	3	220	1,41	8,178	6,768	12,436
	6	I-IV-V	3	220	1,378	8,786	7,408	13,106
	7	II-III-IV	3	210	1,924	8,828	6,904	13,337
	8	II-III-V	3	220	1,928	8,952	7,024	13,64
	9	II-IV-V	3	220	1,904	9,008	7,104	14,31
	10	III-IV-V	3	220	2,466	8,992	6,526	14,663
4	1	I-II-III-IV	4	240	1,362	8,212	6,85	16,12
	2	I-II-III-V	4	250	1,352	8,742	7,39	16,423
	3	I-II-IV-V	4	250	1,458	8,474	7,016	17,093
	4	I-III-IV-V	4	250	1,308	9,114	7,806	17,446
	5	II-III-IV-V	4	250	1,886	8,714	6,828	18,65
5	1	I-II-III-IV-V	5	320	1,392	9,032	7,64	21,433

A laboratóriumi mérés eredménye szerint, ha nő a betáplálási hely távolsága (1. kísérletsorozat), nő a mérési helyen a tényleges átfolyási idő (*I. táblázat*), amit a vízág vízének a „széthúzódásával” magyarázunk. A tényleges átfolyási idő növekedése miatt a vályútalpon nőtt a vízzel borítottsági idő (*5. ábra*). Miután a betáplált vízmennyiség a betáplálási helytől függetlenül, minden esetben ugyanakkora volt, a mérési helyen a vízhozam csökkent, ahogy a tényleges átfolyási idő növekedett.



6. ábra: A fővályú két mellékvályúja közti távolság (l_t) és a fővályúnak az alsó mellékvályúnál az $S(l_t)$ helynél számított alakja (S) közti függvénykapcsolat

Fig. 6: The functional relation between the distance of two tributary channels of the main channel from each other (l_t) and the shape (S) calculated at the place of the lower tributary channel of the main channel $S(l_t)$

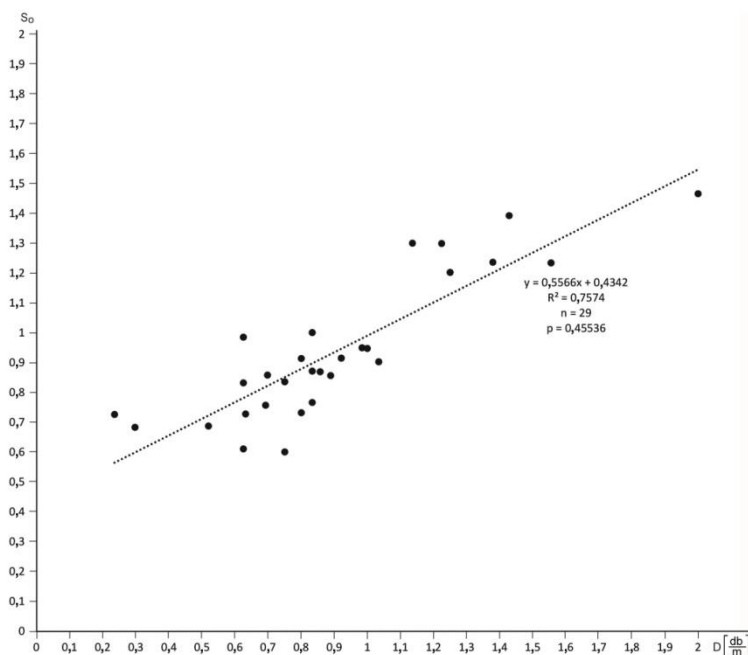
Megállapítható, hogy a betáplálási hely távolságának a növekedésével nő az átfolyási idő és így csökken a vízhozam. Természetes körülmények között ez azt jelenti, hogy a fővályú adott helyéhez képest növekvő mellékvályú távolságok esetén ugyanakkora befolyási (betáplálási) vízmennyiség esetén nő a fővályú alsóbb részén a tényleges átfolyási idő és így csökken a vízhozam. Ezáltal egyre inkább a vályútalpra koncentrálódik az oldódás.

