KARSZTFEJLŐDÉS II. (Totes Gebirge karrjai)
Szombathely, 1998. pp. 7-34.

SZIKLAKARROK KARSZTOSODÁSÁNAK MATEMATIKAI MODELLEZÉSE

SZUNYOGH GÁBOR

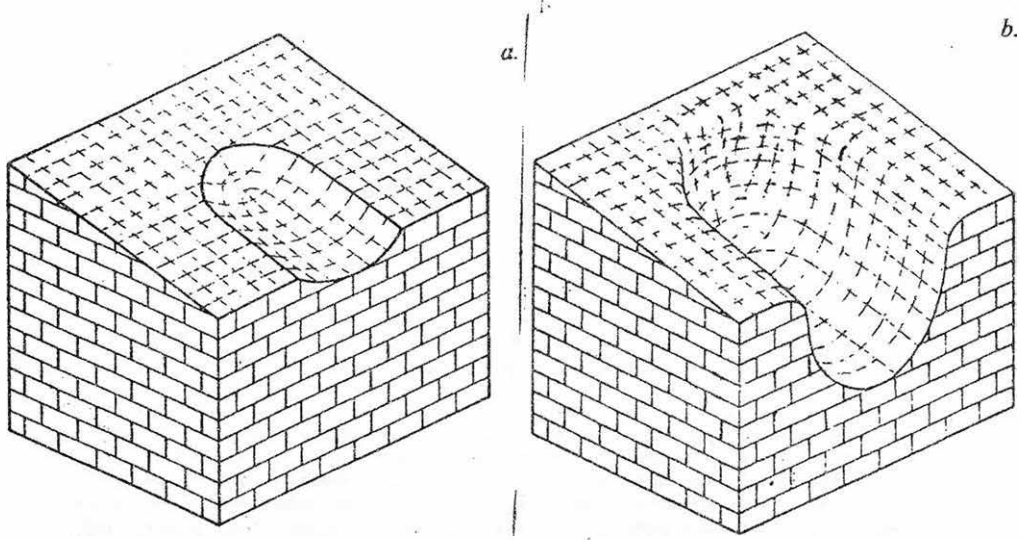
Berzsenyi Dániel Tanárképző Főiskola, Természetföldrajz Tanszék, Szombathely, Károlyi Gáspár tér 4.

Abstract: The theoretical-physical examination of karren processes on limestone surfaces is shown in this study. Based on our former examinations the simultaneous equations of inclined, not aven-like limestone erosion are given. The hydrodynamical, chemical and morphological regularities of karstification processes on rock surfaces are also considering. The differential geometrical relations, necessary to mathematical writing of rock surfaces change their form in time, are determined and quantitative relations of physical-chemical processes influenced the temporal change of these parameters are given. The main magnitude was the three variable function, which can give the form z(x,y,t) of karst surfaces. The determination of this form also postulates the calculation of the speed of flowing water on limestone surface, the concentration of solution $CaCO_3$ in water and the thickness of liquid film. The algorithm of computer solving of deduced partial differential simultaneous equations is given.

Előzmények

A Berzsenyi Dániel Tanárképző Főiskola Természetföldrajz Tanszékének Karsztkutató csoportja 1994-ben publikálta a szabad, talajjal nem borított mészkőfelszín karsztosodásának általános egyenletrendszerét (*SZUNYOGH*, 1994). Ezen egyenletrendszer "*végső célja*" az, hogy (megfelelő fizikai, kémiai és geológiai törvények, ill. szükséges kezdeti- és peremfeltételek ismeretében) elméletileg levezethetővé tegye valamely mészkőfelület kezdeti alakjának ismeretében a sziklafelszín későbbi formájának matematikai megadását, szolgálva ezzel a klasszikus karsztmorfológia tételeinek (*JAKUCS*, 1971) fizikai-kémiai alátámasztását (*1. ábra*). E matematikai modellezés természetesen nem helyettesíti, hanem csak kiegészíti a klasszikus karsztmorfológiai vizsgálatokat azáltal, hogy lehetővé teszi hipotézisek (elfogadott fizikai-kémiai törvényeken alapuló) ellenőrzését; kísérletileg nem vizsgálható, igen lassú folyamatok, pl. valamely sziklafelszín jelenlegi állapotának több évszázad vagy évezred múltán mutatkozó módosulásainak előrejelzését; jelenleg nem tanulmányozható fizikai (hidrológiai, klimatológiai, stb.) körülmények között folyó karsztosodás eredményeinek megítélést; globális környezetváltozások karsztosodásra kifejtett hatásának prognosztizálását és kvantitatív vizsgálatát, stb.

Mindennek érdekében felállítottunk egy többismeretlenes parciális differenciálegyenlet-rendszert, melynek megoldása egy olyan $F(\mathbf{r})$ függvény,



1. ábra. a.: A vizsgált, talajjal nem elborított mészkőfelszín t_0 időpillanathoz tartozó kezdeti alakja; b.: ugyanezen sziklafelszínnek a karsztkorrózió hatására megváltozott alakja egy későbbi, t időpillanatban
Figure 1. a.: The examined original form of limestone surface, which is not covered with soil, belonging to t_0 time; b.: the changed form of the same rock surface later in t time, for the influence of karst corrosion

mely megadja, hogy a tér valamely, **r** helyvektorú pontján mely *t* időpillanatban fog "*áthaladni*" az oldódás miatt helyzetét állandóan változtató (vándorló) kőzetfelszín. Keresett tehát a mészkőfelszín

$$t = F(\mathbf{r}) \tag{1}$$

alakban. Levezethető (*SZUNYOGH*, 1995.a), hogy a mészkőfelszín elmozdulásának (lepusztulásának) **w** sebességvektora [m/s]

$$\mathbf{w} = \frac{\mathbf{n}}{|\operatorname{grad} F|}, \tag{2}$$

ahol **n** a kőzet felületére merőleges egységvektor (azaz a mészkőfelszín u.n. normálisa).

A lepusztulás mértékéből kiszámítható, hogy milyen tömegű mészkő távozott a sziklafelszín egységnyi területéről időegység alatt, azaz kifejezhető az oldatba jutó mészkő u.n. q_k tömegáram-sűrűsége [kg/m^{2}s]:

$$q_k = -\rho_k \mathbf{w} \cdot \mathbf{n}, \tag{3}$$

ahol ρ_k a mészkő sűrűsége [kg/m^3].

A tömegmegmaradás tételéből kiindulva bebizonyítható, hogy a kőzet felületéről eltávozó mészkő tömegáram-sűrűsége és a vízben oldott kalcium-karbonát koncentrációja között

$$\mathbf{v} \cdot \operatorname{grad} c = \frac{q_k}{h} + \frac{c}{\rho_V h} \mathbf{q}_v \mathbf{n} \tag{4}$$

kapcsolat áll fenn, ahol v a mészkő felszínén szivárgó víz sebessége [m/s], h a folyadékréteg vastagsága [m], $\mathbf{q}_v$ pedig az oldószer-utánpótlást jelentő csapadékhozam (azaz a kőzetfelszín egységnyi területére időegység alatt hulló csapadék tömege [kg/m^{2}s]).

A szivárgó víz v sebességét alapvetően (a g nehézségi gyorsuláson keresztül) a gravitációs- és (a víz η viszkozitási tényezőjén át) a súrlódási erő határozza meg, mely a Navier-Stokes egyenletből (*FRANK—MIESES*, 1967) levezethetően

$$\mathbf{v} = \frac{\rho_V h^2}{3\eta} \left[\mathbf{g} - (\mathbf{g} \cdot \mathbf{n}) \mathbf{n} \right]. \tag{5}$$

A tömegmegmaradás tétele a vízre külön is érvényes, mely a kontinuitási egyenletből levezethetően

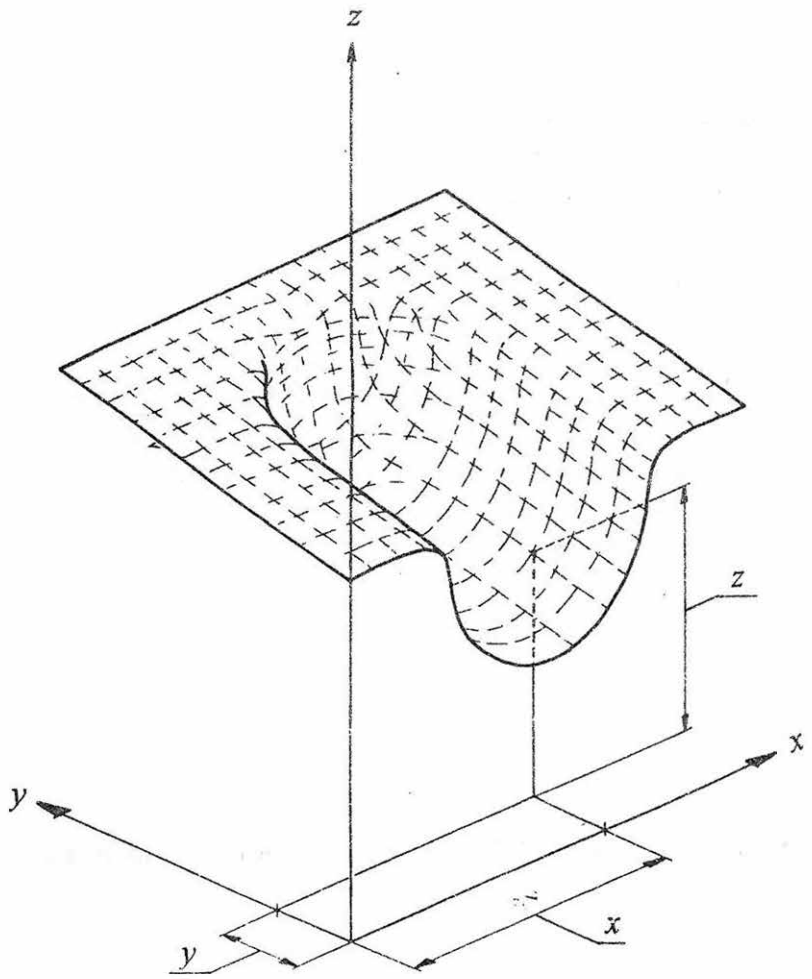
$$\oiint_{(A)} (\rho_V \mathbf{v} - \mathbf{q}_v) \, \mathrm{d}\mathbb{A} = 0 \tag{6}$$

alakot ölt, ahol A egy, a vízfilmben kijelölt, nyugvó térfogatot határoló zárt felület, ρ_v pedig a víz sűrűsége (kg/m^3).

Az oldódás utolsó egyenlete a karsztosodás kémiai törvényszerűségeit tükrözi, kifejezve, hogy időegység alatt annál több mészkő kerül oldatba, minél agresszívebb a víz, azaz minél nagyobb a különbség a maximálisan feloldható és a ténylegesen oldatban lévő kalcium-karbonát között:

$$q_k = k(c_e - c). \tag{7}$$

ahol k az oldódás reakciósebességének állandója [m/s] (*DREYBROT, W.* 1988).

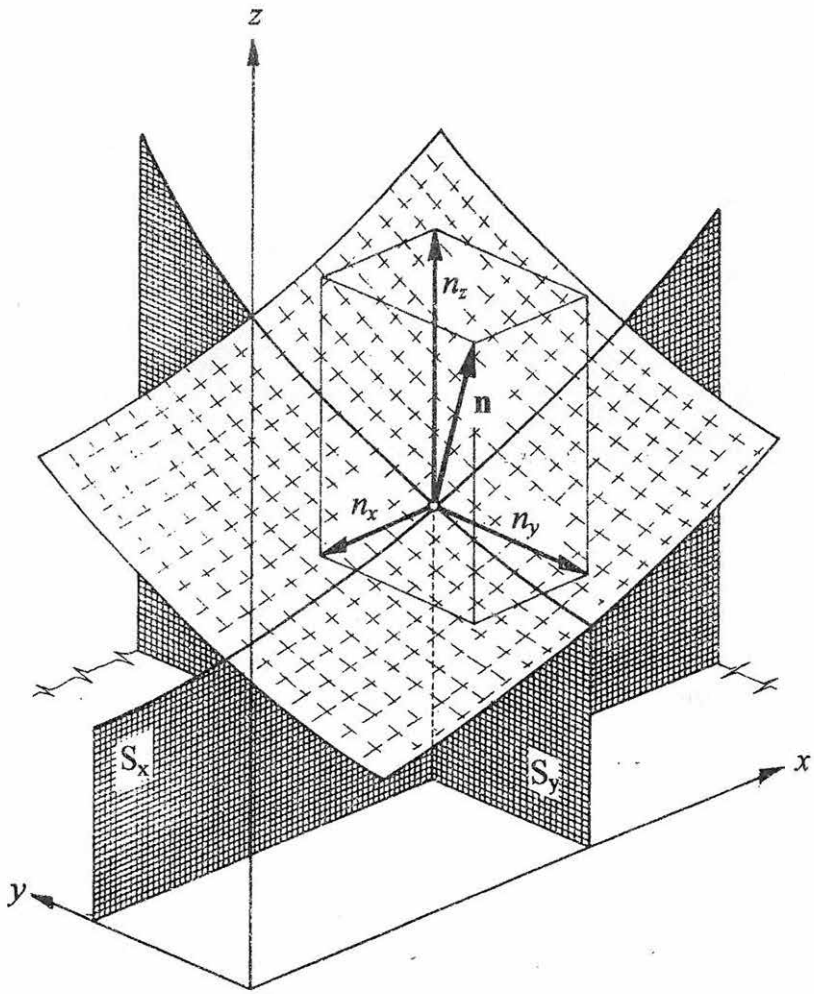


2. ábra. A sziklafelszín pillanatnyi helyzetének megadására szolgáló koordináta-rendszer elhelyezkedése
Figure 2. System of co-ordinates for giving the temporary place of rock surface

A (2)—(7) egyenletrendszer általános abban az értelemben, hogy érvényességi köre független az alkalmazott koordinátarendszer megválasztásától, azaz rugalmasan igazítható a modellezendő karsztos folyamat geometriájához legszerencsésebben illeszkedő koordinátarendszerhez. Ez az általánosság azonban bizonyos hátrányokkal is jár: a közölt egyenletek (eredeti formájukban) közvetlenül nem alkalmasak egy-egy konkrét feladat megoldására, hanem előzőleg konkretizálni kell az adott feladathoz illeszkedő koordinátarendszerre.

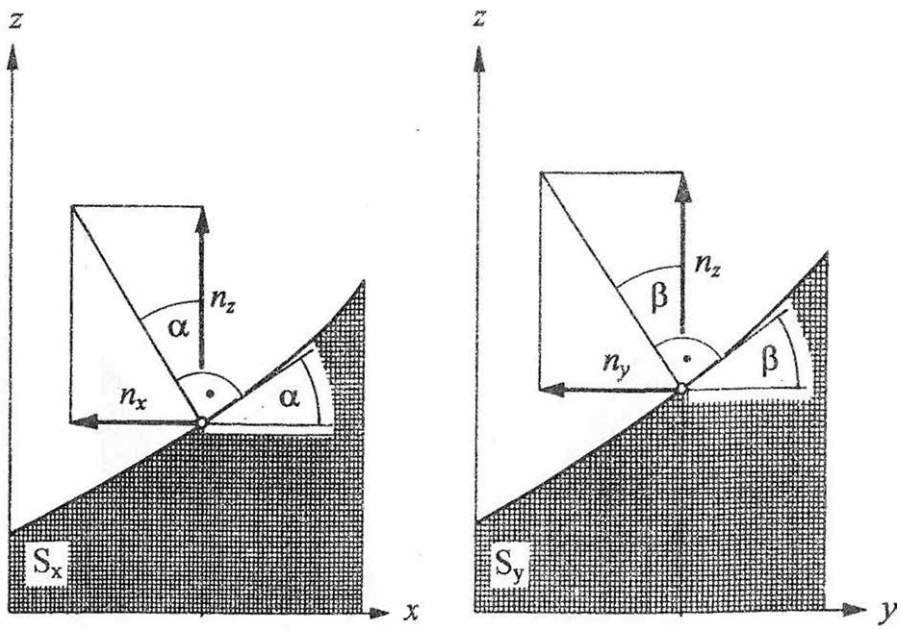
Jelen tanulmányban ezt a konkretizálást Descartes-féle koordinátarendszer esetére végezzük el, mert ez illeszkedik legszerencsésebben a magas-

hegységi sziklafelszineken lezajló karsztos folyamatok matematikai vizsgálatához.



3. ábra. A kőzet felületére merőleges un. normálvektor elhelyezkedése és felbontása komponensekre

Figure 3. The place of normal vector, which is perpendicular to rock surface and its analysis for components



4. ábra. A kőzetfelszín normálvektorának n_x, n_y és n_z komponensei a 3. ábrán feltűntetett S_x és S_x síkmetszetekben ábrázolva

Figure 4. The n_x, n_y and n_z components of normal vector on rock surface represented in S_x and S_y plane sections on Figure 3

A szabad mészkőfelszín leoldódásának egyenletrendszere Descartes-féle koordinátarendszer alkalmazása esetében

A mészkőfelület térbeli megadására alkalmazzunk olyan derékszögű koordinátarendszert, melynek x és y tengelye vízszintes helyzetű, z-tengelye pedig függőlegesen felfelé mutat (*2. ábra*).

A (2)—(7) egyenletekben szereplő valamennyi ismeretlen az x és y térkoordináták, valamint a t idő függvényei. Célunk ezen függvények meghatározása, ill. végeredményül a kőzetfelület matematikai megadását kifejező

$$z = f(x, y, t) \tag{8}$$

összefüggés megkeresése.

A kőzetfelület normálvektora Descartes-féle koordináta-rendszerben

Minthogy a fenti egyenletrendszerben többször is előfordul a kőzetfelület normálisa, ezért mindenek előtt **n**-et kell kifejezni a felületet megadó $z(x,y,t)$ függvény deriváltjaiként (*3. ábra*). Jelölje a felület x-irányba vett dőlésszögét α, y-irányba értelmezett dőlését pedig β. A felület normálvektorának n_x, n_y és n_z komponenseire felírható (*4. ábra*), hogy

$$n_x = -n_z \operatorname{tg}\alpha\,, \tag{9}$$

$$n_y = -n_z \operatorname{tg}\beta\,, \tag{10}$$

és

$$n_x^2 + n_y^2 + n_z^2 = 1. \tag{11}$$

A tgα és tgβ mennyiségek geometriailag a kőzetfelület x és y irányba vett meredekségeivel egyeznek meg, azaz kifejezhetők a kőzetfelületet megadó függvény parciális deriváltjaival:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\partial z}{\partial x}, \tag{12}$$

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{\partial z}{\partial y}. \tag{13}$$

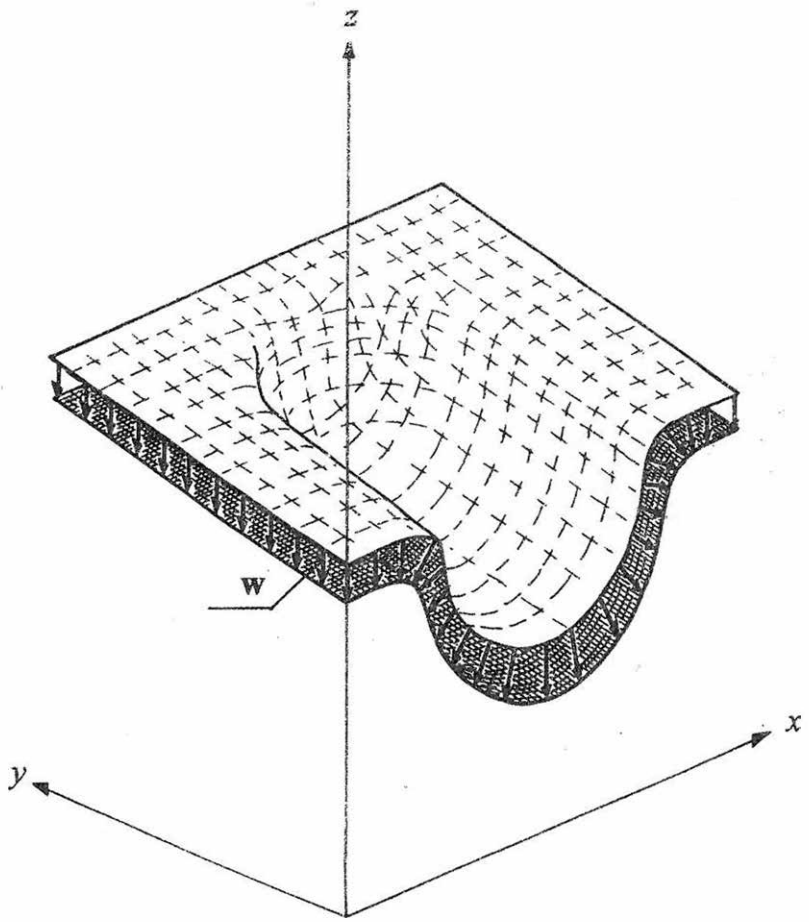
A (9)—(13) egyenletek n_x, n_y és n_z -re nézett megoldásai:

$$n_x = \frac{-\dfrac{\partial z}{\partial x}}{\sqrt{\left(\dfrac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\dfrac{\partial z}{\partial y}\right)^2 + 1}}, \tag{14}$$

$$n_y = \frac{-\dfrac{\partial z}{\partial y}}{\sqrt{\left(\dfrac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\dfrac{\partial z}{\partial y}\right)^2 + 1}}, \tag{15}$$

és

$$n_z = \frac{1}{\sqrt{\left(\dfrac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\dfrac{\partial z}{\partial y}\right)^2 + 1}}. \tag{16}$$



5. ábra. A lepusztulás sebességvektorának értelmezése
Figure 5. The interpretation of speed vector of denudation

A (14)—(16) lehetővé teszi a kőzetfelületre merőleges egységvektor Descartes-féle koordináta-komponenseinek kiszámítását a felület egyenletének ismeretében.

A kőzetfelület lepusztulásának sebessége

A karsztkorrózió miatt a kőzet felszíne w sebességgel lassan, de folyamatosan mozog, süllyed. w abszolút értékét az időegység alatt lepusztuló kőzetréteg vastagságaként értelmezzük. Iránya pedig merőleges a kőzet felületére, és a még ép mészkő belseje felé mutat (*5. ábra*).
w képletében szereplő gradienses kifejezést koordinátásan kiírva

$$\frac{1}{|\text{grad}\, F|} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\partial t}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial t}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial t}{\partial z}\right)^2}} \tag{17}$$

összefüggést kapjuk, mely az inverz-függvényekre érvényes deriválási szabályok figyelembe vételével

$$\frac{1}{|\text{grad}\, F|} = \frac{\frac{\partial z}{\partial t}}{\sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2 + 1}} \tag{18}$$

alakba hozható.

A (2)-szerint w meghatározásához a (18)-at még meg kell szorozni a felület normálisával, mely végül a (14)—(16) figyelembe vételével

$$w_x = \frac{-\frac{\partial z}{\partial t}\frac{\partial z}{\partial x}}{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2 + 1}, \tag{19}$$

$$w_y = \frac{-\frac{\partial z}{\partial t}\frac{\partial z}{\partial y}}{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2 + 1}, \tag{20}$$

és

$$w_z = \frac{\frac{\partial z}{\partial t}}{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2 + 1} \tag{21}$$

egyenleteket szolgáltatja. A sebesség abszolút értéke

$$|\mathbf{w}| = \sqrt{w_x^2 + w_y^2 + w_z^2}\,. \tag{22}$$

mely a kijelölt műveletek elvégzése után

$$|\mathbf{w}| = \frac{\left|\frac{\partial z}{\partial t}\right|}{\sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2 + 1}} \tag{23}$$

alakot ölti.

A leoldódó kőzet tömegáram-sűrűsége

A mészkő felületéről távozó anyag tömegáram-sűrűségére megadott (3) összefüggés a (14)—(15) és (20)—(22) kifejezések figyelembe vételével (a (3)-ban kijelölt skaláris szorzások és egyenletrendezések után)

$$q_k = -\rho_k \frac{\frac{\partial z}{\partial t}}{\sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2 + 1}} \tag{24}$$

formát nyeri.

A (24) egyenletből nyilvánvalóan adódik, hogy ha a kőzet pusztul (azaz $q_k \geq 0$), akkor $\frac{\partial z}{\partial t} \leq 0$, tehát a felszín egyre alacsonyabbá válik, süllyed.

A kalcium-karbonát oldódásának kémiai egyenlete

Az oldódás kémiai egyenlete kifejezi, hogy időegység alatt annál több mészkő jut oldatba (azaz annál nagyobb a feloldódó kalcium-karbonát tömegáram-sűrűsége), minél agresszívebb a víz, azaz minél nagyobb a tényleges és a maximálisan oldatba vihető kalcium-karbonát mennyisége közötti különbség. Ezt a kapcsolatot matematikailag a (7) testesíti meg (*VERESS—PÉNTEK* 1990, 1992). Bal oldalába beírva a (24) által megadott tömegáram-sűrűséget, kapcsolatot nyerünk a kőzetfelület alakját megadó függvény deriváltjai és az oldatban található kalcium-karbonát koncentrációja között:

$$-\rho_k \frac{\frac{\partial z}{\partial t}}{\sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2 + 1}} = k(c_e - c). \qquad (25)$$

Kifejezve ebből $\frac{\partial z}{\partial t}$-t, egyenletet kapunk a kőzetfelület süllyedésének sebességére:

$$\frac{\partial z}{\partial t} = -k \frac{c_e - c}{\rho_k} \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2 + 1}. \qquad (26)$$

A (26)-ből kiolvasható, hogy mennél agresszívebb a víz (azaz mennél nagyobb a különbség a víz egyensúlyi (c_e) és tényleges (c) kalcium-karbonát koncentrációja között, tehát mennél nagyobb a (c_e-c)), annál gyorsabban pusztul a kőzet. Látható továbbá, hogy a terület lejtése (melyet a (12) és (13) nyomán a $\frac{\partial z}{\partial x}$ ill. a $\frac{\partial z}{\partial y}$ mennyiségek fejeznek ki) szintén növelő szerepet játszik a felszín süllyedésének sebességében.

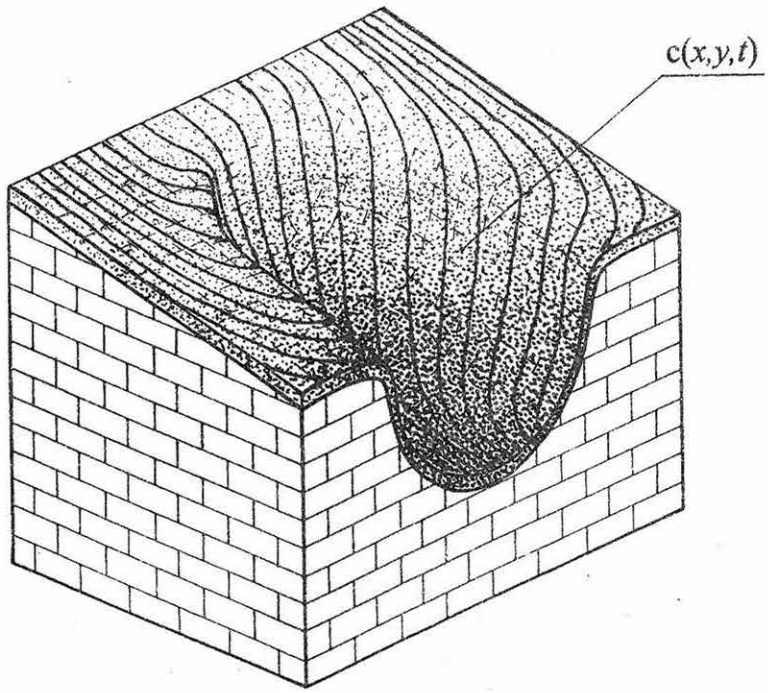
Vizsgáljuk meg a (26) alapján $\frac{\partial z}{\partial t}$ előjelét, amit tényezőinek analízise nyomán ítélhetünk meg! A (26) jobb oldalának első tényezőjeként álló k egy kémiai állandó, mely pozitív szám. Hasonlóképp pozitív a kőzet sűrűsége is (ρ_k), mely nevezőben foglal helyet.

A (26) második, a számlálóban álló tényezője negatív nem lehet, mert az túltelített oldatot reprezentálna, ami pedig korrózió esetén lehetetlen, azaz

$$c_e - c \geq 0. \qquad (27)$$

A (26) utolsó tényezője pedig négyzetösszegekből vont pozitív gyök, tehát

$$\sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2 + 1} \geq 0. \qquad (28)$$



6. ábra. A sziklafelszínen szivárgó vízfilmben oldva tartott kalcium-karbonát térbeli eloszlása

Figure 6. The spatial dispersion of $CaCO_3$ in the liquid film sweated on rock surface

A fentiekből kiderül, hogy a (26) jobb oldalán álló valamennyi mennyiség pozitív, így szorzatuk is pozitív. Mivel azonban a (26)-ot egy (–) előjel is kiegészíti, megállapítható, hogy

$$\frac{\partial z}{\partial t} \leq 0, \tag{29}$$

tehát karsztkorrózió hatására a kőzet felszíne nem kerülhet magasabbra, mint korábban volt, hanem csak süllyedhet. (Az idő múlásával z, azaz a mészkő felszínének tengerszínt feletti magassága egyre kisebb és kisebb.) E látszólag nyilvánvaló, a karsztológiából ismert tétel matematikai "*visszatükrözése*" azonban a levezetett összefüggések jóságát igazolja.

A kőzet felszínén szivárgó víz oldott kalciumkarbonát-tartalmának térbeli alakulása

Miközben a víz a kőzet felszínén áramlik, folyamatosan vesz fel kalcium-karbonátot. Az oldás sebessége a kőzetfelület különböző pontjaiban azonban egymástól eltérő, hiszen az számos tényezőtől, mindenek előtt a

vízben már korábban feloldott kalcium-karbonát mennyiségétől (c) és a vízfilm áramlásának sebességétől (v) függ (*6. ábra*). Mindezt a (4) egyenlet veszi figyelembe, mely Descartes-féle koordináta-rendszerben felírva:

$$\frac{\partial c}{\partial x} v_x + \frac{\partial c}{\partial y} v_y = \frac{q_k}{h} + \frac{c}{\rho_V h} \mathbf{q}_v \mathbf{n}, \tag{30}$$

ahol v_x és v_y a víz sebességvektorának x- és y-irányú komponensei, h a kőzet felszínén szivárgó vízfilm vastagsága, $\mathbf{q}_v$ pedig a csapadékhozam. A (30) így kapcsolatot teremt a víz sebessége, kémiai összetétele, a korrodált kőzet tömege és a területre hulló csapadék hozama között.

$\mathbf{q}_v$ vektor-komponensei Descartes-féle koordináta-rendszerben

$$\mathbf{q}_v = \begin{cases} 0, \\ 0, \\ -q_v. \end{cases} \tag{31}$$

ahol q_v egy pozitív szám. Mértékegysége: kg/m^{2}s.

A (30) jobb oldalának első tagjába helyettesítsük q_k (7)-ben megadott alakját, a második tagjában pedig $\mathbf{q}_v$ (31)-ban megadott kifejezését. A kőzetfelület $\mathbf{n}$ normálisának (14)—(16) egyenleteit figyelembe véve végezzük el a kijelölt skaláris szorzást! Végül

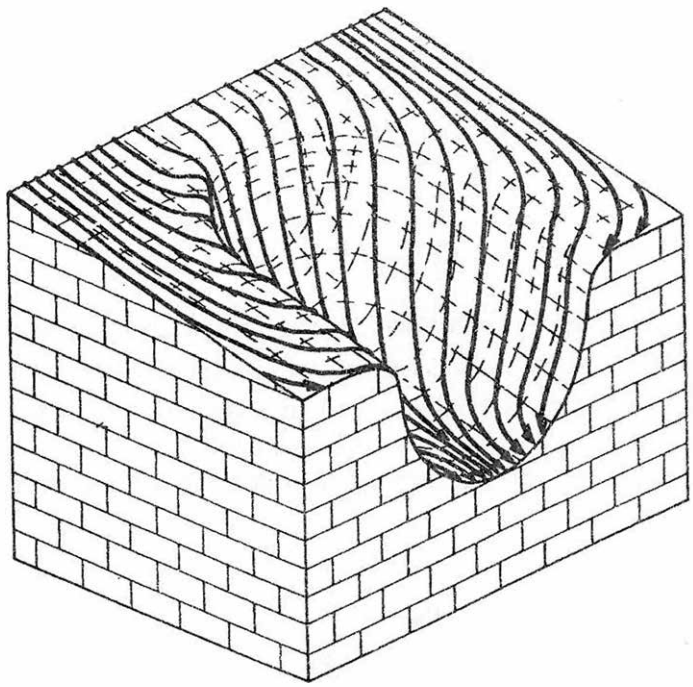
$$\frac{\partial c}{\partial x} v_x + \frac{\partial c}{\partial y} v_y = k \frac{c_e - c}{h} - \frac{c}{\rho_V h} q_v \tag{32}$$

egyenletet nyerjük a feloldott kalcium-karbonát koncentrációjának térbeli eloszlását megadó egyenletre.

A (32) számot ad arról, hogy a kőzet felszínén szivárgó oldat kalcium-karbonát koncentrációjára a víz agresszivitása (c_e-c) növelő hatással van, hiszen az agresszív víz oldja a mészkövet, míg a csapadékból származó vizutánpótlódás csökkenti a koncentrációt (hígítja az oldatot), u.i. a (32) jobb oldalán q_v negatív előjellel szerepel.

A kőzetfelszínen áramló víz sebessége

A víz áramlását a nehézségi erő váltja ki, a folyadéksúrlódás pedig fékezi. Az áramlási viszonyok tisztázásánál elvileg a tehetetlenségi erőket is



7. ábra. A sziklafelszínt elborító vízfilm áramvonalai
Figure 7. Streamlines of liquid film covered the rock surface

figyelembe kellene venni, de viszonylag vékony rétegben áramló vízfilmben az áramlás olyan lassú, hogy az utóbbiak az előbbi kettő mellett elhanyagolhatók (*7. ábra*). Természetesen nagysebességű áramlásnál a Navier-Stokes egyenlet bal oldalán már a tehetetlenségi erőket is figyelembe vevő teljes alakjával kell dolgozni (*SZUNYOGH* 1995.b).

A sebességre megadott (5)-ös számú összefüggésben előfordul a nehézségi gyorsulás **g** vektora. Mivel **g** nyilvánvalóan függőleges és lefelé mutat, ezért csak *z*-irányú vektorkomponenssel rendelkezik, azaz

$$\mathbf{g} = \begin{cases} 0, \\ 0, \\ -g, \end{cases} \tag{33}$$

ahol g a nehézségi gyorsulás abszolút értéke (10 m/s^2). Elvégezve az (5) jobb oldalán szereplő **gn** skaláris szorzást, a szükséges rendezések után a víz sebességének vektor-komponenseire

$$v_x = -\frac{\rho_V g h^2}{3\eta} \frac{\frac{\partial z}{\partial x}}{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2 + 1}, \tag{34}$$

$$v_y = -\frac{\rho_V g h^2}{3\eta} \frac{\frac{\partial z}{\partial y}}{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2 + 1}, \tag{35}$$

$$v_z = -\frac{\rho_V g h^2}{3\eta} \frac{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2}{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2 + 1} \tag{36}$$

egyenleteket nyerjük.

