

VÁLYÚRENDSZEREK FŐVÁLYÚINAK FEJLŐDÉSE

VERESS MÁRTON¹-ZENTAI ZOLTÁN¹-PÉNTEK KÁLMÁN²-MITRE
ZOLTÁN²-DEÁK GYÖRGY¹-SAMU SZABOLCS¹

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

vmarton@tk.nyme.hu,

²Nyugat-magyarországi Egyetem, Természettudományi Kar, Matematika
Tanszék, 9700 Szombathely, Károlyi Gáspár tér 4.

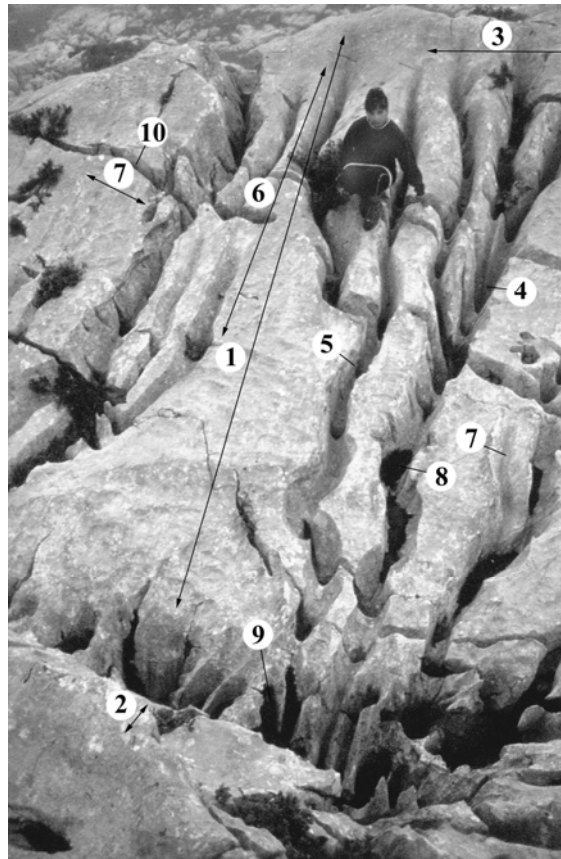
Abstract: We measured the width and depth of the main channels of seven channel systems on the floor of the glacial valley under the Tragl peak in the Totes Gebirge. The distances between the measuring points were 10 centimetres. By using these data we calculated the cross-section areas of the channels (as the product of the width and the depth). The cross-section area values of the main channels were described as a function of the distance between these points and the slope margin. It can be stated that hollowings (local maxima) occur on the main channels under the connecting sites of the tributary channels. According to laboratory experiments, turbulent zones develop on the rivulet of the main channel, where the rivulet of the tributary channel joins the rivulet of the main channel. According to laboratory experiments, the length and location of the turbulent zones depend on the slope angle, the joining angle of the tributary channel, the proportion of the water flow of the rivulets of the main- and tributary channels as well as on the water flow of the tributary channel. We explain the local maxima pattern of the main channels by the turbulence pattern which is developed in the rivulets of the main channels. The turbulence pattern may be continuous (the rivulet of the channel is turbulent in its whole length), partly-continuous (several turbulent zones are connected to each other), as well as locally turbulent (a unique turbulent zone developed under the tributary channel).

1. Bevezetés

E tanulmányban, akárcsak egy korábbi (VERESS et al. 2010) kis dőlésű lejtők vályúrendszerei B típusú fővályúinak fejlődését vizsgáljuk a vályúrendszerek paramétereinek felhasználásával. Ehhez a lejtő felső peremétől mért (ill. a vályúfő) távolság és e távolságban a vályúkeresztmetszet terület nagysága közti kapcsolatot elemezzük. Vizsgáljuk továbbá a fővályú keresztmetszet terület maximumai és e helyeknél becsatlakozó mellékvályúk paramétereinek közti kapcsolatot is.

A rinnenkarrok (vályúkarrok) kialakulási és fejlődési vizsgálatának az ad jelentőséget, hogy e karrok a magashegységi karsztok csupasz lejtőinek uralkodó formái. Így az Alpok törpefenyőövében az összes fajlagos szélesség (az megadja a lejtő 1 m-en a karrformáknak, vagy valamely karrformának az összegzett szélességét) 67 %-át, míg a növénytelen övben 54 %-át a rinnenkarrok képezik (VERESS 2006, 2009). Jelentőségük miatt számos kutató vizsgálta e formákat (ECKERT 1898, WAGNER 1950,

SWEETING 1955, HASERODT 1965, LOUIS 1965, BÖGLI 1976, JENNINGS 1985, GLADYSZ 1987, WHITE 1988, HUTCHINSON 1996, SMART-WHITAKER 1996, CROWTHER 1997, FORD-WILLIAMS 1989, 2007, VERESS 2009, 2010; GINES 2009, GINES-GINES 2009, PERICAMARJANA 2009).



1. kép: Egy réteglapos lejtő vályúrendszere és vályúi (a vályúk hasadékok és kürtők által mostanra részekre különültek, ill. a kürtők a B típusú mellékvályúkat egyes B típusú vályúkká alakították, Totes Gebirge)

Jelmagyarázat: 1. réteglap, 2. réteglejtő, 3. vályúrendszer, 4. vályúrendszer fővályúja, 5. vályúrendszer B típusú mellékvályúja, 6. kürtő által mellékvályúból egyes B típusúvá fejlődött vályú, 7. A típusú vályúk, 8. vályútalp kürtő, 9. vályúvég kürtő, 10. hasadék

Picture 1. A system channel and channels of on a bedding plane slope (the channels were dissected into parts by grikes and pits by now and type B tributary channels were transformed into single B type channels by pits, Totes Gebirge)

Legend: 1. bedding plane, 2. head of bed, 3. channel system, 4. the main channel of the channel system, 5. the type B tributary channel of the channel system, 6. single type B channel which developed from the tributary channel by pit, 7. type A channels, 8. channel bottom pit, 9. channel end pit, 10. grike

A rinnenkarrok (vályúkarrok) lejtésirányú, zárt csatornák (VERESS 2009). Szélességük és mélységük legfeljebb néhány dm, míg hosszuk né-

hányszor 10 m lehet (*I. kép*). Típusaikat és morfológiai jellemzőiket több tanulmányban is összefoglaltuk (VERESS 2009, VERESS et al. 2010). A vályúkarrok morfológiája igen változatos. Így talpukon madáritatók, kürtők és medencék fordulnak elő, vagy a talp lépcsősen feltagolt (GLADYSZ 1987, CROWTHER 1997, VERESS 1995, 2009, 2010, VERESS et al. 2006). A vályúkaroknak különböző típusait különítik el, így rundkarrokat (BÖGLI 1976), Horton-típusú csatornákat, túlfolyási csatornákat (FORD-WILLIAMS 1987), valamint I., II., III. típusú csatornákat (VERESS 2009). A rundkarrok vályúit lekerekített háta választják el egymástól, a Horton típusú csatornák összetett rendszerek (fő- és mellékvályúval, vagy mellékvályúkkal), amelyeket mi e tanulmányban vályúrendszereknek nevezünk. A túlfolyási csatornák pontszerű vízutánpótlási helyeknél (pl. madáritatók) kezdődnek. Az I., II., III. típusú csatornák különböző méretűek (az I. típusú csatornák mélysége és szélessége néhány dm, a III. típusúaké néhány cm, a II. típusúak mérete az I. és III. típusúak közé esik). E csatornák egymásban is kifejlődhetnek. Ezek az összetett csatornák (VERESS 2009).

A vályúk vízágak alatt jönnek létre és fejlődnek (BÖGLI 1960, 1976, TRUDGILL 1985, FORD-WILLIAMS 1989, 2007, VERESS 1995, 2010). A vályúk kialakulásának jobb megértéséhez a törpefenyős és csupasz lejtők vályúit egyaránt vizsgáltuk. Bevezettük a vályúkeresztmetszet-terület, a vályúalak fogalmát (VERESS et al. 2007). Majd vizsgáltuk a lejtő törpefenyőfoltjának szélessége és a fent említett paraméterek közti függvénykapcsolatot. Továbbá vizsgáltuk ezen paraméterek és a d értékek közti függvénykapcsolatot. A d a lejtő felső pereme és a mérési hely közti távolság. A mérési hely az a hely, ahol a vályú szélességét és a vályú mélységét mértük (VERESS et al. 2007, VERESS et al. 2008). Az alak és a vályúkeresztmetszet számításához kezdetben a vályúk teljes hossza mentén 1 helyen (VERESS et al. 2007), majd 1 m-ként (VERESS et al. 2009), legutóbb 10 cm-ként (VERESS et al. 2010) mértük a vályúk szélességét és mélységét. Az alakot a vályú szélességének és mélységének hányadosa adja, míg a vályúkeresztmetszet területet a szélesség és mélység szorzata (U keresztmetszet esetén), ill. a fenti szorzat fele képezi (V keresztmetszet esetén). Bevezettük a lokális maximum hely (vagy kiöblösödés) fogalmát (VERESS et al. 2011). Ez a vályúnak azon része, ahol a keresztmetszet rövidebb-hosszabb szakaszon nagyobb, mint ezen vályúszakasz felett és alatt.