Ez a megállapítás a terepi mérések adataival összhangban van. Minél nagyobb két mellékvályúnak a távolsága annál kisebb a fővályú alakja az alsóbb helyzetű mellékvályú felett (6. ábra). Azért, mert a mellékvályú távolságának a növekedésével a felső mellékvályúból befolyó víz egyre

hosszabb ideig (és így egyre kisebb lesz a vízág vízhozama) folyik át a fővályúnak azon részén, amely az alsó mellékvályú becsatlakozási helye felett van. Mindez egyre inkább az oldódási időtartam hosszabbodását és az oldódásnak a vályútalpra összpontosulását eredményezi. Miután az alak a távolság függvényében logaritmikusan csökken, az oldódási időtartam a vályútalpon a távolság növekedésével egyre nagyobb mértékben nő. A 6. ábráról leolvasható, hogy 100 cm-nél kisebb távolságnál a távolság csökkenésével a fővályú átlagos alakja 1-ről majdnem 1,8-ra nő. Ugyanakkor 2 és 5 m közötti távolságok esetén az alak bár kisebb, de értéke alig változik. 2 m-nél 0,6-0,8 közötti alakok fordulnak elő, míg 5 m-nél 0,4-hez közeli érték tapasztalható. A fentiekből következik, hogy kis vízbepótlási távolságnál ugyanakkora szakasz változáshoz nagyobb alakváltozás tartozik, mint nagyobb vízbepótlási távolságnál ugyanakkora szakasz változáshoz. Ez arra vezethető vissza, hogy kisebb vízbepótlási távolságnál, a vízhozam még nagyobb vízutánpótlásnál is nagyobb mértékben csökken, mint nagyobbbanál. Ezáltal a távolság növekedésével megnő a kis vízhozam időtartamának a hossza a nagy vízhozam időtartamának a rovására. A kicsi vízhozam időtartamának növekedése miatt a bepótlástól egyre távolabb az oldódás egyre inkább a fővályú talpára koncentrálódik.

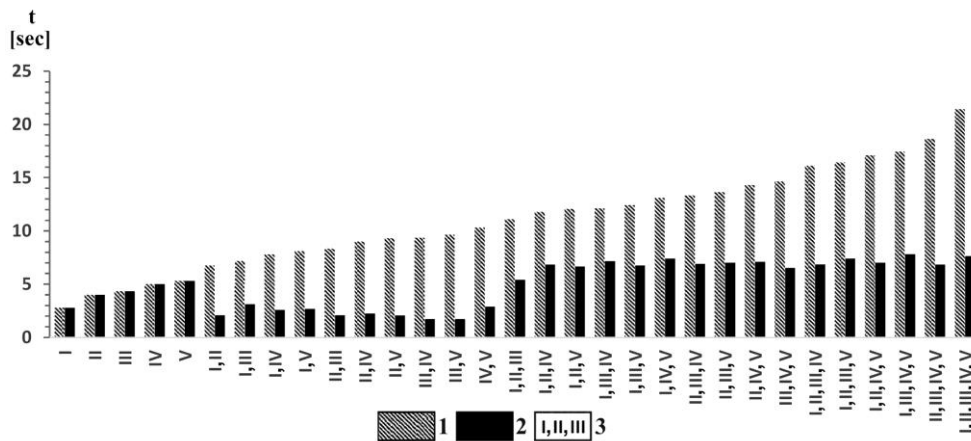
Amikor a vályúrendszerek mellékvályúinak a sűrűségét és a fővályú alakjának a kapcsolatát vizsgáltuk kiderült, hogy a sűrűség növekedésével nő az átlagos vályúalak (7. ábra). Ez úgy lehetséges, hogy minél sűrűbben fordulnak elő mellékvályúk, az azokból beáramló vízágak vize annál inkább összetorlódik és ez a fővályúban a vízhozam növekedését okozza. Ugyanez tapasztalható a fedőüledék, vagy talaj alatt kialakult vályúknál is. SONG (1986) szerint a vályúk ott szélesednek ki, ahol a fekü és a fedő között áramló vízre a fedőn átszivárgó víz rávezetődik. Ha a mellékvályú sűrűség kicsi, ill. egyre kisebb, a vízhozam is egyre kisebb lesz, mivel a mellékvályúkból beáramló víz nem összegződik. Mindez azt eredményezi, hogy a fővályúban egyre kisebb mellékvályú sűrűségnél egyre hosszabb ideig egyre kevesebb víz áramlik, vagyis egyre uralkodóbb lesz a talpi oldódás és így a vályú egyre inkább csak mélyül, míg a szélessége megőrződik.

A mellékvízágak egymásba torlódását bizonyítják a laboratóriumi méréseink is. A kísérleti vályúrendszerben a tényleges átfolyási idő több vízbepótlás esetén kisebb, mint az összegzett átfolyási idő (1. táblázat). A vízbepótlási helyek számának a növekedésével a kettő különbsége egyre nő (8. ábra). Nézzük ezt számpéldákon.