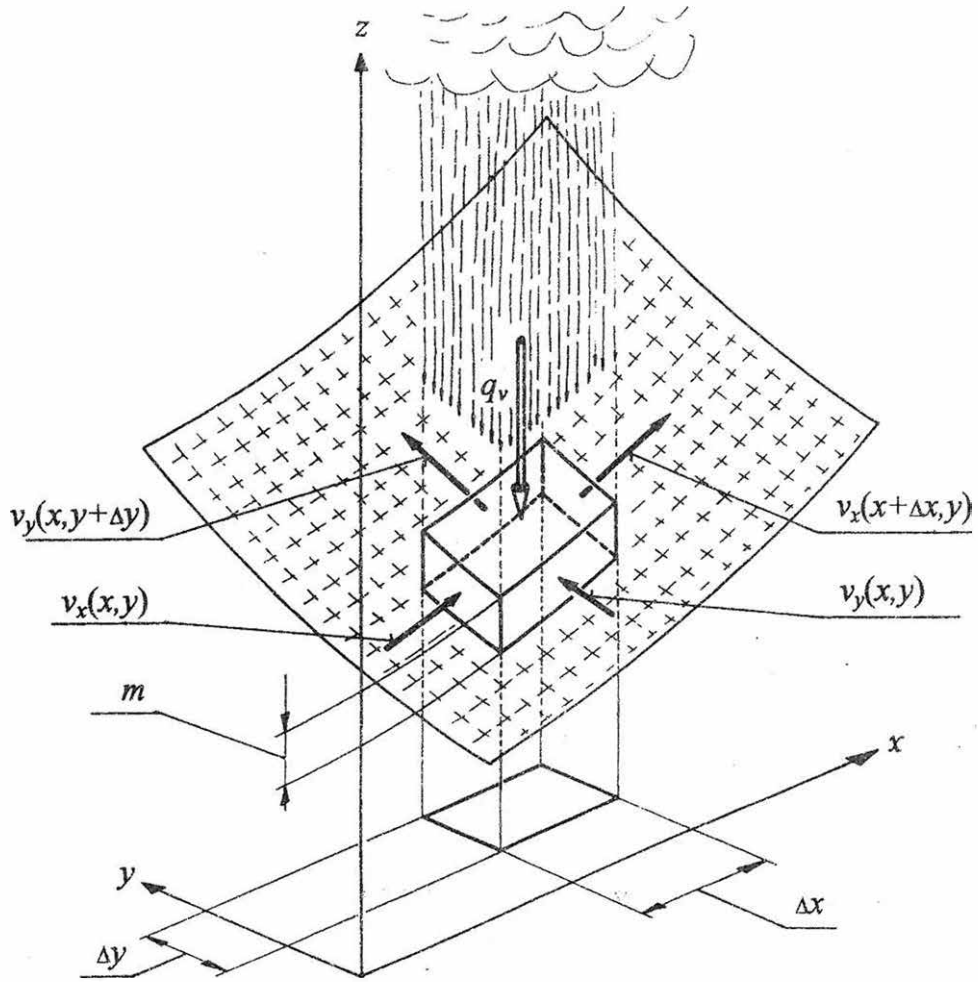
A (34)—(36) képletekben szereplő (-) előjel kifejezi, hogy ha a felület az x vagy az y tengely irányába nézve emelkedik, akkor a víz visszafelé, azaz az origó irányába folyik, tehát

$$\text{ha } \frac{\partial z}{\partial x} \geq 0, \text{ akkor } v_x \leq 0,$$

vagy (37)

$$\text{ha } \frac{\partial z}{\partial y} \geq 0, \text{ akkor } v_y \leq 0.$$

Az összefüggések arról is számot adnak, hogy ha a felület meredek, azaz $\frac{\partial z}{\partial x}$ vagy $\frac{\partial z}{\partial y}$ nagy, akkor a víz is nagyobb sebességgel, azaz gyorsabban folyik. Látható továbbá, hogy a folyadék sebessége a vízréteg vastagságával négyzetesen növekszik. Következésképp korábbi feltevésünk helytálló abban az értelemben, hogy a vékony vízfilmben az áramlás lassú.



8. ábra. A mészkőfelszínen áramló víz teljes mélységét felölelő, "végtelenül kicsiny" térfogatelem, a tömegmegmaradás tételének alkalmazása érdekében

Figure 8. The "extremely little" volume elements showing the total depth of flowing water on limestone surface

A folyadékfilm vastagságának egyenlete

A mészkő felszínén szivárgó vízréteg vastagságának meghatározásához használjuk fel a víz tömegének megmaradását kifejező kontinuitási egyenletet éspedig olyan módon, hogy a (6) egyenlet alkalmazásának alapjául szolgáló zárt A' felületnek egy, az áramló folyadék teljes m mélységét magába foglaló (a *8. ábrán* bemutatott), kicsiny, Δx és Δy alapú, ferde hasábot vegyünk. Mármost ha elvégezzük a (6)-ban kijelölt integrálásokat, és Δx ill. Δy-t minden határon túl csökkentjük (azaz határértékben Δx ill. Δy-nal nullához tartunk), akkor a (6) alábbi változatához jutunk:

$$\frac{\partial(mv_x)}{\partial x}+\frac{\partial(mv_y)}{\partial y}=-\frac{\mathbf{q}_v\mathbf{n}}{\rho_V}. \qquad (6^*)$$

Az egyenlet bal oldalán előfordul a víz mélységét kifejező m mennyiség. Mivel a többi egyenletben a vízréteg h vastagsága szerepel (ami lejtős térszíneken folyó víz esetében nyilván kisebb, mint a víz függőleges irányba mért mélysége), ezért célszerű a (6*)-ban is m helyett áttérni h-ra.

m és h között (geometriai megfontolásokból következően) fennáll az

$$m=h\sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2+1} \qquad (38)$$

kapcsolat.

A (38) kifejezést a (6*)-ba helyettesítve, elvégezve a kijelölt deriválásokat, hosszadalmas (bár elemi) számítások után kapjuk, hogy

$$h\left(\frac{\partial v_x}{\partial x}+\frac{\partial v_y}{\partial y}\right)+v_x\frac{\partial h}{\partial x}+v_y\frac{\partial h}{\partial y}+v_x h\frac{\frac{\partial z}{\partial x}\frac{\partial^2 z}{\partial x^2}+\frac{\partial z}{\partial y}\frac{\partial^2 z}{\partial y\partial x}}{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2+1}+v_y h\frac{\frac{\partial z}{\partial x}\frac{\partial^2 z}{\partial x\partial y}+\frac{\partial z}{\partial y}\frac{\partial^2 z}{\partial y^2}}{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2+1}=$$

$$=\frac{q_v}{\rho_v}\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2+1}}. \qquad (39)$$

A (39) összefűzi a kőzetfelület differenciálgeometriai paramétereit (különböző irányokba mért dőlésszögeit és görbületeit), a víz áramlási sebességét és a folyadékfilm vastagságát.

Összefoglalás

A mészkő-sziklafelszinek korróziós folyamatának kvantitatív vizsgálata érdekében meg kell határozni a víz áramlási sebességvektorának $v_x(x,y,t)$ és $v_y(x,y,t)$ komponenseit, a folyadékfilm $h(x,y,t)$ vastagságát, a feloldott kalcium-karbonát $c(x,y,t)$ koncentrációját, végül a mészkőfelszín alakját megadó

$z=f(x,y,t)$ függvényt. A felsorolt öt ismeretlen az alábbi öt parciális differenciálegyenlet megoldásából nyerhető:

$$v_x = -\frac{\rho_V g h^2}{3\eta} \frac{\dfrac{\partial z}{\partial x}}{\left(\dfrac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\dfrac{\partial z}{\partial y}\right)^2 + 1}, \tag{40}$$

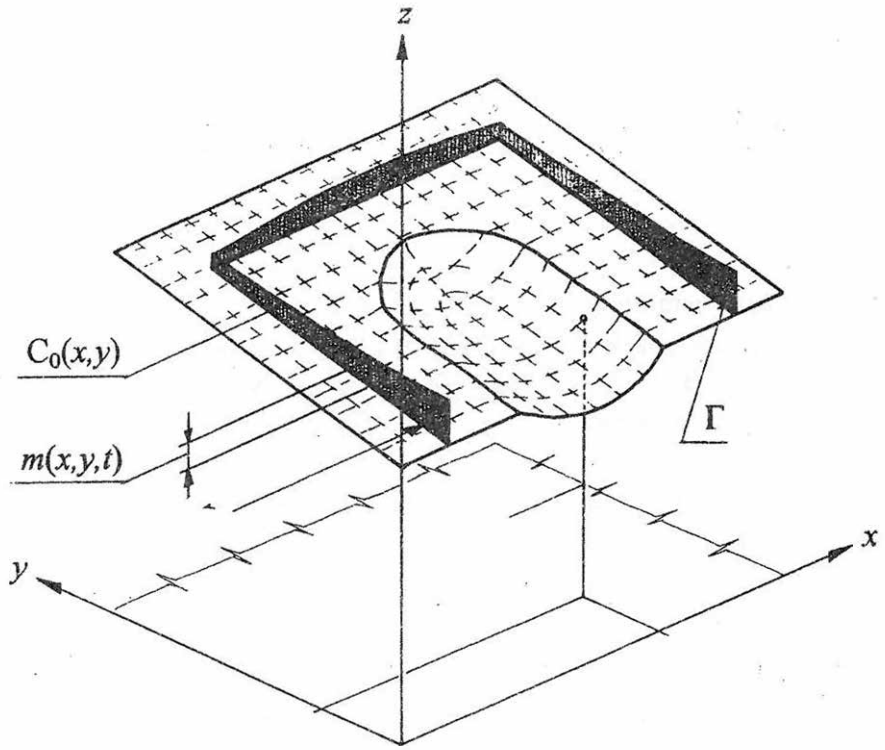
$$v_y = -\frac{\rho_V g h^2}{3\eta} \frac{\dfrac{\partial z}{\partial y}}{\left(\dfrac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\dfrac{\partial z}{\partial y}\right)^2 + 1}, \tag{41}$$

$$h\left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y}\right) + v_x \frac{\partial h}{\partial x} + v_y \frac{\partial h}{\partial y} + v_x h \frac{\dfrac{\partial z}{\partial x}\dfrac{\partial^2 z}{\partial x^2} + \dfrac{\partial z}{\partial y}\dfrac{\partial^2 z}{\partial y \partial x}}{\left(\dfrac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\dfrac{\partial z}{\partial y}\right)^2 + 1} + v_y h \frac{\dfrac{\partial z}{\partial x}\dfrac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} + \dfrac{\partial z}{\partial y}\dfrac{\partial^2 z}{\partial y^2}}{\left(\dfrac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\dfrac{\partial z}{\partial y}\right)^2 + 1} =$$

$$= \frac{q_v}{\rho_v} \frac{1}{\sqrt{\left(\dfrac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\dfrac{\partial z}{\partial y}\right)^2 + 1}}, \tag{42}$$

$$\frac{\partial c}{\partial x} v_x + \frac{\partial c}{\partial y} v_y = k \frac{c_e - c}{h} - \frac{c}{\rho_V h} q_v, \tag{43}$$

$$\frac{\partial z}{\partial t} = -k \frac{c_e - c}{\rho_k} \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2 + 1}. \tag{44}$$



9. ábra. A karsztkorrózió differenciálegyenlet-rendszerének kezdeti és peremfeltételei
Figure 9. The original and boundary conditions of karst corrosion differential simultaneous equations

A (40)—(44) megoldásainak lehetőségeivel alább foglalkozunk.

A karsztkorrózió egyenleteinek számítógépes megoldási lehetőségei

A (40)—(44) egyenletrendszer általános megoldása sajnos nem adható meg, hanem csak a konkrét feladatok kezdeti- és peremfeltételeihez illeszkedő partikuláris megoldásai léteznek (*DUBLJANSZKIJ*, 1989, *SZUNYOGH*, 1995.c). Természetesen bizonyos megoldási sémák kidolgozhatók, melyek birtokában ezen egyenletekkel egy-egy feladattípus viszonylag könnyen vizsgálható.

A (40)—(44) egyenletrendszer igen alkalmas pl. számítógépes megoldásra, mert egyenletei szeparálhatók a benne szereplő ismeretlenek szerint, így egyidejűleg elegendő kisebb (max. három ismeretlenes) egyenletrendszereket megoldani. Alább ismertetjük e numerikus megoldás folyamatának főbb lépéseit.

Kezdeti- és peremfeltételek

Legyen adott a sziklafelszín alakját tükröző függvény a karsztkorrózió általunk tanulmányozott időszakának t_0 kezdetén, azaz

$$z(x,y,t) = z_0(x,y), \qquad \text{ha} \qquad t = t_0 \tag{45}$$

ismert. Tekintsük ismertnek továbbá a folyadékfilm $H_0(x,y,t)$ vastagságát és a vízben oldott kalcium-karbonát $C_0(x,y,t)$ koncentrációját a kőzetlejtő felső peremei mentén (ott, ahol a szomszédos területekről a víz a vizsgált területre érkezik), azaz legyen ismert

$$h(x,y,t) = H_0(x,y,t), \qquad \text{ha} \qquad x,y \in \Gamma, \quad t_0 \le t, \tag{46}$$

és

$$c(x,y,t) = C_0(x,y,t), \qquad \text{ha} \qquad x,y \in \Gamma, \quad t_0 \le t, \tag{47}$$

ahol Γ jelenti a mészkőfelszín felső peremi pontjainak halmazát (*9. ábra*).

A karsztkorrózió paramétereinek alakulása a lepusztulás kezdeti időszakában

Képezzük (és nevezzük meg az alábbi módon) $z_0(x,y)$ ismeretében azokat a parciális deriváltakat, melyek a (40)—(42) egyenletekben szerepelnek. Ezek szerint:

$$\frac{\partial z_0}{\partial x} = \xi_x^{(0)}(x,y), \qquad \text{ha} \qquad t = t_0 \tag{48}$$

$$\frac{\partial z_0}{\partial y} = \xi_y^{(0)}(x,y), \qquad \text{ha} \qquad t = t_0, \tag{49}$$

$$\frac{\partial^2 z_0}{\partial x^2} = \zeta_{xx}^{(0)}(x,y), \qquad \text{ha} \qquad t = t_0, \tag{50}$$

$$\frac{\partial^2 z_0}{\partial x \partial y} = \zeta_{xy}^{(0)}(x,y), \qquad \text{ha} \qquad t = t_0, \tag{51}$$

$$\frac{\partial^2 z_0}{\partial y^2} = \zeta_{yy}^{(0)}(x,y), \qquad \text{ha} \qquad t = t_0 . \tag{52}$$

A (48)-(52)-ben szereplő $\xi_x^{(0)}$, $\xi_y^{(0)}$, $\zeta_{xx}^{(0)}$, $\zeta_{xy}^{(0)}$ és $\zeta_{yy}^{(0)}$ függvények nyilván ismertek. ($A^{(0)}$ index arra utal, hogy e deriváltak a t_0 időpillanatra vonatkoznak). A deriválások elvégzése (a számítógépes programhoz illeszkedően) célszerűen nem analitikus, hanem numerikus módon kell történjen.
E függvényeket a (40)—(42) egyenletekbe helyettesítve, végül egy három ismeretlenes differenciálegyenletet nyerünk a víz (v_{x0} és v_{y0}-lal jelölt) kezdeti sebességére és a vízfilm (h_0 -lal jelölt) vastagságára:

$$v_{x0} = -\frac{\rho_V g h_0^2}{3\eta} \frac{\xi_x^{(0)}}{\left(\xi_x^{(0)}\right)^2 + \left(\xi_y^{(0)}\right)^2 + 1}, \tag{53}$$

$$v_{y0} = -\frac{\rho_V g h_0^2}{3\eta} \frac{\xi_y^{(0)}}{\left(\xi_x^{(0)}\right)^2 + \left(\xi_y^{(0)}\right)^2 + 1}, \tag{54}$$

$$h_0\left(\frac{\partial v_{x0}}{\partial x} + \frac{\partial v_{y0}}{\partial y}\right) + v_{x0}\frac{\partial h_0}{\partial x} + v_{y0}\frac{\partial h_0}{\partial y} + v_{x0}h_0 \frac{\xi_x^{(0)}\zeta_{xx}^{(0)} + \xi_y^{(0)}\zeta_{xy}^{(0)}}{\left(\xi_x^{(0)}\right)^2 + \left(\xi_y^{(0)}\right)^2 + 1} + v_{y0}h_0 \frac{\xi_x^{(0)}\zeta_{xy}^{(0)} + \xi_y^{(0)}\zeta_{yy}^{(0)}}{\left(\xi_x^{(0)}\right)^2 + \left(\xi_y^{(0)}\right)^2 + 1} =$$

$$= \frac{q_v}{\rho_v} \frac{1}{\sqrt{\left(\zeta_x^{(0)}\right)^2 + \left(\zeta_y^{(0)}\right)^2 + 1}}. \tag{55}$$

A (46)-ból $H_0(x,y,t)$ függvény $t=t_0$-ra vett helyettesítési értékét az (53) és (54)-be helyettesítve megkapjuk a sebességre vonatkozó V_{x0} és V_{x0} peremfeltételeket:

$$V_{x0} = -\frac{\rho_V g H_0^2(x,y,t_0)}{3\eta} \frac{\xi_x^{(0)}}{\left(\xi_x^{(0)}\right)^2 + \left(\xi_y^{(0)}\right)^2 + 1}, \qquad \text{ha} \quad x,y \in \Gamma \quad \text{és} \quad t = t_0, \tag{56}$$

ill.

$$V_{y0} = -\frac{\rho_V g H_0^2(x,y,t_0)}{3\eta} \frac{\xi_y^{(0)}}{\left(\xi_x^{(0)}\right)^2 + \left(\xi_y^{(0)}\right)^2 + 1}, \quad \text{ha} \quad x,y \in \Gamma \quad \text{és} \quad t = t_0. \quad (57)$$

E peremfeltételekkel az (53)—(55) egyenletrendszer véges differenciák módszerével ($v_{x0}(x,y)$, $v_{y0}(x,y)$ és $h_0(x,y)$ változókra nézve) közvetlenül, vagy (v_{x0}, v_{y0} eliminálásával) pusztán a $h_0(x,y)$-ra nézve számítógéppel megoldható. Megoldásukat a (43)-ba írva

$$\frac{\partial c_0}{\partial x} v_{x0} + \frac{\partial c_0}{\partial y} v_{y0} = k \frac{c_e - c_0}{h_0} - \frac{c_0}{\rho_V h_0} q_v, \quad (58)$$

amelyben már csak a folyadék c_0 kezdeti töménysége szerepel ismeretlenként. Természetesen az (58) is parciális differenciálegyenlet, tehát megoldása egy kétváltozós függvény ($c_0=c_0(x,y)$), de szerencsére csak lineáris és első fokú, ezért meghatározása számítógéppel nem okozhat gondot. Megoldásához a (47) alapján a $c_0(x,y)=C_0(x,y,t)$, ha $t=t_0$ peremfeltétel szolgál kiegészítésül.

Végül meghatározhatjuk, hogy a kőzetfelszín valamely (tetszőleges) x—y koordinátájú pontja kezdetben milyen sebességgel süllyed. A (44) szerint ($t=t_0$-ra vonatkoztatva):

$$\left.\frac{\partial z}{\partial t}\right|_{t=0} = -k \frac{c_e - c_0}{\rho_k} \sqrt{\left(\zeta_x^{(0)}\right)^2 + \left(\zeta_y^{(0)}\right)^2 + 1}. \quad (59)$$

A mészkőfelszín alakja a kezdeti időpillanatot követő rövid idő elteltével

A süllyedés sebességének ismeretében meghatározhatjuk, hogy egy kicsiny Δt időtartammal későbbi ($t_1=t_0+\Delta t$) időpillanatban milyen függvény írja le a kőzet felszínét.

Az (59) t-szerint integrálásával:

$$z(x,y,t)\big|_{t=t_1} - z(x,y,t)\big|_{t=t_0} = \int_{t_0}^{t_n} -k \frac{c_e - c}{\rho_k} \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2 + 1}\, dt. \quad (60)$$

$z(x,y,t)\big|_{t=t_0}$ jelenti a kőzetfelszín alakját a $t=t_0$, $z(x,y,t)\big|_{t=t_1}$ pedig a $t=t_1$ időpillanatokra vonatkozóan, azaz

$$z(x,y,t)\big|_{t=t_0} = z_0(x,y), \qquad \text{ha} \qquad t = t_0. \tag{61}$$

$$z(x,y,t)\big|_{t=t_1} = z_1(x,y), \qquad \text{ha} \qquad t = t_1 \tag{62}$$

Alkalmazzuk a (60) jobb oldalára az integrálszámítás első középértéktételét, mely szerint minden, a t_A és t_B intervallumon folytonos és integrálható $f(t)$ függvényre fennáll, hogy

$$\int_{t_A}^{t_B} f(t)dt = (t_B - t_A)\cdot f(t^*), \tag{63}$$

ahol t^*-ról csak annyit tudni, hogy a t_A , t_B intervallum valamely belső pontja (azaz $t_A \le t^* \le t_B$). t_A-nak t_0-t, t_B-nek t_1-et választva a (60)

$$z(x,y,t)\big|_{t=t_1} - z(x,y,t)\big|_{t=t_0} = (t_1 - t_0)\left[-k\frac{c_e - c}{\rho_k}\sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2 + 1}\right]_{t=t^*} \tag{64}$$

alakot ölti.
Ha a t_1 és t_0 különbsége

$$\Delta t = (t_1 - t_0) \tag{65}$$

elegendően kicsiny, akkor t_0, t_1 és t^* "alig" különböznek egymástól, így a (64) jobb oldalán álló, időtől függő mennyiségek argumentumába t^* helyett t_0-t írva lényeges hibát nem követünk el. A hiba annál kisebb, mennél kisebb Δt.
Figyelembe véve a (48), (49), (61), (62) és (65) jelöléseket, a kőzetfelszín t_1 időpillanatbeli alakjára végül a

$$z_1(x,y) = z_0(x,y) - k\frac{c_e - c_0}{\rho_k}\sqrt{\left(\zeta_x^{(0)}\right)^2 + \left(\zeta_y^{(0)}\right)^2 + 1}\cdot\Delta t \qquad (66)$$

összefüggést nyerjük.

$v_{x0}(x,y)$, $v_{y0}(x,y)$, $h_0(x,y)$, $c_0(x,y)$ és $\left.\frac{\partial z}{\partial t}\right|_{t=0}$ kifejezi a mészkőfelszín lepusztulásának jellemzéséhez szükséges valamennyi adatot a t=0 időpillanatra vonatkoztatva.

A mészkőfelszín alakja tetszőleges időpontban

A fent levezetett összefüggések megtartják érvényességüket akkor is, ha kiindulási időpontul nem t_0-at, hanem t_j-et választjuk, csupán akkor az egyenletekben a "régi" (0)-indexek helyébe (1), a "régi" (1) indexek helyébe (2) írandó:

$$z_2(x,y) = z_1(x,y) - k\frac{c_e - c_1}{\rho_k}\sqrt{\left(\zeta_x^{(1)}\right)^2 + \left(\zeta_y^{(1)}\right)^2 + 1}\cdot\Delta t\,. \qquad (67)$$

A (67) a (66) ismeretében már kiszámítható.
Hasonlóan folytatva a gondolatmenetet, végül tetszőleges t_n időpontra vonatkozóan is megadhatjuk a kőzetfelszín alakját.
1. Meghatározzuk a felület differenciálgeometriai paramétereit kifejező deriváltakat $z_n(x,y,t)$ ismeretében:

$$\xi_x^{(n)}(x,y) = \frac{\partial z_n}{\partial x} \qquad \text{ha} \qquad t = t_n \quad \left(t_n = t_{n-1} + \Delta t\right) \qquad (68)$$

$$\xi_y^{(n)}(x,y) = \frac{\partial z_n}{\partial y}, \qquad \text{ha} \qquad t = t_n \quad \left(t_n = t_{n-1} + \Delta t\right), \qquad (69)$$

$$\zeta_{xx}^{(n)}(x,y) = \frac{\partial^2 z_n}{\partial x^2}, \qquad \text{ha} \qquad t = t_n \quad \left(t_n = t_{n-1} + \Delta t\right), \qquad (70)$$

$$\zeta_{xy}^{(n)}(x,y) = \frac{\partial^2 z_n}{\partial x \partial y}, \qquad \text{ha} \qquad t = t_n \quad \left(t_n = t_{n-1} + \Delta t\right), \qquad (71)$$

$$\zeta_{yy}^{(n)}(x,y) = \frac{\partial^2 z_n}{\partial y^2}, \qquad \text{ha} \qquad t = t_n \quad \left(t_n = t_{n-1} + \Delta t\right), \qquad (72)$$

2. A (46)-ból $H_0(x,y,t)$ függvény $t=t_0$-ra vett helyettesítési értékét az (53) és (54)-be helyettesítve megkapjuk a sebességre vonatkozó V_{xn} és V_{xn} peremfeltételeket:

$$V_{xn} = -\frac{\rho_V g H_0^2(x,y,t)}{3\eta} \frac{\xi_x^{(n)}}{\left(\xi_x^{(n)}\right)^2 + \left(\xi_y^{(n)}\right)^2 + 1}, \quad \text{ha } x,y \in \Gamma, \text{ és } t = t_n, \quad (73)$$

ill.

$$V_{yn} = -\frac{\rho_V g H_0^2(x,y,t)}{3\eta} \frac{\xi_y^{(n)}}{\left(\xi_x^{(n)}\right)^2 + \left(\xi_y^{(n)}\right)^2 + 1}, \quad \text{ha } x,y \in \Gamma, \text{ ha } t = t_n. \quad (74)$$

E peremfeltételekkel az (53)—(55) egyenletrendszer $t=t_n$ időpontra vonatkozóan, véges differenciák módszerével ($v_{xn}(x,y)$, $v_{yn}(x,y)$ és $h_n(x,y)$-re nézve számítógéppel megoldjuk:

$$v_{xn}(x,y) = -\frac{\rho_V g h_n^2(x,y)}{3\eta} \frac{\xi_x^{(n)}}{\left(\xi_x^{(n)}\right)^2 + \left(\xi_y^{(n)}\right)^2 + 1}, \quad (75)$$

$$v_{yn}(x,y) = -\frac{\rho_V g h_n^2(x,y)}{3\eta} \frac{\xi_y^{(n)}}{\left(\xi_x^{(n)}\right)^2 + \left(\xi_y^{(n)}\right)^2 + 1}, \quad (76)$$

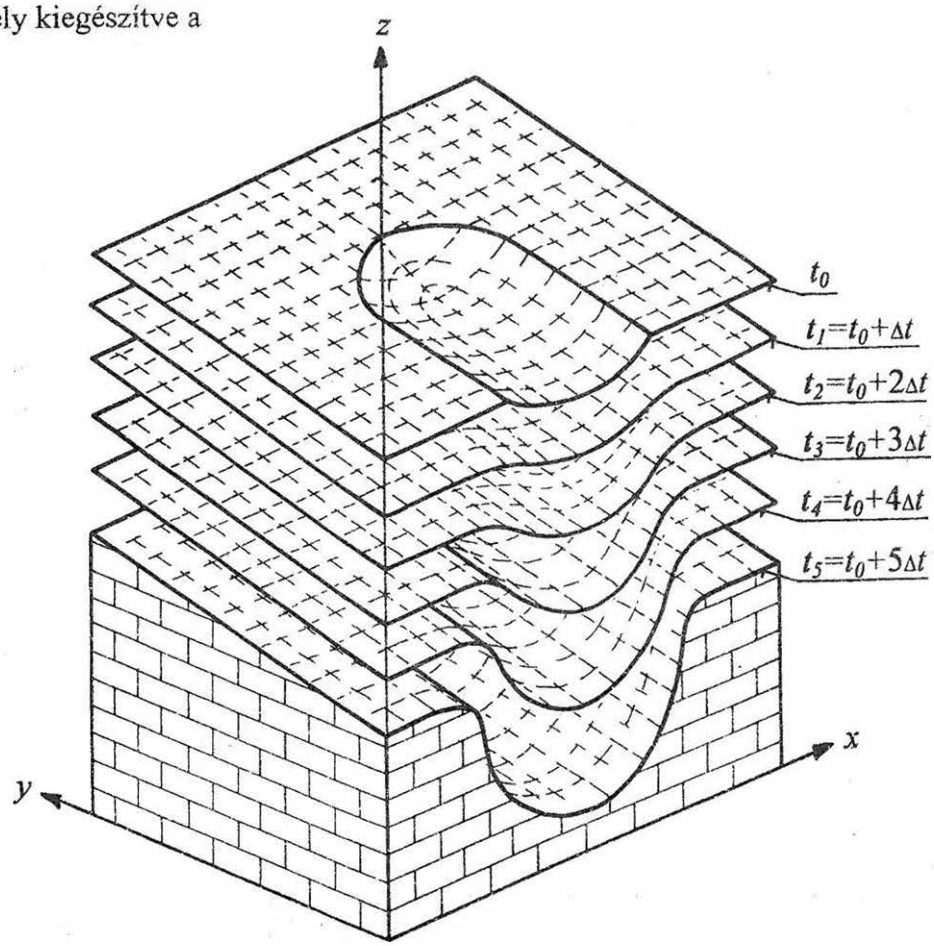
$$h_n\left(\frac{\partial v_{xn}}{\partial x} + \frac{\partial v_{yn}}{\partial y}\right) + v_{xn}\frac{\partial h_n}{\partial x} + v_{yn}\frac{\partial h_n}{\partial y} + v_{xn}h_n \frac{\xi_x^{(n)}\zeta_{xx}^{(n)} + \xi_y^{(n)}\zeta_{xy}^{(n)}}{\left(\xi_x^{(n)}\right)^2 + \left(\xi_y^{(n)}\right)^2 + 1} + v_{yn}h_n \frac{\xi_x^{(n)}\zeta_{xy}^{(n)} + \xi_y^{(n)}\zeta_{yy}^{(n)}}{\left(\xi_x^{(n)}\right)^2 + \left(\xi_y^{(n)}\right)^2 + 1} =$$

$$= \frac{q_v}{\rho_v} \frac{1}{\sqrt{\left(\zeta_x^{(n)}\right)^2 + \left(\zeta_y^{(n)}\right)^2 + 1}}. \quad (77)$$

Megoldását a (43)-ba írva $c(x,y,t_n)$-re kapunk differenciálegyenletet:

$$\frac{\partial c_n}{\partial x} v_{xn} + \frac{\partial c_n}{\partial y} v_{yn} = k \frac{c_e - c_n}{h_n} - \frac{c_n}{\rho_V h_n} q_v, \qquad (78)$$

mely kiegészítve a



10. ábra. Elvi ábra egy kicsiny mészkőfelszíni egyenetlenség (pl. saroknyomkarr) karrvályúvá-fejlődésének számítógépes modellezéséhez
Figure 10. Conceptual figure for computer modelling of rinnen development of a small unevenness (e.g. trittenkarren) on limestone surface

$$c_n(x,y) = C_0(x,y,t), \qquad \text{ha} \qquad x,y \in \Gamma \text{ és } t = t_n \qquad (79)$$

peremfeltétellel számítógéppel megoldható.
Végül a (60)-ban követett gondolatmenet szerint

$$z_{n+1}(x,y) = z_n(x,y) - k\frac{c_e - c_n(x,y)}{\rho_k}\sqrt{\left(\zeta_x^{(n)}\right)^2 + \left(\zeta_y^{(n)}\right)^2 + 1}\cdot\Delta t \qquad (80)$$

Mármost a megoldás menete a következő (*10. ábra*).

1. Meghatározzuk a kőzet felszínének $z_1(x,y)$ alakját a t_1 időpillanatra nézve.
2. $z_1(x,y)$ ismeretében meghatározzuk a felszín $z_2(x,y)$ alakját a t_2 időpillanatra nézve.
3. Ezt a procedúrát folytatjuk t_3, t_4, t_5 ... időpontok sorozatára mindaddig, amíg el nem érjük a kívánt t_n időpillanathoz tatozó $z_n(x,y)$ függvényt. A keresett megoldás tehát:

$$z(x,y,t) = z_n(x,y), \qquad \text{ha} \qquad t = t_n. \qquad (81)$$

Az ismertetett algoritmus alapján elkészíthető a sziklafelszínek karsztosodásának folyamatát (korlátozási feltételek kikötése nélkül!) nyomon követő számítógépi program.

IRODALOM

DREYBROT, W. (1988): Processes in Karst Systems. Springer-Verlag. 283.p. Berlin, 1988

DUBLJANSZKIJ, J. V. (1989): A víztükör alatti gömbfülke-képződés elméleti vizsgálata—*Karszt és Barlang* I-II. p.29-31

FRANK, Ph., MIESES, R. (1967): A mechanika és fizika differenciál- és integrálegyenletei. Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1967

JAKUCS, L. (1971): A karsztok morfogenetikája. Akadémiai kiadó, Budapest, 1971

SZUNYOGH, G. (1994): Szabad, talajjal nem borított mészkőfelszín karsztosodásának általános egyenletrendszere—*Karsztfejlődés I. (Totes Gebirge karrjai)*. Pauz kiadó, Szombathely. p. 145-164

SZUNYOGH, G. (1995.a): A matematikai modellezés helye és szerepe a karsztosodással járó folyamatok leírásában — *Karszt és Barlangkutatás*. X. évf. 1981-95. p. 251-269

SZUNYOGH, G. (1995.b): Karrcsatornák vízszállító képességének elméleti meghatározása — *IV. Karsztológiai Szeminárium*. Szombathely, 1995

SZUNYOGH, G. (1995.c): Mészkőfelszíni alakzatok kialakulásának fizikája — *Studia Physica Savariesia. III.* Szombathely, 1995. p. 9.1-9.11

VERESS, M., PÉNTEK, K. (1990): Kísérlet a karsztos felszínek denudációjának kvantitatív leírására—*Karszt és Barlang* I. p. 19-28
VERESS, M., PÉNTEK, K. (1992): Felszíni karsztos formák vizsgálata matematikai módszerekkel—*Oktatási intézmények karszt és barlangkutató tevékenységének II. országos konferenciája*, Szombathely. p.21-29

KARSZTFEJLŐDÉS II. (Totes Gebirge karrjai)
Szombathely, 1998. pp. 35-58.

KARRMEANDEREK

VERESS MÁRTON

Berzsenyi Dániel Tanárképző Főiskola, Természetföldrajzi Tanszék, 9700. Szombathely, Károlyi Gáspár tér 4.

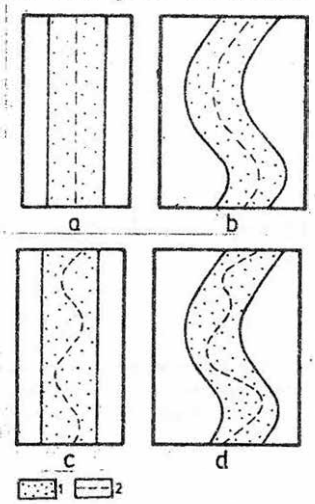
Abstract: The forms and development of karren meanders were examined with using the collected observations from some karren ground surfaces in Totes Gebirge and after it the types of karren meanders were s were separated. Not only the developing types of karren meanders can be separated, if we know the developing conditions of meanders, but also the development of each rinnen can be determined.

I. Bevezetés

A karrvályúk (barázdakarr, rinnenkarr) lejtésirányba kialakult oldódásos eredetű barázdák, amelyek között méreteik szerint elkülöníthetők I., II., és III. típusúak (az I. típusú vályúk oldal irányú és mélységbeli kiterjedése több dm, míg a II. típusú vályúknál e méretek 1 dm alattiak, a III. típusú vályúknál viszont a néhány cm-t sem haladják meg). A különböző vályú típusok külön-külön is előfordulhatnak. Akkor, ha a nagyobb karrvályúban kisebb fejlődik ki (pl. az I. típusúban II., vagy III.), a karrvályú összetett (*VERESS M.* 1995.)

A különböző, karrosodást vizsgáló kutatók a karrvályúk egy speciális, a meanderező (kanyargó) típusát is elkülönítik (*FRIDJOF, B.* 1954, *BÖGLI, A.* 1976, *BALÁZS, D.* 1990). Megfigyeléseink szerint azonban a különböző típusú, egyszerű, vagy összetett karrvályúkra, sőt még a rovatkákra, a rillenekre (*DUNKERLEY, D. L.*, 1979) is, a meanderezés egyaránt jellemző lehet. A fenti megállapítást a karros formakincset bemutató térképek is jól dokumentálják és reprezentálják (*SZUNYOGH G.-LAKOTÁR K.-SZIGETI I.* 1998, *VERESS M.-BARNA J.* 1998, *BARNA J.* 1998). *VERESS M.* (1995) különböző meander típusokat különít el aszerint, hogy az oldószer sodorvonala már a vályú képződés előtt kanyargott (igazi meander), vagy a sodorvonal a már kialakult vályú kitérítő hatásra csak később kezdett el kanyarogni (álmeander). Összetett vályúknál az I. és III. típusú vályú kanyarulatainak egymáshoz képesti helyzete szerint megkülönböztet kényszermeanderező, hasonló, elcsúsztatott, szorított és szabad meandereket. (Bár leírja a kanyarulat lesiklást, a meanderek osztályozásánál a fenti jelenséget, tehát a sodorvonalnak az oldalirányú eltolódását nem veszi figyelembe). A fentebb felsorolt meanderek azonban egyaránt lehetnek álmeanderek vagy igazi meanderek. A meander típus megállapítása ugyanis csak annak

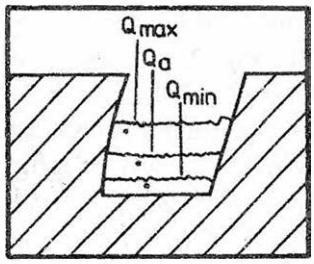
figyelembevételével lehetséges, hogy a hordozó vályú bemélyülése során történik-e kanyarulat lesiklás, vagy nem.