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 kétfé-

lék 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 (1. kép). A mellékvályúkkal rendelkező vályúk vízgyűjtője (teljes vízgyűjtő) kétféle: közvetlen vízgyűjtő, amely az a vályúmentes terület (ill. maga a vályú) a vályú mentén, ahonnan a víz közvetlenül a vályúba áramlik. A közvetett vízgyűjtőről a víz a mellékvályú közvetítésével kerül a fővályúba.



2. kép: A Tragl-csúcs alatti völgy talpának réteglépcsői (a felvétel mintegy 100 m-es magasságból készült)
Jelmagyarázat: 1. réteglap, 2. rétegfel. 3. törés, 4. óriás hasadék

Picture 2. The cuestas on the floor of the valley of the Tragl peak (The photo was taken from a 100-m height.)
Legend: 1. bedding plane with rinnenkarren, 2. inface, 3. crack, 4. giant grike (bogaz)

Méréseink szerint a B típusú vályúk a lejtő vízágai alatt fejlődnek. Az A típusú vályúban a kezdeti vízág alatti oldódást felváltja a hólé oldódása (VERESS 2010). A hólé nem áramló víz, hanem szivárgó és a vályú hókitöltéséből származik. Elemezve a függvénykapcsolatot (a vályúkeresztmetszet és a lejtő felső pereme, valamint a vályúkeresztmetszet helyének távolsága között) különböző oldódási módokat különítettünk el a vályúrendszerek B típusú fővályúiban (VERESS 2010, VERESS et al. 2009).

A vizsgált vályúrendszerek a Tragl-csúcs (Totes Gebirge) alatti gleccservölgy D-i elvégződésénél 1800-1900 m magasságban a réteglépcsőkkel tagolt völgytalp réteglapjain találhatóak (2. kép).

I. táblázat
Table I.

Az V/1 jelű vályúrendszer fővályúban előforduló lokális maximum vályúkeresztmetszet területek
The maximum cross-section areas of the main channel of the channel system marked V.1.

Sorszám	öblösödések (lokális maximum helyek) tágassága [m]	öblösödési amplitúdójának a helye [m]	öblösödések amplitúdója [cm ²]
1	1,1-2,6	1,9	1291,5
2	2,7-3,9	2,8	1258,0
3	4-5,2	4,9	1058,4
4	5,3-8,0	6,5	5557,5

Öblösödés helye (d): lejtő felső peremétől számítva
öblösödés: a fővályú méretének lokális megnövekedése
the place of the hollowing (d): it is calculated from the upper margin of the slope
hollowing: local increase of main channel size

II. táblázat
Table II.

Az V/1 jelű vályúrendszer fővályúján a mellékvályúk becsatlakozási helyei
The connection sites of the tributary channels on the main channel of the mark V.1. channel system

Sorszám	mellékvályú csatlakozásának helye a vályún[m]	amplitúdó és a becsatlakozás távolsága [m]
1	1,87	0,14
2	2,54	0,16
3	4,42	0,33
4	6,62	0,09
	Átlag	0,18

- Vizsgáltuk a mellékvályúk hatását (H) a fővályúkra. Ez a következőképpen képezhető:

$$H = \frac{\sum_i l_i}{\Delta d}$$

ahol $\sum_i l_i$ valamely mellékvályú összhossza (ehhez figyelembe vettük a mellékvályúk mellékvályúinak hosszát is).

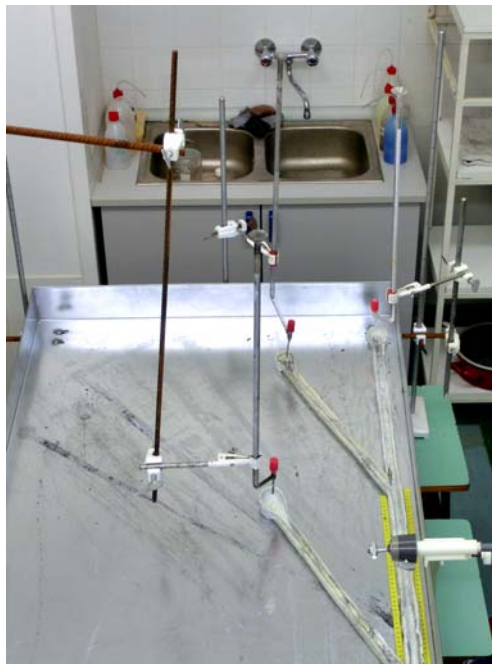
Δd ezen mellékvályú és a lejtésirányba eső szomszédos mellékvályú közt mérhető távolság a fővályún (1b. ábra).

A vályúhatás számításnál megkülönböztetünk összegzett vályúhatást (a fővályú mellékvályúin mért vályúhatások teljes összege) valamint átlagos vályúhatást (az összegzett hatás és a mellékvályúk számának a hányadosa).

- Mértük a vályúk lokális maximumhelyeinek tágasságát és amplitúdóját. Tágasság a lokális maximum helyének a szakasza, amely a vályúkeresztmetszet helyi növekedésének a kiterjedése, az amplitúdó a keresztmetszet legnagyobb értéke (1b. ábra).

- A vályúk áramlási viszonyainak (az örvényes szakasz hosszának és helyének) tanulmányozására laboratóriumi kísérletet végeztünk. Ennek során a

mellékvályú vizét a fővályú vizébe vezettük (3. kép). Ilyen jellegű kísérletet elsőként Glew-Ford (1980) folytattak úgy, hogy a rillenkarrok kialakulását szimulált esőztetés során tanulmányozták gipsz felületen.



3. kép: Az áramlási kísérlet
Picture 3. The flow experiment

Gyurmában 1 db vályúrendszert formáltunk ki, amelyet egy fővályú és egy mellékvályú alkotott (ezek U keresztmetszetűek voltak). A vályúrendszer hordozó felületének lejtőszöge változtatható volt: a lejtőszöget 2° és 5° -ként változtattuk az 5° és 40° -os dőlésszögek között. Változtattuk a mellékvályúk becsatlakozási szögét (5° , 45° , 60°), a fő- és mellékvályú vízhozamának arányát. Adott lejtőszögnél és becsatlakozási szögnél 2 db mellékvályúnál is mértük az örvényes szakasz hosszát és helyét (III., IV., V. táblázatok).

A gyurmát detergens kezelésével tettük hidrofíllé. A keveredés és örvénylés (az örvénylés előfeltétele a keveredés volt a fő- és mellékvályú vizága között) láthatóvá tételére valódi oldatot és kolloid oldatot használtunk. A valódi oldat, amelynek a sűrűsége $1,010 \text{ g/cm}^3$ volt, kobalt és nikkel sók felhasználásával készült. A kolloid oldat készítéséhez a vízben sárga és kék festéket oldottunk fel. Az örvényes szakasz kialakulási helyének a pontos megállapításához nagy sebességű fényképezőgéppel felvételeket készítettünk (a képkészítés sebessége 5 db/sec volt).