7. ábra: Átlagos mellékvályú sűrűség (D) és a fővályú átlagos alakja (S_0) közti függvénykapcsolat
 Fig. 7: The functional relation between the average density of tributary channels (D) and the average shape of the main channel (S_0)

Az I, II, III. mellékvályúk külön-külön történő vízbepótlásnál a tényleges átfolyási idő 2,78 sec., 3,99, 4,34 sec. (1. kísérletsorozat). Amikor e három mellékvályúból egyidejű vízbepótlás történt a fővályúba, a betáplált víz összegződött és $5,1 \text{ cm}^3$ víz folyt le 5,42 sec tényleges átfolyási idő (3. kísérletsorozat első kísérlete során) alatt (I. táblázat, 8. ábra). Ha az összegzett átfolyási időt tekintjük, akkor annak értéke 11,11 sec. Vagyis az összegzett átfolyási idő nagyobb lesz, mint a tényleges átfolyási idő. Négy mellékvályúnál történő vízbepótlásnál (4. kísérletsorozat első kísérleténél) az összegzett átfolyási idő (16,12 sec.) még nagyobb lesz, mint a tényleges átfolyási idő (6,85 sec.). A kettő különbsége azért lesz egyre nagyobb, mert egyre több vízbepótlás esetén egyre több vízág torlódik egymásba. Tehát a vízhozam a mérési helyen megnő, és így a tényleges átfolyási idő nem nő, hanem az összegzetthez képest csökken.



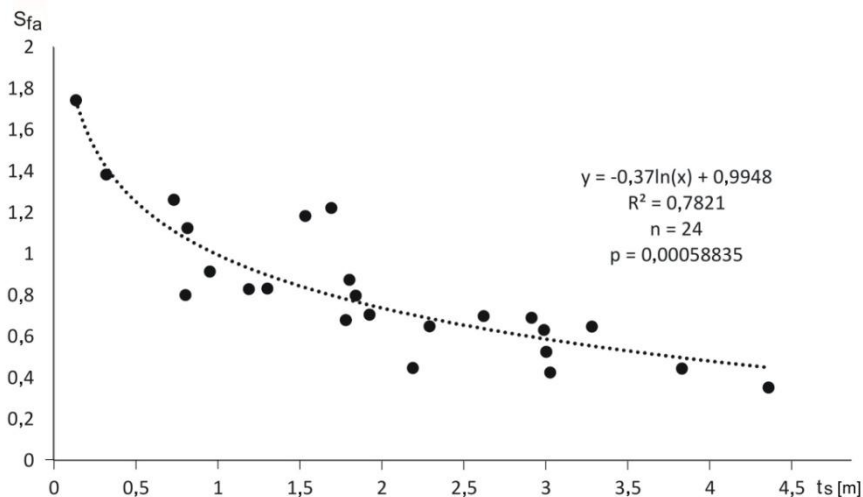
8. ábra: A mesterséges vályúrendszerben mért átfolyási idők az 1. kísérletsorozat adatainak felhasználásával
 Jelmagyarázat: 1. összesített átfolyási idő, 2. tényleges átfolyási idő, 3. a római számok darabszáma mutatja, hogy
 hány helyről történt vízbepótlás

Fig. 8: Transit times measured in the artificial rimnenkarren system by using the data of the first experiment series
 Legend: 1. total transit time, 2. actual transit time, 3. the number of the Roman numerals shows the places of
 water supply

A mellékvízágaknak azonban nemcsak lefolyást gátló, hanem lefolyást gyorsító szerepe is lehet. A kísérletnél ez különösen két mellékvályúnál történő vízutánpótlásoknál tapasztalható (8. ábra). Ekkor az átfolyási idő ténylegesen is csökken, az egy mellékvályúból történő vízbepótlás idejéhez képest. De négy, vagy öt helyről történő bepótlásoknál sem nőttek a tényleges átfolyási idők, a három helyről történő vízbepótlások átfolyási idejeihez képest, mint ahogy az elvárható lett volna. Mindez arra hívja fel a figyelmet, hogy a mellékvályúból a fővályúba belépő víz nemcsak gátolja, hanem gyorsíthatja is a fővályúban a vízfolyást. Úgy tűnik a tényleges lefolyási időt csökkenti, ha a mellékvályúk közti távolság, valamint azoknak az észlelési helytől számított távolsága nő. Erre jó példa a III. és V. kísérlet (8. ábra).

Különböző tényleges átfolyási idők és különböző vízhozamok fordulhatnak elő a fővályúban attól függően, hogy a mellékvályúk közül hányban áramlik víz, ill. azokban, amelyekben éppen áramlik azok milyen eloszlásúak és helyzetűek. Így, pl. ha a kísérleti vályúrendszer tekintjük, ha az I. és III. mellékvályúban áramlik víz a fővályúban a vízhozam kisebb lesz, mint akkor, ha a III. és V. mellékvályúban. A vízfolyás során a vízhozam nagy és kis vízhozamra különíthető. (Kis vízhozam előfordulhat a vízfolyás kezdetén és végén egyaránt.) Ha a nagy vízhozam értéke változik, változik annak átfolyási ideje is. Változhat a kis vízhozam értéke és így ideje is. Emiatt módosul a két vízhozam átfolyási idejének