1. ábra: Nem kilendülő (a), ál- (b) és igazi- (c,d) kilendülést mutató sodorvonalak
Jelmagyarázat: 1. oldószer, 2. sodorvonal
Figure 1: Showing wo swinging out (a), pseudo swinging out (b) and real swinging out(c,d) of channel lines
Legend: 1. solvent, 2. channel line

Vízfolyások sodorvonalának kilendülése során meder kanyarulatok (meanderek) képződnek. A meander oldalirányú kiterjedése a meanderöv szélességével (a meanderívek külső széleinek burkológörbéi által közrefogott terület), nagysága a meander hullámhosszúságával (a két szomszédos inflexiós pont közti legrövidebb, vagy a meander középvonala menténi távolság), íveltsége a meander hosszúságával (a két szomszédos inflexiós pont közti távolság a meander sodorvonalán) adható meg (*BALOGH K.* 1991, *BORSY Z.* 1992). Miután a karrvályú kialakulás során elsősorban mélyülés történik, a karrmeanderek fejlődése nem a középszakasz jellegű vízfolyások laterális irányú kanyarulat fejlődésével egyezik meg, hanem a kényszermeanderező vízfolyások kanyarulat fejlődésével. A kényszermeanderező folyók völgyeiben meander lesiklás történik (*PÉCSI M.* 1975).

A kanyarulat lesiklások vizsgálatához a Totes-hegységben megfigyeléseket végeztünk a Widerkar-csúcs (201 számú turistaút mentén), valamint a Gr. Scheibling-csúcs (230 számú turistaút mentén) környékén.

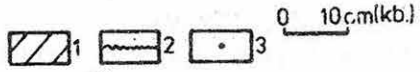


II. Kanyarulat (meander) lesiklás és formakincse

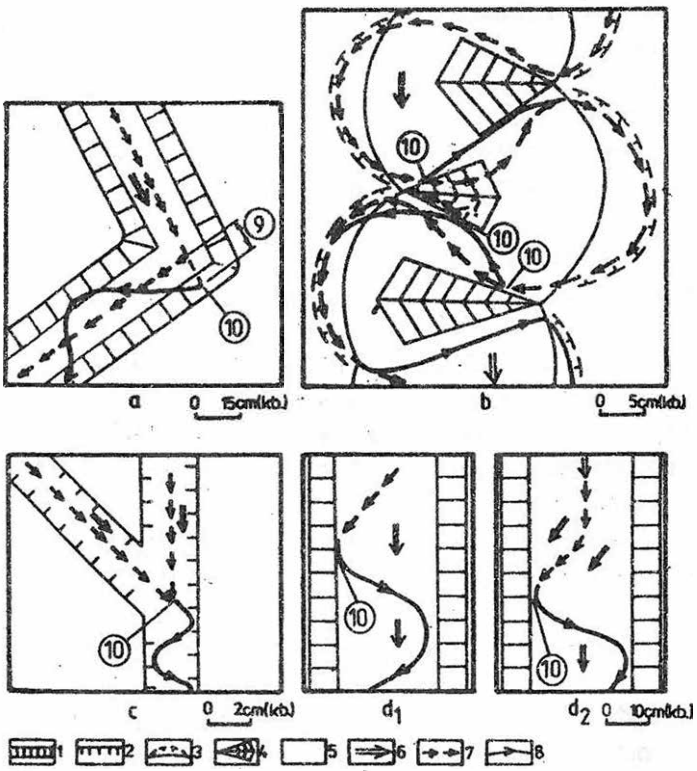
1. Sodorvonal kilendülés

A karbonátos térszínen végigáramló oldószer haladhat egyenesen, vagy kanyarogva (*1. ábra*). A sodorvonal bármely pontja elhelyezkedhet az áramló oldószer középvonalában, vagy attól eltérő helyen is.

Ha a középvonalon helyezkedik el, de az oldószer kanyarog, álkilendülés történik (*1b. ábra*), miután az oldószer perem és a sodorvonal lefutása megegyezik. Akkor, ha a sodorvonal nem a középvonalon fut, igazi kilendülés történik (*1.c, d ábrák*).



2. ábra: Aszimmetrikus vályú sodorvonalai különböző vízhozamoknál
Jelmagyarázat: 1. karrosodó kőzet, 2. vízszint, 3. sodorvonal, Q_{min} alacsony vízszint, Q_a közepes vízszint, Q_{max} magas vízszint
Figure 2: Channel lines of asymmetrical rinnen at different water flow
Legend: 1. rock developing karren, 2. water level, 3. channel line, Q_{min} low water level, Q_a middle water level, Q_{max} high water level



3. ábra: Sodorvonal kilendülések külső okok hatására
Jelmagyarázat: 1. lankás vályúoldal, 2. függőleges vályúoldal (III. típusú vályú), 3. aláhajló vályúoldal, 4. szoknya, 5. vályútalp, 6. vályútalp lejtése, 7. sodorvonal, 8. külső ok hatására kilendült (vagy további kilendülést) elszenvedő sodorvonal, 9. vízáramlás tehetetlensége miatt a sodorvonal meghosszabbodása, 10. sodorvonal akadályba ütközésének helye, a. álmeander, b. aszimmetrikus vályú, c. mellékvályún beömlő víz, d. a sodorvonal a vályúoldallal szöget zár be (d_1 a sodorvonal már kilendült, d_2 a sodorvonalat a vályútalp lejtése téríti ki)
Figure 3: Swinging out of channel line because of the influence of external causes
Legend: 1. gently slopping rinnen side, 2. vertical rinnen side (III. type rinnen), 3. underincline rinnen side, 4. skirt, 5. rinnen bottom, 6. slope of rinnen bottom, 7. channel line, 8. swinging out of channel line because of the influence of external causes, 9. lengthening of channel line because of inertia of water flow, 10. place of obstacle of channel line, a. pseudo meander, b. asymmetric rinnen, c. flowing water from ancillary rinnen, d. there is an angle between channel line and rinnen side (d_1 the swung channel line, d_2 the diversion of channel line is because of rinnen bottom slope)

Álkilendülés során a bemélyülő vályú keresztmetszetben szimmetrikus lesz, míg igazi kilendülés eredményeként aszimmetrikussá fejlődik a domború vályúperem alatt a vályúoldal lankás (szoknya), míg a homorú vályúperem alatt aláhajló lesz. Előbbi esetben a vályú kanyarulata álmeander, utóbbi esetben igazi meander lesz (ld. alább).

A sodorvonal kilendülése lehet ideiglenes (működésre visszavezethető), valamint tartós.

Működéshez köthető sodorvonal kilendülést a vályúban áramló oldószer menynyiségének ingadozása okozza (*2. ábra*). Ugyanis nagyobb vízhozamhoz nagyobb vízsebesség tartozik, ami megnöveli a sodorvonal ívének hosszát. Működéshez köthető sodorvonal kilendülés mind ál- mind igazi kilendülés során bekövetkezhet.

Tartós sodorvonal kilendülés során jön létre a lesíklás. Ez utóbbi nem korlátozódik egyetlen működés időtartamára. Tartós sodorvonal kilendülésnek az alábbi okai lehetnek.

a/ Külső hatásra bekövetkező sodorvonal kilendülés esetén a sodorvonal nem ott helyezkedik el, ahol egyébként az áramlása során elhelyezkedne. A kilendülés nem az oldószer áramlásának hatására következik be, hanem azért, mert a sodorvonal mentén mozgó vízrészecskék akadályba ütköznek. Kilendülést az alábbiak okozhatnak:

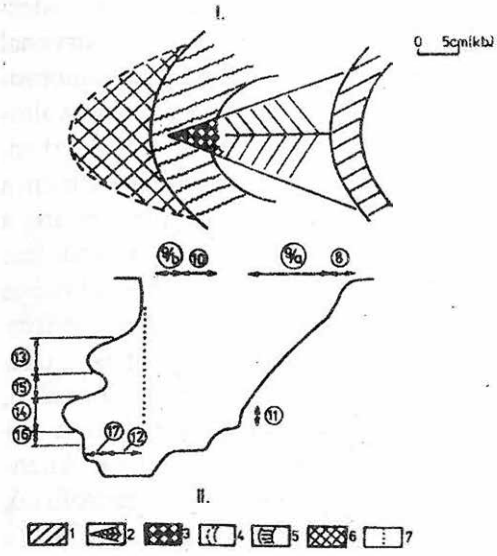
- vályú álmeandere (*3a. ábra*), vagy az oldószer kanyargása,
- aszimmetrikus vályú (*3b. ábra*),
- vályúoldal (*3d. ábra*),
- a felszín egyenetlensége (törés, kalcit kitöltés, esetleg már meglévő karros formák).

Álmeandereknél a sodorvonal az áramlás tehetetlensége folytán nem képes pontosan követni a vályú irányváltozását. A felsőbb vályúszakasz sodorvonal szakasza az alsóbb vályúszakasz alsó pereme felé meghosszabbodik. Emiatt neki ütközik a vályú oldalának.

Vályú nélküli felszínen a sodorvonal növekvő vízhozam esetén nem képes követni az oldószer kanyargását. A működéshez köthető sorozatos kilendülések során szoknya is képződhet. Ezután a sodorvonal tartós kilendülése is bekövetkezhet, ha a mélyülő vályútalpon az oldalirányba egyre hosszabbodó szoknya eléri a sodorvonalat.

Aszimmetrikus vályú esetében az ütközés más hatásra következik be. Az ilyen vályúknál ívesen bemélyülő (az aláhajlásnál) és különböző alakú domború (szoknya) vályúfal szakaszok váltakoznak. Ezért adott íves szakasszal párhuzamosan futó sodorvonal mentén mozgó víz részecskék egy más ívű szakaszhoz érve, ahol a sodorvonal nem lesz párhuzamos a fallal a vályúfalnak ütközhetnek.

A szoknya és a vályúoldal sodorvonal kitérítő hatása másodlagos. Akkor okozhatják ezek a kilendülést, ha az más hatásra már bekövetkezett. Megjegyzendő, hogy a vályúoldalnak ütközhet a sodorvonal akkor is, ha kilendülése egyébként még nem következett be. Pl. akkor, ha a széles vályútalp olyan lejtésű, hogy a rajta áramló oldószer sodorvonala nem párhuzamosan fut a vályúoldallal, hanem azzal szöget zár be (*3d_2. ábra*).



4. ábra: Karrmeander morfológiai képződményei
Jelmagyarázat: I. alaprajz, II. keresztmetszet, alaprajzon: 1. lankás vályúoldal, 2. szoknya, 3. szoknya terasz, 4. aláhajló fal, 5. vályútalp, 6. homorú oldal meander terasza, keresztmetszeten: 7. aláhajló fal peremének vetülete, 8. domború vályúoldal, 9a. szoknyamaradvány felső, 9b. szoknyamaradvány alsó, 10. meander terasz (szoknyán), 11. szoknya színlő, 12. meander terasz (aláhajló falnál) 13. aszimmetrikus színlő, 14. szimmetrikus színlő, 15. színlőközi gerinc, 16. lepusztult színlőközi gerinc, 17. színlőroncs

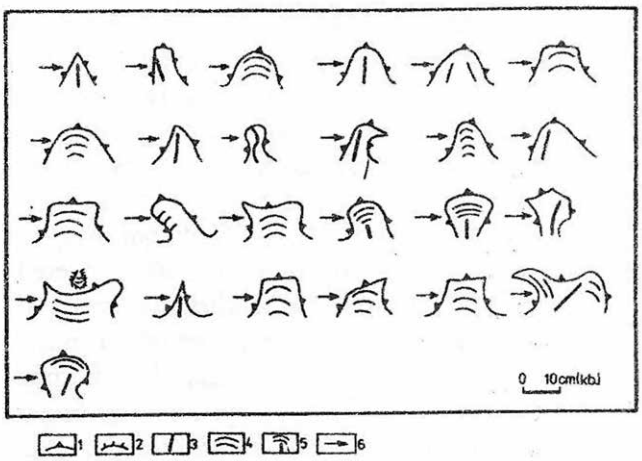
Figure 4: Morphological formation of karren meander
Legend: I. ground-plan, II. cross-section, on ground-plan: 1. gently slooping rinnen side, 2. skirt, 3. skirt terrace, 4. underincline side wall, 5. rinnen bottom, 6. meander terrace of concave side, on cross-section: 7. projection of boundary of underincline wall, 8. convex rinnen side, 9a. skirt remain above, 10. meander terrace (on skirt), 11. skirt platform, 12. meander terrace (on underincline wall), 13. asymmetric platform, 14. symmetric platform, 15. crest between platforms, 16. eroded crest between platforms, 17. platform remain

A külső hatásra bekövetkező sodorvonal kilendülés, ha újabb hatás nem éri fokozatosan lecsillapodik. A sodorvonal *„kisimul"*, a vályú egymást követő meanderei egyre kisebbek lesznek, a meanderöv szélessége csökken. A sodorvonal lokális kilendülései a meanderezést is lokális kifejlődésűvé teszik. Előfordulhat, hogy az egyszeri kilendülés továbbiakat eredményez, miután a kilendülő sodorvonal az egyik, majd emiatt a másik vályúperemnek ütközik. Végül megemlíthető, hogy gyakori az öngerjesztés is. Ez alatt az értendő, hogy valamilyen forma hatására (pl. szoknya) a sodorvonal kilendül, ami a forma további növekedését okozza, ez viszont visszahat a kilendülés mértékének növekedésére.

b/ Belső okra visszavezethető sodorvonal kilendülés az oldószer áramlásának hatására gerjesztődik. Tehát létrejöhet pl. homogén, tagolatlan felszínű kőzet felszínén is, ahol a vízrészecskék mozgási pályáját semmi sem módosítja. (Kialakulásának oka nem ismert, esetleg okozhatja az oldószer telitődése.) Az oldószer kanyargása már a vályú kialakulása előtt is bekövetkezhet.

2. A lesiklás

Az oldás ott intenzívebb, ahol az oldószer áramlási sebessége nagyobb. Ugyanis a gyorsabb áramlásnál a Ca^{++} ionok elszállítása és így az ion transzportot biztosító megfelelő koncentráció különbség a kőzet és az oldószer között tartósan fennmaradhat. Ezért a vályútalpak oldódása elsősorban az azon áramló oldószer vízszintjének közelében (lamináris áramlás), vagy vízszintjénél (turbulens áramlás), illetve ott is annak sodorvonalánál a legnagyobb.



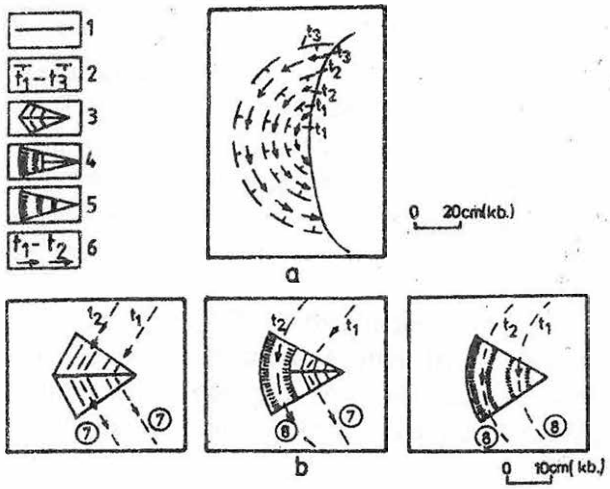
5. ábra: Szoknya formák alaprajzban (megfigyelés után)
Jelmagyarázat: I. típusú vályú szoknyája, 2. III. típusú vályú szoknyája, 3. élben végződő (fél gula forma) szoknya, 4. legömbölyített (félkúp forma) szoknya, 5. fent élben végződő, lent legömbölyített szoknya, 6. vízáramlás iránya
Figure 5: Skirt forms in ground-plan (after observation)
Legend: skirt of I. type rinnen, 2. skirt of III. type rinnen, 3. skirt finished in edge (half pyramid form), 4. round (half cone form) skirt, 5. skirt above finished in edge and below round form, 6. direction of water flow

Amíg működéshez köthető sodorvonal kilendülésnél a sodorvonal helyzete síkban változik, lesiklásnál térben. Ugyanis utóbbi esetben a vályú mélyülés miatt a sodorvonal kilendülése során egyre mélyebbre is kerül. Ez a folyamat irreverzibilis. Ennek oka, hogy a bemélyülő vályú, amelynek kialakulása éppen a sodorvonal kilendüléséhez kapcsolható, mintegy konzerválja (a működéshez köthető sodorvonal kilendülésénél nagyobb sodorvonal kilendülést nem tesznek lehetővé a vályuoldalak), adott időpontban a sodorvonal lefutását. (Megjegyzendő, a működéshez köthető sodorvonal helyzetváltozás sem teljesen síkban történik. Ugyanis a vízhozam változása során a vízszint is változik.)

A vályúképződéshez kapcsolhatóan elkülöníthető eredeti sodorvonal, lesiklás kezdeti sodorvonal és jelenlegi sodorvonal. Eredeti sodorvonal az igazi kilendülésig jellemzi az áramló oldószert. Lesiklás kezdeti sodorvonal a felszín síkjában - tehát a bemélyülés kezdetén - kialakult már kilendült sodorvonal. Ezt a sodorvonalat dokumentálja a vályú felső pereme. A jelenlegi sodorvonal a vályútalp síkjában kijelölhető sodorvonal.

A lesiklás kezdeti és az eredeti sodorvonal különbsége a vályúképződés előtti sodorvonal kilendülés, míg a jelenlegi sodorvonal és a lesiklás kezdeti különbsége a vályúképződés alatti kilendülés, a lesiklás. A sodorvonal teljes kilendülése a kanyarulat bármely pontjában a vályúperem megfelelő pontjához húzott érintőre állított merőleges mentén mérhető és a vályúképződés alatti valamint a vályúképződés előtti sodorvonal kilendülés vízszintes vetületeinek összegével adható meg. (Megemlíthető, hogy karrmeandereknél a lesiklás miatt kétféle meanderöv szélesség is elkülöníthető. Az eredeti, amely a felső vályúperemeknél jelölhető ki és a jelenlegi, amely a vályútalp szintjében adható meg.)

Az olyan vályútalpakon, ahol a sodorvonal mindenkor a vályú közepén helyezkedik (legfeljebb álkilendülés történik) el, az oldás és így a mélyülés itt a legnagyobb. Ennek eredményeként a kanyarulatoknál is szimmetrikus keresztmetszetű vályú (álmeander) fejlődik ki.



6. ábra: Sodorvonal lesiklás kapcsolata az aláhajló fal (a) és a különböző szoknyaformák (b) kifejlődésével
Jelmagyarázat: 1. aláhajló fal felső pereme, 2. aláhajló fal alsó pereme az aktuális vályútalpnál, 3. félgúla szoknya, 4. felül félgúla, alul félkúp szoknya, 5. félkúp szoknya, 6. sodorvonal az aktuális vályútalpnál, 7. megtört sodorvonal, 8. íves sodorvonal
Figure 6: Connection of channel line slipping with development of the underincline wall (a) and different skirt forms (b)
Legend: 1. upper boundary of underincline side wall, 2. lower boundary of underincline side wall at actual rinnen bottom, 3. half pyramid form skirt, 4. half cone form skirt above, half cone form skirt below, 5. half cone form skirt, 6. channel line at actual rinnen bottom, 7. fraction channel line, 8. arcuate channel line

Akkor, ha .a sodorvonal nem a vályú közepén helyezkedik el (igazi kilendülés) a vályú nem a középső részén mélyül a legintenzívebben. Ilyenkor a kanyarulatoknál aszimmetrikus keresztmetszetű vályú (igazi meander) fejlődik ki. Miután álkilendülés során is előfordulhat sodorvonal kilendülés (működéshez köthető sodorvonal kilendülés) a vályú kismértékben ebben az esetben is felvehet aszimmetrikus jelleget. A felülnézetben homorú vályúoldal aláhajló falúvá, míg a domború lankás falúvá fejlődik (*4. ábra*). Ez utóbbi helyeken alakulnak ki a szoknyák, amelyek felülnézetben a vályútalp síkjában változatos alakú (*5. ábra*), többnyire domború peremű, fentről lefelé kiszélesedő, oldalnézetben lankás vályúoldal részek.

3. Igazi meander morfogenetikája

3a. *Az aláhajló fal és a szoknya morfológiája*

Aláhajló falrészletek olyan vályúszakaszokon is kifejlődhetnek, ahol a felső vályúperemek egyenesek. Mindez arra utal, hogy a kilendült sodorvonal csak egyetlen pontban (vagy csak rövid szakaszon) érinti a vályúperemet a bemélyülés kezdetén. (Ott, ahol már a felső vályúperem is íves lefutású, valószínű, hogy a sodorvonal a lesiklás kezdetén is hosszabb szakaszon simult a vályúperemhez.) Ugyanakkor az aláhajló fal térbeli kifejlődésére többnyire az jellemző,

hogy a jelenlegi vályútalp irányába az aláhajló vályúoldal hossza nő. Mindez a sodorvonal tartós lesiklásával magyarázható. Ilyenkor ugyanis a sodorvonal egyre hosszabb szakasza simul a vályúoldalhoz ami azzal jár, hogy egyre hosszabb szakaszokon lesz intenzívebb a laterális oldódás és fejlődhet ki az aláhajló fal (*6a. ábra*).

A szoknyák akkor alakulhatnak ki valamely helyen, ha a mindenkori sodorvonal az egyik vályúfaltól a mindenkori talpszélesség felénél távolabb helyezkedik el, mert ilyenkor itt az oldódás kevésbé intenzív, mint a vályú átellenes falánál. A szoknya felülete a lesíklás miatt többnyire elnyesett. Adott vályúszakasz képezhet szoknyával, vagy szoknya nélkül is kanyarulatot. A kanyarulat által közrefogott terület (a zúg) átmehet fokozatosan a szoknya területébe, de elkülönülhet attól éles peremmel is.

A sodorvonal eltérő kifejlődése miatt különböző morfológiájú szoknyák jöhetnek létre (*5, 6. ábrák*). Ha a sodorvonal irányváltozása éles, a szoknya a vályúoldalból kiugró, éles peremű félgúla. Ha íves kifejlődésű lekerekített félkúp. Ha a bemélyülés során egyre íveltebb lesz, a szoknya felső része félgúla, alsó része félkúp alakot vesz fel.

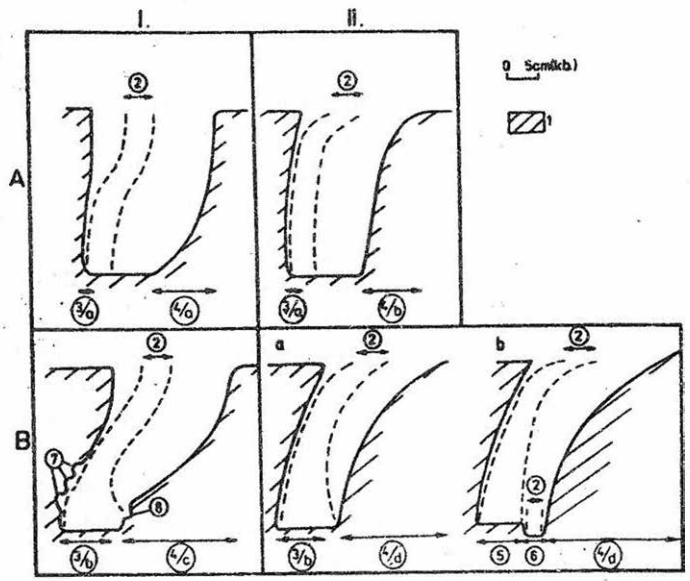
A szoknya térbeli alakját nem csak a sodorvonal geometriája alakíthatja, hanem a lesiklás mértéke is. Gyors mélyülésnél és nagyméretű sodorvonal kilendülésnél, vagy ha a sodorvonal működéshez köthető kilendülése kicsi a szoknyák térben félgúlák, míg lassú mélyülésnél és kismértékű kilendülésnél, vagy ha a sodorvonal működéshez köthető kilendülése nagy, félkúpok képződnek. Ugyanis előző esetben a sodorvonal a szoknyától távolabb, utóbbi esetben a szoknyához közelebb húzódik. Ha ugyanazon szoknyánál a kétféle folyamat egymást követi felül félgúla, alul félkúpos alakú szoknya alakul ki.

A kanyarulat morfológiáját a sodorvonal lesilásának mértéke és üteme alakítja. Akkor, ha a vályú bemélyülése gyors, vagy ha ugyanazon működés során a vízhozam nem, vagy alig változik, egységnyi mélyüléshez kicsi kanyarulat lesiklás tartozik (*7.A. ábra*). Ilyenkor a szoknya oldalnézetben rövid. Ha a kilendülés fokozatosan növekszik, a szoknya metszetben homorú (a lejtő inflexiós pontja a vályútalphoz közelebbi), ha viszont már kezdetben gyors, majd fokozatosan csillapodik domború (a lejtő inflexiós pontja a vályúperemhez közelebbi). A vályú átellenes oldala kevésbé aláhajló, inkább függőleges.

Lassú vályú bemélyülésnél egységnyi mélyüléshez nagyobb kanyarulat lesiklás tartozhat, a szoknya metszetben hosszú lesz (*7.B. ábra*). Az átellenes vályúoldal aláhajló. Ilyenkor, ha a kilendülés fokozatosan növekszik a szoknya metszetben homorú, ha viszont kezdetben gyors, domború lesz.

A lesiklás lehet folyamatos, vagy szakaszos. Folyamatos lesiklásnál a vízhozam nem, vagy kevésbé ingadozik, a sodorvonal ugyanazon működésnél nem változtatja a helyét. Mind a szoknya, mind az átellenes, aláhajló oldalfal tagolatlan felületű.

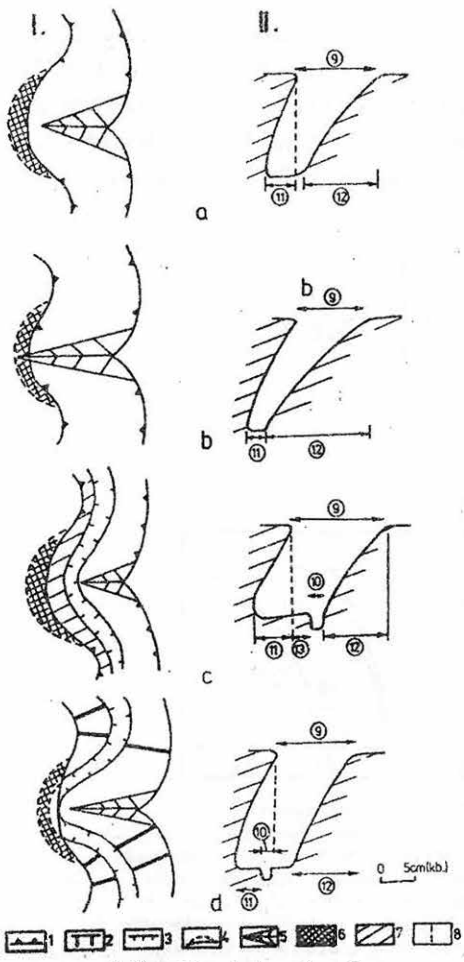
A szoknyák gyakran roncsoltak. Aktív fejlődő szoknyát a vályútalpon áramló víz pusztíthat. Ez történhet hosszirányban a szoknya mentén (féloldalas szoknya), vagy keresztirányban, a szoknyára merőlegesen. Utóbbi esetben kanyarulat lefejeződés történik. A szoknya maradvány sziget heggyé formálódik. Idősebb nem aktív szoknyák fagyaprozódással pusztulnak (roncsolt szoknya).



7. ábra: Aszimmetrikus meanderek morfogenetikai tipizálása
Jelmagyarázat: A. kisméretű lesiklás, B. nagyméretű lesiklás, I. kezdetben lassú lesiklás, II. kezdetben gyors lesiklás, 1. szálkőzet, 2. maximális és minimális vízhozamok közötti sodorvonal zónájának vándorlása a lesiklás során (BI. és BII. esetekben az idő múlásával a kilendülés mértéke a vályú kifejlődő aszimmetrikus morfológiájának hatására nő), 3. homorú oldal és teraszai, 3a. oldalirányban kis kiterjedésű meander terasz, 3b. oldalirányban nagy kiterjedésű meander terasz, 4. szoknya 4a. metszetben kicsi, homorú, térben felül inkább félkúp, alul inkább félgúla szoknya, 4b. metszetben kicsi, domború, térben félgúla szoknya, 4c. metszetben nagy, homorú, térben félkúp szoknya, 4d. metszetben nagy, domború, térben felül félgúla alul inkább félkúp szoknya, 5. függő terasz, 6. III. típusú vályú, 7. színlő, 8. szoknya színlő
Figure 7: Morphogenetic typifying of asymmetric meanders
Legend: A. small-sized slipping down, B. large-sized slipping down, I. slow slipping down at the beginning, II. quick slipping down at the beginning, 1. bedrock, 2. changing of channel line zone between maximum and minimum water flow (the measure of swinging out increases during the progress of time in BI. And BII. cases, because of asymmetric form of rinnen), 3. concave side and terraces, 3a. small meander terrace in side direction, 4. skirt, 4a. small, concave skirt form in section, half cone form skirt above and half pyramid form skirt below in place, 4b. small, convex skirt form in section, half pyramid form skirt in place, 4c. large, concave skirt form in section, half pyramid form skirt in place, 4d. large, convex skirt form in section, half pyramid form skirt above in place, half cone form skirt below, 5. plummet terrace, 6. III. type rinnen, 7. platform, 8. skirt platform

3b. Meander teraszok és színlők

Az igazi meanderek lehetnek teraszosak, vagy terasz nélküliek.



8. ábra: Meander terasztípusok

Jelmagyarázat: a. teljes terasz, b. csonka terasz, c. összetett terasz, d. függő terasz, I. alaprajz, II. keresztmetszet (szelvények a szoknyák mentén) felülnézeten: 1. I. típusú függőleges oldalú vályú pereme, 2. I. típusú vályú lankás vályúoldala, 3. III. típusú vályú pereme, 4. aláhajló fal, 5. szoknya, 6. meander terasz, 7. vályútalp terasz, keresztmetszetben: 8. aláhajló fal peremének vetülete, 9. I. típusú vályú, 10. III. típusú vályú, 11. meander terasz, 12. szoknya, 13. vályútalp terasz

Figure 8: Meander terrace types

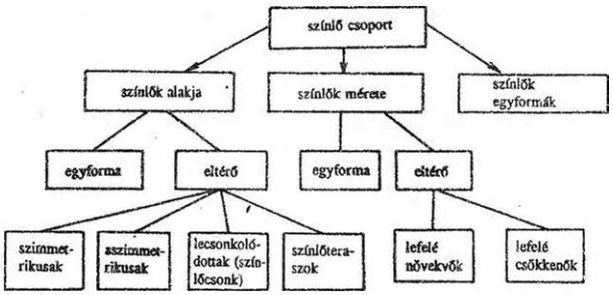
Legend: a. full terrace, b. truncated terrace, c. compound terrace, d. plummet terrace, I. groundplan, II. cross-section on top-view (sections near the skirts), 1. boundary of I. type vertical side rinnen, 2. gently slopping rinnen side of I. type rinnen, 3. boundary of III. type rinnen, 4. underincline side wall, 5. skirt, 6. meander terrace, 7. rinnen bottom terrace in cross-section, 8. projection of boundary of underincline wall, 9. I. type rinnen, 10. III. type rinnen, 11. meander terrace, 12. skirt, 13. rinnen bottom terrace

A meander teraszok jól elkülöníthetők a vályútalp teraszoktól (*VERESS M.* 1995). Utóbbiak a vályútalpakon jelentős hosszúságban folytonosan, míg előzőek lokálisan, csak a meanderek területén nyomozhatók. A meander teraszok olyan kis kiterjedésű sík térszínek, amelyek a homorú oldal kanyarulatában, vagy a domború oldal szoknyáján fejlődnek ki (*4, 8. ábrák*). Elhelyezkedhetnek a vályútalpon (vályútalp meander teraszok), vagy a talp fölött a vályú oldalban (függő terasz). A vályútalp meander teraszok lehetnek teljes teraszok (a szoknya nem nyúlik túl a homorú oldal peremén), csonka teraszok (a szoknya csúcsa túl nyúlik a homorú oldal peremén) és összetettek (a meander terasz vályútalp teraszba megy át).

Amíg a vályútalp teraszok kialakulása belső vályú kialakulásával magyarázható (az idősebb vályútalp maradványai alkotják a teraszt), addig a homorú oldal meander teraszainak kialakulása a lesiklással kapcsolatos. A lesiklás azonban önmagában nem elégséges magyarázat kialakulásukhoz. Erre az alábbiak utalnak:

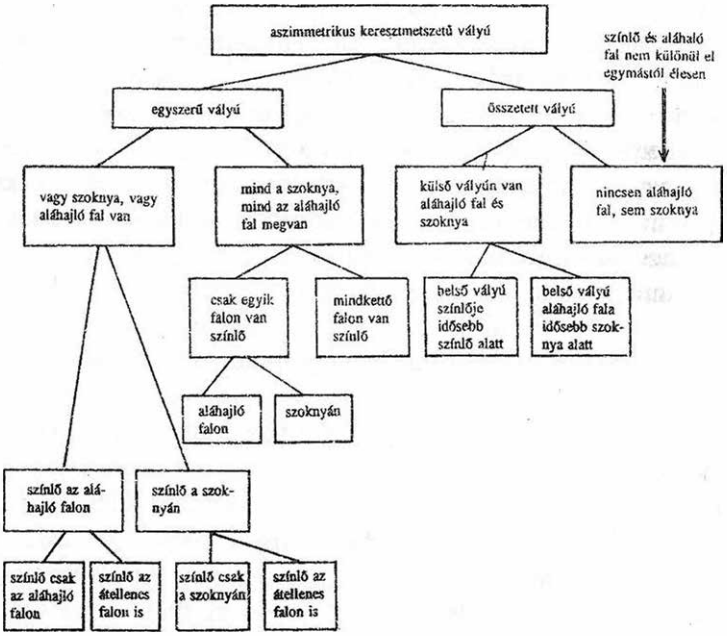
- a homorú vályúperemnél kialakult bemélyedés (aláhajló fal) nem mindig a szoknyával szemben helyezkedik el,
- a szoknya alaprajz és a terasz alakja és ezeknek a nagysága nem egyezik meg,
- nem mindig alakul ki igazi meandernél terasz a homorú vályúperemnél,
- a szoknyán is kialakulhat terasz.

A homorú vályúperem teraszai akkor alakulnak ki, ha a sodorvonal tartósan ezen oldal falánál (tehát nem csak maximális vízhozamnál) marad. Ebben az alábbi okok játszhatnak szerepet:



9. ábra: Megfigyelt színlő előfordulások változatai aszimmetrikus vályú oldalakban
Figure 9: Variation of observed platforms in asymmetric rinnen sides

- A lesiklás következtében kifejlődő vályú morfológia miatt (a kiformálódó szoknyák e tekintetben meghatározó jelentőségűek) a sodorvonal a vízáramlás ideje alatt egyre hosszabb ideig lesz olyan, mint a maximális vízhozam idején.
- A vályú mélyülése során keskenyedik. Ezért kisebb vízhozam esetén is nagyobb lesz a vályú vízzel kitöltöttsége. Ez ugyancsak azt eredményezi, hogy a sodorvonal tartósabb ideig



10. ábra: Aszimmetrikus vályúk képződményein megfigyelt színlő és színlő csoportok
Figure 10: Platforms and platform groups observed on formations of asymmetric rinnen

hosszabb ív mentén simul a homorú vályuoldal falához.
- A vályúk egy része mélyülés során több vizet kap. Ez tartósan magasabb vízállást eredményez ami a fenti helyzet kialakulásával jár.

Szoknyán terasz valószínűleg akkor alakul ki, ha a sodorvonal lefutása a vályú egy részében teljesen átrendeződik. Ezt ugyancsak a vályú morfológiájának az átalakulása teszi lehetővé.

Függő teraszok képződhetnek ha a sodorvonal lefutása a korábbihoz képest megváltozik (az maximális vízhozamnál sem éri el a homorú ív falát). Ekkor a már kialakult terasz pereménél képződik belső vályú. A terasz függő helyzetbe kerül.