III. táblázat
Table III.

Különböző lejtőszögeknél és becsatlakozási szögeknél az örvényléses szakasz hossza és kezdetének távolsága
The length of the turbulent zone and the distance of its beginning at the different slopes angles and joining angles

lejtő- szög	$\alpha=5^\circ$		$\alpha=10^\circ$		$\alpha=15^\circ$		$\alpha=20^\circ$		$\alpha=25^\circ$		$\alpha=30^\circ$		$\alpha=35^\circ$		$\alpha=40^\circ$		$\alpha=45^\circ$		$\alpha=60^\circ$		l átlaga	ö.k. átlag
	l	ö.k.	l	ö.k.	l	ö.k.	L	ö.k.	l	ö.k.	l	ö.k.	l	ö.k.	l	ö.k.	l	ö.k.	l	ö.k.		
5°	55	25	61	23	59	33	56	36	54	28	96	29	41	20	48	28	52	27	39	5	56,1	25,4
10°	44	20	48	20	47	33	49	33	44	28	60	27	46	23	47	23	46	25	25	4	45,6	23,6
15°	33	18	36	15	23	31	23	29	22	28	22	29	44	21	40	22	40	23	20	5	30,3	22,1
20°	28	14	26	14	22	29	21	29	18	26	22	27	36	17	35	23	38	21	18	4	26,4	20,4
22°	29	13	27	12	22	29	20	29	17	25	21	26	32	16	28	22	29	20	16	5	24,1	19,7
24°	30	13	20	11	22	28	20	28	15	23	21	23	26	15	21	22	34	20	19	5	22,8	18,8
26°	27	12	20	10	20	29	21	27	14	22	20	25	28	15	23	20	28	20	22	5	22,3	18,5
28°	26	12	20	11	21	26	22	27	14	22	18	24	28	14	19	20	24	19	25	6	21,7	18,1
30°	29	10	19	10	18	26	19	22	13	20	16	23	24	14	15	20	19	18	28	6	20,0	16,9
32°	26	9	21	9	20	27	20	21	13	21	16	23	20	14	22	19	20	19	34	7	21,2	16,9
34°	22	9	21	10	18	25	20	18	13	20	15	18	23	15	15	18	18	16	34	6	19,9	15,5
40°	23	7	22	7	21	29	19	15	11	19	12	20	25	13	17	16	21	15	39	5	21,0	14,6
át- lag	31	13,5	28,4	12,67	26,1	28,75	25,8	26,17	20,7	23,5	28,3	24,5	31,1	16,41	27,5	21,08	30,8	20,25	26,6	5,25		

Megjegyzés:

α : becsatlakozási szög

l: az örvényes szakasz hossza [cm]

ö.k.: örvénylési szakasz kezdete [cm]

Notice:

α : the joining angle

l: the length of the turbulent zone [cm]

ö.k.: the beginning of the turbulent zone [cm]

IV. táblázat

Table IV.

Különböző lejtőszögeknél, becsatlakozási szögeknél és mellékvályú vízhozamoknál az örvénylési szakasz hossza
The length of the turbulent zone at different slope angles, joining angles and discharges of the tributary channels

lejtő- szög	A fővályú vízhozama 2,5- szerese a mellékvályúnak [cm]				A fő- és mellékvályú vízhozama megegyezik [cm]				A mellékvályú vízhozama 2,5- szerese a fővályúnak [cm]			
	Becsatlakozási szög			Átlag	Becsatlakozási szög			átlag	Becsatlakozási szög			Átlag
	5	45	60		5	45	60		5	45	60	
5	64	40	60	54,67	55	52	39	48,67	59	20	36	38,33
10	62	44	40	48,67	44	46	25	38,33	38	24	31	31,00
15	25	28	31	28,00	33	40	20	31,00	19	26	25	23,33
20	23	29	27	26,33	28	38	18	28,00	15	24	27	22,00
22	20	32	23	25,00	29	29	16	24,67	29	23	26	26,00
24	22	24	20	22,00	30	34	19	27,67	31	23	27	27,00
26	18	26	21	21,67	27	28	22	25,67	35	20	23	26,00
28	36	26	20	27,33	26	24	25	25,00	33	22	21	25,33
30	36	24	24	28,00	29	19	28	25,33	30	22	23	25,00
32	41	25	28	31,33	26	20	34	26,67	31	25	26	27,33
34	32	26	32	30,00	22	18	34	24,67	32	30	32	31,33
40	39	24	33	32,00	23	21	39	27,67	25	31	30	28,67
Átlag	34,83	29,00	29,92	31,25	31,00	30,75	26,58	29,44	31,42	24,17	27,25	27,61

V. táblázat

Table V.

Az örvénylési szakasz kifejlődésének jellege, és a lejtőszög közötti kapcsolat két mellékvályú esetén, 30°-os becsatlakozási szögnél

Relationship between the nature of the development of the turbulent zone and the slope angle at two tributary channels, at joining angle of 30°

Lejtőszög	Örvényes szakasz hossza [cm]		Örvénylés kezdete [cm]		Örvényesség jellege
	hossza felső mellékvályúnál (a)	hossza az alsó mellékvályúnál (b)	távolság a felső mellékvályúnál (c)	távolság az alsó mellékvályúnál (d)	
5	68	44	22	11	Részben foly- tonos örvénylés
10	66	37	16	8	
15	46	37	12	8	
20	39	32	12	5	
22	34	24	10	5	Lokális örvény- lés
24	33	23	9	4	
26	27	19	7	5	
28	26	23	11	5	
30	35	28	10	4	
32	33	29	9	5	
34	35	34	11	6	
40	34	28	7	6	

Megjegyzés:

fővályú hossza a felső mellékvályú becsatlakozása felett 40 cm,

a mellékvályúk hossza 40 cm,

a két mellékvályú becsatlakozási helye közötti távolság 45 cm,

vízhozam arányok a fő- és mellékvályúk között 1:1:1,

a két mellékvályú által gerjesztett közös örvényes szakasz (e) akkor jön létre, ha a+c-d>45 cm.

Notice:

The length of the main channel over the connection of the upper tributary channel is 40 cm

The length of the tributary channels is 40 cm,

The distance between the connection places of the two tributary channels is 45 cm,

Discharge proportions between the main channel and tributary channels are 1:1:1,

The common turbulent zone generated by the two tributary channels (e) develops if a+c-d>45 cm.

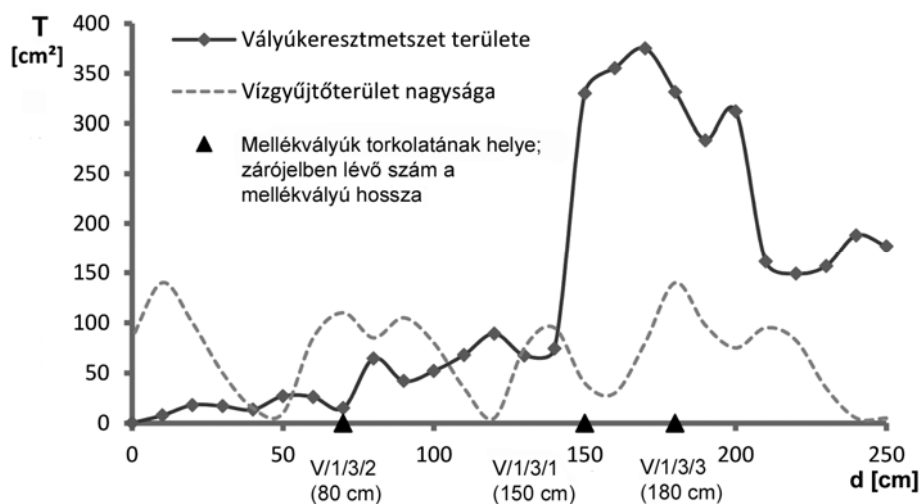
3. A geomorfológiai modell

A fővályúk lokális maximum helyei (kiöblösödései) felismerhetők, ha a 10 cm-ként számított vályúkeresztmetszet területeket a távolság függvényében ábrázoljuk. A maximum helyek sűrűsége, tágassága s amplitúdója vályúrendszer specifikus. Látható, hogy a maximum helyek a fővályúk mellékvályúinak becsatlakozási helyei alatt jönnek létre (*II. táblázat*). A maximum helyek a fővályúban az oldás mértékének a helyi növekedését jelzik.

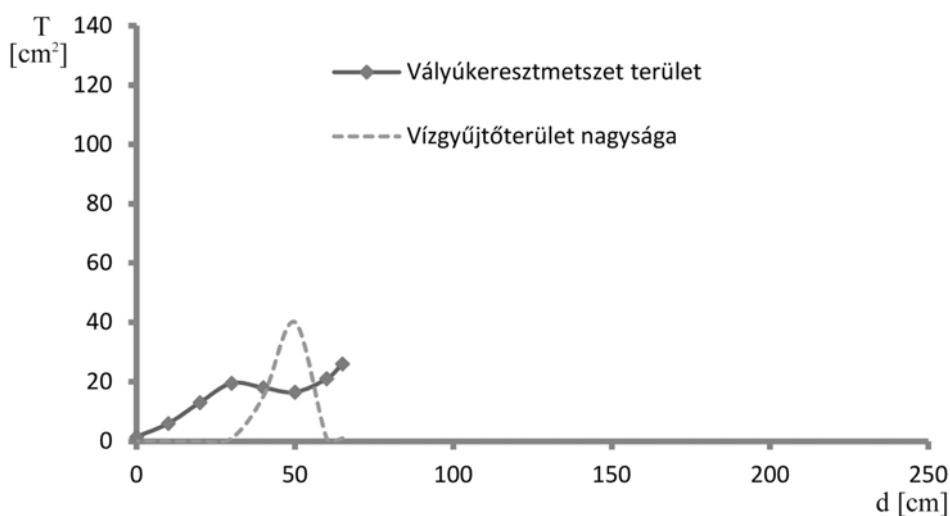
A maximum helyek létrejöttének (tehát a lokálisan megnövekedett oldódásnak) az alábbi okai lehetnek (*VERESS et al. 2011*):

- a mellékvályúból oldóképes víz érkezik a fővályúba,
- a fő- és mellékvályú vízágainak összefolyásánál keveredési korrózió lép fel,
- az áramlás örvényes.