egymáshoz viszonyított hossza is. A kétféle vízhozam aránya a keresztmetszet méretétől is függ. Nagyobb keresztmetszet esetén ugyanakkora vízbefolyásnál is nő a kis vízhozam hossza. Ezért a mellékvízágak vízág mintázata (ez alatt azt értjük, hogy a meglévő mellékvályúk közül melyekben áramlik víz) és a keresztmetszet növekedés is hat a nagy és kis vízhozam időbeli hosszának arányára. Ezért a fővályú növekedése során a kis vízhozam hossza ugyanolyan mellékvályú sűrűségénél is eltérő lehet. Emiatt ugyanakkora mellékvályú sűrűségénél igen változatos vályú alakok is előfordulhatnak. Így pl. 0,6-0,7 közötti mellékvályú sűrűséghez 0,6, de 1,0 alakok is tartoznak (7. ábra).



9. ábra: Függvénykapcsolat a fajlagos mellékvályú összhosszúság (t_s) és a fővályú alsó 1 m-es szakaszára számított vályú alakja között (S_{fa})

Fig. 9: The functional relation between the specific total length of tributary channels (t_s) and the valley shape calculated to the lower 1-metre section of the main channel (S_{fa})

A mellékvályúhossz ugyancsak hatással lehet a fővályú alakjára. Amikor a fajlagos mellékvályú összhossz és a fővályúk alsó, egy méteres szakaszának alakja közti kapcsolatot vizsgáltuk, azt tapasztaltuk, hogy az 1 m fővályú hossza jutó össz mellékvályú hossz növekedésével a fővályúk alsó egy méteres szakaszának alakja csökkent (9. ábra). Ez úgy értelmezhető, hogy a hosszabb mellékvályúk miatt a fővályúban a tényleges átfolyási idő az össz-vízmennyiséget meghaladó mértékben nő és így ott a talpi oldódás is, ami az alak csökkenését eredményezi. Ugyanakkor a fajlagos mellékvályú összhossz változásának a hatása az alakra rövidebb értékeknél nagyobb, hosszabb értékeknél kisebb. Ez esetben is az a

következtetés, hogy már kisebb mellékvályú összhossznál is nagy mértékben lecsökken a vízhozam. Ezért a mellékvályú hossz növekedésével a nagy vízhozam időtartama a kis vízhozam időtartamához viszonyítva egyre jobban lecsökken. Emiatt az oldódás egyre hosszabb fajlagos mellékvályú összehossznál egyre inkább a fővályú talpára koncentrálnak.

A vályúrendszer fővályúinak alsó vége felé mind a mélység, mind a szélesség változik. Gyakori, hogy a fővályúk alsó végük felé keskenyednek (*I, 2. kép*). A vizsgált 36 db vályúrendszerből 20 db fővályúnál ez tapasztalható (*II. táblázat*). Az ilyen fővályúrészek alsó részének kisebb szélességei a kialakulás kezdeti szélességét reprezentálják. A szélességcsökkenést figyelembe véve a fő- és mellékvályúk kialakulási módjai az alábbiak lehetnek.

A még vályúmentes térszínen a későbbi fővályú vízága ott szélesedik ki, ahol mellékvízágak kapcsolódnak hozzá, mivel a fővízág hozama e szakaszon megnő. Így, ha a mellékvízágak a fő vízág felső részén fordulnak elő, akkor itt, vagy közvetlenül e szakasz alatt a fő vízág rész kiszélesedik. Az alsó részén, ahol nincs, ill. kevesebb a mellékvízág, a fővízág kisebb szélességű lesz, miután a lejtő felső részéről lefolyó vízág hozama a távolság növekedésével lecsökken, mivel a távolság növekedésével nő az átfolyási idő (*10.I.a. ábra*). Ezért az olyan vályúrendszerek, amelyeknél a fővályú szélessége az alsó részeken kisebb, mint a felső részeken (*10.I.b. ábra*) egyidősek. A fővízágak és a mellékvízágak egyszerre jöttek létre. A fővályú lefelé csökkenő szélessége az egykori mellékvízág sűrűséget tükrözi. Az ilyen vályúrendszerek fővályúin a mellékvályú darabszámuk lefelé csökkennie kell. A 20 db csökkenő szélességű fővályú közül 2 fővályúnál tapasztalható, hogy az alsó keskenyebb szakaszon nő a mellékvályúk száma, míg 18 darabnál csökken (*II. táblázat*). Azonban akár nő a mellékvályú darabszám a fővályúnak az alsó részén, akár nem, itt a mellékvályúk rövidek, A típusúak (*11. ábra*). Tehát a fővályú alsó részének vízágai, és így itt a mellékvályúk is utólag a fővályú kialakulása után képződtek. Ha a fővályú felső része nem járult hozzá a nagy vízhozamhoz, e szakasz mellékvályúinak vize nem volt képes szélesíteni e szakaszokat. Részben a mellékvályúk fiatal kialakulása miatt, részben az ezekből származó kis vízmennyiségek miatt. Ezért a fővályú alsó szakasza megőrizhette eredeti szélességét.