A színlők vályathoz hasonló (a homorú oldalon), vagy lépcsőszerű (a domború oldal szoknyáján) többnyire legfeljebb néhány cm-es mély és néhány dm-es hosszú bemélyedések a meandereknél a vályú oldalakban (*4. ábra*). Néha azonban szélességük olyan méretet is elérhet, hogy a vályúfal teljes aláhajlása ezáltal áll elő (óriás színlő). Az óriás színlők jól elkülöníthetők a meander teraszoktól, mivel alsó lapjuk nem vízszintes, hanem ferde sík. Leggyakrabban az aláhajló falakon figyelhetők meg, de előfordulnak a szoknyákon is. A színlők ritkán fordulnak elő egyesével. Leggyakrabban egymás felett kettő, vagy három színlő sorakozik (*9, 10. ábrák*). Adott vályú, vagy vályú szakasznak többnyire nem csak egy kanyarulatát jellemzik, bár nem feltétlenül fordulnak elő minden egyes hurokban. Az egymást követő meanderek magányos színlői, illetve a színlőcsoportok hasonló helyzetű színlői úgy tűnik a vályú felső végétől az alsó vég felé dőlő ferde sík mentén helyezkednek el. Az egymás alattiak olyan közeli helyzetűek lehetnek, hogy köztük a vályúoldal színlőközi gerinceket alkot. (A színlőközi gerincek lehetnek élesek és legömbölyítettek.) A színlők keresztmetszetben lehetnek szimmetrikusak, vagy aszimmetrikusak. A színlő alsó, vagy felső lapja hiányozhat (színlő roncs). A színlők elterjedésüket illetően előfordulhatnak az aszimmetrikus vályú egyik, vagy mindkét vályúoldalán, az összetett vályúnak csak a fő, vagy csak a belső, vagy mindkét vályújának oldalán (*9., 10. ábrák*).

A színlők valószínűleg maximális vízhozam vízszintjénél, vagy annak közelében képződnek (*7. ábra*). Színlő kialakuláshoz a vályú falán ugyanabban a szintben az intenzív oldalirányú oldódásnak hosszabb ideig fenn kell állnia. Ennek feltétele akkor van meg, ha a maximális vízhozamok vízszintjei tartósabb ideig ugyanabban a szintben alakulnak ki a vályúban. (Óriás színlőknél a maximális vízhozam előbb tartós ideig jellemzi a vályút, majd ez az időtartam a mélyülés során fokozatosan csökken.) Az egymás feletti színlők kialakulása a vályútalp mélyülésére vezethető vissza, miután a mélyülő vályúban a maximális vízhozam vízszintje alacsonyabbra helyeződik.

A színlőknek a vízszint közelében kialakulása magyarázza az aláhajló fal, illetve a szoknya színlőinek eltérő alakját. Amíg a meredek, illetve túlhajló falon az oldalirányú oldódás miatt színlők felső lapja is kialakul, addig a kisebb lejtésű szoknyán a színlőnek csak alsó lapja képződik (lényegében a szoknya

különböző meredekségű lépcsőkre tagolódik). Előfordulhat, hogy a túlságosan kicsi lejtésű szoknya érzékelhetően nem is tagolódik fel színlőkre.

A kétoldali színlők nem egyforma magasságuk. Ennek egyrészt az lehet az oka, hogy a homorú vályúperemnél az oldószer torlódik (magasabb vízszint), másrészt az, hogy a szoknyán az oldódás intenzitása akkor nő meg, amikor a sodorvonal ennek közelében húzódik. Erre csökkenő vízhozamnál, tehát alacsonyabb vízszintnél lehet számítani.

III. Meander típusok

A karrmeandereket többféleképpen csoportosítják, így pl. a vályúk kora (mérete) szerint (*HUTCHINSON, D. W.* 1996). Az itt bemutatott csoportosítás a meanderek morfogenetikájának figyelembevételével történik.

A különböző meander típusok különböző vályúkifejlődések során képződnek.

A vályúk akkor meandereznek, ha ritkán, vagy egyesével fordulnak elő. Ha sűrűségük nagy, a meanderezés kevésbé jellemző. A vályúsűrűség és az oldószer kifejlődési módja (utóbbi beboríthatja a lejtőt folytonosan, vagy sávokra különülve) között szoros kapcsolatnak kell lennie. Mindez arra utal, hogy a meanderezés (sodorvonal kilendülés) akkor fejlődhet ki, ha az oldószer a lejtőn sávokra különül. Az oldószer áramlási módja a lejtőszögtől függ, mivel a lejtőszög növekedésével a vályúsűrűség nő (*ZENTAI Z.-HORVÁTH T.* 1995). Ezért az oldószer sávos kifejlődésére és így meanderezésre is inkább kisebb dőlésű lejtőn lehet számítani. A vályúk a lejtőkön kialakulhatnak esővíz barázdásan, vagy regressziósan.

Esővíz barázdás kialakulású lesz akkor a vályú (vagy vályúrész), ha kialakulásától teljes hosszában mélyül, tehát különböző részeinek a kialakulási kora megegyező. Ez a vályúfejlődés akkor mehet végbe, ha az oldószer nem egységesen kifejlődve áramlik, hanem sávokra különülve. A sávosan áramló oldószer lefolyhat a lejtőn egyenesen (a lejtő dőlésiránya nem változik), vagy irányváltozással, álmeanderezéssel (a lejtő dőlésiránya változik).

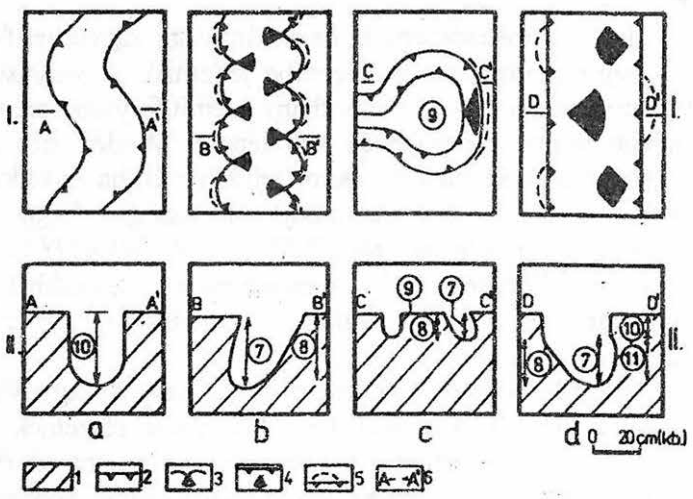
A hátrálásos (regressziós) fejlődésű vályúknál a vályúvég a hordozó felszín dőlésirányával ellentétes irányba eltolódik. Az ilyen fejlődési típusba tartozó vályúk nem csak mélyülnek, hanem hosszabbodnak is, ezért alsóbb részeik idősebbek mint a felsőbbek. Az ilyen vályúk hosszabbodása azért következik be, mert a vályúvégekhez a még vályú mentes lejtőről oldószer érkezik. Miután a vízáramlás a lejtő dőlésiránya mentén a legintenzívebb, a vályú hosszabbodása a dőlésiránnyal ellentétes irányú lesz. Ha a lejtő dőlésiránya a lejtőn mindenhol ugyanakkora egyenes, ha változó kanyargó (álmeanderező) vályú alakul ki. Ezen vályúfejlődési típus akkor jön létre, ha a lejtőn az oldószer felületileg áramlik.

Sávokra különülése éppen a vályúk kialakulása miatt következik be. Az oldószer sávokra különülésének ideje fiatalabb, mint adott helyen a vályú kialakulás.

1. Álmeander

Az álmeandereknél - bár a vályú kanyarog - a vályú szimmetrikus keresztmetszetű, a vályúoldalban sem szoknya, sem aláhajló oldalfal nincs (*11a. ábra*). Mindez arra vezethető vissza, hogy a sodorvonal csak álkilendüléseket szenvedett el, mert az oldószer irányváltozásait követte. Ez utóbbi viszont a vályú kanyargását. Ez akkor lehetséges, ha a vályú hátrálva fejlődik. (Az álmeandereket olyan különböző irányú vályúszakaszok alakítják ki, amelyek a különböző helyzetű lejtőszakaszok dőlésirányai mentén alakultak ki.)

Az álmeanderek hurkaiban a zúg részek környezetüktől kismértékben különülnek el (nyak rész hiányzik). Az álmeanderes vályúknál a meanderöv szélesség és a meander hossz kicsi, a meander hullámhossz nagy.



11. ábra: Meander típusok

Jelmagyarázat: alaprajzon: 1. karrosodó kőzet, 2. I. típusú vályú, 3. szoknya a vályú peremétől, 4. szoknya a vályúoldal al alsó részén, 5. aláhajló fal, 6. szelvény helye, keresztmetszeten: 7. aláhajló oldalfal, 8. szoknya, 9. zúg, 10. szimmetrikus keresztmetszetű vályú és vályúrész, 11. aszimmetrikus keresztmetszetű vályú, a. álmeander, b. meander roncs, c. hurok meander, d. kifejlődő meander, I. felülnézet, II. oldalnézet

Figure 11: Meander types

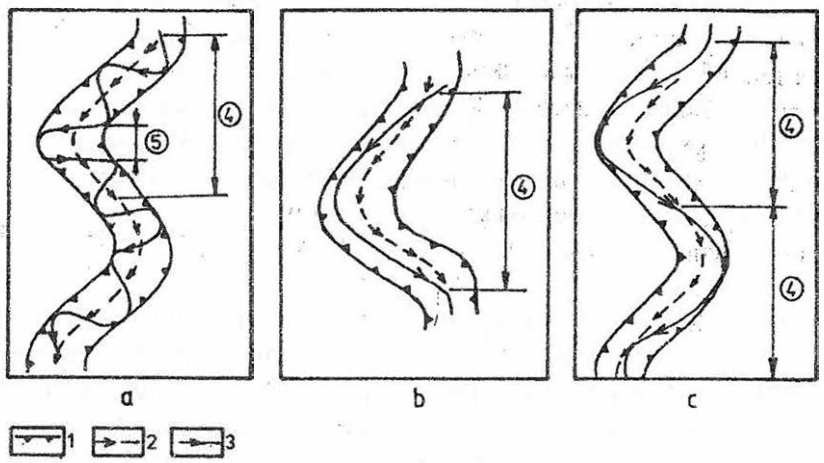
Legends: on ground-plan: 1. rock developing karren, 2. I. type rinnen, 3. skirt total in size of side rinnen, 4. skirt under part of side rinnen, 5. underincline side wall, 6. place of section, on cross-section 7. underincline side wall, 8. skirt, 9. corner, 10. symmetric cross-section rinnen and part of rinnen, 11. asymmetric cross-section rinnen, a. pseudo meander, b. meander remain, c. loop meander, d. developing meander, I. top-view, II. side view.

2. Igazi meander

Igazi meanderek a sodorvonal igazi (tényleges) kilendülése során képződnek.

2.1. Meander roncs

Meander roncsos vályúk vályúperemei ívesek. A szomszédos ívek egymásba kapcsolódva jellegzetes csúcsokat képeznek. Az egyik vályúperem egy-egy csúcsa az átellenes vályúperem két szomszédos csúcsa közti távolság felénél helyezkedik el. A csúcsoknál a peremtől a talpig kifejlődött szoknyák sorakoznak. (A szoknyák azonban nem folytatódnak olyan zúg részben, amelyek az eredeti térszínnek a kanyarulat által közrefogott része.) A csúcsok közti íves



12. ábra: Sodorvonal hullámhosszak a különböző meander típusoknál
Jelmagyarázat: a. álmeanderező, roncsmeanderes vályún, b. egyszerű irányváltozással álmeanderező hurokmeanderes vályún, c. kétszeri irányváltozással álmeanderező hurok meanderes vályún, 1. oldószer, ill. a kialakuló vályú pereme, 2. eredeti sodorvonal, 3. kilendült sodorvonal, 4. eredeti sodorvonal hullámhossza, 5. kilendült sodorvonal hullámhossza
Figure 12: Channel line wave-lengths at different meander types
Legends: a. pseudo meandering on rinnen with remain meander, b. pseudo meandering on rinnen with loop meander with simple direction change, c. pseudo meandering on rinnen with loop meander with double direction change, 1. solvent or boundary of developing rinnen, 2. original channel line, 3. swung out channel line, 4. wave-length of original channel line, 5. wave-length of swung out channel line

peremek alatt az oldalfal aláhajló (*11b. ábra*).

A meander roncsos hurkok meanderív hossza a meander hullámhosszához képest igen változatos lehet attól függően, hogy a vályú kialakulás kezdetén a sodorvonal kilendülése a vályúfal hiánya miatt ugyancsak igen változatos mértékű lehet. Ugyanakkor viszonylag kicsi a meanderöv szélessége. Mindez arra vezethető vissza, hogy a bemélyülő vályútalpakon a kanyarulatok íveltsége lényegesen nem nőhet. A sodorvonal kezdeti kilendülése öröklődik át. Ugyanakkor az ívek végeik irányába történő növekedésének határt szab a visszaforduló sodorvonal, illetve az átellenes vályúperem.

A szoknyáknak egy-egy vályúoldal teljes hosszábani kifejlődése, de különösen a meandernek az átellenes oldalán a vályúperem íves lefutása azt bizonyítja, hogy a sodorvonal kilendülés(ek) már a vályúkialakulás előtt a tago-

latlan felszínen megtörtént (vályúképződés előtti sodorvonal kilendülés). Ezért a meander roncsok kialakításáért felelős sodorvonal kilendüléseket belső ok váltotta ki az olyan vályúk esetében, amelyek egyenesek és nem belső vályúk. A meander roncsos morfológia a felszínen lefolyó oldószer sodorvonalának kilendülését feltételezi, ami csak akkor lehetséges, ha a kialakuló vályú nem regreszsziós, hanem esővíz barázdás fejlődésű.

Megfigyelhető, hogy a roncsolt meanderes vályúk nem csak egyenes lefutásúak lehetnek. Ugyanakkor a vályúperemek nem mutatnak kettős (összetett) íveltséget. Ez csak úgy magyarázható, ha feltételezzük, hogy az egységesen mélyülő vályút létrehozó oldószer a különböző lejtésirányú felszínen haladva álmeandereket képezett. Az álmeanderező oldószerben azonban egyidejűleg sodorvonal kilendülés ment végbe. Ezáltal az álmeanderes vályún meander roncsok képződnek. Ilyenkor a meander roncsos hurkok hullámhossza mindig kisebb, mint az álmeanderek hullámhossza, tehát egy álmeander hurkán több meander roncsos hurok sorakozik (*12a ábra*).

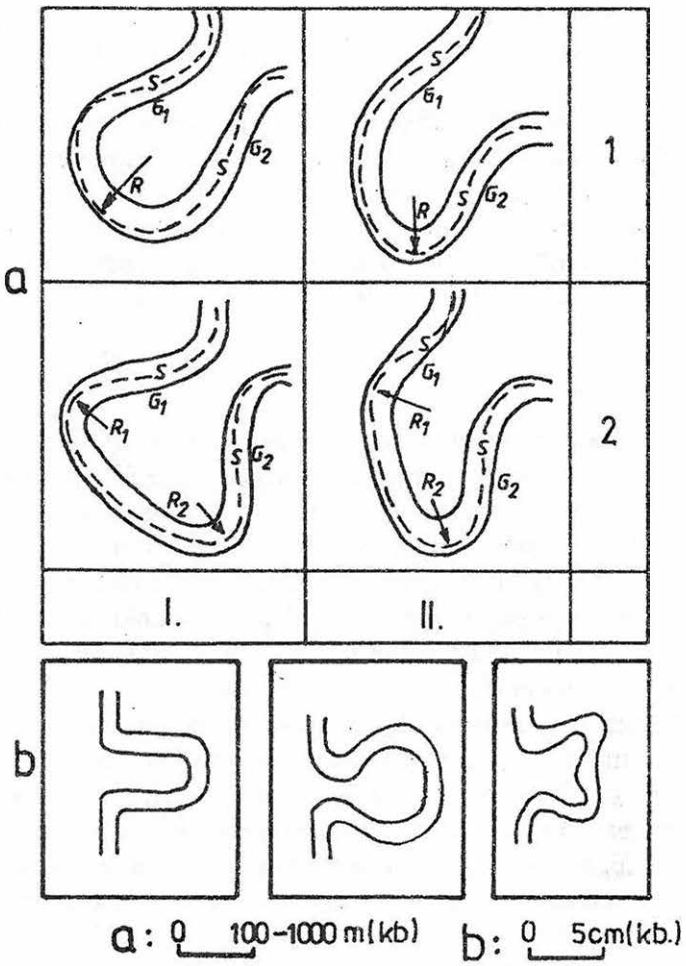
2.2. Hurok meander

A vályúk tényleges hurkokat írnak le. A hurkok által övezett zugok magassága és lejtése megegyezik a hordozó térszín magasságával és lejtésével. A zúg rész területén tehát kanyarulat lesiklás nem történt. A vályú aszimmetrikus keresztmetszetű, morfológiája hasonló a meander roncsos vályúk morfológiájához (*11c. ábra*). A meanderöv szélessége, de a meanderív hossza is, az e típusba tartozó hurkoknál nagy, a meander hullámhossz kicsi, vagy nagy változatosságot mutathat.

Hurok meanderek ott alakulnak ki, ahol a vályú irányt változtat, tehát álmeandereknél (*12. ábra*). Akkor, ha a két eltérő irányú vályúszakasz között 90° körüli az eltérés a hurok hullámhossza megegyezik az álmeanderek hullámhosszával. Előfordulhat, hogy a két vályúszakasz hasonló irányú (ezek lesznek az ún. hosszanti vályúszakaszok), de ezek egy harántirányú szakasszal kapcsolódnak össze. Ekkor a harántirányú szakasz két álmeanderrel kapcsolódik a hosszanti vályúszakaszokhoz. A két hurok hullámhossza ugyancsak megegyezik a megfelelő álmeander hullámhosszával. Mindezek a sajátosságok arra utalnak, hogy a sodorvonal kilendülését ezen meander típusnál az álmeanderezés okozza. A sodorvonal kilendülése tehát külső okra vezethető vissza.

Akkor, ha a hurok meander a peremétől aszimmetrikus keresztmetszetű, a sodorvonal már a vályúmélyülés kezdetén kilendült az álmeandernél. Ilyenkor a vályúfejlődés esővíz barázdás típusú.

A hurok meanderek emlékeztetnek leginkább a folyó meanderekre. Ez utóbbiak lehetnek egyszerű, összetett meanderek, amelyeknek kifejlődhetnek szimmetrikus és aszimmetrikus változatai is (*13a. ábra*). Ezek a változatok a hurok meandereknél is megfigyelhetők (*13b. ábra*).



13. ábra: Különböző folyó (a, Allen nyomán) és hurok meanderek (b)
Jelmagyarázat: G_1, G_2 inflexiós pont, R_1, R_2, R_3 kanyarulat sugár, S sodorvonal
I. szimmetrikus, II. aszimmetrikus, 1. egyszerű, 2. összetett
Figure 13: Different river (a, after Allen) and loop meanders (b)
Legends: G_1, G_2 inflection point, R_1, R_2, R_3 bend radius, S channel line I. symmetric, II. asymmetric, 1. simple, 2. joined

A különböző ívű hurok meanderek azonban nem valószínű, hogy egy fejlődési sor különböző fázisait képviselik, hanem a különböző helyeken az oldószernek a vályú kialakulás előtti különböző meanderezését reprezentálják. Ez alól a többszörösen összetett meanderek jelenthetnek kivételt. Itt ugyanis gyakran megfigyelhető, hogy a hurok többszörös összetettségét a homorú ívben kifejlődő szoknya (ellen szoknya) okozza. Kialakulása úgy történik, hogy a kilendült sodorvonal a homorú vályúfal ívét nem képes követni. Annak valamely pontján a falnak ütközik, miáltal a sodorvonalon egy kisebb, ellenkező irányú kilendülés játszódik le. (Emiatt a kanyarulat egyuttal kifejlődő meanderezésű is lesz.)

A hurok meander, főleg III. típusú vályúkon kifejlődő meander típus. Elsősorban olyan helyeken, ahol a hordozó I., vagy II. típusú vályú talpa széles.

Valószínűleg a hurok meanderek álmeanderező oldószer irányváltozásainál képződnek, működéshez köthető sodorvonal kilendülések, majd az ezek során létrejövő szoknyák sodorvonalat kitérítő hatására. A fentieknek megfelelően a hurok meanderek az oldószer irányváltozási helyein annál nagyobb eséllyel alakulhatnak ki, minél nagyobb az oldószer mennyiségének az ingadozása, valamint minél nagyobb a különböző lejtőrészletek dőlésiránya közti eltérés.

2.3. Kifejlődő meander

A vályúperem egyenes vagy ha nem, akkor a vályú álmeanderes. A hordozó vályú felső része szimmetrikus, amely lefelé éles határ nélkül megy át aszimmetrikus keresztmetszetű vályú részbe. A szoknyák nem a vályú teljes oldallejtőjén, hanem csak a vályúlejtő alacsonyabb részén fejlődnek ki az aláhajló falak hiányozhatnak (11d. ábra). Zúg nincs, illetve ha a zúgot a vályúperemmel közrefogott területként értelmezzük, akkor az a szoknya területére esik.

A fenti vályúkeresztmetszet jelleg változás arra utal, hogy a sodorvonal kilendülés a vályú bemélyülése során kezdődik el.

A kifejlődő meanderes vályúk egyaránt lehetnek esővíz barázdások, vagy regressziósak, miután a sodorvonal kilendülés a vályúkialakulás kezdeténél fiatalabb. Az ilyen morfológiájú vályúk regressziós eredetére utal az, ha a felsőbb vályúvéghez közelebbi részükön az igazi meanderek hiányoznak.

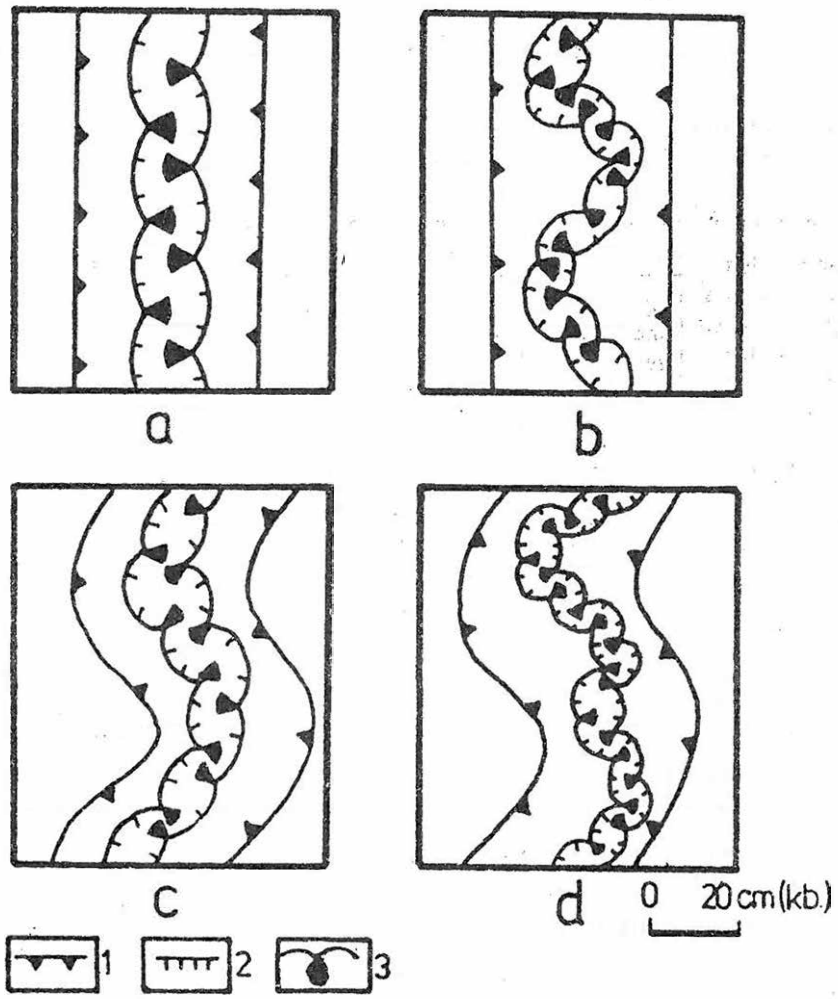
Morfológiai megfigyelések arra utalnak - bár e tekintetben még további vizsgálatok szükségesek -, hogy a sodorvonal kilendüléshez mind külső, mind belső ok hozzájárulhat.

2.4. Megszűnő meander

Az aszimmetria a vályúk felső részére korlátozódik. A homorú vályúperemeknél a függőleges falrészek felett óriás színlők és függő teraszok alakulnak ki, a domború vályúperemeknél olyan kis méretű szoknyák képződhetnek, amelyek lefelé fokozatosan belesimulnak a határoló vályú oldalakba.

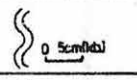
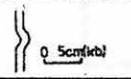
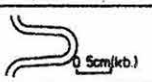
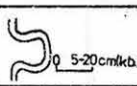
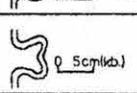
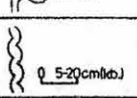
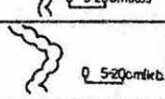
A megszűnő meanderek akkor alakulnak ki, ha egy bizonyos vályú mélységtől a sodorvonal már nem lendül ki. A megszűnő meanderes vályúk lehetnek íves pereműek (mint a roncs meanderes vályúk peremei), vagy enélküliek. Ha a vályú íves peremű, a sodorvonal kilendülés még a vályúkialakulás kezdete előtt megtörtént (esővíz barázdás vályúkialakulás). Ha a vályú pereme nem íves, a sodorvonal kilendülés a vályú mélyülése során ment végbe. Ilyenkor a vályú egyaránt lehet esővíz barázdás, vagy regressziós. (Regressziós eredetre utal az, ha a vályú egyes részein az igazi meanderek hiányoznak.)

A különböző kanyarulat típusok előfordulnak I., III. (*I. táblázat*), de II. típusú vályúkon is.



14. ábra: Összetett, meander roncsos vályúk
Jelmagyarázat: 1. I. típusú vályú, 2. III. típusú vályú, 3. roncs meanderes vályúperem, szoknyával; egyenes, I. típusú vályú, egyenes (a), ill. álmeanderező szorított meander roncsos III. típusú vályúval (b), álmeanderező, I. típusú vályú és ezzel hasonlóan ál-kényszermeanderező meander roncsos (c), valamint csúsztatottan ál-kényszermeanderező meander roncsos (d) III. típusú vályúval
Figure 14: Joined rinnen with meander remains
Legends: 1. I. type rinnen, 2. III. type rinnen, 3. rinnen boundary with remain meander, with skirt; in direct line, I. type rinnen, in direct line (a), or rather pseudo meandering pressed meander remain with III. type rinnen (b), pseudo meandering I. type rinnen and meander remain constrained pseudo meandering (c), and slipped meander remain constrained pseudo meandering (d) with III. type rinnen..

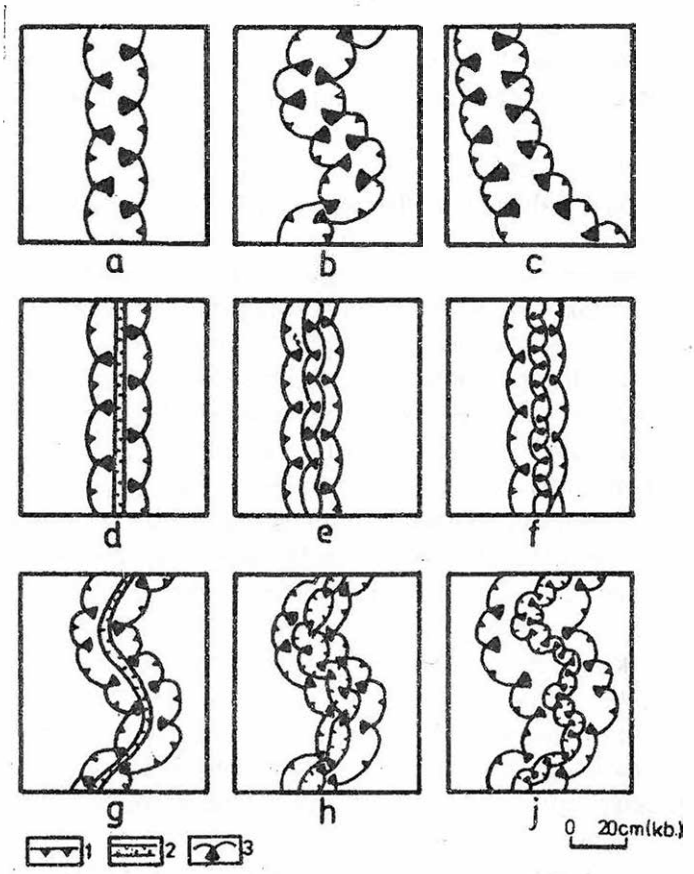
I. Táblázat Meander előfordulások a Totes-hegység egy karros térszínrészletén
Table I. Meanders on one of karren ground surface part in Totes Gebirge

meandervályúk vázlatos rajzai rough sketches of meandering rinnens	I. típusú vályú I. type rinnen		III. típusú vályú III. type rinnen	
	igazi meander real meander	álmeander pseudo-meander	igazi meander real meander	álmeander pseudomeander
		+	+	+
			+	
			+	
	+	⊕	+	
			+	
	+	⊕	+	
	+			

+ egyedi eset Special case

IV. Összetett vályúk meanderezése

A belső vályúk meanderezése lehet ál- és igazi meanderezés. Álkényszermeanderes a belső vályú ha álmeanderei a hordozó vályú álmeanderezését követik. Akkor, ha a belső vályún igazi meanderek alakulnak ki igazi kényszermeanderezés jön létre. Igazi kényszermeanderezést kialakíthat a fő vályú álmeanderezése, vagy igazi meanderezése egyaránt. Mind az ál- mind az igazi kényszermeanderezés lehet hasonló - illetve elcsúsztatott kényszermeanderezés. Előző esetben a belső vályú meandereinek hullámhossza és hurok száma megegyezik a hordozó vályúéval (akár álmeanderek, akár igazi meanderek), utóbbi esetben nem.



15. ábra: Egyszerű (a, b, c) és összetett (d, e, f, g, h, j) meander roncsos vályúk
Jelmagyarázat: I. típusú vályú, 2. III. típusú vályú, 3. roncsolt meanderes vályúperem szoknyával,
egyszerű vályúk: egyenes (a), álmeanderes (b), íves (c)
meanderroncsos összetett, egyenes vályúk: I. típusú vályú meander roncsal, III. típusú vályú meander nélkül (d), III. típusú vályú igazi hasonlóan kényszermeanderező meander roncsos (e), III. típusú vályú igazi kényszer elcsúsztatott meander roncsokkal (f)
összetett álmeanderes vályú: álmeanderező III. típusú vályúval (g), igazi hasonlóan kényszermeanderező meander roncsos III. típusú vályúval (h), igazi elcsúsztatottan kényszermeanderező meander roncsos III. típusú vályúval (j)
Figure 15: Simple (a, b, c) and joined (d, e, f, g, h, j) rinnens with meander remoins
Legends: 1. I. type rinnen, 2. III. type rinnen, 3. remained meander rinnen boundary with skirt,
simple rinnens: straight (a), with pseudo meander (b), arcuate (c)
joined remained meander rinnens, straight rinnens: I. type rinnen with meander remain, III. type rinnen without meander (d), III. type rinnen really meander remain constrained meandering (e), III. type rinnen with really slipped and constrained meander remains (f)
joined pseudo meandering rinnen: with pseudo meandering III. type rinnen (g), with really meander remain constrained meandering III. type rinnen (h), with really meander remain slipped and constrained meandering III. type rinnen (j)

Akkor, ha a belső vályú kanyargása teljesen eltér a hordozó vályú kanyargásától (illetve utóbbi egyenes) a belső vályú ál- vagy igazi szorított meanderezésű, valamint ál- vagy igazi szabad meanderezésű lehet. Előző esetben a belső vályú meanderöv szélességét a hordozó vályú vályútalp szélessége szabja meg, utóbbi esetben a belső vályú meander övének szélessége kisebb mint a hordozó vályútalp szélessége.

Az I. típusú vályúk fejlődhetnek illetve mélyülhetnek teljes hosszukban (esővíz barázdás típusú mélyülés), vagy regressziósan.

A regressziós vályúk lehetnek egyenesek és álmeanderezők. Az egyenes vályúk meander nélküliek, vagy kifejlődő meanderesek lehetnek. (Utóbbi esetben a sodorvonal kilendülés a vályúmélyülés során kezdődik el.) Az álmeanderező vályúk vagy hurok meanderesek, vagy ugyancsak meander nélküliek. A regressziós vályúk lehetnek továbbá egyszerűek, vagy összetettek.

Összetett vályúk I. típusú egyenes vályúiban a II. és III. típusú vályúk leggyakrabban meander roncsosak (*14a. ábra*), vagy álmeanderesek, továbbá álmeanderező és meander roncsosak (*14b. ábra*). Mindkét esetben a III. típusú vályú esővízbarázdás kialalkulású, de utóbbi esetekben szabad álmeanderezésű vagy szorított meanderezésű. Az álmeanderező I. típusú vályúban a III. típusú vályú ugyancsak lehet álmeanderező és meander roncsos. Az álmeanderezés lehet hasonló kényszermeanderezés (*14c. ábra*) és elcsúsztatott kényszermeanderezés (*14d. ábra*).

Akkor, ha a sodorvonal már a vályú kialakulása előtt kilendült esővíz barázdás, többnyire meander roncsos vályúk képződnek. A meander roncsos vályúk lehetnek egyenesek (*15a. ábra*), vagy álmeanderesek (*15b. ábra*), esetleg csak irányukat változtatók (*15c ábra*).

Az esővíz barázdás vályúk lehetnek egyszerűek, (*15a, b, c. ábrák*), vagy összetettek (*15d-j. ábrák*). Utóbbiak esetében az I. típusú vályúkban többnyire III. típusú vályúk fordulnak elő. Az egyenes, összetett vályúk belsejében a III. típusú vályú leggyakrabban meandermentes (*15d ábra*), vagy meander roncsos morfológiájú lehet (*15e. ábra*). A *15d. ábra* által bemutatott esetben a III. típusú vályú regressziós, míg a *15e.* és *f. ábrán* bemutatott esetekben egyenletesen bemélyülő, esővíz barázdás fejlődésű.

A *15e.* és *f. ábrák* igazi kényszermeanderezést mutatnak be. Ugyanis a III. típusú vályú igazi meanderei az I. típusú vályú igazi meanderei által meghatározottak. A *15e. ábrán* igazi hasonló, a *15f. ábrán* igazi elcsúsztatott kényszermeanderezés látható.

Álmeanderező I. típusú vályúkban a III. típusú vályú kialakulhat ugyancsak álmeanderezve, regresszióval (*15g. ábra*), vagy meanderroncsos morfológiával, tehát esővíz barázdás típusú kifejlődéssel. Ekkor mind az álmeanderezés, mind az igazi meanderezés hasonló (*15g, h. ábrák*), vagy elcsúsztatott (*15j. ábra*) kényszermeanderezés lehet.

V. Következtetések

a. A karrmeanderek formakincsének tipizálása és a formák kialakulásának értelmezése a vályútalpakon lejátszódó oldódási mechanizmus megértéséhez, valamint a meanderezés egy olyan változatának megismeréséhez ad információkat, amely a karrosodás folyamatához kötődik.
b. A karrmeanderek és formakincsük kialakulását a vonalasan áramló oldószer sodorvonalának kilendüléseiből vezetjük le.
c. A karrvályúk meandereinek tipizálásával a vályúfejlődés két fő típusát - esővíz barázdás és regressziós típus - különíthettük el. Azok a vályúk, amelyek meander roncsosak, megszűnő meanderesek és hurok meanderesek (ez utóbbiaknál a vályuk a peremeiktől aszimmetrikusak), valószínűleg esővíz barázdásak. Az álmeanderező és a kifejlődő meanderes (ha felső végük álmeanderező) vályuk regressziós kifejlődésűek.
d. Az egyszerű, de főleg az összetett karrvályúk meandereinek minősítése adatokat ad az egyes vályúk fejlődéséhez. Valamely karros térszínrészleten előforduló vályúk fejlődésének értelmezésével egy-egy nagyobb karros térszínrészlet kialakulása, továbbá az ott lejátszódó felszínfejlődés felvázolása is lehetséges.