A lokális maximum helyek (kiöblösödések) a fővályúk vízágainak örvénylése során képződnek. A fővályúk vízágainak örvényes szakaszai a mellékvályúk vízágainak a becsatlakozásainál alakulnak ki. A mellékvályú vízága önmagában nem okozhat oldódást a fővályúban. Ugyanis ha így lenne, akkor az oldódás (tehát a lokális maximum hely) a becsatlakozási helynél lenne. Miután az örvényesség kezdete a becsatlakozási helyhez képest változik (ld. alább), az örvényesség által okozott oldódás képes magyarázni a lokális maximum helyeknek az eltérő helyét a becsatlakozási helyekhez képest a különböző vályúrendszereken. A mellékvályú által okozott oldódást a kétféle vízág keveredési sajátosságai sem támasztják alá. A mellékvályú vízága a fővályú vízágával nem keveredik a becsatlakozásnál. Ha a mellékvályú vízága oldana, a fővályún aszimmetrikus kiszélesedések jönnének létre úgy, hogy pl. a mellékvályú felőli oldalon a fővályú falának aláhajlónak kellene lennie. Ezzel szemben azt tapasztaljuk, hogy a mellékvályúval átellenes fővályú oldal az aláhajló. Miután az örvények hossza, és így a vályú kiszélesedések függenek a hordozó lejtő szögétől (ld. alább), ezért a fővályúk lokálisan megnövekedett oldódását nem okozhatja a keveredési korrózió sem. A mellékvályúk vízágainak örvénylésre visszavezethető oldódását bizonyítják a *II. táblázat* adatai, miszerint az V/1 jelű vályúrendszer kiszélesedései (lokális maximum helyei) a mellékvályúk becsatlakozási helyei alatt fordulnak elő. Valamint az is, hogy egy B típusú mellékvályú (V/1 jelű vályúrendszer) mindkét lokális maximum helye mellékvályúk becsatlakozásánál jött létre (*2. ábra*). Ugyanakkor az V.1.3. jelű vályú A típusú mellékvályúján, amelyeknek nincsenek mellékvályúi, nincsenek lokális maximum helyek sem (*3. ábra*).



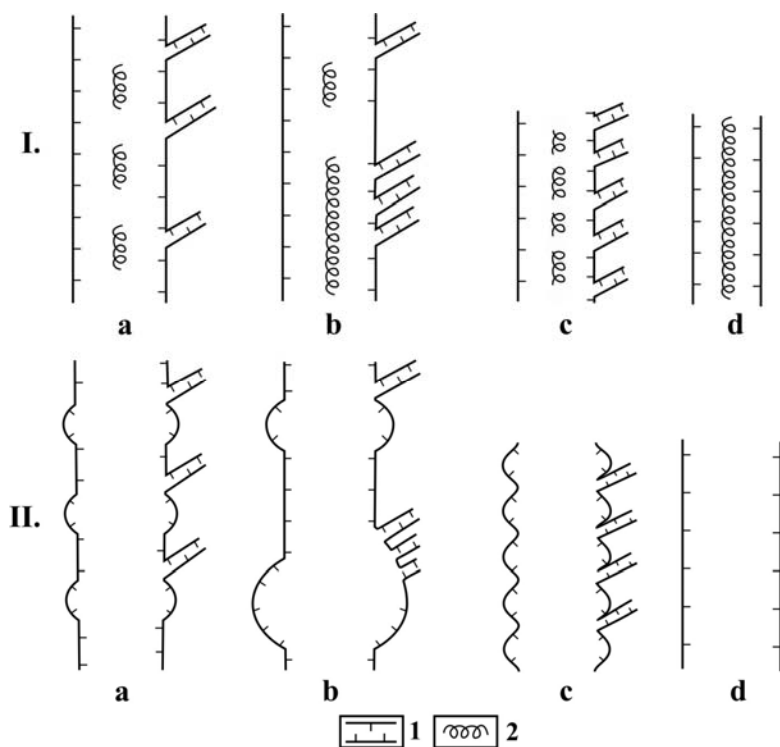
2. ábra: Az I és az V/1/3 jelű B típusú mellékvályú keresztmetszete a távolság függvényében
 Jelmagyarázat: d. a lejtő felső peremétől mért távolság, T: vályúkeresztmetszet terület
 Fig. 2. The cross-section area of the type B tributary channel marked V.1.3 taking into consideration the distance
 Legend: d. distance from the upper margin of the slope, T. cross-section area



3. ábra: Az V/1/3/3 jelű A típusú vályú keresztmetszet területe a távolság függvényében
 Jelmagyarázat: d. a lejtő felső peremétől mért távolság, T: vályúkeresztmetszet terület
 Fig.3. The cross-section area of the type A tributary channel marked V.1.3.3. taking into consideration the distance
 Legend: d. distance from the upper margin of the slope, T. cross-section area

A különböző vizek összefolyásánál örvénylés alakul ki, amelynek az ötletét a folyók összefolyásának esetéből nyertük. *LANE et al. (2000)* szerint ugyanis ezek összefolyásánál különböző áramlások alakulnak ki. A fő- és

mellékvályúk összekapcsolódásánál az örvények létrejöttét laboratóriumi kísérletekkel mutattuk ki (3. kép).



4. ábra: Örvény mintázatok és vályú kiszélesedések

Jelmagyarázat: I. örvények mintázata, II. vályú kiszélesedései, a. lokális örvénylezés, b. részben folytonos örvénylezés, c-d. folytonos örvénylezés, 1. vályúperem, 2. örvényes vízág

Fig. 4. Model of turbulence patterns and channel widenings

Legend: I. the pattern of the turbulences, II. the widenings of the channels, a. local turbulence, b. partly-continuous turbulence c-d. continuous turbulence, 1. channel margin, 2. turbulent rivulet

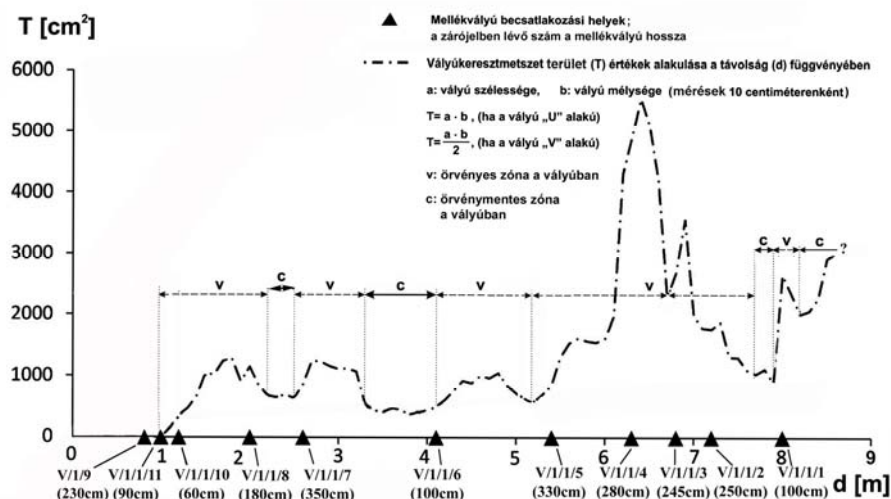
A vízág alatti oldódást okozza, ill. fokozza a vízág vízének az örvénylezéses áramlása (TRUDGILL 1985). Ekkor ugyanis örvénylezéses diffúzió jön létre. Örvénylezéses diffúziónál a diffúziós koefficiens 10^4 -szer nagyobb, mint molekuláris diffúziónál (ez utóbbi lamináris áramlásnál lép fel) a közet és az áramló víz között (DREYBRODT 1988, SLABE 1995). Továbbá figyelembe kell venni azt is, hogy az örvénylezés miatt légköri eredetű CO_2 kerülhet a vízbe (VINCENT 1983).