II. táblázat

Table II.

Az alsó részükön elkeskenyedő fővályúk mellékvályú számának változása

The change in the number of tributary channels of main channels becoming narrower on their lower part

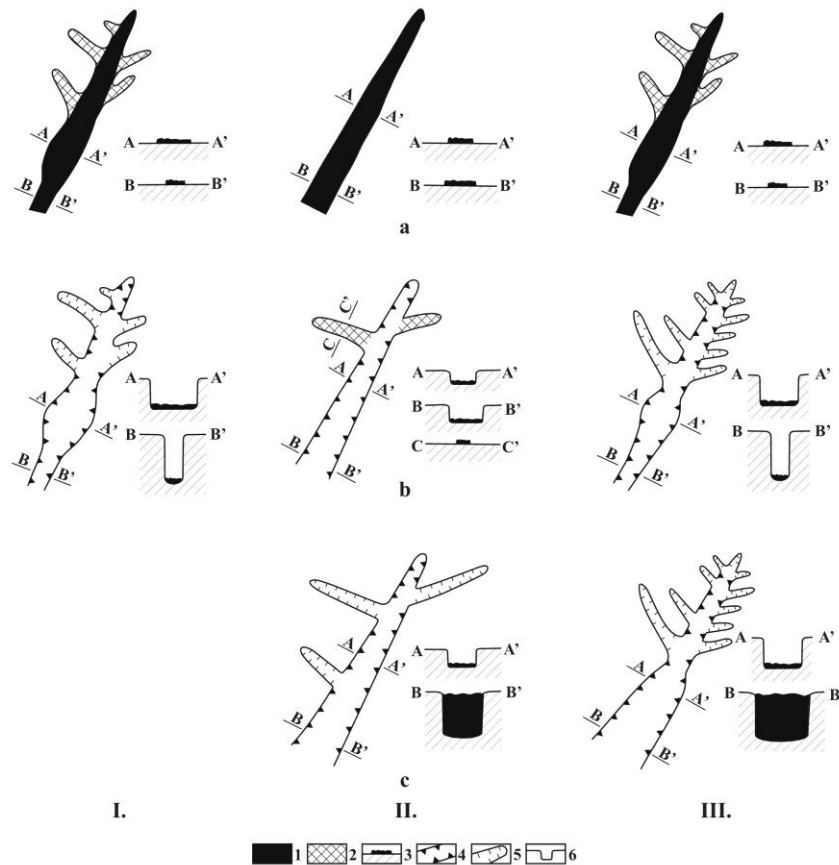
Vályúrendszer	Szélesség-változás (cm)	Mellékvályúinak száma felül (db)	Mellékvályúinak száma alul (db)
XXVI	-9,2	6	3
XXVII	-35,4	12	2
4	-3,7	2	1
IV/2	-0,3	2	7
VII/2	-0,15	9	5
C	-4,25	2	0
D	-18,02	6	3
E	-0,79	2	0
F	-3,75	5	4
G	-7,28	3	1
K	-4,2111	1	0
III/1	-4,6	12	6
IV/3	-2	4	0
V/2	-3	6	1
V/3	-6	3	2
XXVI/1	-8,95	3	4
XXVII/13	-3,55	4	0
V/3/2	-1	8	6
V/4/9	-18	5	0
VII/1/2	-1,5	4	3

Megjegyzés:

- a mellékvályúk közé az A típusú vályúk is beleszámításra kerültek
- ahol a vályú jelénél harmadik számjegy van, a vályúrendszer mellékvályú-rendszerét vizsgáltuk, amely ugyancsak összetett és jelentős hosszúságú volt

Notice:

- Type A channels were also taken into account when dealing with tributary channels
- When there is a third digit at the identification mark of the channel, we measured the tributary channel system of the rinnenkaren system which was also complex and of significant length