IRODALOM

ALLEN. J. R. (1982): Sedimentary Structures. Their Character and Physical Basis I-II. - Amsterdam - Oxford - New York: Elsevier
BALÁZS D. (1990): Karrformák-karregyüttesek - Karszt és Barlang II. p. 117-122.
BALOGH K. (1991): Szedimentológia I. - Akadémia Kiadó, Bp.
BARNA J. (1998): Karrmeanderek szintvonalas ábrázolásának tapasztalatai - Karsztfejlődés II. (Totes Gebirge karrjai) - BDTF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p. 91-98.
BORSY Z. (1992): Általános természetföldrajz - Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest
BÖGLI A. (1976): Die wichtigsten karrenfurmen der kalkalpen - In: Karst procosses and relevants landsforms. ISU Comission on karst Dunudation, Ljubljana pp. 141-149.
DUNKERLEY, D. L. (1979): The morphology and development of Rillenkarren - Z. Geomorph. 23. p. 332-348.
FRIDTJOF, B. (1954): Verkarstung und Badenschwund im Dachsteingebiet Mitteilungen der Höhlenkomission 1.p. 53-56.

HUTCHINSON, D. W. (1996): Runnels, rinnenkarren and mäanderkarren: form, classification and relationships - In: *FORNOS, I. J. - Á. GINES* (szerk.): Karren landforms p. 209-223, Universitat de les Illes Balears, Palma de Mallorca
PÉCSI M. (1975): Geomorfológia - MÁFI, Bp.
SZUNYOGH G.-LAKOTÁR K.-SZIGETI I. (1998): Nagy területet lefedő karrvályúrendszer struktúrájának elemzése - Karsztfejlődés II. (Totes Gebirge karrjai) - BDTF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p. 125-148.
VERESS M.-BARNA J. (1998): Karrmeanderek morfológiai térképezésének tapasztalatai - Karsztfejlődés II. (Totes Gebirge karrjai) - BDTF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p. 59-74.
VERESS M. (1995): Karros folyamatok és formák rendszerezése Totes Gebirge-i példák alapján - Karsztfejlődés I (Totes Gebirge karrja) - Pauz Kiadó, Szombathely, p. 7-30.
ZENTAI Z.-HORVÁTH E. T. (1995): Totes-hegységi lejtőkarrok morfometriai vizsgálatainak eredményei - Karsztfejlődés I. (Totes Gebirge karrjai) - Pauz Kiadó, Szombathely, p. 79-88.

KARSZTFEJLŐDÉS II. (Totes Gebirge karrjai)
Szombathely, 1998. pp. 59-73.

KARRMEANDEREK MORFOLÓGIAI TÉRKÉPEZÉSÉNEK TAPASZTALATAI

VERESS MÁRTON* - BARNA JÁNOS**
*Berzsenyi Dániel Tanárképző Főiskola, Természetföldrajzi Tanszék
9700 Szombathely, Károlyi G. tér 4.
**1632 Letkés, Diófa u. 38.

Abstract: The detailed (1:5 or 1:10 scaled) morphological map of nine meandering rinnen is given. Not only the detailed classification can be given, but also the developing history can be shown with the using of these maps.

1. Bevezetés

1977-ben a Totes Gebirge hegységben négy térszínrészleten folytattuk meanderező karrvályúk morfológiai térképezését. Az I. területen 2 (1 és 2 jelű), a II. területen 2 (3 és 4 jelű), a III. területen 2 (5 és 6 jelű), innen 100-200 m-es távolságra a IV területen 1 (7 jelű), az V. jelű területen 2 (8 és 9 jelű) karrvályút térképeztünk. E területek a Scheibling-csúcs közelében a 230 számú turistaút mentén sorakoznak (É-ról D felé haladva növekvő sorszám szerint).

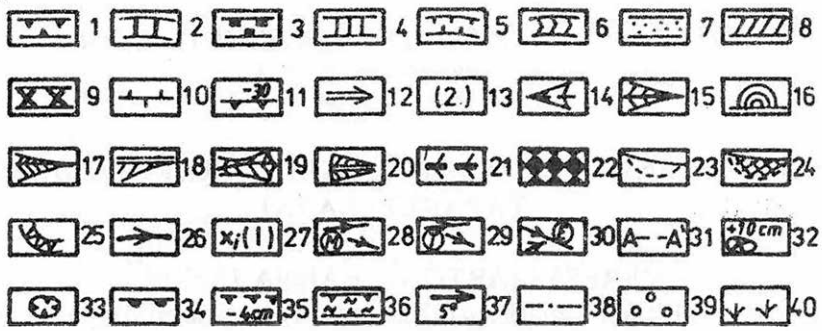
A hordozó térszínek olyan karros, réteglapos térszínek, amelyek vagy egykori hógyűjtők (I. III. terület), vagy a gleccservölgyek oldalában, kis lejtésű, teraszszerű plató részletek (II. IV. V. területek). Különösen az utóbbiakra jellemző, hogy felszínük szinte járhatatlanul tagolt vertikális karsztformákkal. A réteglapok csapás irányába kifejlődött oldódási hasadékok kisméretű platók sorozatát hozzák létre. A térképezett karrvályúk ezen platók, teraszok réteglapos felszínén fejlődtek ki. Intenzív bemélyülésük valószínűleg a hasadék kialakulásra visszavezethető magasságkülönbség megnövekedésével hozható kapcsolatba.

2. A térképezés

A felmérés módszerét már korábbi térképezések tapasztalatára alapoztuk, illetve fejlesztettük tovább (*VERESS M.-NACSA T.-SZÉLES GY.-DOMBI L.* 1995, *SZUNYOGH G.* 1995, 1998).

A karrvályukat négyzetrácsos háló felhasználásával mértük fel. A háló négyzetei 10x10 centiméteres kiterjedésűek voltak. Ezáltal olyan részletes felmérést folytathattunk, hogy a karrvályuk térképei 1:5, ill. 1:10 méretarányban kerülhettek kiszerkesztésre.

A felmérést és térképkészítést az alábbi lépésekben végeztük:



1. ábra: A 2-10 ábrák jelkulcsa

Jelmagyarázat: alaprajzon: 1. I. típusú vályú függőleges vályúoldala, 2. I. típusú vályú lankás vályúoldala, 3. II. típusú vályú függőleges vályúoldala, 4. II. típusú vályú lankás vályúoldala, 5. III. típusú vályú függőleges vályúoldala, 6. III. típusú vályú lankás vályúoldala, 7. sík vályútalp, 8. vályútalp terasz, 9. talp maradvány, 10. vályútalp vízválasztó, 11. vályú mélysége (centiméterben), 12. vályútalp lejtésiránya 13. kanyarulat száma, 14. kifejlődő szoknya, 15. félgúla szoknya, 16. félkúp szoknya, 17. aszimmetrikus szoknya, 18. fél szoknya, 19. összetett szoknya, 20. III. típusú vályú által roncsolt szoknya, 21. nem aktív, éles gerincű, pusztuló szoknya (szoknyamaradvány), 22. meander terasz szoknyán, 23. aláhajló fal, 24. meander terasz aláhajló falnál, 25. színlő és óriás színlő (kisméretű színlő kanyarulaton belüli helye és kiterjedése nem méretazonos), 26. becsült sodorvonal, áramlási iránnyal (a zárójeles szám jelzi, hogy milyen típusú vályú sodorvonala), 27. becsült inflexiós pont, 28. működéshez köthető sodorvonal bifurkáció, 29. lesikláshoz köthető sodorvonal bifurkáció, 30. egyesülő sodorvonalak, 31. keresztmetszet helye, 32. korróziós talpi szigethegy magassági adattal, 33. kürtő, 34. oldásos hasadék, 35. oldásos küszöb, lépcső mélységadattal (centiméterben), 36. felületi oldással kialakult felszínrészlet, 37. határoló térszín lejtésiránya és lejtőszöge, 38. törés, 39. talaj, 40. növényzet, a. egyenes vályúszakasz, b. álmeanderes vályúszakasz, c. igazi meanderes vályúszakasz (c_1 roncs meanderes, c_2 hurok meanderes, c_3 kifejlődő meanderes, c_4 megszűnő meanderes), sodorvonal kilendülés oka belső (α), külső oka (β), vezethető vissza (β_1 a vályú, vagy a hordozó vályú álmeanderezése, β_2 mellékvályú áramló vize, β_3 a kanyarulat ill. szoknyája, β_4 hordozó vályú pereme), keresztmetszet; 1. homorú vályúperem aláhajló fala, 2. óriás színlő homorú vályúperemen, 3. meander terasz homorú vályúperemen, 4. színlő homorú vályú oldalon, 5. színlőközi gerinc, 6. színlő roncs, 7. szoknya, 8. meander terasz, 9. szoknya maradvány felső, 10. szoknyamaradvány alsó, 11. nagyméretű színlő domború vályúperem alatt, 12. színlő a szoknyán, 13. függőlegesre leoldott szoknyaoldal, 14. vályútalp, 15. talpmaradvány, 16. idősebb, nem aktív vályútalp, 17. vályútalp terasz

Figure 1: legends of fig. 2-10

Legends: 1. horizontal side wall of I. type rinnen, 2. gently slopping rinnen side of I. type rinnen, 3. horizontal side wall of II. type rinnen, 4. gently slopping rinnen side of II. type rinnen, 5. horizontal side wall of III. type rinnen, 6. gently slopping rinnen side of III. type rinnen, 7. plain rinnen bottom, 8. rinnen bottom terrace, 9. bottom remain, 10. rinnen bottom drainage, 11. depth of rinnen (in centimetres), 12. direction of grade of rinnen bottom, 13. number of bend, 14. developing of skirt, 15. half pyramid form skirt, 16. half cone form skirt, 17. asymmetric skirt, 18. half skirt, 19. joined skirt, 20. remained skirt by III. type rinnen, 21. skirt remain with sharp comb, 22. meander terrace on skirt, 23. underincline wall, 24. meander terrace at underincline wall, 25. platform and large platform (place and expansion of small platform in the bend, it is not drawn to scale), 26. estimated channel line with flowing direction (the type of channel line is shown with numbers) 27. estimated inflection point, 28. channel line bifurcation belonged to function, 29. channel line bifurcation belonged to slipping, 30. joined channel lines, 31. place of section, 32. karren inselberg on the bottom with corrosion (with heigth data), 33. pipe, 34. solution fissure, 35. solution swell, escarpment with depth data (in centimetres), 36. surface part developed with surficial solution, 37. descent direction and slope of boundary surface, 38. fracture, 39. soil, 40. vegetation, a. straight rinnen part, b. pseudo meandering rinnen part, c. real meandering rinnen part (c_1 remain meandering, c_2 loop meandering, c_3 develop meandering, c_4 end meandering), the swinging out of channel line depends on inner (α) or external (β) reason (β_1 pseudo meandering of rinnen, β_2 flowing water of ancillary rinnen, β_3 the bend or its skirt, β_4 boundary of rinnen), section: 1. underincline wall of concave boundary of rinnen, 2. large platform on concave boundary of rinnen, 3. meander terrace on concave boundary of rinnen, 4. platform on concave rinnen side, 5. crest between platforms, 6. platform remain, 7. skirt, 8. meander terrace, 9. upper skirt remain, 10. lower skirt remain, 11. large platform under convex boundary of rinnen, 12. platform on the skirt, 13. horizontal solution skirt side, 14. rinnen bottom, 15. bottom remain, 16. older, not active rinnen bottom, 17. rinnen bottom terrace

- A háló kifeszítése a térképezendő terület felett és vízszintesbe állítása.
- A négyzetek csúcsaitól függőleges irányú méréseket végeztünk. (Mértük a vályú peremeknek, a kisformák peremeinek, valamint a vályútalpaknak és a hálónak a távolságát.
- Ismerve a négyzetrácsok koordinátáit a mérési adatokat felrakva elkészíthettük a karrvályúk síkrajzi és szintvonalas (helyi rendszerben) térképeit.
- A különböző képződményeket speciális jelkulccsal ellátva (*1. ábra*) a síkrajzi térképet morfológiai, morfogenetikai térképpé fejlesztettük. A térképeken ábrázolt formák morfológiai és morfogenetikai minősítéséhez *VERESS M.* (1998) eredményeit használtuk fel.

A morfogenetikai jelleg kihangsúlyozása azért lehetséges, mert a térképről leolvasható adatok felhasználásával becsléssel sodorvonalakat rekonstruálhattunk az alábbi módon:
- Bejelöltük az inflexiós pontokat úgy, hogy adott kanyarulatnak a homorú peremén az aláhajló fal elvégződése és a következő kanyarulatnál az aláhajló fal kezdete közötti távolságot megfeleztük. Aláhajló falak hiányában a szomszédos szoknyák csúcsai közti legrövidebb távolság felénél jelöltük ki az inflexiós pontot. (Ha egyik kanyarulatból a szoknya, a következőből az aláhajló fal hiányzott a szoknya csúcs és az átellenes aláhajló fal előzőhöz közelebb eső elvégződése közti legrövidebb távolság felénél jelöltük ki az inflexiós pontot.)
- A sodorvonalat a szabad kézzel kirajzolt azon görbe adta, amely az egymást követő inflexiós pontokon úgy haladt át, hogy az, az aláhajló fal tövéhez simult.

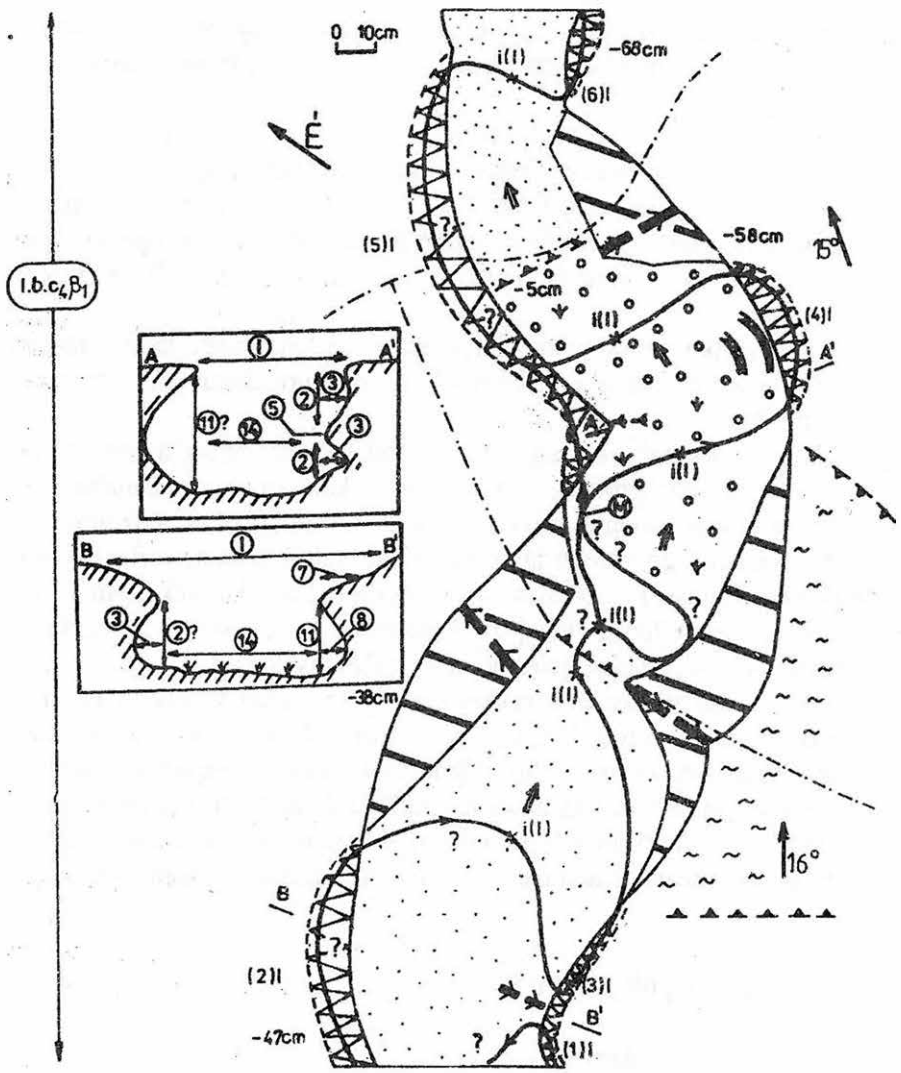
Az így előállított sodorvonalak alkalmasak lehetnek egyéb morfológiai elemek figyelembevételével az egyes vályúk fejlődésének minőségi leírására, de a meander fejlődés mennyiségi leírására nem. A sodorvonal kiszerkesztésének elvét és az így kapott meander adatok elemzését egy másik munkánkban végezzük el.

3. A térképezett karrvályúk jellemzése

3.1. Az 1 jelű karrvályú (2. ábra)

Nagyméretű, sík aljzatú I. típusú vályú, valószínűleg esővíz barázdás kifejlődésű, meanderezését álmeanderezése gerjeszthette, kanyarulatai megszűnő meanderek. A szoknyák erőteljesen lepusztultak, a homorú peremeknél nagyméretű függő meander teraszok képződtek.

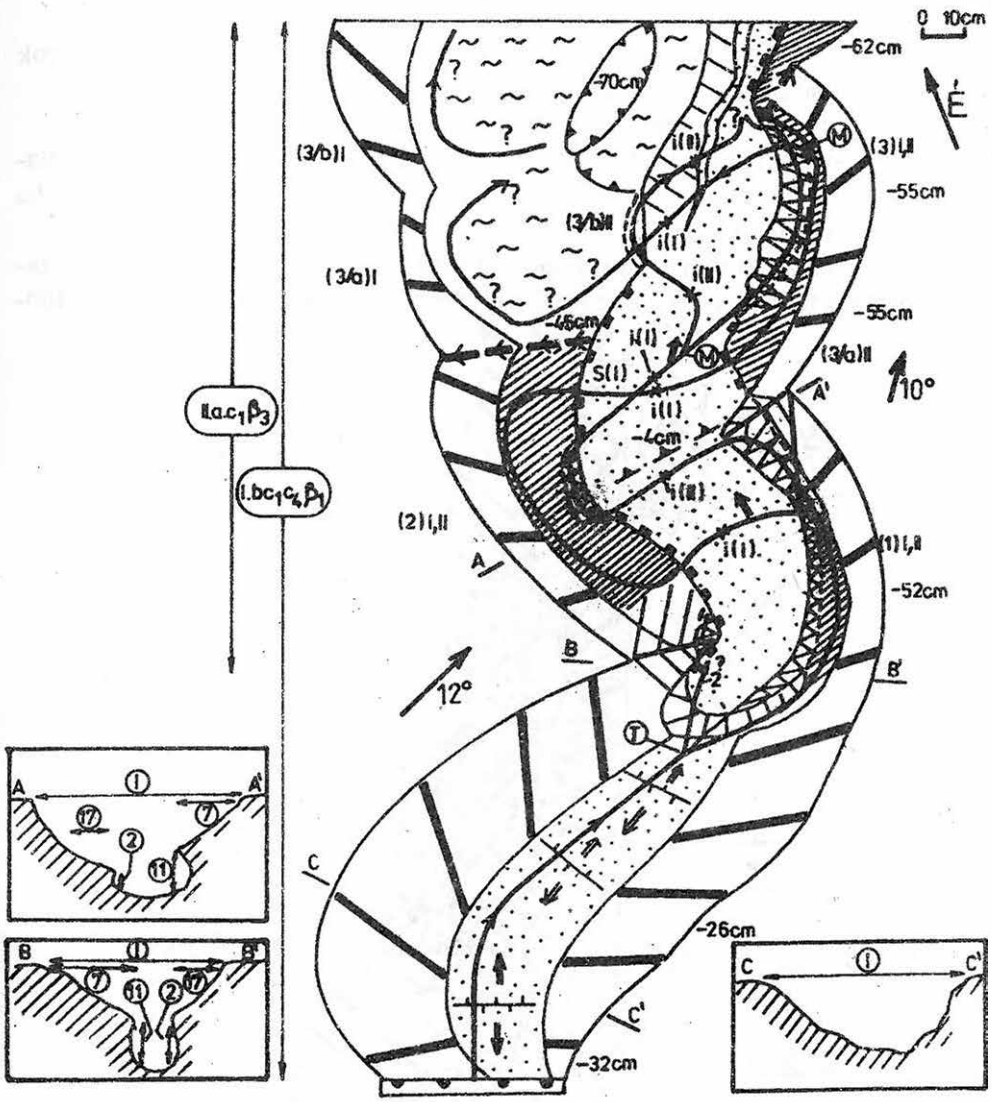
Az irányváltozás miatti sodorvonal kilendülés valószínűleg az 1-es és 4-es huroknál kezdődött el. A 2-es, 3-as, továbbá az 5-ös hurok az 1-es és 4-es huroknál végbement sodorvonal kilendülés csillapodása során keletkezhetett. Figyelemre méltó, hogy a 3-as és 4-es hurkok között csak szoknyák képződtek, de aláhajló falak nem. Ennél is különösebb, hogy az 1-es és 4-es hurkoknál az



2. ábra: Az 1. jelű karrvályú morfológiai térképe
Figure 2: Morphological map of rinnen 1

aláhajló fal szoknya alatt (A-A' és B-B' szelvények) alakult ki. (E helyeken mindkét vályúoldal aláhajló) Ennek két oka is lehet:

- Az 1-es huroknál a sodorvonal két szára olyan közel került egymáshoz, hogy a szoknya alul csonkolódhatott. A 4-es hurok szoknyájánál viszont azért, mert a 3-as kanyarulat után a sodorvonal időlegesen nem lendült ki.
- A vályúban a sodorvonal kanyargása megváltozott. Előbb kialakult az 1-es hurok szoknyája és a 2-es hurok aláhajló fala, majd a sodorvonal ellentétesre váltva kialakította az 1-es hurok aláhajló falát. A 4-es huroknál előbb a jobbol-



3. ábra: A 2. jelű karrvályú morfológiai térképe
Figure 3: Morphological map of rinnen 2

dali peremen alakult ki aláhajló fal, majd ezt követően a sodorvonal az átellenes peremre helyeződött. Jelenleg a sodorvonal ismételten a jobboldali perem irányába lendül ki.

3.2. A 2 jelű karrvályú (3. ábra)

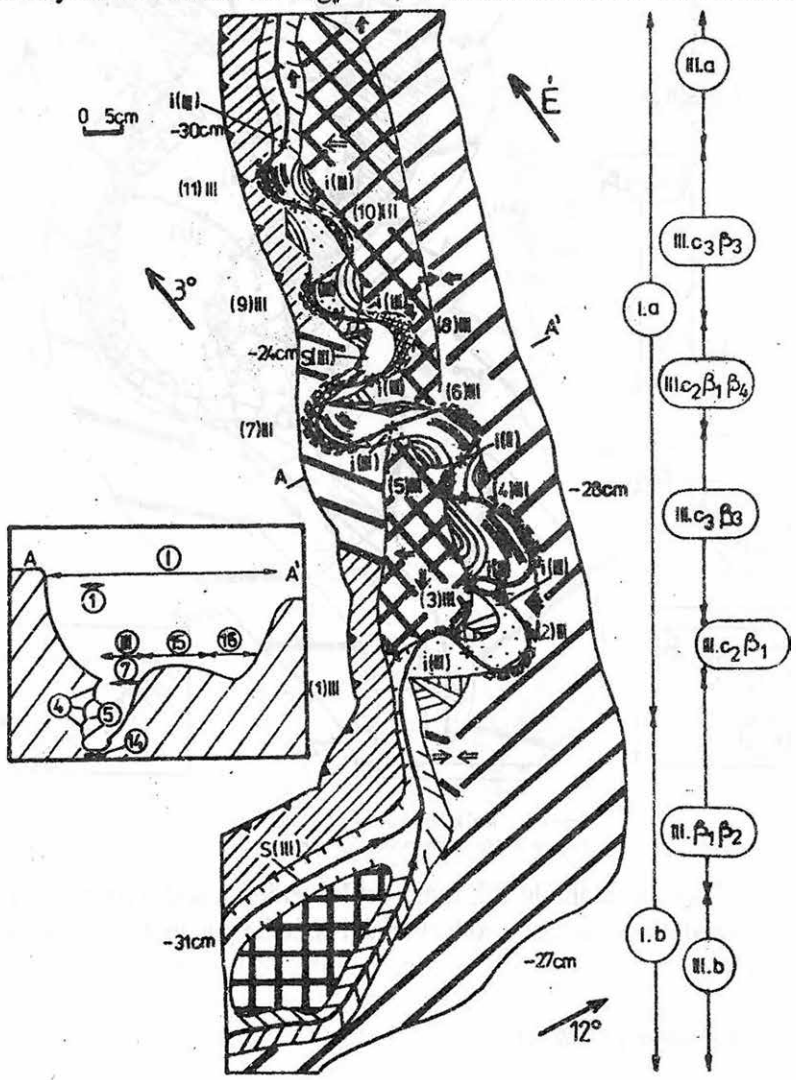
Összetett vályú, ahol az I. típusú vályú meander roncsait az aláhajló falak, míg a II. típusú vályú meandereit a szoknyák hiánya jellemzi. Mind az I.

típusú, mind a II. típusú vályú az 1-es hurokig regressziós, az 1-es és 3-as hurok között esővíz barázdás kialakulású.

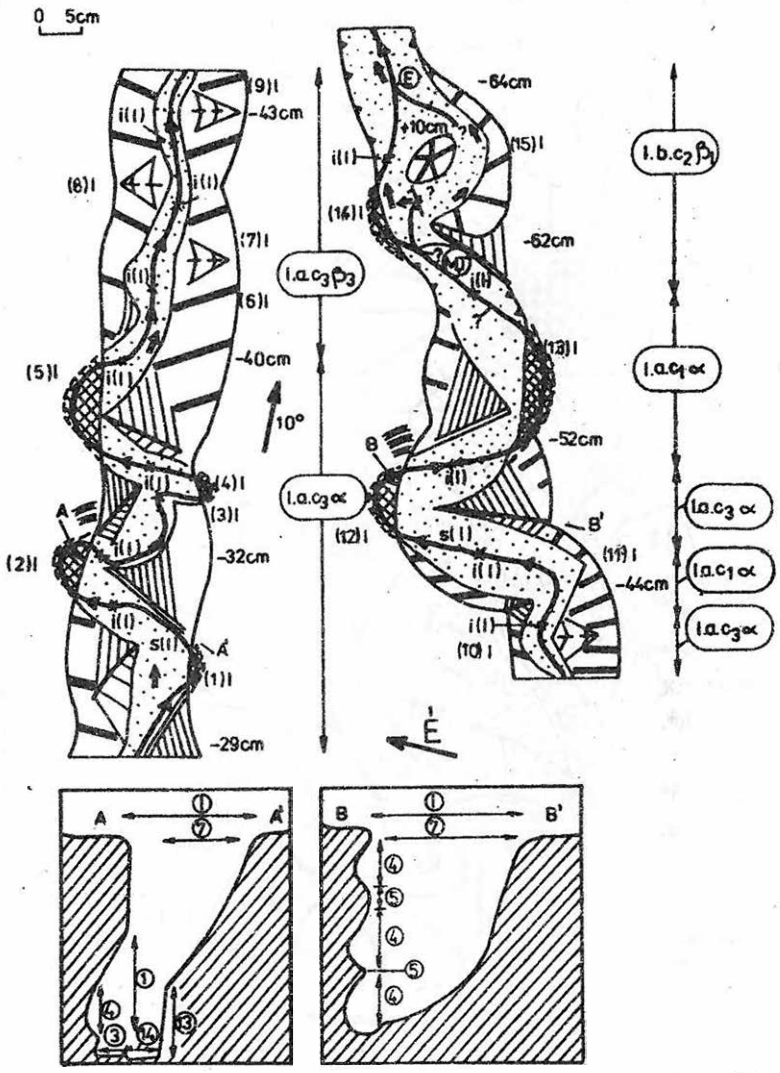
Az I. típusú vályú meanderezése álmeanderezésre vezethető vissza.

A homorú vályúperemeknél jelentős kiterjedésű vályútalp teraszok maradtak meg, a szoknyák viszonylag kicsik, esetenként lecsonkolódottak, néha nehezen felismerhetők.

A vályútalp a vályú alsó része felé egyre inkább kiszélesedik és fokozatosan környezetébe simul. Itt nagy ívű, rövid hullámhosszú sodorvonalak fejlőd-



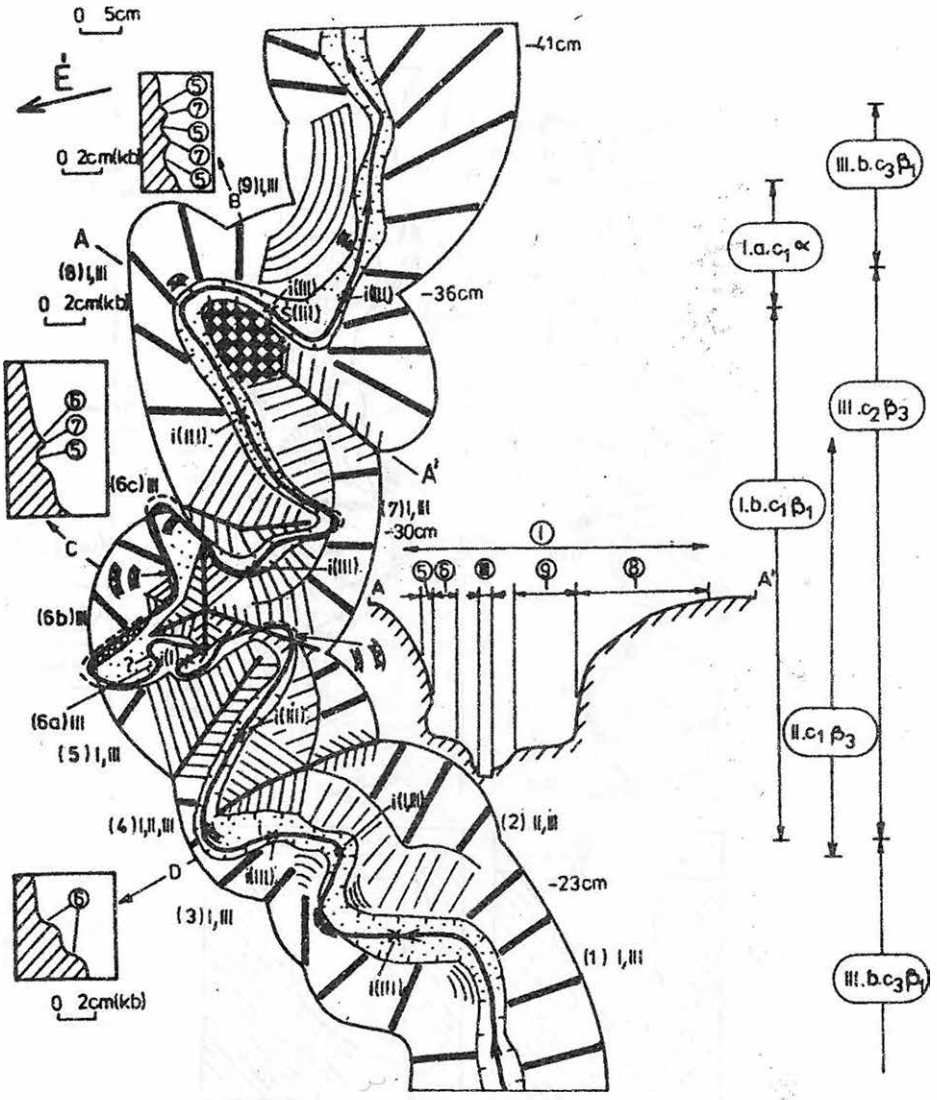
4. ábra: A 3. jelű karrvályú morfológiai térképe
Figure 4: Morphological map of rinnen 3



5. ábra: A 4. jelű karrvályú morfológiai térképe
Figure 5: Morphological map of rinnen 4

tek ki. A széles talp ma már önállóan, a vályú fejlődésétől függetlenül karrosodik (kürtő fejlődött ki).

A II. típusú vályú legalább részben igazi, hasonló kényszermeanderes, meandereinek kialakulását az I. típusú vályú szoknyái okozzák. A 3-as huroknál a II. típusú vályú a széles I. vályútalpba elkülönülve mélyül be. A II. típusú vályú aláhajló vályúfala (3/b-s hurok) kialakulása csak úgy magyarázható, ha a sodorvonal bifurkál, vagy egyáltalán nem csap át a jobboldali vályúperemhez (I. és II. típusú vályú 3-as hurka).



6. ábra: Az 5. jelű karrvályú morfológiai térképe
Figure 6: Morphological map of rinnen 5

3.3. Az 3 jelű karrvályú (4. ábra)

Összetett vályú, ahol az I. típusú vályú felső része álmeanderes, alsó része egyenes, kifejlődése regresszióval történt.

A belső vályú (III. típusú) igazi, szorított meanderes és regressziós kifejlődésű. Az 1-es, 2-es és 7-es (és talán a 6-os) hurok hurok meander, a 3-6-os ill. a 8-11-es hurkok kifejlődő meanderek. Valószínű, hogy a belső vályú sodorvonalának kilendüléséhez nem csak a hordozó vályú álmeandere, hanem a mellékvályú beömlő vize is hozzájárult. A III. típusú vályú két helyen (az 1-es és 2-es,

ill. a 6-os és 7-es huroknál) is harántirányú kifejlődésű a hordozó vályúhoz képest. E helyeken a fentebb említett 2-2 db fiatal hurok meander képződött. A harántirányú szakaszok kialakulása valószínűleg arra vezethető vissza, hogy két talpi szigethegy is kialakult a hordozó I. típusú vályú talpán. (A talpi szigethegyek azonban már nem "*igazi*" szigethegyek, miután a délebbi helyeztűnél a nyugati ág az északabbi helyzetűnél a keleti ág elhalt. A délebbi helyzetűnél a 2-, 3-, 4-, 5-, 6-os hurkokat hordozó, míg az északabbi helyzetűnél a 7-, 8-, 9-, 10-, 11-es hurkokat hordozó ág maradt meg, ill. fejlődött tovább. Ilyen jelenleg is létező talpi szigethegy figyelhető meg az 1-es huroktól délre.) Mindkét harántirányú szakasz második hurkánál a sodorvonal olyan mértékben lendülhetett ki, hogy ez további hurkoknak a kialakulását eredményezte (3-5-ös ill. 8-11-es hurok csoport). Mindkét hurokcsoport esetében a kilendülés mértéke a gerjesztési helytől távolodva fokozatosan csillapodik.

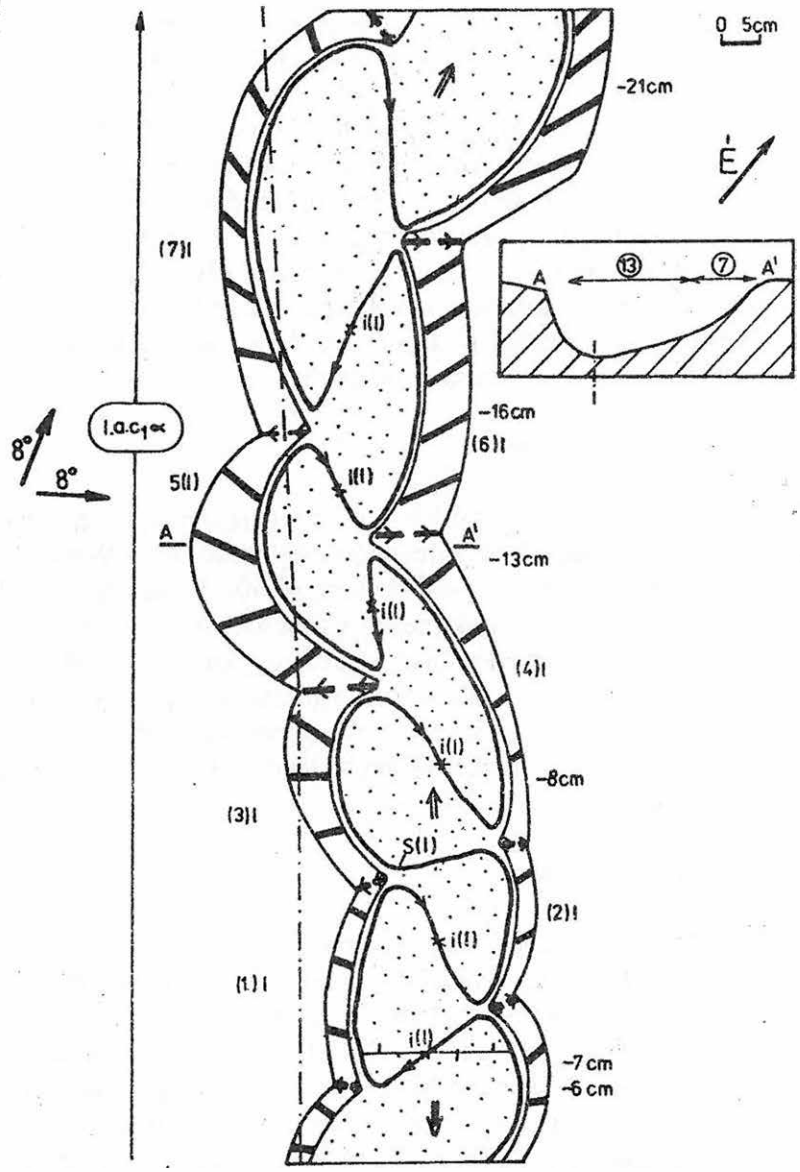
3.4. A 4 jelű karrvályú (5. ábra)

Az ábra egyetlen karrvályú két különböző részletének térképét mutatja be. A vályú egyenes, egyszerű és regressziós kifejlődésű. Az 1-9-es és a 10-, 12-es hurkok kifejlődő meanderek (a 6-9-es hurkoknál a kilendülés lecsillapodása figyelhető meg), a 11-13-as hurkok meander roncsok. A 15-ös huroknál kanyarulat lefejeződés történt korróziós talpi szigethegy kialakulásával. Figyelemre méltó, hogy itt a lefejeződés annak ellenére végbement, hogy a hurok nem túlfejlett. Ennek oka valószínűleg arra vezethető vissza, hogy időlegesen, vagy ma már állandóan a sodorvonal ellenkező irányba lendül ki. Ezt bizonyítja az átellenes vályúoldal aláhajló fala (14-es hurok).