Az örvénylezés miatt több mészkő kerül oldatba. Ezért a vízágak örvényes szakaszainál a fővályúkon kiöblösödések jönnek létre. Modellünk szerint a vályúk vízágainak örvénylezése lehet folytonos, részben folytonos, vagy nem folytonos, tehát lokális (4. ábra). Az örvénylezés lehet belső eredetű,

vagy külső. Előző esetben a vízág tulajdonságainak változásai miatt alakul ki örvénylezés, amit okozhat pl. a lejtőszög növekedése, vagy a vályútalp érdessége. Utóbbi esetben vályún kívüli hatás miatt (pl. mellékvályú vízágának hatására) következik be örvénylezés. A fentiekből kiindulva a vízágak különböző örvényleési mintázatai az alábbi vályúalakzatokat alakíthatják ki (4. ábra):

- Minél rövidebb örvénylező szakaszok fejlődnek ki a főág vízágán, a fővályú kiszélesedései annál kisebb amplitúdójúak (4a ábra). Minél hosszabb örvénylező szakaszok fejlődnek ki, a főág vízágán, a fővályú kiszélesedései annál nagyobb amplitúdójúak (4b. ábra).
- Minél sűrűbben vannak az örvényes szakaszok a főág vízágán, a fővályú kiszélesedései annál közelebb esnek egymáshoz (4c. ábra).
- Ha a vízág örvényleése folyamatos, a fővályú minden része hasonlóan növekszik, ezért kiszélesedések azon nem jönnek létre. A vályún akkor sem jönnek létre kiszélesedések, ha a vízágban nincs örvénylezés (4d. ábra).
- Ha a vízág örvényleése folytonos, de eltérő intenzitású, a vályún egymásba kapcsolódó eltérő szélességű kiszélesedések jönnek létre.

A fővályúk keresztmetszeteinek változásait a távolság függvényében összehasonlítva a vizsgált vályúrendszerek két csoportba sorolhatók. Ezek a vályúkiöblösödés mintázatok az alábbi örvényleési mintázatokkal értelmezhetők.



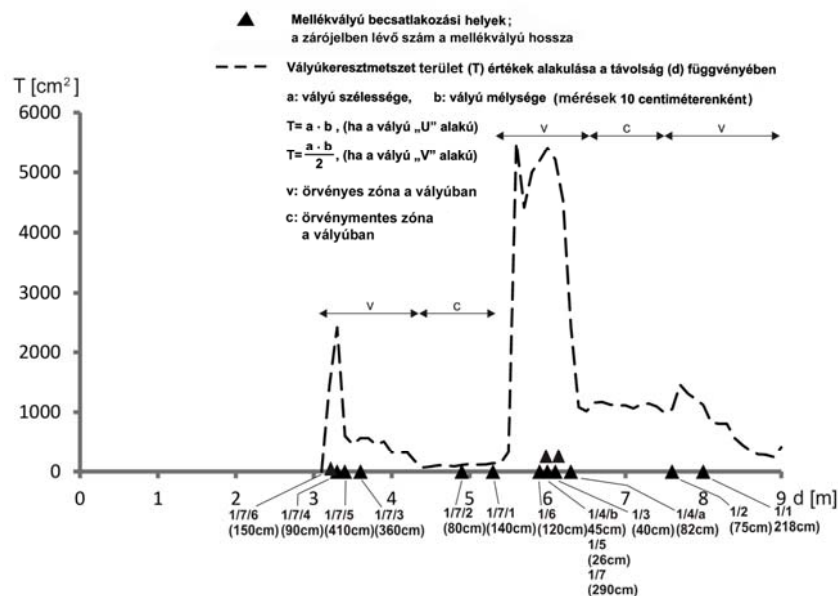
5. ábra: Nagy maximum gyakoriságú vályú (V.1. jelű vályúrendszer fővályúja) vályúkeresztmetszet területe a távolság függvényében

Jelmagyarázat: d: a lejtő felső peremétől mért távolság, T: vályú keresztmetszet terület

Fig. 5. Cross-section area of great maximum frequency channel (the main channel of the rinnenkarren system marked V.1.) taking into consideration the distance

Legend: d: distance from the upper margin of the slope, T cross-section area

- a. A vályúkon a lokális maximum helyek száma nagy, de ezek tágassága kicsi (nagy lokális maximum gyakoriságú vályú, 5. ábra). E vályúk vízágain több és kis kiterjedésű örvénylezés jön létre.
- b. A vályúkon a lokális maximum helyek száma kicsi, tágassága viszont nagy (kicsi lokális maximum gyakoriságú vályú, 6. ábra). E vályúk vízágain kevés és kiterjedtebb örvénylezés szakasz képződik.



6. ábra: Kicsi maximum gyakoriságú vályú (XXVII. jelű vályúrendszer fővályúja) keresztmetszet területe a távolság függvényében

Jelmagyarázat: d: a lejtő felső peremétől mért távolság, T: vályú keresztmetszet terület

Fig. 6. Cross-section area of small maximum frequency channel (the main channel of the rinnenkarren system marked XXVII) taking into consideration the distance

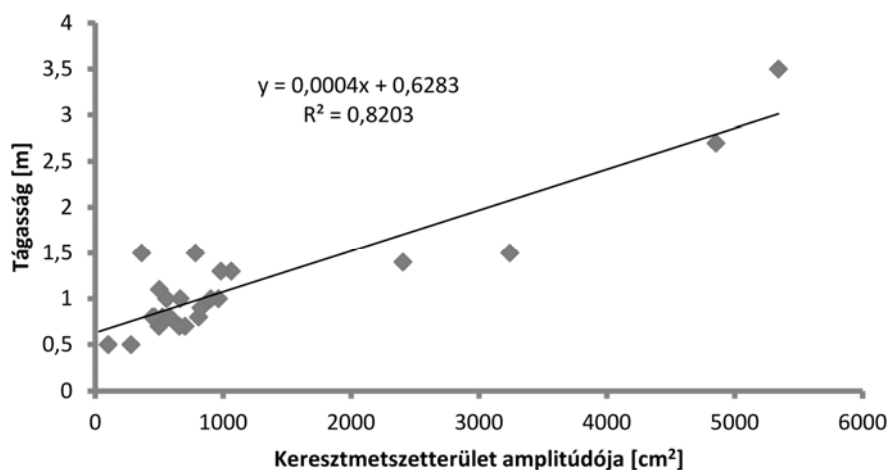
Legend: d: distance from the upper margin of the slope, T: cross-section area

4. Kiértékelés

Megállapítható, hogy a lokális maximum helyek tágassága és a lokális maximum helyek amplitúdója között megközelítőleg egyenes arányosság van (7. ábra). Tehát ahol hosszabb örvényes szakaszok alakulnak ki, ott a vályúk kiöblösödései nem csak hosszabbak, hanem nagyobb keresztmetszetűek is lesznek.

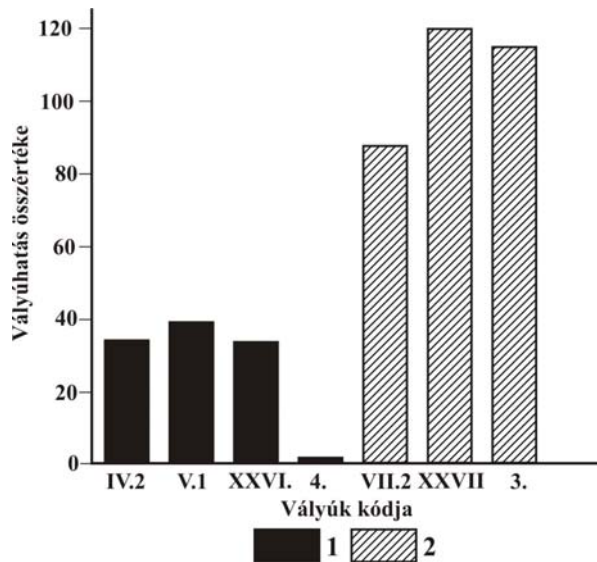
Ha a mellékvályúk vízágai örvénylest okoznak, akkor a kétféle mintázat típusba tartozó fővályúkon a vályúhatásnak is különböznie kell. Ugyanis ahol a fővályún a vályúhatás jelentős, a vízágban az örvénylezés intenzívebb és hosszabb lesz. A vályúhatás akkor nagy, ha nagy vízgyűjtőjű mellékvályúk néhány helyen csoportosulnak nagy sűrűséggel. Ekkor néhány nagy lokális maximum hely jön létre a fővályún. Ahol a vályúhatás kicsi, a

kis vízgyűjtőjű mellékvályúk kevésbé csoportosulnak. Ekkor sok kicsi lokális maximum hely jön létre a fővályún.