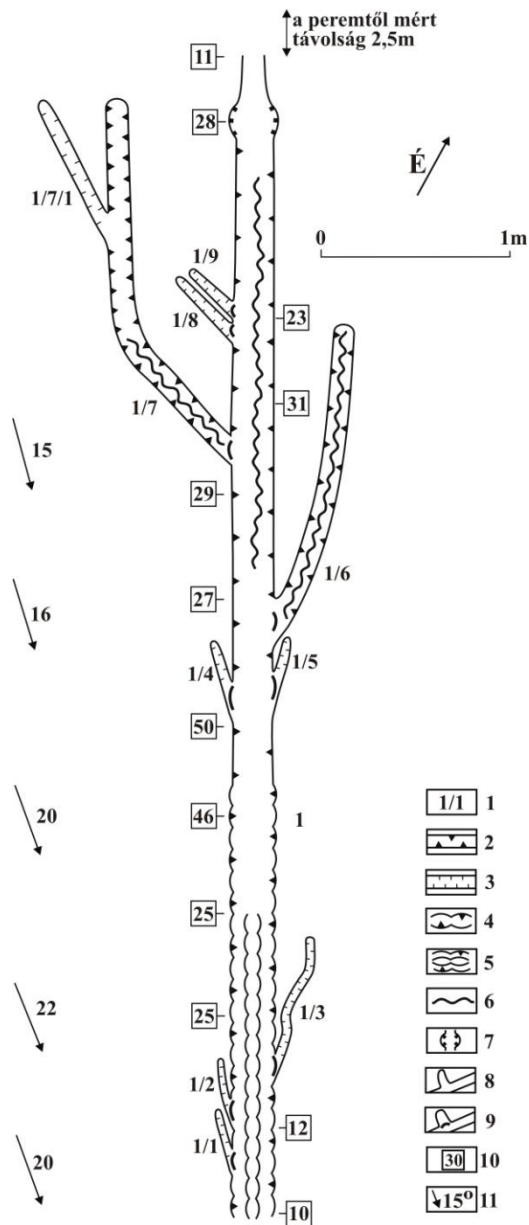


10. ábra: Vályúrendszerek fő- és mellékvályúinak kialakulása

Jelmagyarázat: 1. fővízág, 2. mellékvízág, 3. a vízág keresztmetszetben, 4. fővályú, 5. mellékvályú, 6. vályú keresztmetszetben, I. fő- és mellékvízágak egyszerre jönnek létre, II. mellékvízágak a fővályú kialakulása után alakulnak ki, III. fő- és mellékvízágak egyszerre jönnek létre, I.a. fő- és mellékvízágak képződnek, a mellékvízágak hatására a fővízág lokálisan kiszélesedik, I.b. fő- és mellékvályúik képződnek, a fővályú a mellékvízágaknál kiszélesedik, ezalatt őrzi eredeti szélességét, II.a. fővízág alakul ki, II.b. kialakul a fővályú, létrejönnek a mellékvízágak, II.c. kialakulnak a mellékvályúik is a fővályú a nagy vízhozamok hatására alul is szélesedik, III.a. fő- és mellékvízágak képződnek, a mellékvízágak hatására a fővízág lokálisan kiszélesedik, III.b. fő- és mellékvályúik képződnek, a fővályú a mellékvízágaknál kiszélesedik, III.c. a fővályú alsó része a nagy vízhozamok hatására kiszélesedik

Fig. 10: The development of the main and tributary channels of rinnenkarren systems

Legend: 1. main rivulet, 2. tributary rivulet, 3. rivulet in cross-section, 4. main channel, 5. tributary channel, 6. channel in cross-section, I. The main and tributary rivulets develop simultaneously, II. the tributary rivulets form after the development of the main channel, III. the main and tributary rivulets develop simultaneously, I.a. main and tributary rivulets develop, the main rivulet widens locally to the effect of the tributary rivulets, I.b. main and tributary channels develop, the main channel widens at the tributary rivulets while it maintains its original width, II.a. a main rivulet develops, II.b. the main channel and the tributary rivulets develop, II.c. the tributary channels develop too, the main channel widens at its lower part too to the effect of large discharges, III.a. main and tributary rivulets develop, the main rivulet widens locally to the effect of the tributary rivulets, III.b. main and tributary channels develop, the main channel widens at the tributary rivulets, III.c. the lower part of the main channel widens to the effect of large discharges



11. ábra: Fent szélesebb, alul keskenyebb szélességű fővályú mellékvályúinak méret és típus szerinti megoszlása
 Jelmagyarázat: 1. vályú azonosító jele, 2. B típusú vályú, 3. A típusú vályú, 4. I típusú meander (I típusú vályú), 5. II típusú belső meander (II típusú vályú), 6. III típusú meander (III típusú vályú), 7. vályú kiszélesedés, 8. nem függő mellékvályú, 9. függő mellékvályú, 10. vályú szélessége, 11. hordozó térszín dőlésiránya és dőlésszöge.