3.5. Az 5 jelű karrvályú (6. ábra)

Összetett vályú az I. jelű vályúban mind a II. típusú, mind a III. típusú vályú kifejlődött. Az I. típusú vályú enyhén álmeanderező, amelynek a 4-es és 9-es hurok közötti szakasza esővíz barázdás, míg a többi része regressziós kifejlődésű. E vályú meander roncsait a II., de főleg III. típusú vályú meanderjei részben megsemmisítették. Az aláhajló falak hiányoznak (vagy mert elpusztultak, vagy mert ki sem fejlődtek). A szoknyákon, amelyek az I. típusú vályú szoknyáiból a belső vályúk szoknyáiba mennek át, szoknya teraszok alakulhatnak ki (III. típusú vályú 8-as hurka), vagy összetett szoknyává fejlődnek (6-os hurok).

A II. és III. típusú vályúk hasonló igazi kényszermeanderezésű (az I.



7. ábra: A 6. jelű karrvályú morfológiai térképe
Figure 7: Morphological map of rinnen 6

típusú vályúoldal szoknya gerincei többnyire folytonos kifejlődésűek oldalaikban). Ezeknél a sodorvonal kilendüléseket a hordozó vályú szoknyái váltották ki. Utóbbi vályúk, ill. meanderezésük kifejlődése nem folytonos. A II. típusú vályú az I. típusú vályúnak csak a legintenzívebben meanderező részén fejlődött ki, a

III. típusú vályú kényszermeanderezése a 4-es, 5-ös, 6-os és 7-es hurokban figyelhető meg elsősorban. A III. típusú vályú 1-3-as kifejlődő hurkai a II. típusú vályú meandereiből fejlődtek ki. A 4-7-es hurkok területén a meanderezés az I. típusú vályúból, a II. típusán keresztül, a III. típusú vályúba folytonosan megy át. Ez utóbbi hurkok (és még a 8-as hurok is) meander roncsok. A 8-as és 9-es hurkokban a III. típusú vályú meanderezése közvetlenül az I. típusú vályú meandereiből fejlődik ki. A legérdekesebb az 6-os hurok, ahol a III. típusú vályú összetett hurkot formál, bonyolult alaprajzú szoknyával és a homorú oldalon ellen szoknyával. Ugyanitt az összetett szoknya aláoldódása három egymástól független helyen kezdődött el.

3.6. A 6 jelű karrvályú (7. ábra)

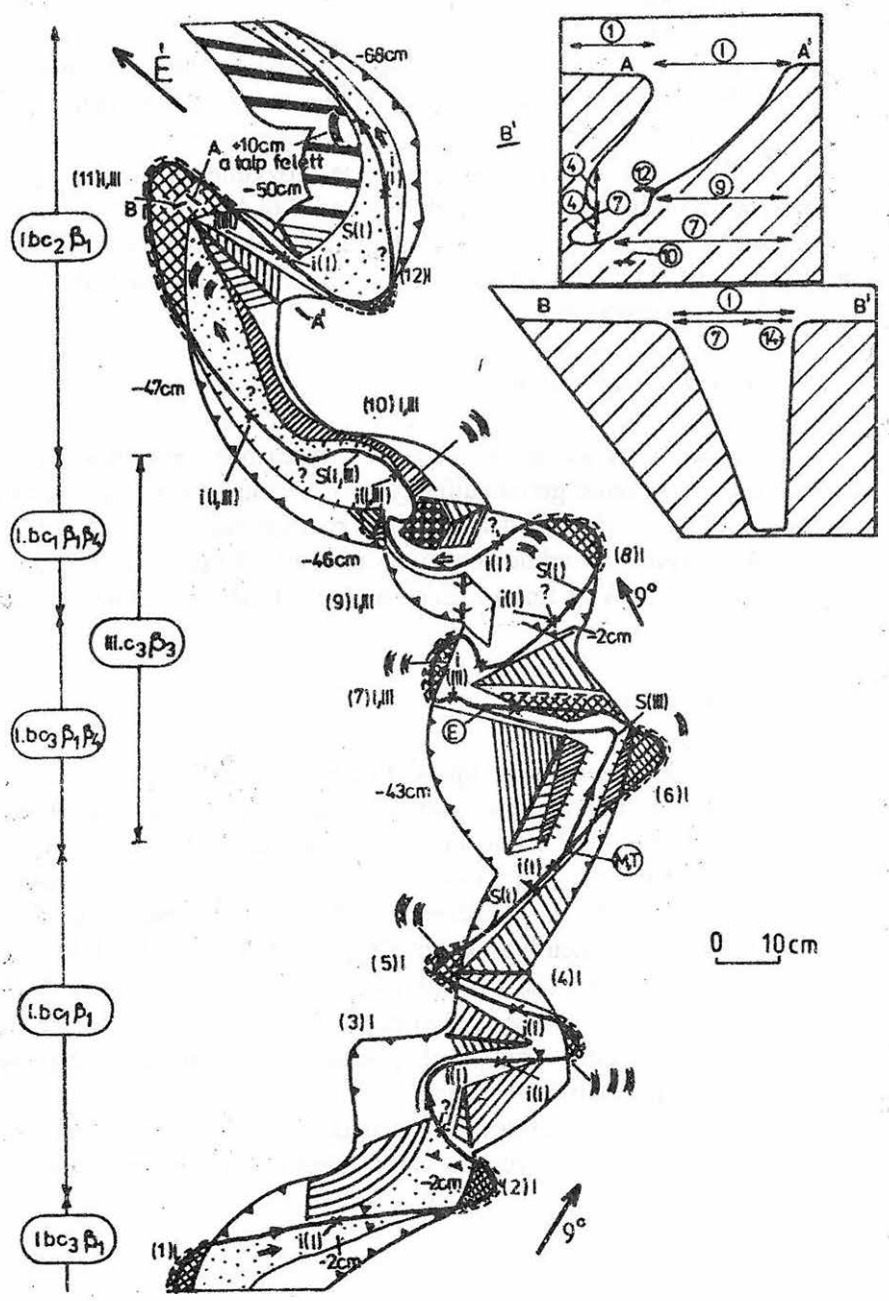
E képződmény kis lejtésű térszínen, törés mentén kialakult, széles, kis mélységű esővíz barázdás genetikájú egyszerű, I. típusú karrvályú. A vályútalp dőlése mára kétirányúvá alakult vályútalp vízválasztóval.

A sodorvonal kilendülés belső okra vezethető vissza. Bár a meanderívek hosszúak, ellentett lesiklás történt. Ezért aláhajló falak nem alakultak ki, a szoknyák rövidek.

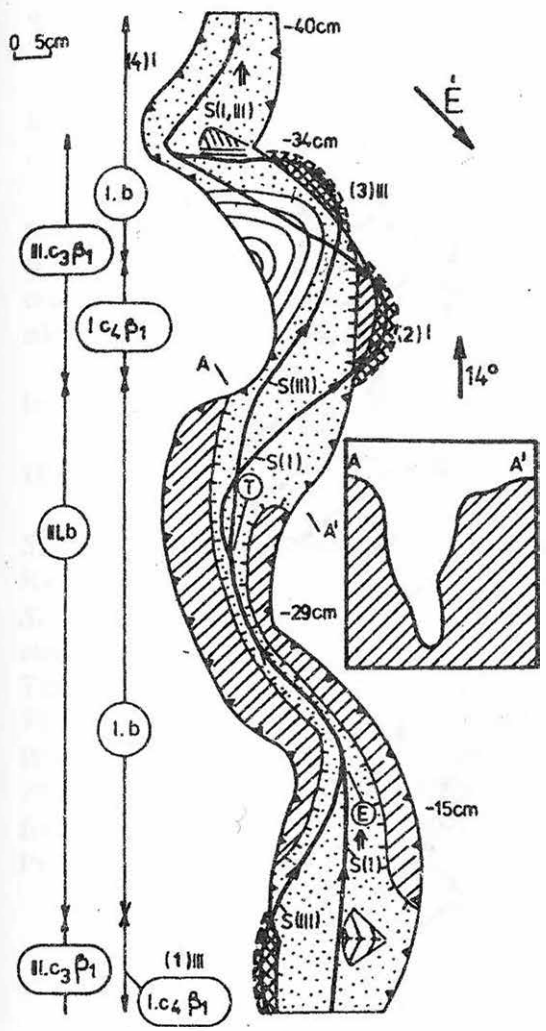
3.7. A 7 jelű karrvályú (8. ábra)

Részben összetett (a III. típusú belső vályú az I. típusú vályú talpának még csak egyes részein alakult ki) esővíz barázdás kifejlődésű vályú. Az 1-es és valószínűleg a 6-os, 7-es hurkok kifejlődő meanderek, a 4-es, 5-ös, 8-as, 9-es hurkok meander roncsosak, a 11-es, 12-es kanyarulatok hurok meanderek. A sodorvonal kilendülését álmeanderezés, valamint vályúperemek okozzák. A vályú irányváltozása hosszabb szakaszra terjed ki. Ezért a sodorvonal nem csak a vályúperem hatására lendül ki (amely arra vezethető vissza, hogy egy-egy felsőbb helyzetű huroknál a sodorvonal kilendül), hanem az álmeanderezés hatására is. Valószínű, hogy a sodorvonal lecsillapodása emiatt nem következik be az 1-es és 10-es hurok közötti vályú szakaszon.

A III. típusú vályúrészleteken az igazi meanderes formakincs még nem fejlődött ki. Utóbbi meanderezése ezért hasonló ál-kényszermeanderezésnek tekinthető.



8. ábra: A 7. jelű karrvályú morfológiai térképe
Figure 8: Morphological map of rinnen 7



9. ábra: A 8. jelű karrvályú morfológiai térképe
Figure 9: Morphological map of rinnen 8

3.8. A 8 jelű karrvályú (9. ábra)

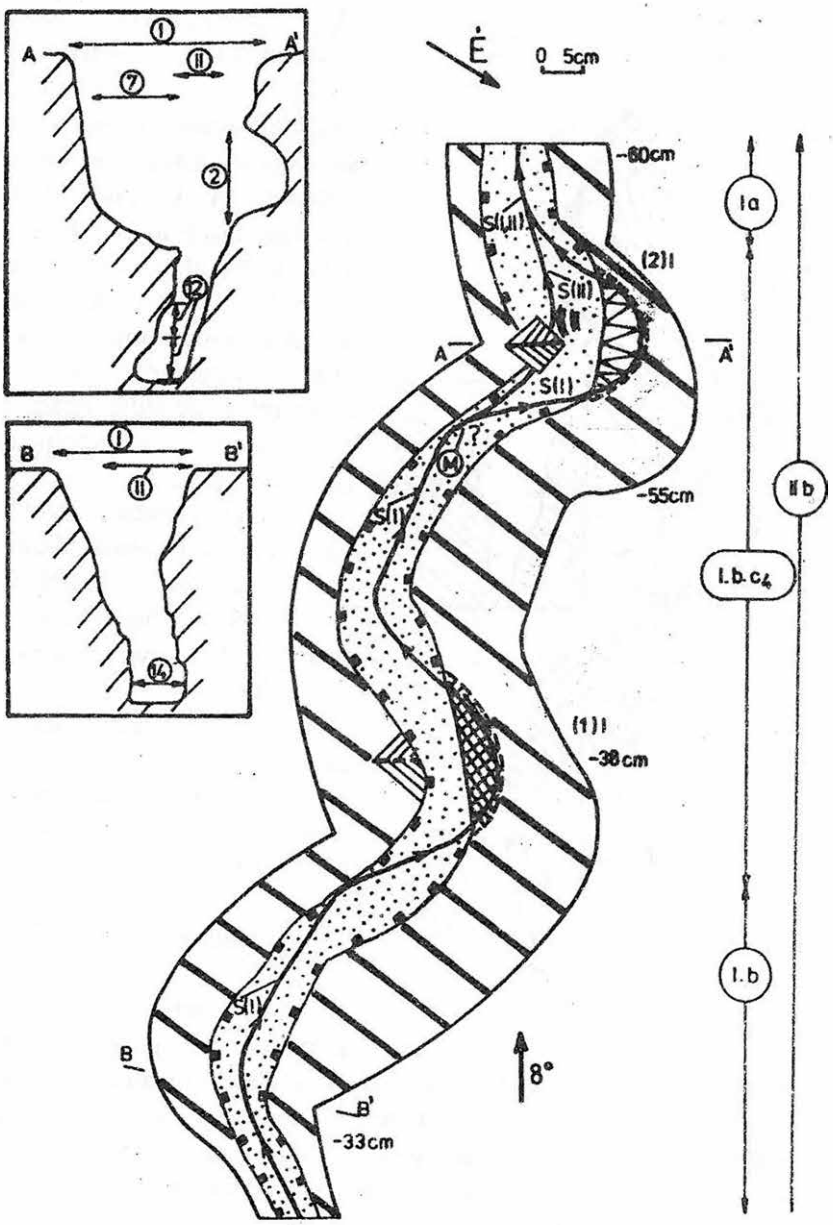
Álmeanderező, regresszióosan kifejlődött, összetett vályú. Az I. típusú vályú talpmaradványa vályútalp teraszt képez, a III. típusú vályú szokatlanul széles, sík talpazatú. Az I. típusú vályú érdekessége, hogy a 2-es huroknál az aláhajló fallal szemben a szoknya hiányzik. Ezen hurok típusa megszűnő meander, amelynek kialakulását álmeanderezés okozta. Ugyanitt a meander terasz folytonosan megy át vályútalp teraszba (összetett terasz).

Az I. típusú vályútól a III. vályú csak a középső részén különül el markánsan. Ennek ellenére az 1-es és 3-as hurok valószínűleg már a III. vályú kifejlődéséhez kapcsolódik.

A III. típusú vályú a 2-es és 3-as huroknál elcsúsztatott igazi kényszermeanderezésű, míg az 1-es és 2-es hurok között hasonló, ál-kényszermeanderezésű.

3.9. A 9 jelű karrvályú (10. ábra)

Összetett vályú, amelynek I. típusú vályúja álmeanderező és regresszióosan fejlődő. Az I. típusú vályú hurkai kifejlődő meanderek (1-es és 2-es hurok). Az 1-es hurok meander terasza a II. típusú vályú bemélyülése miatt függő terasszá alakult. A 2-es hurok mindkét oldalán színlők képződtek (a homorú oldalon egy óriás színlő, míg a szoknyán két további színlő). II. típusú vályúja hasonló, ál-kényszermeanderező vályú.



10. ábra: A 9. jelű karrvályú morfológiai térképe
Figure 10: Morphological map of rinnen 9

4. Összefoglalás

Kilenc karrvályú morfológiai térképét készítettük el. Elemzésükkel az ábrázolt vályúk, vályúrészek kialakulásának a módját és ezen események sorrendjét vázolhattuk fel.

Módszertani eredménynek tekinthető, hogy részletes térképeken a meanderek nagyobb formáit tényleges kiterjedésükben ábrázolhattuk, de a legkisebb formák is bemutatásra kerülhettek megfelelő térképi jelekkel. Elméleti eredménynek, hogy a főbb meanderezési típusokat tényleges kifejlődésben is sikerült bemutatni.

A térképek alkalmasak lehetnek további fejlődéstörténeti következtetések levonására, valamint a meanderezés jellemzőinek számszerűsítésére.

IRODALOM

SZUNYOGH G. (1995): Mészkőfelszínek kisformáinak grafikus ábrázolása - Karsztfejlődés I. (Totes Gebirge karrjai) - Pauz kiadó, Szombathely, p. 41-60.

SZUNYOGH G. (1998): Nagy területet lefedő karrvályúrendszer struktúrájának elemzése - Karsztfejlődés II. (Totes Gebirge karrjai) - BDTF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p. 7-34.

VERESS M. (1998): Karrmeanderek - Karsztfejlődés II. (Totes Gebirge karrjai) - BDTF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p. 35-58.

VERESS M.-NACSA T.-SZÉLES GY.-DOMBI L. (1995): Néhány totesi karros forma domborzatrajzi ábrázolása - Karsztfejlődés I. (Totes Gebirge karrjai) - Pauz kiadó, Szombathely, p. 31-40.

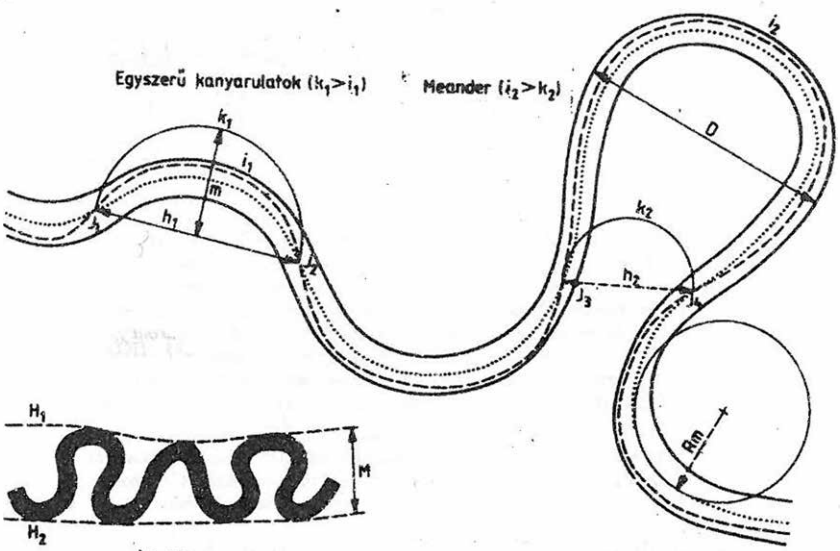
KARSZTFEJLŐDÉS II. (Totes Gebirge karrjai)
Szombathely, 1998. pp. 75-90.

ADATOK KARRVÁLYÚK MEANDERFEJLŐDÉSÉHEZ

VERESS MÁRTON
Berzsenyi Dániel Tanárképző Főiskola, Természetföldrajzi Tanszék
9700 Szombathely, Károlyi G. tér 4.

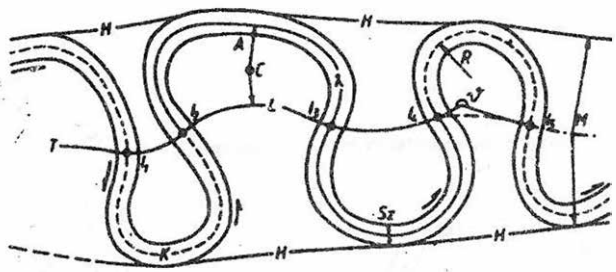
Abstract: The loop parts (meander bend length, meander wave-lengths, meander development, slopping intensity) of four rinnens in Totes Gebirge were examined. The data show the intensity of slopping depends on slope, but the slope has influence only partly for swinging out of channel line, which has important part in development of meander and bend.

1. Bevezetés



1a. ábra: Folyókanyarulatok főbb elemei Borsy Z. (1992) szerint
Jelmagyarázat: J_1-J_4 a kanyarulatok inflexiós pontjai, h_1, h_2 a kanyarulatok húrjai, H_1, H_2 a kanyarulatok burkolóvonalai, M a burkolóvonalak távolsága (a kanyarulat tágassága), i_1, i_2 a kanyarulatok ívhossza (az inflexiós pontok között, a sodorvonal mentén), k_1, k_2 a kanyarulat húrjára mint átmérőre rajzolt félkör kerülete, Rm a kanyarulat görbületi sugara (a kanyarulatba írható kör sugara), D a kanyarulat átmérője, m a húrra merőlegesen mért ívmagasság. Pontozva a folyó középvonala, szaggatva a sodorvonal látható
Figure 1a: Main parts of river bends after Z. Borsy (1992)
Legends: J_1-J_4 the inflection points of bends, h_1, h_2 the chords of bends, H_1, H_2 the covering lines of bends, M the distance of covering lines of bends (the wideness of bend), i_1, i_2 the length of arch of bends (between the inflection points, along the channel line), k_1, k_2 perimeter of semicircle drawn on diameter, as chord of bend, Rm radius of bend (radius of circle drawn into the bend), D diameter, m the height of arch measured perpendicularly for chord. The middle line of river is punctuated, the channel line can be seen with dotted line.

A meanderező karrvályúk, valamint a közép- és alsószakasz jellegű vízfolyások kanyargása közt sok hasonlóság (ezek egy része csak látszólagos) tapasztalható. A meanderező folyók meandereinek tulajdonságait az alábbi paraméterekkel adják meg (*BALOGH K.* 1991, *BORSY Z.* 1992, *1a, b. ábra*). Folyómeandereken a meander hullámhossz az inflexiós pontok között mért legrövidebb távolság, amelyet a kanyarulat húrjának is neveznek (*BORSY Z.* 1991) illetve a meander tengelyvonala mentén mért távolság, míg a meanderív hossz az inflexiós pontok között mért távolság a folyó sodorvonala mentén. A meanderöv szélessége a burkoló görbék (utóbbiak a hurkokat kívülről érintő egyenesek) közti terület, míg a meder szinuózitása a vízfolyás középvonalának és tengelyvonalának hányadosa. Megadják még a meander központját és a folyózúg szélességét, a kanyarulat sugarát, valamint középponti szögét és a kanyarulat fejlettségét. A folyózúg szélessége a meder középvonala és a meander öv tengelye között a centroidon mért merőleges távolság. A meander alak a



1b. ábra: Folyókanyarulatok főbb elemei Balogh K. (1991) szerint
Jelmagyarázat: H. a meanderöv határa, $I_1 I_2 I_3 \ldots I_5$ inflexiós pontok, SZ. a meder szélessége, K. a meder középvonala, J a meander központi szöge, T. a meandertengely vonala, M. a meanderöv szélessége, L. egy meander hullámhossza, l a meander hosszúsága, C. a folyózug középpontja ("centroid"), A. a folyózug szélessége, R. a kanyarulat sugara
Figure 1b. Main parts of river bends after K. Balogh (1991)
Legends: H the boundary of meander zone, $I_1 I_2 I_3 \ldots I_5$ inflection points, SZ width of channel, K the middle line of channel, J the central angle of meander, T the line of meander axis, M the width of meander zone, L wave-lengths of a meander, l length of meander, C centre of river corner, A width of river corner, R radius of bend

középponti szöggel, illetve az érintő körök R sugarával írható le.

A kanyarulat fejlettségét (β) *LACZAY I.* (1982) az alábbi összefüggéssel adja meg:

$$\beta = \frac{i}{h}$$

ahol i az ívhossz a sodorvonal mentén,

h a meander hullámhossza, vagy a kanyarulat húrja.

LACZAY I. (1982) a folyókanyarulatokat a β értékeinek figyelembevételével tipizálja (*I. táblázat*).

I. Táblázat. Folyókanyarulatok típusai fejlettségük szerint (LACZAY I., 1982) szerint

Table I. River bend types according to their development (LACZAY I. 1982)

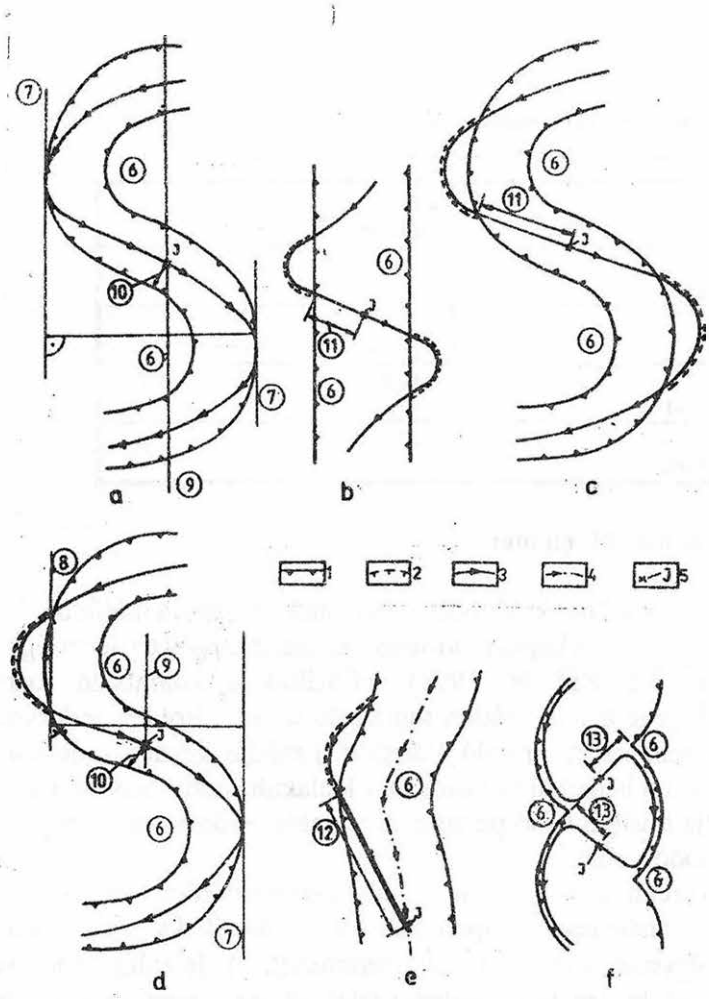
folyókanyarulat típusa type of river bend	β értéke value of β
fejletlen kanyar undeveloped bend	< 1,1
fejlett kanyar developed bend	1,1-1,4
érett kanyar well developed bend	1,4-3,5
kifejlett kanyar fully developed bend	> 3,5

2. A karrmeanderek elemei

A vályúhurkok különböző elemeinek mérése a különböző sodorvonalaknak a vályúk térképein történő kiszerkesztésével lehetséges. Korábbi munkánkban (*VERESS M.* 1998) definiáltuk a különböző sodorvonalakat, amelynek lényege alábbi módon foglalható össze: „Eredeti sodorvonal az igazi kilendülésig jellemzi az áramló oldószert. Lesíklás kezdeti sodorvonal a felszín síkjában - tehát a bemélyülés kezdetén - kialakult sodorvonal. Ezt a sodorvonalat dokumentálja a vályú felső pereme. A jelenlegi sodorvonal a vályútalp síkjában kijelölhető sodorvonal."

A kezdeti sodorvonalat a vályúperemek közti felező görbével lehet megadni. Az átellenes vályúperemek ott jelölhetők ki, ahol a vályútengelyre merőleges egyenes metszi a vályúperemeket. A jelenlegi sodorvonal olyan görbével írható le, amely az aláhajló falak tövéhez simul és keresztül megy az inflexiós pontokon. (Ott, ahol aláhajló fal nincs a sodorvonal kijelölhető, ha az inflexiós pontokat összekötjük azokkal a vályúperemi pontokkal, amelyeket a burkológörbék érintenek.) Az inflexiós pontok a különböző morfológiájú szomszédos hurkok között a *2. ábrán* bemutatásra került eljárásokkal szerkeszthetők ki. (A sodorvonal lefutása egyetlen működés során is változik. Ezért valószínű, hogy a kiszerkeszthető sodorvonal a maximális vízhozam idején kialakuló sodorvonal lefutást közelíti meg leginkább.) A szerkesztett sodorvonalakat *a 3, 4, 5, 6. ábrák* mutatják. A sodorvonal kiszerkesztésének helyessége ellenőrizhető. Akkor megfelelő pontosságú a jelenlegi sodorvonal, ha az inflexiós pontok az eredeti sodorvonalra esnek. (Látható, hogy az nem minden esetben sikerült.)

A jelenlegi sodorvonal és az inflexiós pontok ismeretében mérhető a meanderív hossza, a meander hullámhossz, majd ezekből számítható a meander fejlettség.

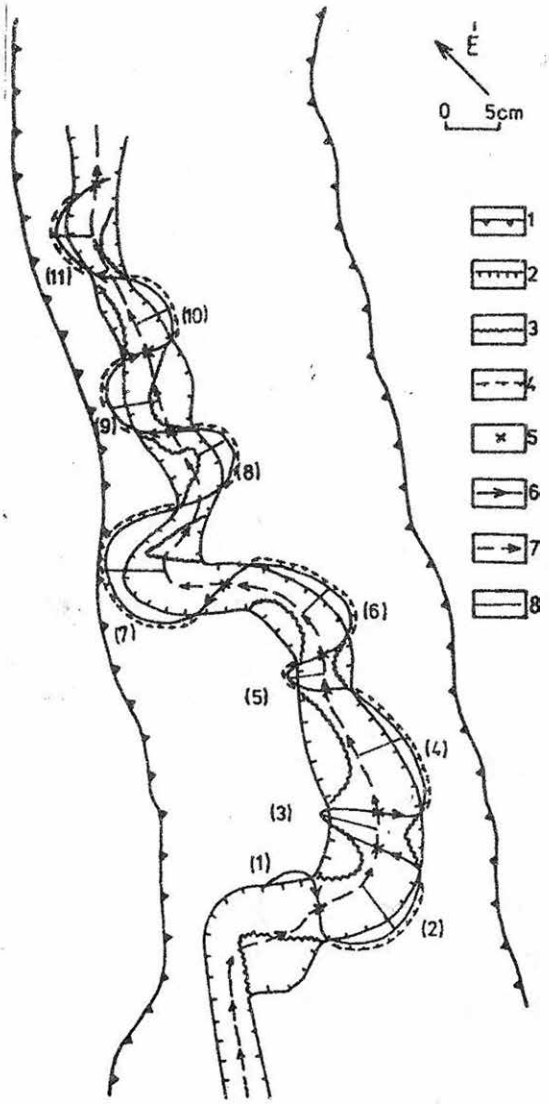


2. ábra: Inflexiós pontok kiszerkesztése különböző morfológiájú vályúk esetén

Jelmagyarázat: a. meanderező folyó inflexiós pontjainak kiszerkesztése (Cholnoky J. nyomán), és nem aláhajló falú vályúnál, b. egyenes, vagy közel egyenes vályú esetén, ahol annak mindkét oldalán van aláhajló fal (kifejlődő meander), c. kanyargó vályún, ahol mindkét hurooknál kifejlődött az aláhajló fal (hurok, vagy roncs meander), d. kanyargó vályún, ahol csak az egyik hurooknál fejlődött ki aláhajló fal, e. álmeanderező vályún , (a vályúszakaszok 90° körüli szöget zárnak be egymással), ahol egy helyen fejlődött ki aláhajló fal f. roncs meanderes vályúnál, ahol nincsenek aláhajló falak, 1. vályúperem, 2. aláhajló fal elvégződése a vályútalp síkjában, 3. jelenlegi sodorvonal, 4. eredeti sodorvonal, 5. inflexiós pont, 6. szoknya, 7. burkoló görbe, 8. az aláhajló fal elvégződésén átmenő olyan egyenes, amely a következő hurok burkológörbéjével párhuzamos, 9. középvonal, 10. vályú szélesség felező távolsága a középvonalnál, 11. az átellenes, egymással szomszédos, aláhajló falak elvégződései közötti legrövidebb felező távolság, 12. az eredeti sodorvonalat az aláhajló fal elvégződésének meghosszabbításával nyert egyenes ahol az az eredeti sodorvonalat metszi, 13. az átellenes egymással szomszédos szoknya csúcsok közötti legrövidebb felező távolság

Figure 2: Construction of inflection points in the case of rinnens with different morphology

Legends: a. construction of inflection points of meandering river (after J. Cholnoky), if rinnen has not underincline wall, b. in the case of straight or almost straight rinnen, where there are underincline walls at both sides (developing meander), c. at meandering rinnen, where the underincline wall developed at both loops (loop or remain meander), d. at meandering rinnen, where the underincline wall developed only at one loop, e. at pseudo meandering rinnen (between the parts of rinnen there is about 90° angle), where there is only one underincline wall, f. at remain meandering rinnen, without underincline wall, 1. rinnen boundary, 2. end of underincline wall at the plain of rinnen bottom, 3. present channel line, 4. previous channel line, 5. inflection point, 6. skirt, 7. covering line, 8. direct line passing through the end of underincline wall, which is parallel with the covering line of next loop, 9. middle line, 10. middle distance of rinnen width at the middle line, 11. smallest middle distance between the end of underincline walls, which are near by each other, 12. direct line elongated from the end of underincline wall, which cuts the previous channel line, 13. smallest middle distance between the skirt points, which are near by each other



3. ábra: A 3 jelű vályú szerkesztett sodorvonalai (zárójelben feltüntetett szám a hurok azonosítási száma)
Jelmagyarázat: 1. I. típusú vályú pereme, 2. III. típusú vályú pereme, 3. vályútalpon a szoknya pereme, 4. aláhajló fal töve a vályútalp síkjában, 5. inflexiós pont, 6. jelenlegi sodorvonal, 7. eredeti sodorvonal, 8. segédegyenes, amely mentén az Sk_k és Sk_j értékei mérhetők
Figure 3: Constructed channel lines of 3 sign rinnen (number in parenthesis is the identifying number of loop)
Legends: 1. boundary of I. type rinnen, 2. boundary of III. type rinnen, 3. boundary of skirt on the rinnen bottom, 4. end of underincline wall at the plain of rinnen bottom, 5. inflection point, 6. present channel line, 7. previous channel line, 8. ancillary direct line, where the Sk_k and Sk_j values can be measured along it

Egy huroknál a lesiklás maximuma meghatározható, ha a térkép síkjában mért jelenlegi sodorvonal és az eredeti sodorvonal közti (Sk_j), valamint a lesiklás kezdeti és az eredeti sodorvonal közti (Sk_k) legnagyobb távolságoknak a különbségeit képezzük (*7. ábra*). Ez nem más, mint a homorú vályúperemen mérhető legnagyobb aláhajlás, amely néhány (itt nem részletezett) kivételtől eltekintve a vályútalp síkjában mérhető. Megadható adott vályúmélységhez tartozó lesiklási intenzitás (*Li*) az alábbi módon:

$$L_i = \frac{Sk_j - Sk_k}{m}$$

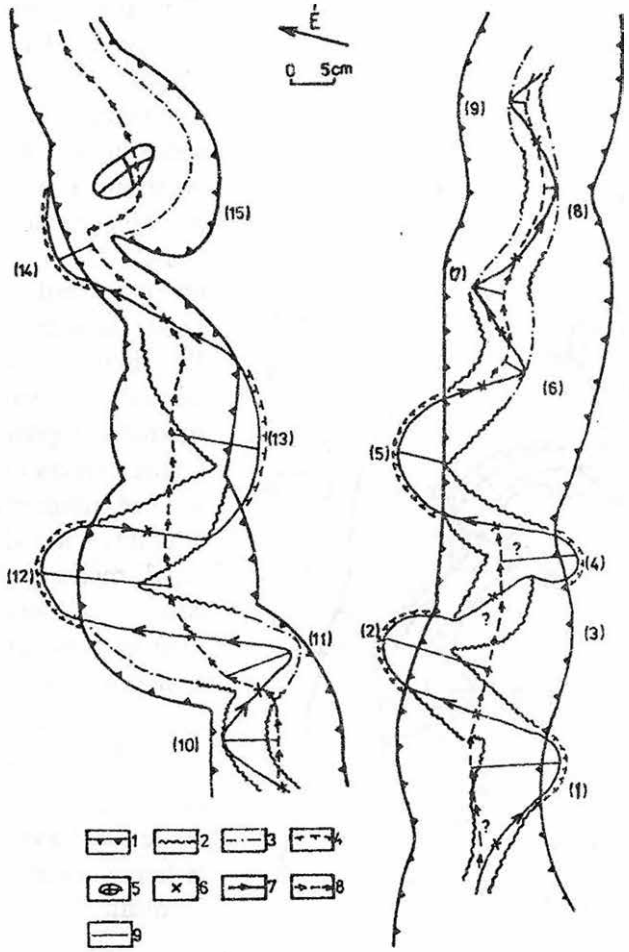
ahol Sk_j a jelenlegi és eredeti sodorvonal között a térképen mért legnagyobb távolság,

Sk_k a lesiklás kezdeti sodorvonal és az eredeti sodorvonal között a térképen mért legnagyobb távolság,

m a huroknál a vályú mélysége

A lesiklás intenzitását kifejező szám megadja, hogy egységnyi mélyüléshez a sodorvonalnak mekkora kilen-

dülése tartozik. Ellentett lesiklás esetén a lesiklás intenzitását kifejező szám negatív, miután az $Sk_k > Sk_j$.