7. ábra: A különböző vályúrendszerek fővályúinak fő- és B típusú mellékvályúin a maximum helyek amplitúdója és tágassága közti kapcsolat

Fig. 7. Relationship between amplitude and ampleness of the maximum places on the type B main- and tributary channel of the different channel system



8. ábra: Különböző maximum gyakoriságú fővályúkra számított vályúhatás összértékek

Jelmagyarázat: 1. nagy maximum gyakoriságú fővályúknál, 2. kis maximumgyakoriságú fővályúknál

Fig. 8. The total values of channel effect calculated based on the main channels with different maximum frequency

Legend: 1. the total values of channel effect of great maximum frequency main channels 2. the total values of channel effect of small maximum frequency main channels

4.1. A vályúhatás szerepe

Összehasonlítottuk a nagy és kis lokális maximum gyakoriságú vályúk vályúhatás (H) értékeit. A 8. ábrán bemutatott fővályúk vályúhatásainak értékei azt mutatja, hogy a nagy lokális maximum gyakoriságú vályúkon a vályúhatás kisebb, mint a kis lokális maximum gyakoriságú fővályúkon. Megállapítható, hogy a nagy lokális maximum gyakoriságú fővályúkon az összegzett vályúhatás 40,00 alatt marad, míg az átlagos vályúhatás 3,84. A kis lokális maximum gyakoriságú fővályúkon ez az érték 84,00 feletti, ill. 21,09. Tehát a kis lokális maximum gyakoriságú fővályúk különböző részein a vályúhatások nagyobbak, mint a nagy maximum gyakoriságú fővályúk különböző részein. Ez a vizsgált fővályúk kétféle örvényességi mintázatát bizonyítja. Folytonos, vagy folytonosabb örvénylelés jellemzi a nagy lokális maximum gyakoriságú fővályúkat és nem folytonos a kis lokális maximum gyakoriságú fővályúkat.

A nagy öblösödéseknél tapasztalható, hogy több mellékvályú csatlakozik a fővályúhoz. E helyeken a mellékvályúk egymástól való távolsága 25-31 cm között ingadozik. Ugyanakkor a kis maximum gyakoriságú fővályúk mellékvályúinak a távolsága akár több méter is lehet. Ez arra utal, hogy a nagy kiöblösödéseknél az örvénylelés részben folytonos, tehát a mellékvályúk vízágainak hatására a fővályú vízágában kialakított örvényes szakaszok egymásba kapcsolódtak. A laboratóriumi kísérletünk szerint már 45 cm-es mellékvályú távolságoknál is részben folytonos örvénylelés jön létre. Tehát a fentebb közölt mellékvályú távolságok esetén az örvényes szakaszok összekapcsolódhatnak. Ez jelentős tágasságú lokális maximumok (kiöblösödések) kialakulását eredményezi. Így az V.1 jelű vályún, az V.2, V.3 és az V.4 jelű vályúknál lévő kiöblösödésnél, ahol a mellékvályúk átlagos távolsága 31 cm, a kiszélesedés tágassága mintegy 60 cm. A XXVII. jelű vályúrendszer fővályúján, az 1.6 és az 1.13 jelű mellékvályúknál lévő kiöblösödésnél, ahol a mellékvályúk távolsága 25 cm, 1,13 m tágasságú kiszélesedés észlelhető.

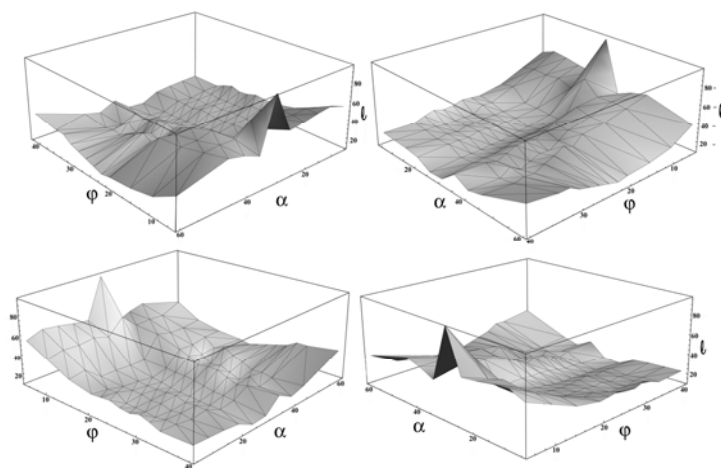
4.2. A lejtőszög szerepe

A laboratóriumi kísérletek szerint az örvényesség hossza a fő- és mellékvályú azonos vízhozama esetén elsősorban a lejtő meredekségétől függ. A lejtőszög növekedése során az örvényes szakasz átlagos hossza ugyanakkora becsatlakozási szögnél csökken (III. táblázat). Különböző becsatlakozási szögeknél az örvényes szakasz átlagos hossza részben nő, ill. erőteljes szóródást mutat növekvő becsatlakozási szögek esetén. Az örvényes szakasz kezdetének átlagos távolsága ugyanakkora becsatlakozási szögnél a lejtő-

szög növekedésével csökken, növekvő becsatlakozási szögnél közel állandó és szóródik, majd 40° - 45° -tól csökken (*III. táblázat*). Ez arra utal, hogy az örvényesség helye nagymértékben függ a becsatlakozási szögtől. Az örvényes szakasz eltolódásának oka: örvénylés csak akkor jön létre, amikor a két vályú vízága keveredik. A keveredési hely előtt a két vízág egymás mellett áramlik a fővályúban.

4.3. A becsatlakozási szög szerepe

A becsatlakozási szög hatása az örvényes szakasz hosszára és helyére tapasztalható lesz, ha azok értékeit különböző lejtőszögeknél hasonlítjuk össze. Kis lejtőszögeknél (10° alatt) 30° -os becsatlakozási szövig nő, majd 60° -ig csökken az örvényes szakasz hossza. Ennél nagyobb lejtőszögeknél a becsatlakozási szög növekedésével az örvényes szakaszok hossza nem csökken, hanem inkább némi növekedést mutat (*9. ábra, III. táblázat*). A becsatlakozási szögeket tekintve kisebb lejtőszögnél 20° -os becsatlakozási szövig inkább nő az örvényes szakasz kezdetének a távolsága a becsatlakozási helyhez képest. Nagyobb becsatlakozási szögeknél inkább csökken az örvényes szakasz kezdetének a távolsága. Nagyobb lejtőszögeknél (32° - 34° -tól) kisebb becsatlakozási szögnél az örvényes szakasz kezdetének a távolsága nő. Még nagyobb becsatlakozási szögeknél az örvényes szakasz kezdetének a távolsága kevésbé nő, végül csökkenésbe megy át (*10. ábra, III. táblázat*).

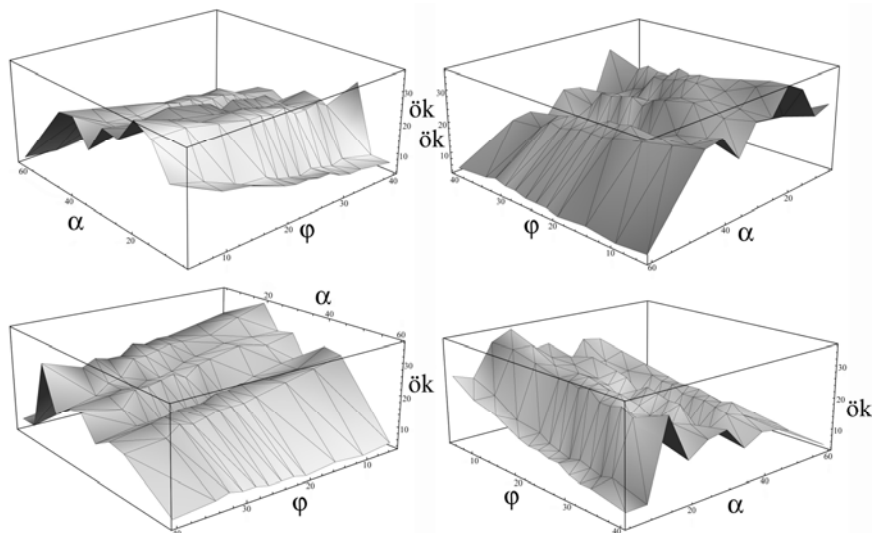


9. ábra: Az örvényes szakasz hossza különböző nézetekben (a *III. táblázat* adatainak a felhasználásával)