Fig. 11: The distribution of the tributary channels of the main channel which is wider on its upper part and narrower on its lower part according to size and type

Legend: 1. Identification mark of the channel, 2. type B channel, 3. type A channel, 4. meander of type I (channel of type I), 5. inner meander type II (channel type II), 6. meander type III (channel type III), 7. channel hollowing, 8. non-hanging tributary channel, 9. hanging tributary channel, 10. the width of the channel, 11. dip direction and dip angle of the bearing terrain

Azon vályúrendszereknél, amelyeknél a fővályú lefelé szélesedik, a fővályúk és mellékvályúk, ill. vízágak kialakulása egymáshoz képest kétféle lehet. Ezek az alábbiak:

- A fővízágak már akkor léteztek, amikor még a mellékvízágak nem (10.II.a. ábra). A mellékvályúk ekkor a fővályúnál fiatalabbak (10.II.b. ábra). Ez a karros felszíneken nagyon gyakori. Ilyenek azok a vályúk, amelyek mellékvályúk kialakulásával fővályúvá alakulnak és így vályúrendszerekké fejlődnek (VERESS et al. 2015, 10.II.c. ábra). A fővályú kismértékű kiszélesedése (10.II.a. ábra), ha van egyáltalán, a fővízág lejtő alsó vége felé bekövetkező kiszélesedésének köszönhető. Ez megtörténhet azért, mert a vízagra hulló eső kismértékben növeli vízének a mennyiségét. A fővályú szélesedése az alsó részén a fejlődése során még nőhet is, ha a mellékvályúk vízbepótlása megfelelő a nagy vízhozamok kialakításához.
- A fővízágak és a mellékvízágak egyidősek (10.III.a. ábra). Ekkor a fővályú szélessége az alsó vége felé, mint azt már fentebb bemutattuk, csökkenhet is, ha a mellékvályúk a fővályú felső részén alakulnak ki. Akkor azonban, ha a mellékvályúk sűrűsége nagy és/vagy közel esnek a fővályú alsó végéhez (10.III.b. ábra), a fővályú alsó részén is nagy vízhozamok alakulnak ki. E szakasz is a pereméig kitöltődik a vízág vizével (10.III.c. ábra). A fővályú alsó része az oldalfalak oldódásával szélesedik. Ha a nagy vízhozam ideje hosszú, a szélesedés olyan mértékű, hogy a fővályú alsó részének a szélessége meghaladja a felső rész szélességét (10.III.c. ábra).

Következtetés

A vályúk vízhozamára hat a vízág „széthúzódása”, a vízágak egymásba torlódása, valamint a mellékvízágaknak a gátló és gyorsító hatása a fővízág lefolyására. Annál kisebb a vízág vízhozama, minél jobban „széthúzódik”, minél kevésbé torlódnak egymásba a különböző vízágak és adott vízágat minél kevésbé gátol lefolyásában egy másik. Annál nagyobb viszont a fővízág hozama, minél inkább leterheli, vagy nyomja a mellékvízág vize.

A vályúrendszerek fővályúinak alakja a nagy vízhozamaik és kis vízhozamaik időtartamának hosszától függ. A nagy és kis vízhozamok hossza viszont a mellékvályúk sűrűségétől, a mellékvályúk hosszától és a mellékvályúknak a fővályún elfoglalt helyétől (a fővályú adott helyétől számított mellékvályú távolság) függ. Ezért minél ritkábban fordulnak elő mellékvályúk, minél hosszabbak és ezek távolsága minél nagyobb adott fővályú szakasztól, az oldódás egyre inkább a vályú talpra összpontosul, miután a kisvízhozam egyre hosszabb idejű. A talpi oldódás miatt kicsi vályúalak képződik. Minél hosszabb idejű a nagy vízhozam, a fővályúban

egyre nagyobb az esély a nagy vályú alak kialakulására, mert az oldódás nem csak a vályú talpon, hanem a vályú oldalaiban is végbemegy. Ez akkor következik be, ha nagy a mellékvályú sűrűség, vagy ha kicsi azok hossza, vagy a fővályú adott helyéhez képest kicsi a mellékvályú távolsága.

A fővályú alakot együttesen, de eltérően szabályozza a mellékvályú hossz, valamely mellékvályú távolsága a fővályú adott helyéhez képest, valamint a mellékvályú sűrűség. A mellékvályú távolságváltozás és hossz változása az átfolyási időt változtatja meg. (Így a távolság vagy hossz növekedés növeli az átfolyási időt, ilyenkor viszont növekszik a kis vízhozam időtartama). Ezért a mellékvályú távolság növekedése, illetve a mellékvályú hossz növekedése során nő a kis vízhozam időtartamának a hossza. A mellékvályú sűrűség növekedése növeli a vízhozamot a vízágak egymásba torlódása miatt. A sűrűség növekedése (tehát a bepótlási helyek számának a növekedése) azonban behatárolja a vízhozam növekedését, mivel a mellékvályúk fékezik a fővályúban a víz lefolyását. A nagy és kis vízhozam aránya adott sűrűségnél attól is függ, mely mellékvályúban áramlik egyidejűleg víz. Emiatt adott mellékvályú sűrűségnél ugyanakkora mellékvályú távolságnál és hosszánál is eltérő lehet a nagy és kis vízhozam időbeli aránya és így a vályúalak is.