4. ábra: A 4 jelű vályú szerkesztett sodorvonalai (zárójelbe feltüntetett szám a hurok azonosítási száma)
Jelmagyarázat: 1. I. típusú vályú pereme, 2. a szoknya alsó pereme 3. lankás vályúoldal elvégződése, 4. aláhajló fal töve a vályútalp síkjában, 5. talpi szigethegy, 6. inflexiós pont, 7. jelenlegi sodorvonal, 8. eredeti sodorvonal, 9. segédegyenes, amely mentén az Sk_k és Sk_j értékei mérhetők
Figure 4: Constructed channel lines of 4 sign rinnen (number in parenthesis is the identifying number of loop)
Legends: 1. boundary of I. type rinnen, 2. lower boundary of skirt, 3. end of gently slopping rinnen, 4. end of underincline wall at the plain of rinnen bottom, 5. karren inselberg 6. inflection point, 7. present channel line, 8. previous channel line, 9. ancillary direct line, where the Sk_k and Sk_j values can be measured along it

3. A térképezett vályúk meanderelem adatainak elemzése

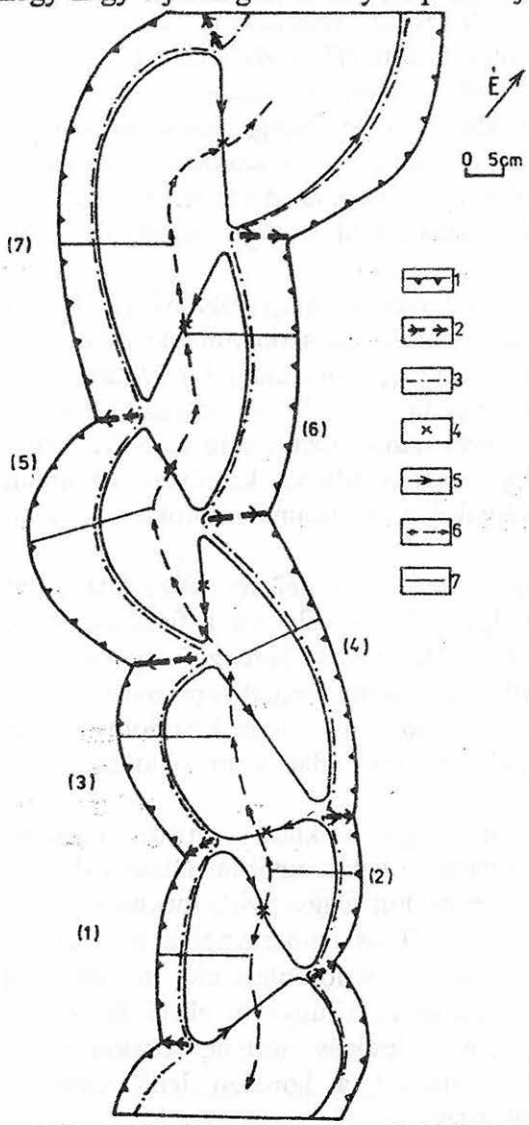
Alább kapcsolatot keresünk a lejtőszög, valamint a meanderelemek (lesíklási intenzítás, sodorvonal kilendülés) között. *HUTCHINSON D. W.* (1996) meanderező vályúk szinuózitása és a hordozó felszín lejtőszöge között mutatott ki kapcsolatot. Úgy találta, minél kisebb a lejtőszög, annál nagyobb a szinuózitás. Közléséből nem derül ki, hogy a számításhoz szükséges középvonalat a vályúk melyik adatából nyerte. Ennek azért van jelentősége, mert a kanyargó vályúperem hosszának felhasználásával a vályú bemélyülés előtti szinuózitás adható meg.

A kilenc térképezett vályúból a sodorvonalat négy vályúnál (3, 4, 6, 7, jelű vályúk) szerkeszthettük meg, lesiklási intenzitást sodorvonal kiszerkesztése nélkül azonban egy továbbinál, az 1 jelűnél is számíthattunk (*II. táblázat*). Azért csak ennyi vályúnál, mert egyes vályúknál (1, 2, 8, 9 jelű vályúk) ugyanis a sodorvonal nem szerkeszthető (pl. a kevés hurok miatt), míg az 5 jelű vályú esetében csak a III. típusú belső vályú sodorvonala szerkeszthető. Ez utóbbi viszont az I (helyenként II) típusú vályúk kanyarulatainak átöröklődése során képződött.

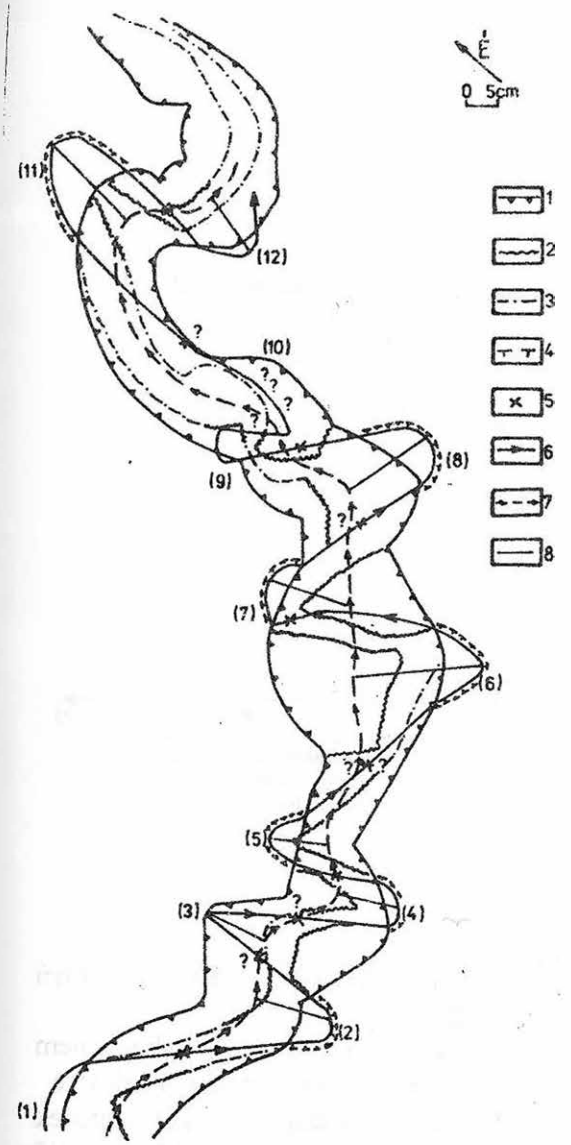
Megjegyzendő azonban, hogy a megmaradt néhány vályú közül sem mindegyik szolgáltat biztos adatokat. Így a 7 jelű vályúnál a fiatalabb, belső vályú részletek nem mindig különíthetők el az idősebb hordozó vályúktól. (Így nem mindig egyértelmű, hogy melyik vályú sodorvonalát reprezentálja adott sodorvonal szakasz.) Az 1. jelű vályú viszont igen idős képződmény. Így formakincse utólagosan tovább fejlődhetett (pl. talaj alatti oldódás), vagy átalakulhatott (pl. fagyhatás).

A négy vályú hurkaira számított átlagos lesiklási intenzitás adatai azt mutatják (*8. ábra*), hogy a lesiklás intenzitása a lejtőszögtől lineárisan csökkenő módon függ (az adatok felhasználásával előállított függvényből meghatározható, hogy a lesiklás 15,49° lejtőszögnél 0, míg 0°-os lejtőszögnél a legnagyobb, 0,3501 értékű. (Ez utóbbi érték ténylegesen nem fordulhat elő, miután 0°-os lejtőnél már nincs áramlás és így kilendülés sem.) A függvény előállításánál a 6. jelű vályú adataitól, mivel itt ellentett lesíklás történt, eltekintettünk. Természetesen a lesíklási intenzítás, valamint a hordozó lejtő szögének pontosabb kapcsolatához több adat szükséges.

A lesiklás intenzitásnak a lejtőszögtől függése valószínűleg azzal magyarázható, hogy nagy lejtőszögnél a vályútalp erőteljes süllyedése miatt viszonylag kevés idő jut a sodorvonal kilendülésére. (Az intenzív vályúmélyülés az oldószer gyors áramlására vezethető vissza.) Tehát a nagyobb lejtőszögnél egységnyi mélyülésre kisebb kilendülés jut. A vályú gyors bemélyülése ténylegesen is akadályozhatja a kilendülést. Ugyanis a már meglévő vályúfal a sodorvonal kilendülésének mértékét csökkenti. Ha a vályúfal gyorsan kialakul a kilendülés már kezdetben akadályozott, ezáltal az öngerjesztés folyamata gátlódik le. (Az öngerjesztés alatt azt értjük, hogy a sodorvonal kilendülése miatt aszimmetrikus vályúalak képződik, ami viszont tovább erősíti a kilendülést.) Az, hogy az egyre gyorsabb áramlás hatására nem az oldalirányú oldás, hanem a lefelé irányuló a domináns, arra utalhat, hogy a lejtőszögnek az áramlási sajátosságok kialakításában nagyobb szerep jut, mint azon hatásoknak, amelyek a sodorvonal kilendülését okozzák (belső- és külső ok). A kilendülésnek a lejtőszögtől viszonylagos függetlenségére utal, hogy a lesíklási intenzítás eltér attól függően, hogy a sodorvonal kilendülése külső- vagy belső ok hatására következik be. Belső ok esetén a lesiklási intenzítás átlaga 0,0928, külső ok esetén 0,2439 illetve 0,2966 (*III. táblázat*) Az, hogy a külső ok hatására bekövetkező lesíklási intenzítás nagyobb arra is utalhat, hogy a



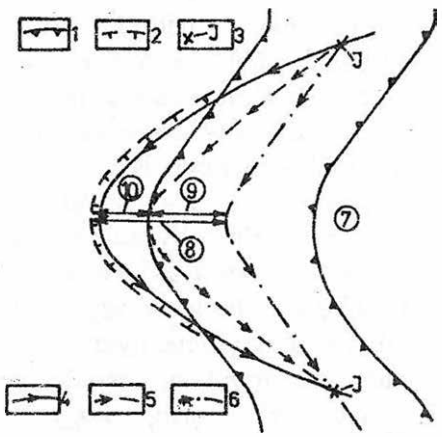
5. ábra: A 6 jelű vályú szerkesztett sodorvonalai (zárójelbe feltüntetett szám a hurok azonosítási száma)
Jelmagyarázat: 1. I. típusú vályú pereme, 2. szokonyacsúcs, 3. lankás vályúoldal elvégződése, 4. inflexiós pont, 5. jelenlegi sodorvonal, 6. eredeti sodorvonal, 7. segédegyenes, amely mentén az Sk_k és Sk_j értékei mérhetők
Figure 5: Constructed channel lines of 6 sign rinnen (number in parenthesis is the identifying number of loop)
Legends: 1. boundary of I. type rinnen, 2. skirt point, 3. end of gently slopping rinnen, 4. inflection point, 5. present channel line, 6. previous channel line, 7. ancillary direct line, where the Sk_k and Sk_j values can be measured along it



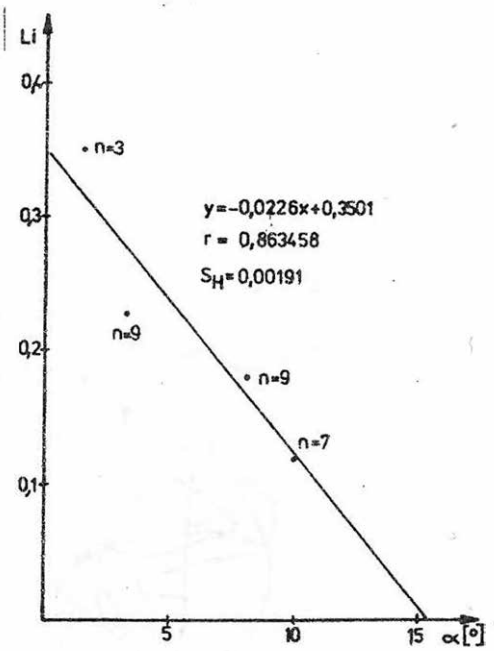
6. ábra: A 7 jelű vályú szerkesztett sodorvonalai (zárójelbe feltüntetett szám a hurok azonosítási száma)
Jelmagyarázat: 1. I. típusú vályú pereme, 2. a szoknya alsó pereme, 3. lankás vályúoldal elvégződése, 4. aláhajló fal töve a vályútalp síkjában, 5. inflexiós pont, 6. jelenlegi sodorvonal, 7. eredeti sodorvonal, 8. segédegyenes, amely mentén az Sk_k és Sk_j értékei mérhetők
Figure 6: Constructed channel lines of 7 sign rinnen (number in parenthesis is the identifying number of loop)
Legends: 1. boundary of I. type rinnen, 2. lower boundary of skirt, 3. end of gently slopping rinnen, 4. end of underincline wall at the plain of rinnen bottom, 5. inflection point, 6. present channel line, 7. previous channel line, 8. ancillary direct line, where the Sk_k and Sk_j values can be measured along it

külső ok markánsabban hat a kilendülésre mint a belső. Úgy tűnik, hogy néhány olyan vályúnál, ahol a sodorvonal kilendülését álmeanderezés okozza a lejtőszög növekedése esetén a kilendülés mértéke is nő. (A 3 jelű vályúnál 3,29°-os lejtőn 1,85 cm, a 7 jelű vályúnál 8,1°-os lejtőn 4,45 cm a sodorvonal kilendülése.) Ennek magyarázata talán az, hogy minél gyorsabb az oldószer áramlása, annál nagyobb az esélye, hogy a bemélyülő vályúperemnek ütközzön a sodorvonal. Ezért álmeanderezésnél az oldalirányú oldódás a vályúmélyülés során nem fékeződik le. Az 1 jelű vályúnál azonban a kicsi lejtőszögnél is nagy a sodorvonal kilendülés, ezért a lejtőszög és az álmeanderezéses eredetű sodorvonal kilendülése közötti összefüggés elemzéséhez további mérések szükségesek. Mindenesetre a fenti adatok jelzik, hogy a sodorvonal kilendülése különböző lejtőszögű térszíneken egyaránt végbemehet.

A *III. táblázat* adatai szerint a meander fejlettsége elsősorban attól függ, hogy a sodorvonal kilendülését mi idézte elő (külső-, vagy belső ok), Ugyanis a külső okra kialakult meanderek fejlettebbek, mint a belső okra kialakultak (2,5135, ill. 1,8724).



7. ábra: A sodorvonal kilendülése és annak összetevői
Jelmagyarázat: 1. vályúperem, 2. aláhajló fal elvégződése a vályútalp síkjában, 3. inflexiós pont, 4. jelenlegi sodorvonal, 5. lesiklás kezdeti sodorvonal, 6. eredeti sodorvonal, 7. szokmya, 8. Sk_j, 9. Sk_k, 10. Sk_j-Sk_k
Figure 7: Swinging out of channel line and its components
Legends: 1. boundary of rinnen, 2. end of underincline wall at the plain of rinnen bottom, 3. inflection point, 4. present channel line, 5. channel line at the start of slipping, 6. previous channel line, 7. skirt, 8 Sk_j, 9. Sk_k, 10. Sk_j - Sk_k



8. ábra: A lejtőszög és a lesiklás intenzitásának kapcsolata
Figure 8: Connection between slope angle and slipping intensity

4. Következtetések

- A lesiklás intenzitása (L_i) azaz az egységnyi mélyülésre eső oldalirányú elmozdulás a vályút hordozó lejtő szögétől függ.
- A sodorvonal kilendülésének bekövetkezése és így a meander kialakulás nem függ attól, hogy a vályút hordozó térszínnek van-e és ha igen, mekkora a dőlése.
- A kanyarulat fejlődés (amely elsősorban a sodorvonal görbületének növekedésében nyilvánul meg) akkor nagy, ha a kismértékben bemélyülő vályúban áramló oldószer már a vályúmélyülés kezdetén kilendül és a kilendülés a vályúmélyülés során tartósan fennáll. Ezért a kanyarulatfejlődést (és így a kanyarulat fejlettségét) két tényező alakítja. A sodorvonal kilendülését okozó hatás, valamint a lejtőszög. Utóbbi közvetve úgy, hogy a vályúmélyülés során, a sodorvonal kilendülése kisebb vagy nagyobb mértékben lefékeződik. A lejtőszög feltehetően közvetlenül is hathat a sodorvonal kilendülésére akkor, ha azt álmeanderezés okozza.

II. táblázat. Igazi meanderezést végző néhány vályú hurkaihoz tartozó sodorvonalak jellemzőjének adatai
Table II. Characteristic data of channel lines belonging to loops of some rinnens made real meandering

vályú jele sign of rinnen	hurok sorszáma number of loop	meander morfológiai típusa morphological type of meander	meander ívhossz [cm] bend length of meander	meander hullámhossz [cm] wave-length of meander	meander fejlettség development of meander	meander fejlettség szerinti típusa type according to development of meander	Sk_j [cm]	Sk_k [cm]	Sk_j-Sk_k [cm]	m [cm]	L_i	lejtés* slope
1	(2)[2]	roncs	-	-	-	-	9,0	15	9	15	0,5625	0°
	(4)[2]	roncs	-	-	-	-	7,0	28	7	28	0,25	1,9°
	(5)[2]	roncs	-	-	-	-	8,0	34	8	34	0,2353	2,8°
	átlag										0,3493	1,6°
3	(1)[2]	hurok	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	(2)	hurok	22,5	8,0	2,8125	érett	6,0	4,5	1,5	-7	0,2143	-1,64°
	(3)	kifejlődő (?)	12,0	3,5	3,4286	érett	5,5	4,5	1,0	-9	0,1111	-1,64°
	(4)	kifejlődő	22,5	11,5	1,9565	érett	5,0	3,5	1,5	-8	0,1875	-1,64°
	(5)	kifejlődő	10,5	3,5	3,0	érett	4,0	2,5	1,5	-9(?)	0,1667	-1,64°
	(6)	kifejlődő	19,0	11,5	1,6522	érett	4,5	2,5	2,0	-5(?)	0,4	-2,2°
	(7)	hurok (?)	27,5	8,5	3,2353	érett	6,0	3,5	2,5	-10	0,25	-2,2°
	(8)	kifejlődő	14,0	7,0	2,0	érett	5,0	3,5	1,5	-7	0,2143	-2,2°
	(9)	kifejlődő	14,0	8,0	1,75	érett	5,0	3,5	1,5	6	0,25	-2,2°
	(10)[3]	kifejlődő	12,0	7,0	1,7143	érett	3,5	1,0	2,5	-	-	-2,2°

vályú jele sign of rinnen	hurok sorszáma number of loop	meander morfológiai típusa morphological type of meander	meander ívhossz [cm] bend length of meander	meander hullámhossz [cm] wave-length of meander	meander fejlettség development of meander	meander fejlettség szerinti típusa type according to development of meander	Sk_j [cm]	Sk_k [cm]	Sk_j-Sk_k [cm]	m [cm]	L_i	lejtés* slope
	(11)	kifejlődő	14,0	8,5	1,6471	érett	4,0	2,5	1,5	6	0,25	-8,5°
	átlag[4]		16,8	7,7	2,3196		4,85	3,15	1,85		0,2271	3.29° (3,58)°
4	(1)	kifejlődő	22,5	14,0	1,6071	érett	10,5	8,0	2,5	-24	0,1190	-21°
	(2)	kifejlődő	21,5	12,5	1,72	érett	12,5	8,5	4,0	-30	0,1333	0°; 11,3°
	(3)[2]	kifejlődő	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	(4)	kifejlődő	22,0	7,5	2,9333	érett	8,5	7,0	1,5	-25	0,06	-5,7°
	(5)	kifejlődő	27,0	14,5	1,8621	érett	12,5	7,0	5,5	-33	0,1833	-5,7°
	(6)[5]	kifejlődő	9,5	7,0	1,3571	fejlett	2,5	2,5	0		0	-
	(7)[5]	kifejlődő	11,5	8,5	1,3529	fejlett	4,0	4,0	0		0	-
	(8)[5]	kifejlődő	14,5	12,5	1,16	fejlett	2,0	2,0	0		0	-
	(9)[2]	kifejlődő	-	-	-		-	-	-		-	-
	(10)	kifejlődő	15,0	11,0	1,3636	fejlett	6,5	6,5	0		0	-11,3°
	(11)	roncs	16,5	9,5	1,7368	érett	8,5	8,5	0		0	-11,3°
	(12)	kifejlődő	33,0	12,5	2,64	érett	14,5	10,5	4,0	-29	0,1379	-16,3°
	(13)	roncs	38,5	22,5	1,7111	érett	10,5	6,5	4,0	-25	0,16	-5,7; -21,8
	(14)[2]	hurok (?)	-	-	-	-	4,5	2,5	2,0	-35	0,057	-5,7°
	(15)	lefejezett hurok	-	-	-	-	-	-	-		-	-

vályú jele sign of rinnen	hurok sorszáma number of loop	meander morfológiai típusa morphological type of meander	meander ívhossz [cm] bend length of meander	meander hullámhossz [cm] wave-length of meander	meander fejlettség developme nt of meander	meander fejlettség szerinti típusa type according to development of meander	Sk_j [cm]	Sk_k [cm]	Sk_j-Sk_k [cm]	m [cm]	L_i	lejtés* slope
	átlag		21,0455	12,0	1,7676		9,0	6,8636	1,9583 (3,35)		0,065 (0,1215)[6]	10,04°[7] 10,26°[8]
6	(1)	roncs	49,50	13,50	3,67	túlfejlett	4,50	12,50	-8,0	-4	-2,13	-3,8°
	(2)	roncs	40,00	10,50	4,00	túlfejlett	5,00	12,50	-7,5	-1	-7,5	-3,8°
	(3)	roncs	75,50	12,50	6,04	túlfejlett	5,00	15,10	-10,1	-5	-2,02	-5,7°
	(4)	roncs	89,00	22,00	4,05	túlfejlett	5,00	13,50	-8,5	-1	-8,5	-4,2°
	(5)	roncs	60,00	15,10	3,97	túlfejlett	9,00	18,5	-9,5	-6	-1,36	-5,7°
	(6)	roncs	62,50	19,50	3,21	túlfejlett	9,00	15,5	-6,5	-5	-1,3	-5,7°
	(7)	roncs	90,50	25,00	3,62	túlfejlett	11,00	15,5	-4,5	-11	-0,41	-6,8°
	átlag		66,71	16,87	4,08		6,93	14,73	-7,8		-3,32	-5,1°
7	(1)[2]	kifejlődő	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	(2)	roncs (?)	41,5	20,5	2,0244	érett	13,5	8,5	5,0	-26	0,1923	-11,3°
	(3)	roncs	28,0	9,5	2,9474	érett	12,5	12,5	0		0	0; 11,3°
	(4)	roncs	31,5	9,5	3,3158	érett	11,0	8,5	2,5	-28	0,0893	0; -5,7°
	(5)	roncs	33,5	19,0	1,7632	érett	10,0	5,0	5,0	-27	0,1852	-5,7°; 11,3°
	(6)	kifejlődő (?)	59,0	26,5	2,2264	érett	21,5	16,0	5,5	-27	0,2037	-11,3°
	(7)	kifejlődő	29,5	20,0	1,475	érett	14,0	10,5	3,5	-31	0,1129	-16,7°
	(8)	roncs	42,5	16,5	2,5758	érett	15,5	10,0	5,5	-27	0,2037	0°

vályú jele sign of rinnen	hurok sorszáma number of loop	meander morfológiai típusa morphological type of meander	meander ívhossz [cm] bend length of meander	meander hullámhossz [cm] wave-length of meander	meander fejlettség development of meander	meander fejlettség szerinti típusa type according to development of meander	Sk_j [cm]	Sk_k [cm]	Sk_j-Sk_k [cm]	m [cm]	L_i	lejtés° slope
	(9)	roncs	24,5	8,0	3,0625	érett	11,0	6,0	5,0	-17	0,2941	0°
	(10)[2]	roncs (?)	31,0	20,0	1,55	érett						
	(11)	hurok	66,5	22,0	3,0227	érett	17,5	7,5	10,0	-23	0,4348	-5,7°
	(12)	hurok	-	-	-		11,5	9,0	2,5	-26	0,0962	-5,7°
	átlag		38,75	16,8333	2,4904		13,08	9,35	4,45		0,1812	-8,1°

1. a vályú fő iránya mentén
2. inflexiós pont nem szerkeszthető, vagy a sodorvonal kiszerkesztése bizonytalan
3. vályúmélység hiányzik
4. lejtés a hordozó vályú (I. típusú) talpán; környező térszín lejtése 4,44°
5. 6-os, 7-es, 8-as hurok vályútalpba mélyült, ennek lejtése nem adható meg
6. a 0 lesiklási intenzitásúak nélkül
7. 1-7-es hurkok mentén
8. 10-14-es hurkok mentén a vályúk a 3 jelű kivételével (amely III,. típusú) I. típusúak

1. by the side of direction of rinnen
2. the inflection point can not be construed, or the construeing of channel line is uncertain
3. there is not rinnen depth
4. slope on rinnen bottom (I type); the slope of surface is 4,44°
5. the 6,7 and 8 loops are in the rinnen bottom, their slope can not be measured
6. without of 0 subsidence intensity ones
7. by the side of 1-7 loops
8. by the side of 10-14 loops

the rinnens are I. type ones (only the rinnen 3 is III. type)

III. Táblázat Különböző típusú meanderek elemeinek átlagai (3,4,6,7 jelű vályúk sodorvonalainak adataiból)
Table III. The averages of elements (according to the data of channel lines of 3,4,6,7 sign rinnens)

meander típusa meander type	hurok loop	kifejlődő developing			roncs remain			összes típusnál at all types	
kilendülés oka reason of swinging out	külső n=3	belső n=7	külső n=13	együtt n=20	belső n=2	külső n=6	együtt n=8	belső n=10	külső 21
ívhossz length of benc	45,75	23,5	18,6153	21,0576	27,5 (66,71)*	33,5833	30,54	25,5	32,6495
hullámhossz wave-length	15,125	12,0	10,38	11,19	16,0 (16,87)*	13,8333	14,9166	14,0	13,1128
meander fejlettség development of meander	3,0233	2,0210	1,8992	1,9601	1,7239 (4,08)*	2,6181	2,171	1,8724	2,5135
lesiklás intenzitása intensity of subsidence	0,3336	0,1056	0,2300	0,1678	0,08 (-3,32)*	0,1608	0,1204	0,0928	0,2439 0,2966**

* zárójelbe feltüntetett szám az 6 jelű vályúra (n=7) vonatkozik
the number in parenthesis belongs to 6 sign rinnen (n=7)
** az 1. jelű vályú adataival (n=3)
with the data of 1 sign rinnen (n=3)

IRODALOM

ALLEN, J. R. L. (1982): Sedimentory structures. Their Character and Physical Basis I.-II. - Amsterdam - Oxford - New York, Elsevier

BALOGH K. (1991): Szedimentológia I. k. - Akadémia kiadó, Bp.

BORSY Z. (1992): Általános természeti földrajz - Tankönyvkiadó, Bp.

CHOLNOKY J.: Hegyek-völgyek - Franklin Társulat, Bp.

HUTCHINSON, D. W. (1996): Runnels, rinnenkarren and mäanderkarren: form, classification and relationships - In: *FORNOS, I. J. - Á. GINES* (szerk.): Karren landforms p. 209-223, Universitat de les Illes Balears, Palma de Mallorca

LACZAY I. (1982): A folyószabályozás tervezésének morfológiai alapjai - Vízügyi Közl. p. 235-254.

VERESS M. (1998): Karrmeanderek - Karsztfejlődés II. (Totes Gebirge karrjai) - BDTF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p. 35-58.

KARSZTFEJLŐDÉS II. (Totes Gebirge karrjai)
Szombathely, 1998. pp. 91-98.

KARRMEANDEREK SZINTVONALAS ÁBRÁZOLÁSÁNAK TAPASZTALATAI

BARNA JÁNOS

1632 Letkés, Diófa u. 38.

Abstract: The measurement of 8 rinnen was made in Totes Gebirge in summer of 1997. Morphological and relief draught maps of examined territory were made after using the measured data. The experiences connected with measurement and making of contoured map are given and also the maps are shown.

Bevezetés

Karros kistérszínek térképezési gyakorlatában két ábrázolási mód vált általánossá. A területről készülő munka céljainak megfelelően, szintvonalas vagy morfológiai térképeket készíthetünk. Az első esetben az adott forma lejtésviszonyait ábrázoljuk szintvonalak segítségével, a második esetben a forma alkotóelemeit morfológiai jelekkel szemléltetjük (tematikus karrmorfológiai térkép). Karros területek ábrázolásánál e második módszer alkalmazása a gyakoribb.

A korábbi években a Totes-Gebirgeben végzett munkák során (*VERESS M.-SZÉLES GY.-NACSA T.-DOMBI L.* 1995.) már behatóan foglalkoztak a - kevésbé használt - szintvonalas térképezési módszer lehetőségeinek feltárásával. Nevezett kutatók elsősorban madáritatókat (kamenyicákat), nagyméretű karrvályúkat térképeztek. Az általuk mért formáktól alaktanilag jelentősen eltérnek az itt tárgyalásra kerülő kisebb méretű meanderkarrok, így felmérési- és ábrázolási módszereink is különböznek.

A felmért 9 db karrvályú közül, amelyek azonosítása egységes jelölési rendszerbe történt (*VERESS M.-BARNA J.* 1998) itt 4 db térképét közöljük.

A felmérés módszere

A Totes-Gebire hegységben 1997-ben folytatott karrmeander-térképezési munka elsődleges célja a korábban *VERESS M.* / 1996. / által kialakított meander típusokba tartozó vályúk nagy pontosságú felmérése volt. Ennek figyelembevételével történt meg az egyes mérendő területek kiválasztása.

A méréseket 10x10 cm osztású mérőhálóval és acélmérőszalaggal végeztük. Az iránymeghatározásokhoz Bézárd-típusú tájolót, a lejtőszögméréseknél egész fokbeosztású szögmérőt használtunk.

A felmérés kezdetekor a hálót a mérendő terület fölött vízszintesen állítottuk be. Ezen vízszintesen elhelyezkedő alaprácstól mértük az egyes formaelemek jellemző pontjainak mélységét.

Ezzel az eljárással átlagosan 120 pont/m^2 sűrűséggel felvett pontokból, már jó eredménnyel szerkeszthetők szintvonalas térképek. A felmérés módszeréből adódóan a felmért pontok nagy százalékban esnek rácspontra, így a mélységadatok felvételi helye a munkatérképen pontosan azonosítható.

A térképkészítés módszere

Az ábrázolt karrvályúk szintvonalas térképei 1:5 méretarányban készültek. Az ábrázolás során figyelembevéve a méretarányt, s a formák vertikális kiterjedését, az alapszintvonalak 5 cm-ként kerültek kiszerkesztésre. A térképeken nem különböztetünk meg alap- és főszintvonalakat.

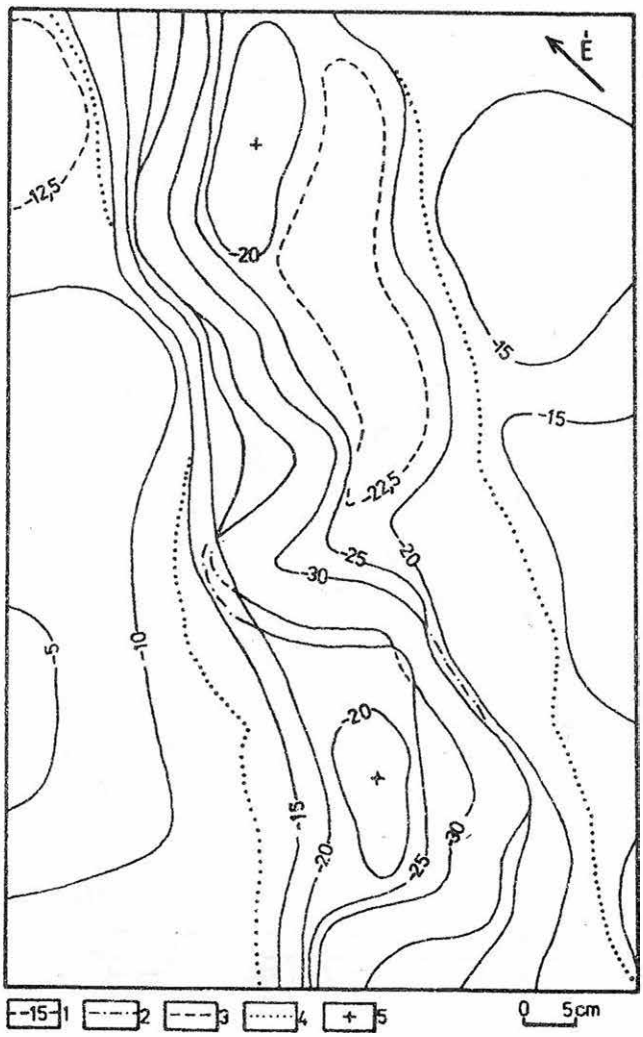
A térképkészítés első lépése az adott forma idomvázának felvétele volt. Az idomvázak megrajzolása a terepen felvett vázlatrajz alapján történt. Második lépésként az alap-rács mérési pontjainak megfelelően keresztszelvényeket készítettünk. A szelvényekből később szerkeszthető a különböző mélységű pontok helye, melyeket az idomvázat tartalmazó térképlapra vittünk fel. A térképen való mérés utolsó lépéseként a nem rácspontra adódó mélységadatok felvitele történt meg. Miután minden mért és szerkesztett pont a térképre került az azonos mélységet jelölő pontokat szintvonallal egybekötöttük.

A térképeken adódó nagy szintvonalsűrűség miatt a mélységi adatok nem minden szintvonalon kerültek feltüntetésre. A lejtésviszonyok egyértelműsége miatt eséstüskéket szintén nem alkalmaztunk.