Jelmagyarázat: p : lejtőszög, α : mellékvályú becsatlakozási szöge, l : az örvényes szakasz hossza

Fig. 9. The length of the turbulent zone from different aspects (based on the data of Table III)

Legend: p : slope angle, α : conjunction angle of the tributary channel, l : the length of the turbulent zone



10. ábra: Az örvényes szakasz kezdetének a távolsága a becsatlakozási helyhez képest különböző nézetekben (a III. táblázat adatainak a felhasználásával)

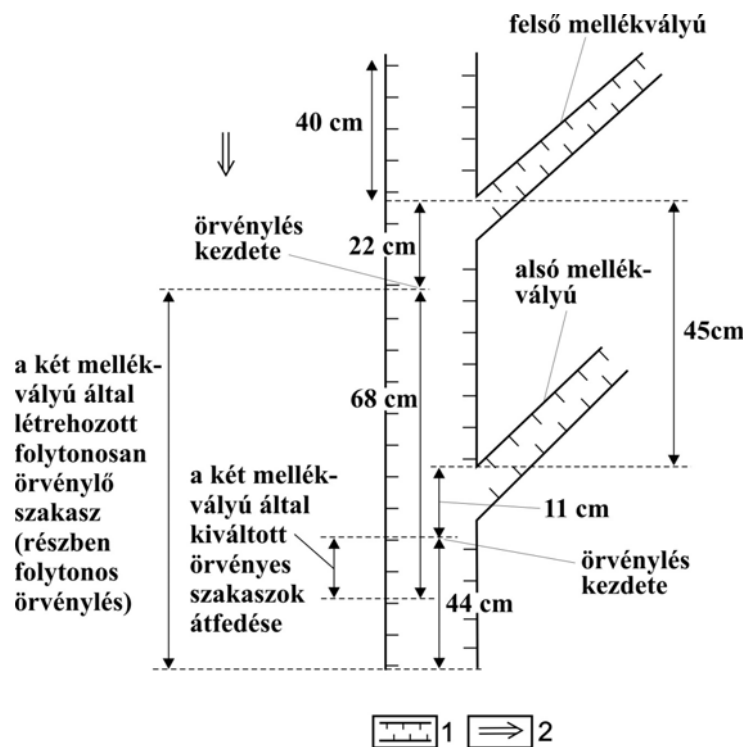
Jelmagyarázat: ρ : lejtőszög, α : becsatlakozási szög, δk : az örvényes szakasz hossza a becsatlakozási helytől
 Fig. 10. The distance of the beginning of the turbulent zone compared to the conjunction place from different aspects (based on the data of Table III)

Legend: ρ : slope angle, α : conjunction angle of the tributary channel, δk : the distance of the turbulent zone compared to the conjunction place

4.4. A mellékvályúk vízhozamának és a többi hatásnak az együttes szerepe

Az örvényes szakasz hossza a mellékvályúk vízhozamától, ill. a fő- és mellékvályú vízhozamának az arányától is függ. Így, ha a fővályú vízhozama 2,5-szerese a mellékvályú vízhozamának, akkor hosszabb, míg fordított esetben rövidebb az örvényes szakasz hossza (IV. táblázat). Minden vízhozam aránynál a lejtőszög változása, de a mellékvályú becsatlakozási szöge is hatással van az örvényes szakasz hosszára jelezve, hogy a lejtő meredeksége felülírja a vízhozam hatását. Közepes lejtőszögnél ($20-28^\circ$ között), nagy becsatlakozási szögnél (60°) és nagyobb mellékvályú vízhozamnál az örvényes szakasz hosszabb. Más lejtőszögeknél viszont kisebb mellékvályú vízhozam esetén lesz hosszabb az örvényes szakasz. Kicsi (5° -os) és közepes (45° -os) becsatlakozási szögeknél az örvényes szakasz nagyobb lejtőszögeknél akkor lesz hosszabb, ha a mellékvályú vízágának lesz nagyobb a vízhozama: így 5° -os becsatlakozási szögnél 26° -os lejtőnél nagyobb dőlésű lejtőn, továbbá 45° -os becsatlakozási szögnél 28° -nál nagyobb dőlésű lejtőn. A mellékvályú vízhozamának hatása akkor tapasztalható leginkább, ha a mellékvályúban áramoltatás helyett csak csepegtetünk. Ekkor a vízhozam lecsökkenése miatt a fővályúban nem alakul ki örvényes szakasz.

A kísérletek megmutatták az örvényes szakasz hossza és a mellékvályú sűrűsége közti kapcsolatot is. Így kicsi lejtőszögnél (5° - 20°) 45 cm-es mellékvályú távolságok esetén egyetlen örvényes szakasz jön létre a fővályúban (részben folytonos örvénylés). Ez azért lehetséges, mert a két mellékvályú által gerjesztett örvényléses szakasz egymásba ér. A jelenség nem egyszerűen azért következik be, mert a két örvényes szakasz összhossza meghaladja a két mellékvályú becsatlakozásának a távolságát, hanem mert a felső mellékvályú által gerjesztett örvényes szakasz az áramlás irányába elmozdul (V. táblázat, 11. ábra). 20° -nál nagyobb lejtőszögek esetén a két örvényes szakasz egy-egy lejtőszögnél közel kerül egymáshoz (pl. 30° -nál a köztük lévő örvénymentes szakasz mindössze 4 cm), de azok már nem kapcsolódnak egybe.



11. ábra: A két mellékvályú modell kísérlet elve 5° -os dőlésű hordozó lejtő esetén
Jelmagyarázat: 1. modell vályú, 2. a hordozó lejtő dőlésiránya, megjegyzés: a kísérlet során először a felső mellékvályúból történt vízbeáramoltatás, hogy ezáltal a felső mellékvályú által létrehozott örvénylési hossz megállapítható legyen

Fig. 11. The principle of model experiment at two tributary channel if slop angle is 5°
Legend: 1. model channel, 2. the dip direction of the bearing slope, notice: during the experiment the water flow happened first from the upper tributary channel, so we could establish the length of the turbulence which was created by the upper tributary channel

5. Következtetések

A fővályúban a mellékvályúk alatt örvények alakulnak ki. Az örvények a mellékvályúk hatására jönnek létre a fő- és mellékvályúk vízágainak keveredéseinél. Az így kiváltott örvényességet a hordozó lejtő is szabályozza. Ekkor azonban a lejtőszög változás csak az örvényességnek a helyét és a mellékvályúk által okozott örvényeknek a hosszát befolyásolja. Az örvények a vályúkon lokális maximum helyeket (kiöblösödéseket) hoznak létre. A vályúkon előfordulnak kisebb keresztmetszet változások is. Ezek valószínűleg a vályúk közvetlen vízgyűjtőjének a változásával magyarázhatók. A közvetlen vízgyűjtő változása miatt adott vályúszakaszt határoló térszínről beáramló vízmennyiség (és így oldóképesség) ugyanis változhat.

a. Az örvényes szakasznak, és így a vályúk kiöblösödésének a hosszára (tágasságára) és helyére hatással van a hordozó lejtő meredeksége (a mellékvályú közvetett hatása), a becsatlakozási szög, a fő- és mellékvályú vízhozamának aránya, valamint a mellékvályú vízhozama, a mellékvályúk sűrűsége (a mellékvályú közvetlen hatása). Ebben az esetben a hordozó lejtő által okozott hatás a mellékvályú által okozott közvetett hatás, míg az egyéb jellemzők (mint pl. a becsatlakozási szögé) a közvetlen hatások.

b. A fővályún kiszélesedések kialakulására megfelelő mellékvályú méret és sűrűség mellett 10° - 20° -os lejtőszögnél legnagyobb az esély. Ennél nagyobb lejtőszögnél a mellékvályúk hatása egyre kisebb (az örvényes szakaszok hossza csökken).

c. Valószínű, hogy az örvényes szakasz hosszára nem csak a fő- és mellékvályúk vízhozamának aránya hat, hanem önmagában a mellékvályú vízhozama is. Erre utal, hogy a mellékvályúban történt csepegtetés esetén nem alakul ki örvénylelés a fővályúban.