A vályúrendszerek mellékvályúi kialakulhatnak a fővályúkkal egyidejűleg, vagy később is. Előbbi esetben a vályúrendszer fő- és mellékvízágai egyszerre, utóbbi esetben a mellékvízágak később képződnek. Lefelé (alsó része felé) elkeskenyedő fővályúnál a fő- és mellékvízágak egyidejűleg jöttek létre. Egyidejű vízág kialakulás esetén a fővízág azon részén, ahol a mellékvízágak sűrűn fordulnak elő széles vízág és így széles fővályú szakasz jön létre. A fővízág alsó részén, ha ott nincsenek mellékvízágak az átfolyási idő növekedése miatt a vízág szélessége kisebb lesz. Itt a felső fővályú szakasznál keskenyebb vályú szakasz képződik. Lefelé szélesedő fővályúk kialakulhatnak egyszerre képződő fő- és mellékvályúk esetében, de kialakulhatnak akkor is, ha a mellékvályúk a fővályú kialakulása után képződnek.

IRODALOM

- BÖGLI, A.* (1960): Kalklösung und Karrenbildung. – Zeitschrift für Geomorphologie, Suppl. 2, Berlin, pp. 4-21. (an English translation by E. Werner was published in Cave Geology, 1(1), pp. 3-28, 1975)
- BÖGLI, A.* (1976): Die Wichtigsten Karrenformen der Kalkalpen – In: Karst Processes and Relevant Landforms. ISU Commission on Karst Denudation, Ljubljana pp. 141-149.

- CROWTHER, J.* (1997): Surface roughness and the evolution of karren forms at Lluc, Sierra de Tramuntana, Mallorca. *Zeitschrift für Geomorphologie* 41 (3) pp. 393-407.
- ECKERT, M.* (1898): Die Karren oder Schratten – Petr. Mitteilungen, p. 69-71.
- FORD D.C. – WILLIAMS P.W.* (1989): *Karst Geomorphology and Hydrology*. – Unwin Hyman, London, 601 p.
- Ford D.C. – Williams P.W.* (2007) *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. John Wiley & Sons, Chichester, 561 p.
- GLADYSZ, K.* (1987): Karren on the Quatsino Limestone. (Vancouver Island – BSc thesis) McMaster University.
- HASERODT, K.* (1965): Karstformen in den Nördlichen Kalkalpen. *Münch. Geogr. Hilfe* 27, pp. 1–114.
- HUTCHINSON, D. W.* (1996): Runnels, rinnenkarren and mäanderkarren form, classification and relationship – In: Fornós, I. J., Ginés, A. (Eds.) *Karren Landforms* Universitat de les Illes Balears, Palma de Mallorca, pp. 209-223.
- 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. *Zeitschrift für Geomorphologie Supplement* 56 (2), pp. 37-46.
- LOUIS, H.* (1968): *Allgemeine Geomorphologie*. W de Gruyter, Berlin 522 p.
- SONG, L. H.* (1986): Origination of stone forest in China. – *International Journal of Speleology* 15, 1-4: pp. 3-33.
- SWEETING, M. M.* (1955): Landforms in North-West Country Clare, Ireland. – *Transactions of the Institute of British Geographers* 21, pp. 218-249.
- TRUDGILL, S. T.* (1985): *Limestone geomorphology*. Longman, New York 196 p.
- VERESS, M.* (2009): Rinnenkarren. – In: Gines, A., Knez, M., Slabe, T., Dreybrodt, W. (Eds.), *Karst Rock Features, Karren Sculpturing* Založba ZRC. Carsologica, 9. Institut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna, pp. 151-159. (Ljubljana, Eslovènia).
- VERESS, M.* (2010): *Karst Environments – Karren Formation in High Mountains*. Springer, Dordrecht Heidelberg London New York 230 p.
- VERESS M. – TÓTH G.* (2004): Types of meandering karren – *Zeit. für Geomorph.* 48 (1) pp. 53-77.

VERESS M. – ZENTAI Z. – PÉNTEK K. – DEÁK GY. – SAMU SZ. (2013): Flow dynamics and shape of rinnenkarren systems – *Geomorphology* 198 pp. 116-127.

VERESS M. – SAMU SZ. – MITRE Z. (2015): The effect of slope angle on the development of type a and type b channels of rinnenkarren with field and laboratory measurements – *Geomorphology* 228 pp. 60-70.

WAGNER, G. (1950): Rund um Hochifen Gottesackergebiet – Öhringen. pp. 72-80.

WHITE, W.B. (1988). *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains.* – Oxford University Press, New York 464 p.