d. Minél rövidebb egy mellékvályú, és minél ritkábban fejlődtek ki a mellékvályúk, annál kisebb vályúhatások érik a fővályút. Így az örvénylelés hossza csökken, ill. kialakulására is egyre kisebb az esély. Ezért, ha a mellékvályúk rövidebbek és kisebb sűrűséggel fordulnak elő, kisebb az esély, hogy a fővályún kiszélesedések jöjjenek létre.

e. A mellékvályú sűrűség hatása az örvényképződésre és a fővályúk kiszélesedésére összetett. Akkor, ha a mellékvályúk sűrűsége nagy, sok helyen léphet fel örvénylelés és ezáltal a fővályú kiszélesedés. Ugyanakkor a nagy vályúsűrűség miatt, mivel a vízgyűjtők kisebbek lehetnek, a vízhozam is kisebb lehet. Kisebb mellékvályú sűrűségnél viszont a mellékvályúk vízhozama is nagyobb lehet. A vízhozam változása növelheti is, de csökkentheti is az örvényes szakaszok hosszát a becsatlakozási szög értékétől, ill. a lejtőszögtől függően.

f. Ha a mellékvályú sűrűség valamely fővályú egy szakaszán nő, ez elősegíti ezen a szakaszon az örvénylet hosszának, és így a kiszélesedésnek a növekedését. Ugyanakkor a mellékvályú sűrűség növekedése miatt csökkenhet a vályúk vízhozama. Ez a vályúhatást csökkentheti. Ez nem kedvez a részben folytonos örvényletnek. A lejtőszög és a vályúsűrűség változás együttes hatása az alábbi következménnyel jár:

- Csökkenő lejtőszögnél egyre kevesebb mellékvályúnál (tehát növekvő vízhozamnál) kevés, de hosszú kiszélesedés jön létre.
- Csökkenő lejtőszögnél egyre több mellékvályúnál (tehát kisebb vízhozamnál) sok, de rövidebb kiszélesedés alakul ki.
- Növekvő lejtőszögnél egyre kevesebb mellékvályúnál, de ha azok egyenletes eloszlásúak, egyre kevesebb és egyre rövidebb kiszélesedés képződik.
- Növekvő lejtőszögnél egyre kevesebb mellékvályúnál, de ha azok nem egyenletes eloszlásúak, egyre kevesebb és egyre inkább eltérő hosszúságú vályú kiszélesedés jön létre.
- Növekvő lejtőszögnél egyre több mellékvályúnál, ha azok egyenletes eloszlásúak, egyre több és egyre rövidebb kiszélesedés képződik.

g. Ha a mellékvályúk nagyon közel esnek egymáshoz (mintegy 25-30 cm-re, laboratóriumban kis lejtőszögnél 45 cm-re) az örvényes szakaszok összekapcsolódnak (részben folytonos örvénylet). A fővályún igen nagy kiszélesedések alakulnak ki.

h. Az egyes B típusú vályúknak regresszióval A és B típusú mellékvályúi alakulnak ki. Vályúrendszer jön létre, amelynek a fővályúja (az egykori magányos, mellékvályú nélküli B típusú vályú), differenciáltan növekszik.

i. A fő- és mellékvályúkban aktív időszakban (amikor a vályúkban vízág van) a vízhozamok aránya és így az örvényesség helye, hossza folyamatosan változhat. Emiatt valószínűleg az oldódási intenzitás helye és kiterjedése is változik a vályúban az idő függvényében.

Készült a TÁMOP 4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0006 pályázat támogatásával.

IRODALOM

BÖGLI, A. (1960): Kalklösung und Karrenbildung – Zeit. f. Geomorph. N. E. Supl. 2. p. 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.

- Crowther, J.* (1997): Surface, roughness and the evolution of karren forms at, Lluc, Sierra de Tramuntana, Mallorcac – Zeits. f. Geomorph. 41 (3) pp. 393-407.
- DREYBRODT, W.* (1988): Processes in karst Systems – Springer – Verlag, Berlin, Heidelberg 288 p.
- ECKERT, M.* (1898): Die Karren oder Schratten - Pet. Mitteilungen, pp. 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, Ltd., Chichester, 561 p.
- GLADYSZ, K.* (1987): Karren on the Quatsino Limestone. Vancouver Island - BSc thesis, McMaster University
- GINÉS, A.* (2009): Karrenfield landscapes and karren landforms. In: Ginés, A., Knez, M., Slabe, T., Dreybrodt, W. (szerk.) Karst rock features. Karren sculpturing. Založba ZRC. Institut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna. Carsologica, 9 pp. 13-24.. Ljubljana, Eslovènia.
- GINÉS, J.-GINÉS, A.* (2009): Mid-mountain karrenfields at Serra de Tramuntana in Mallorca Island. In: Ginés, A., Knez, M., Slabe, T., Dreybrodt, W. (szerk.) Karst rock features. Karren sculpturing. Založba ZRC. Institut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna. Carsologica, 9 pp. 375-390. Ljubljana, Eslovènia.
- GLEW, J. R.-FORD, D. C.* (1980): Simulation study of the development of rillenkarren – Earth Surface Processe, 5 pp. 25-36.
- HASERODT, K.* (1965): Untersuchungen zur Hohen - und Altersgliederung der Karstformen in den nördlichen Kalkalpen - Munchner Geogr. H. 27.
- HUTCHINSON, D. W.* (1996): Runnels, rinnenkarren and mäanderkarren: form, classification and relationships - In: *FORNÓS, J. J. GINÉS, Á.* (szerk.): Karren Landforms pp. 209-223, Universitat, de les Belears, Palma de Mallorca
- 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.
- LANE, S. N.-BRADBROOK, K. F.-RICHARDS, K. S.-BIRON, P. M.-ROY, A. G.* (2000): Secondary circulation cells in river channel confluences; measurement artefacts coherent flow structures? – Hydrological Processes 14 pp. 2047-2071.
- LOUIS, H.* (1965): (1968) Allgemeine Geomorphologie – Berlin 550 p.

- PERICA, D., MARJANAC, T.*, (2009): Types of karren and their genezis on the Velbit Mountain – In: Ginés, A.-Knez, M.-Slabe, T.-Dreybrodt, W. (eds.): Karst Rock Features, Karren Sculpturing Zalogba ZRC. Institut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna. Carsologica, 9 pp. 359-374. Ljubljana, Eslovènia.
- SLABE T.* (1995): Cave Rocky Relief – Znanstvenaraziskovalni Center Sazu, Ljubljana 128 p.
- SMART, P. L.-WHITAKER, F. F.* (1996): Development of karren landform assemblages – a case study from Son Marc, Mallorca. In: Fornós, J. J.-Ginés, A. (szerk.) Karren Land forms. Universitat de les Illes Balears. pp. 111-122. Palma.
- SWEETING, M. M.* (1955): Landforms in North-West Country Clare, Ireland - Trans. Inst. Br. Geog. 21. p. 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), Pauz Kiadó, Szombathely, pp. 7-30.
- VERESS M.* (2006): Hozzászólás Bauer Norbert: „A növényzet egy újabb lehetséges hatása a magashegységi karros térszínnek fejlődésére” című tanulmányához – Karszt és Barlang, pp. 49-52.
- VERESS M.* (2009): Rinnenkarren – In: Gines, A.-Knez, M.-Slabe, T.-Dreybrodt, W. (szerk.): Karst Rock Features, Karren Sculpturing Zalogba ZRC. Institut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna. Carsologica, 9 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.-SZUNYOGH, G.-ZENTAI, Z.-TÓTH, G.-CZÖPEK, I.* (2006): The effect of the wind on karren formation on the Island of Diego de Almagro (Chile) – Zeitschrift für Geomorphologie, 50. 4. pp. 425-445.
- VERESS M.-PÉNTEK K.-CZÖPEK I.-ZENTAI Z.-DEÁK GY.* (2007): Adatok a Totes-Gebirgei lejtők karrosodásához – Karsztfejlődés XII, BDF, Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, pp. 137-152.
- VERESS M.-PÉNTEK K.-ZENTAI Z.-MITRE Z.* (2008): Development of rinnenkarren on bare slopes and slopes with dwarfpine – Geographical studies of the University of West Hungary, Faculty of Sciences, Szombathely, pp. 52-68.
- VERESS M.-ZENTAI Z.-PÉNTEK K.-EÖRY M.-MITRE Z.* (2009): Vályúfejlődés csupasz lejtőkön – Karsztfejlődés XIV. TTMK, Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, pp. 139-159.

- VERESS M.-PÉNTEK K.-ZENTAI Z.-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.
- VINCENT, P.* (1983): The morphology and morphometry of some arctic Trittkarren – Zeit. f. Geomorph. 27 pp. 205-222.
- 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.