A térképezés tapasztalatai

Karrmeanderek térképezésénél, elsősorban morfológiai sajátosságaik miatt, néhány pontban jelentősen el kell térni a általános térképészetben megismert szintvonalas ábrázolásoktól. A topográfia a karrmeanderekhez alaktanilag hasonló formákat (szakadékvölgyek, horhosok) nem ábrázolja szintvonalasan. Jelölésükre a szintvonalas térképeken belül domborzati jeleket használ. Ez elsősorban arra vezethető vissza, hogy az említett formák

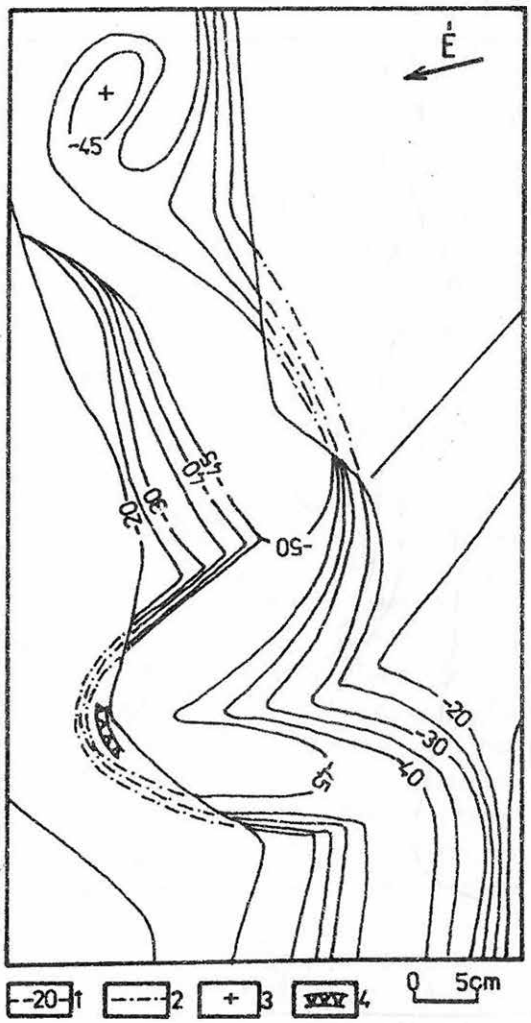
szintvonalas ábrázolása - a később leírt nehézségek miatt - szinte lehetetlen,



1. ábra. Kifejlődő és roncsmeanderes szakaszokat tartalmazó vályúrészlet, a vályúperem jelölésével (3 jelű vályú)
Jelmagyarázat: 1. szintvonal helyi rendszerben, 2. szintvonal az aláhajló falnál, 3. felező szintvonal, 4. vályúperem, 5. kiemelkedés
Fig. 1: Rinnen part with developing and remain meandering parts, with the sign of rinnen boundary (rinnen with sign 3)
Legends: 1. contour in local system, 2. contour at underincline wall, 3. bisecting contour, 4. rinnen boundary, 5. uplift

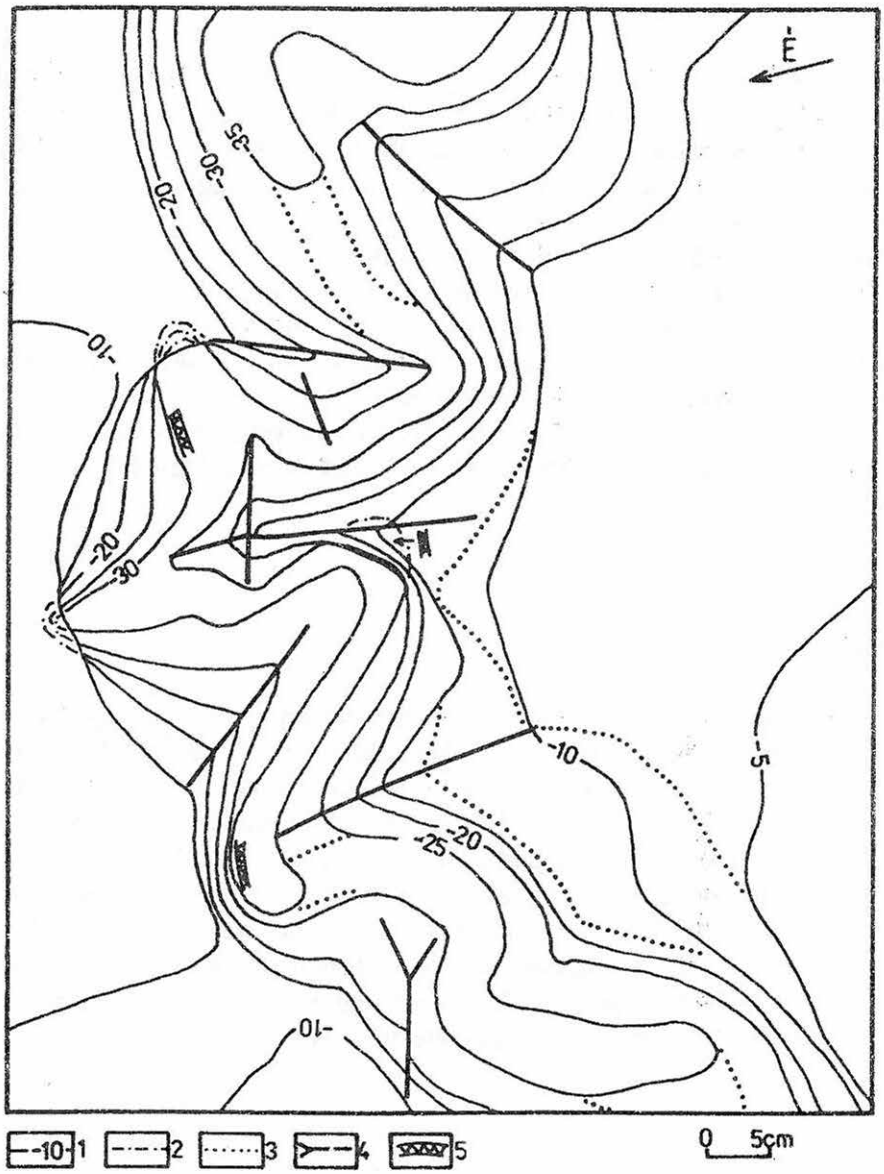
másrészt ezek a formák általában nem képezik lényegi részét a térképnek.

Karrmeanderek ábrázolásánál azonban, amennyiben szükséges magassági mérésekre alkalmas domborzat- és alakhű térkép készítése, nem kerülhetjük meg a szintvonalas ábrázolási módot. Ahhoz hogy a mérhetőség



2. ábra. Roncs meanderes és kanyarulat lefejeződéses vályúrészlet, aláhajló falak és szinlők jelölésével (4 jelű vályú)
Jelmagyarázat: 1. szintvonal helyi rendszerben, 2. szintvonal az aláhajló falnál, 3. kiemelkedés, 4. színlő
Fig. 2: Rinnen part with remain meandering and bend capture, with the signs of underincline walls and platforms (rinnen with sign 4)
Legends: 1. contour in local system, 2. contour at underincline wall, 3. uplift, 4. platform

mellett a szemléletesség követelményeinek is megfeleljünk, néhány jelentős problémát kell leküzdeni.



3. ábra. Kifejlődő és roncs meanderes szakaszokat tartalmazó vályúrészlet, a vályúperem és az idomváz vonalainak jelölésével (5 jelű vályú)
Jelmagyarázat: 1. szintvonal, 2. szintvonal az aláhajló falnál, 3. vályúperem, 4. idomváz, 5. színlő
Fig. 3: Rinnen part with developing and remain meandering parts, with the sign of rinnen boundary and lines of figure skeleton (rinnen with sign 5)
Legends: 1. contour, 2. contour at underincline wall, 3. rinnen boundary, 4. figure skeleton, 5. platform

Így például a meanderező karrcsatornákra - kialakulásuktól függően - jellemző a függőleges, nagy meredekségű, esetenként az aláhajló fal. Ezen részletek vizsgált módszerrel való ábrázolásánál a szintvonalak egymást

fedve, megkülönböztethetetlen sűrűségben fordulnak elő. Az ilyen helyeken az összes megkívánt szintvonal kirajzolása nem segíti a megértést. Az aláhajló falak esetében a szintvonalak keresztezik egymást, ami a különböző magassági szintek összekeverésének lehetőségét rejti magában. Az aláhajló falrészletek megrajzolására (az eddig folytonos vonalú szintek) pontvonalas ábrázolásával az elkülönítés könnyebbé válik (*2, 4. ábra*).

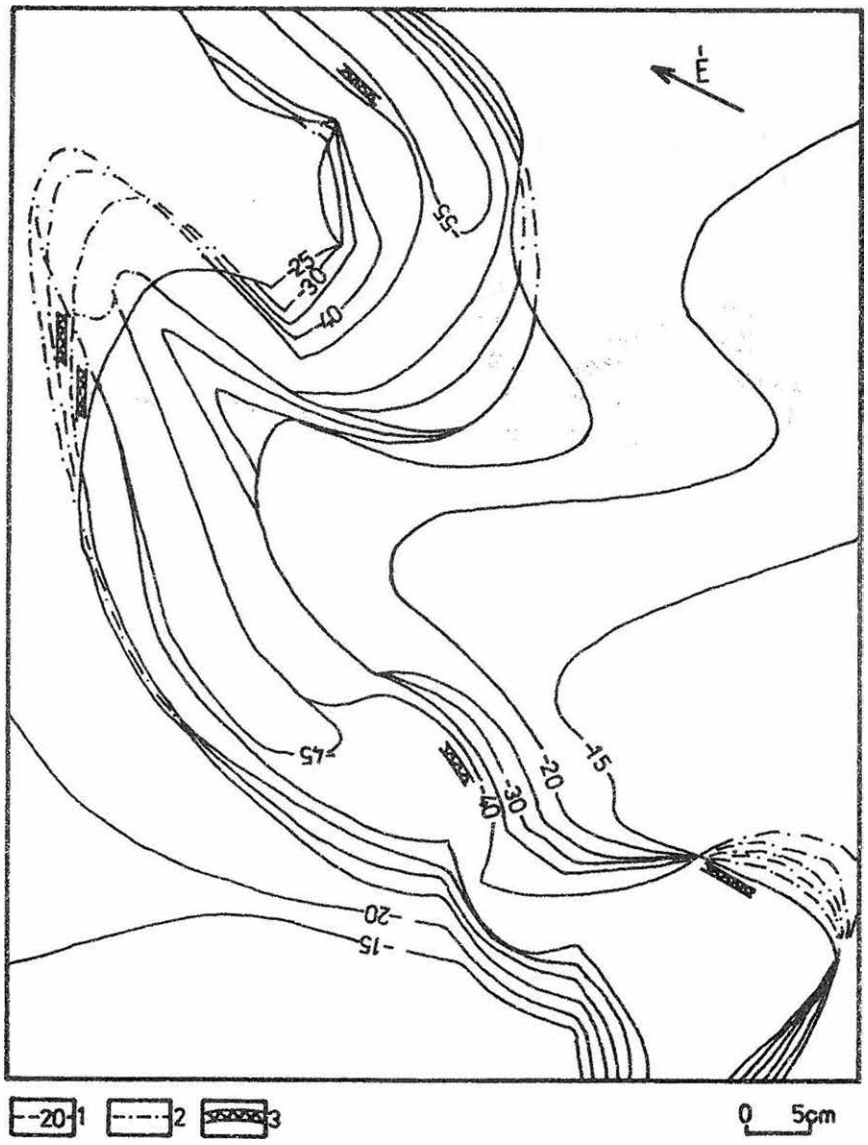
Vizsgált karrmeandereink többségében gyakoriak a színlők. Ezen színlők ábrázolása a viszonylagosan nagy alapszintköz miatt lehetlen. Feltüntetésükre célszerű domborzati jelek alkalmazása úgy, hogy az esetlegesen aláhajló falon lévő formák jelölése eltérjen (*2, 3, 4. ábra*).

A karrmeanderek meredek oldalfalait gyakorta peremek tagolják. E peremek ábrázolása is domborzati jelekkel oldható meg legcélszerűbben (*1, 3. ábra*).

Összefoglalás

A domborzat alakhű, pontos ábrázolása és a mérhetőség igénye megköveteli a szintvonalas ábrázolás alkalmazását a karros kisformák térképezésénél is. A döntően meredek, vagy aláhajló oldalfalakkal rendelkező karrmeanderek esetében ez csak abban az esetben lehetséges, ha a szintvonalak egyes részeit elhagyjuk, más részeit domborzati jelekkel helyettesítjük. A megfelelően kialakított domborzati jel, a szintvonal, szemléletes, mérések elvégzésére alkalmas térképek kialakítását teszi lehetővé.

Látható, hogy a meanderkarrok e formában való ábrázolása terén még csak a kezdeteknél járunk. Kívánatos lenne a pontos jelrendszer kidolgozása, valamint a mérési eljárás tökéletesítése is.



4. ábra. Roncs és hurok meanderes szakaszokat tartalmazó vályúszakasz, az aláhajló falak és színlők jelölésével (7 jelű vályú)
Jelmagyarázat: 1. szintvonal, 2. szintvonal az aláhajló falon, 3. színlő
Fig. 4: Rinnen with remain and loop meandering parts, with the signs of underincline walls and platforms (rinnen with sign 7)
Legends: 1. contour, 2. contour on underincline wall

IRODALOM

VERESS M.-SZÉLES GY.-NACSA T.-DOMBI L. (1995): Néhány totesi karros forma domborzatrajzi ábrázolása - Karsztfejlődés I. (Totes Gebirge karrjai) - Pauz kiadó, Szombathely, p. 31-40.

VERESS M.-BARNA J. (1998): Karrmeanderek morfológiai térképezésének tapasztalatai Karsztfejlődés II. (Totes Gebirge karrjai) - BDTF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p. 59-74.

VERESS M. (1995): Néhány totesi karros forma domborzatrajzi ábrázolása - Karsztfejlődés I. (Totes Gebirge karrjai) - Pauz kiadó, Szombathely, p. 31-40.

KARSZTFEJLŐDÉS II. (Totes Gebirge karrjai)
Szombathely, 1998. pp. 99-124.

KARR TANU- ÉS SZIGETHEGYEK

VERESS MÁRTON*-NACSA TAMÁS**
*Berzsenyi Dániel Tanárképző Főiskola, Természetföldrajzi Tanszék, 9700. Szombathely, Károlyi G. tér 4.
** 8600. Siófok, Jókai u. 8.

Abstract: There were made M 1:10 scale morphological map about 6 karren ground surface part of Totes Gebirge. The notion of karren inselberg and mesa is determined and these remain surfaces are typified. The karren inselberg and mesa forms, developed by rinnens, were examined in detail. These can be developed as the end of ancillary rinnen, with attachment of ancillary rinnens and main rinnens, and with imitation and real capture of bends. After the examination of solution together (it can be possible with taking into consideration of development and place of escarpments and rinnen bottom drainage divides during solution together) can be determined the method of developing of karren inselberg and mesa forms and formation sequence of the different karren forms. The solution history of each ground surface part can be given after getting the information about relative developing ages. Such maps were made with taking into consideration of relative developing ages of different karren forms, the solution history of environment of mesas can be shown.

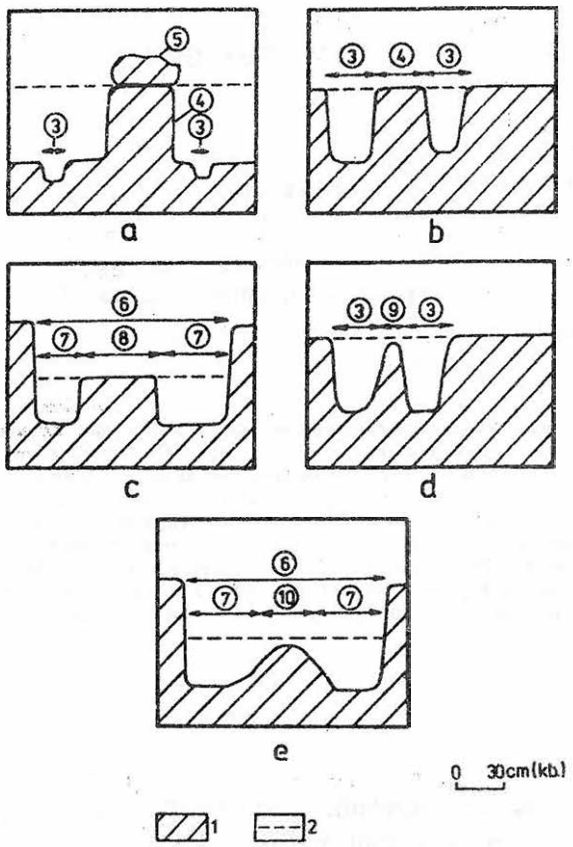
1. Bevezetés

Szigethegy az erózió által környezetétől elkülönített hegy. Ezt tanuhegynek nevezik, ha felszíne az eredeti térszint őrzi (*BULLA B.* 1954, *BALÁZS D.* 1987).

A karsztok karros felszín részletei a helyileg eltérő intenzitású és idejű oldódás eredményeként különböző mértékben pusztulnak le. A környezetükhöz képest kevésbé, vagy egyáltalán nem lepusztuló térszínrészleteket karros szigethegyeknek, illetve karros tanuhegyeknek nevezzük.

A karros sziget- és tanuhegyek több tekintetben is eltérést mutatnak az eróziós sziget- és tanuhegyektől. Ezek az alábbiak.

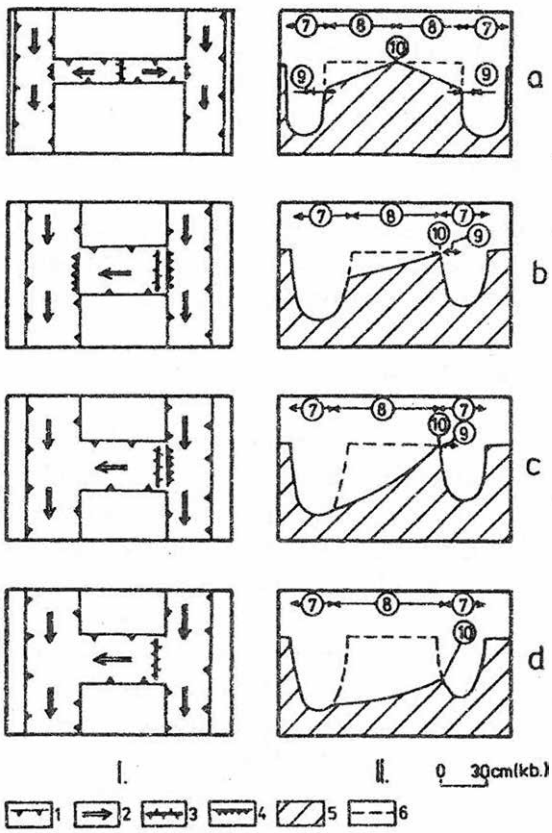
- Az eróziós sziget- és tanuhegyek oldalirányban több kilométeresek, függőlegesen több száz méteresek is lehetnek. A karros sziget- és tanuhegyek oldalirányban néhány méteresek, függőlegesen néhány deciméteresek.
- Az eróziós sziget- és tanuhegyek környezetüktől erózióval, a karros sziget- és tanuhegyek oldódással különülnek el. Utóbbiak oldallejtői előzőeknél lényegesen meredekebbek. A határoló lejtők gyakran túlhajlók. Felszínük is tagoltabb. Tetőszintjeiken gyakoriak a kisméretű, néhány cm-es magasságú kúpok, kismélységű, széles karrvályú kezdemények, valamint a néhány cm-es mélységű és szélességű, III. típusú vályúk.



1. ábra: Karrasztalos tanuhegy (a), karrvályúk által kialakított tanuhegy (b), talpi tanuhegy (c), szigethegy (d) és talpi szigethegy (e)
Jelmagyarázat: 1. karrosodó kőzet, 2. maradvány térszín lefűződése előtt a karros térszín magassága, 3. I. típusú karrvályú, 4. tanuhegy, 5. kőtömb, 6. I. típusú idős karrvályú, 7. I., vagy II. típusú fiatalabb karrvályú, 8. talpi tanuhegy, 9. szigethegy, 10. talpi szigethegy
Figure 1: Karren table mesa (a), mesa developed by rinnens (b), mesa on the bottom (c), karren inselberg (d) and karren inselberg on the bottom (e)
Legends: 1. rock developing karren, 2. height of karren ground surface before the budding of remain ground surfaces, 3. I. type karren rinnen, 4. karren inselberg, 5. boulder, 6. I. type older karren rinnen, 7. I. or II type younger karren rinnen, 8. mesa on the bottom, 9. karren inselberg, 10. karren inselberg on the bottom

A karros sziget- és tanuhegyek különböző karros folyamatok során alakulhatnak ki. Így létrejöhetnek szomszédos madáritatók, kürtök, saroknyomok, karrvályuk részleges összenövése alkalmával (*VERESS M.* 1995). Létrehöhetnek karrasztaloknál is (*BÖGLI, A.* 1976, *BALÁZS D.* 1990). Amíg a karrasztal környezetében a felületi leoldódás a felszint lepusztítja, ez a karrasztal kőtömbje alatt nem történhet meg (*1a. ábra*). E munkában olyan karros sziget- és tanuhegyekkel foglalkozunk, amelyek a karrvályuk kifejlődése során képződnek.

A sziget- és tanuhegyes karros térszinrészletek bemutatására, valamint e területeken lejátszódó fejlődéstörténet (leoldódástörténet) elemzéséhez ezekről karr geomorfológiai térképeket készítettünk. A térképek alapjául szolgáló észlelési térképekhez szükséges adatokat a *SZUNYOGH G.* (1995, 1998) által kifejlesztett és alkalmazott mérési eljárással nyertük. A részletesebb felmérés érdekében azonban mi a térképezendő területeken olyan négyzethálót alkalmaztunk, ahol a háló négyzeteinek méretei nem 50x50 cm-esek, hanem 10x10 cm-esek voltak.



2. ábra: Vályúvég találkozás (a) és állefejeződés (b, c, d)
Jelmagyarázat: 1. I. típusú vályú, 2. I. típusú vályú talpának dőlésiránya, 3. vályútalp vízválasztó, 4. lépcső, 5. karrosodó kőzet, 6. vályúbemélyülés előtti térszín, 7. fővályú, 8. regresszáló mellékvályú, 9. lépcső, 10. vályutalp vízválasztó I. felülnézet II. oldalnézet (metszetek az összekapcsolódó illetve a lefejezést végző vályúk mentén), a hátráló vályuvégek összekapcsolódnak (a), a lefejező vályú egyenletesen mélyül (b) a lefejező vályú hátrál (c) a lefejező vályú a fővályú talpáig mélyül (d)

Figure 2: Meeting of rinnen (a) ends and pseudocapturing (b, c, d)
Legends: 1. I. type karren rinnen, 2. direction of dip of I. type karren rinnen bottom, 3. rinnen bottom drainage, 4. escarpment, 5. rock developing karren, 6. ground surface before rinnen depression, 7. main rinnen, 8. regressive ancillary rinnen, 9. escarpment, 10. rinnen bottom drainage I. view from above II. side view (segments by the side of rinnens doing capturing), the retrogressive rinnen ends join together (a), the capturing rinnen deepens consistently (b), the capturing rinnen withdraws (c), the capturing rinnen deepens to the bottom of main rinnen (d)

2. Kutatási terület

A kutatási terület a Totes Gebirge hegységben a Widerkar-csúcs alatt, mintegy 1800 m magasságban helyezkedik el egy gleccservölgy oldallejtőjén. A kutatási terület egy, a környezetétől elkülönülő, lefolyástalan, karsztosodási egység (*VERESS M.-ZENTAI Z.-HORVÁTH E. T.* 1996). A karsztosodási egység kőzetei kibillentek, lefolyástalanságát azonban tovább növelte területén a felületi leoldódás. Emiatt fejlődése során kisebb alegységekre különült. Az alegységeket határoló csapás irányú (55-235° irányú) törések és vetők oldódással hasadékokká fejlődtek. Valamely alegység felső pereme a felette következő alegység felé meredek, karsztosodással kialakult küszöbbel fordul, míg az alsó pereme az alegységet alulról határoló hasadék pereménél végződik. Az alegységeket határoló karsztos küszöbök rétegfejek, az alegységek felszíne réteglap. A réteglapos felszíneken uralkodnak a karrvályúk. E nagyobb méretű (I. típusú) karrvályúkba ritkábban II. típusú, gyakrabban III. típusú karrvályúk képződnek (*VERESS M.* 1995). Amíg az I. típusúak dm-es szélességűek és mélységűek, addig a III. típusúak mindösszesze néhány cm-es mélységűek és szélességűek. A karrvályúk az alegységeket

határoló hasadékokhoz, vagy vályúvég kürtökhöz vezetnek. A karrvályúk gyakran formálnak kanyarulatokat, illetve különböző irányú szakaszokból tevődnek össze. Gyakori, hogy a fő karrvályúkból mellék karrvályúk ágaznak ki, karrvályú rendszereket létrehozva.

3. A karros tanu- és szigethegyek típusai

A karros tanu- és szigethegyek maradványtérszínek. E maradványtérszíneket csoportosítani lehet aszerint, hogy felszínük milyen fejlődésen ment keresztül illetve aszerint, hogy milyen módon különültek el környezetüktől.

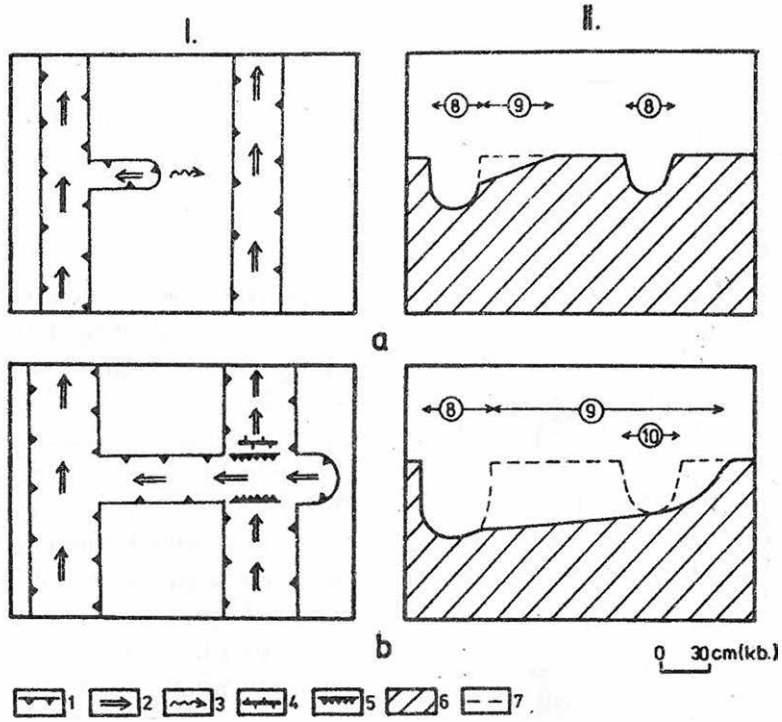
3.1. Felszínük fejlődése szerinti csoportosításuk

Karros tanuhegyek azok a maradványtérszínek, amelyek magassága megegyezett annak a térszínnek a magasságával, amelytől elkülönültek (*1. ábra*). A tagolt felszínű (felszínét karros mélyedések és kiemelkedések tagolják) a karrosodott tanuhegy. A karrosodás végbemehetett a határoló felszíntől való elkülönülés előtt (előzetesen karrosodott tanuhegy), vagy azután (utólagosan karrosodott tanuhegy).

Megjegyezzük, hogy a térképezett térszínek némelyik tanuhegyénél vályútalp maradványok valószínűsíthetők. Ezek a jelenlegi vályutalpaknál idősebbek, így a vályútalpas tanuhegyek előzetesen karrosodott tanuhegyeknek tekinthetők. Előfordulhat, hogy a karrosodás mind az elkülönülés előtt, mind azután egyaránt jellemezte a tanuhegy területét. Talpi tanuhegyek idősebb karros formák talpán alakulnak ki. Leggyakoribbak a vályutalp tanuhegyek. Ilyenkor a vályutalpon képződnek maradványtérszínek. A talpi tanuhegyek átmenetet képeznek a tanuhegyek és a teraszok között. Ez utóbbiak idősebb vályu talpmaradványok, amelyek azáltal alakulnak ki, hogy a fiatalabb szélesedő vályú az idősebb vályú talpát (amelyen kifejlődik) részben növekedése során felemészti (*VERESS M.* 1995).

Szigethegyek azok a maradványtérszínek, amelyek felszinének magassága az elkülönülés alatt (esetleg ennek hatására) csökkent (*1. ábra*). Szigethegynek tekintjük, az olyan térszínrészleteket is, amelyek már elkülönülésük előtt is alacsonyabbak voltak környezetüknél. A vályútalpon képződhetnek a talp szigethegyek.

Szomszédos karrvályúk szélesedése során a közöttük megmaradó térszínek keskeny karrgerincekké pusztulhatnak le (gerinc szigethegyek). Félszigethegyek akkor képződnek, ha a szomszédos karrvályuk közötti maradványok a környező térszíntől nem különülnek el.



3. ábra: Igazi lefejeződés

Jelmagyarázat: 1. I. típusú vályú, 2. I. típusú vályú talpának lejtésiránya, 3. vályúvég hátrálásának iránya, 4. vályútalp vízválasztó, 5. lépcső, 6. karrosodó kőzet, 7. vályú bemélyülés előtti térszín, 8. fővályú, 9. regresszáló mellékvályú, 10. elpusztult fővályú I. felülnézet, II. oldalnézet (metszet a lefejezést végző vályú mentén), a. lefejezés előtt, b. lefejezés után

Figure 3: Real capturing

Legends: 1. I. type karren rinnen, 2. direction of grade of I. type karren rinnen bottom, 3. direction of withdrawal of rinnen end, 4. rinnen bottom drainage, 5. escarpment, 6. rock developing karren, 7. ground surface before rinnen depression, 8. main rinnen, 9. regressive ancillary rinnen, 10. ruined main rinnen I. view from above II. side view (segments by the side of rinnens doing capturing), a. before capturing, b. after capturing

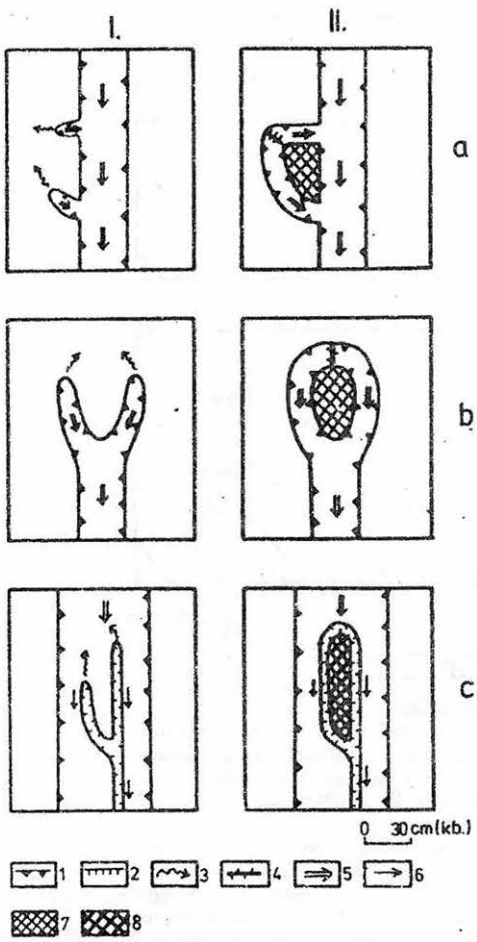
3.2. Elkülönülésük módja szerinti csoportosításuk

A karros tanu- és szigethegyek kialakulhatnak fő- és mellékvályúk által közrefogott és elkülönített térszíneken, valamint kanyarulatok által határolt térszíneken.

3.2.1. Fő- és mellékvályúk által határolt térszínek sziget- és tanuheggyé alakulása

Sziklafelszíneken a karrvályuk oldódással - a bennük áramló oldószer hatására - hátrálnak (*VERESS M.* 1995).

A karrvályuk egymásba kapcsolódásának lehetőségeit már vizsgáltuk (*VERESS M.* 1995), alkalmazva a karros térszínekre *CHOLNOKY J.* (1926) által



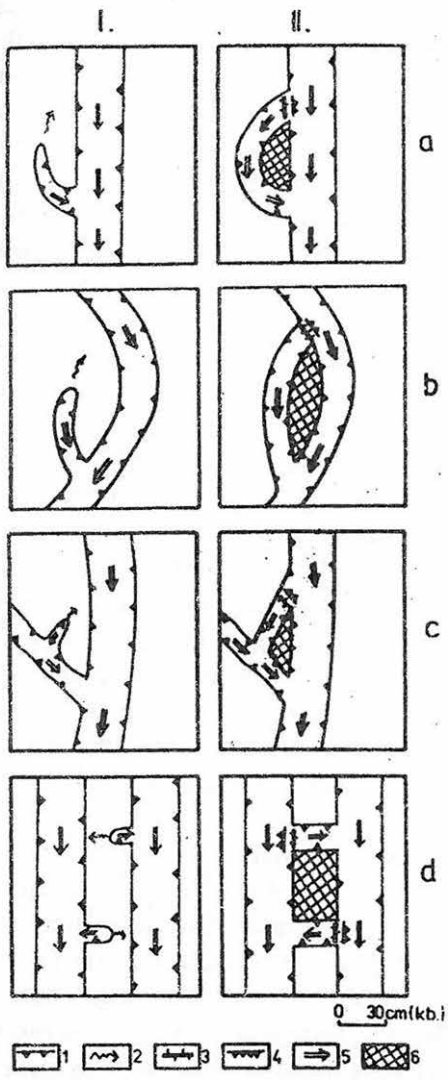
4. ábra: Karros sziget- és tanuhegyek kialakulása vályúvég találkozásokkal
Jelmagyarázat: 1. I. típusú vályú, 2. III. típusú vályú, 3. vályúvég hátrálásának iránya, 4. vályutalpi vízválasztó, 5. I. típusú vályútalp lejtésének iránya, 6. III. típusú vályútalp lejtésének iránya, 7. tanuhegy, 8. talp tanuhegy, I. kezdeti állapot, II. kifejlett állapot
Figure 4: Developing of karren inselberg and mesa with meeting of rinnen ends
Legends: 1. I. type karren rinnen, 2. III. type karren rinnen, 3. direction of withdrawal of rinnen end, 4. rinnen bottom drainage, 5. direction of grade of I. type karren rinnen bottom, 6. direction of grade of III. type karren rinnen bottom, 7. mesa, 8. bottom mesa, I. starting condition, II. full developed condition

a regressziós folyóvölgyek fejlődésére tett megállapításait. Az azóta végzett vizsgálatok részben módosításra, részben továbbfejlesztésre szorulnak.

Egy regresszáló vályú vége elérheti egy másik, ugyancsak regresszáló vályú végét (*2a. ábra*), vagy egy másiknak az oldalsó részét. Előző esetben vályúvég találkozás, vályúvég összekapcsolódás, utóbbi esetben vályú lefejeződés történik. A vályuk egymásba kapcsolódási helyein vályútalp vízválasztók képződnek (*VERESS M.* 1955). A vályútalp vízválasztók a talpat harántoló néhány cm-es magasságú és szélességű küszöbök.

Vályú lefejeződés során megkülönböztethető állefejeződés (*2b,c,d. ábrák*) és igazi lefejeződés (*3. ábra*). Állefejeződésnél a lefejezett vályú talpának eredeti lefolyási viszonyai nem módosulnak, míg igazi lefejeződés esetén igen. Állefejeződés esetei az alábbiak:

- A hátráló (és lefejezést végző) mellékvályú kevésbé mélyül (*2b. ábra*). A lefejezést végző vályú felső végénél (ahol az állefejeződés történik) vályútalp vízválasztó alakul ki. Ennek a lefejezett vályú felőli részén lépcső fejlődik ki, amely a vályú oldalának maradványa. A lefejezést végző mellékvályú talpa függ a fővályú talpa felett.
- A hátráló mellékvályú alsó vége nagymértékben mélyül. A lefejeződési helynél ugyancsak vályutalp vízválasztó alakul ki lépcsővel. A lefejezést végző mellékvályútalp belesimul a fővályú talpába (*2c. ábra*).



5. ábra: Karros tanuhegyek kialakulása állefejeződésekkel Jelmagyarázat: 1. I. típusú vályú, 2. vályúvég hátrálásának iránya, 3. vályútalp vízválasztó, 4. lépcső, 5. I. típusú vályú talpának lejtésiránya, 6. tanuhegy, I. kezdeti állapot, II. kifejlett állapot

Figure 5: Developing of karren mesas with pseudocapturings

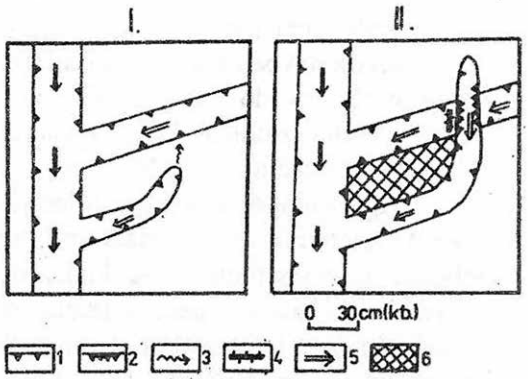
Legends: 1. I. type karren rinnen, 2. direction of withdrawal of rinnen end, 3. rinnen bottom drainage, 4. escarpment, 5. direction of grade of I. type karren rinnen bottom, 6. mesa I. starting condition, II. full developed condition

- A hátráló mellékvályú teljes hosszában, nagymértékben mélyül. Az állefejeződést elszenvedő vályú oldala teljesen fel is emésztődhet. Itt csak vályútalp vízválasztó alakul ki (*2d. ábra*).

Igazi lefejeződés során a lefejeződést elszenvedő vályú oldalai mindig teljesen felemésztődnek. A kialakuló vályútalp vízválasztó nem a lefejezést végző, hanem a lefejeződést elszenvedő vályutalpon helyezkedik el. Amíg állefejeződésnél a vályútalp vízválasztó iránya mindig merőleges a lefejezést végző vályú irányára, addig igazi lefejeződésnél azzal párhuzamos (*3. ábra*). Eltérő a vályútalp vízválasztó kiterjedése is a fenti esetekben. Állefejeződésnél a vályútalp vízválasztó a lefejezést végző vályú peremétől pereméig terjed. Igazi lefejeződésnél, mivel a már korábban kialakult lefejeződést elszenvedő vályú talpán alakul ki, hossza a talp kiterjedését nem haladja meg.

Igazi lefejeződésnél a lefejezett vályútalp lefejeződési hely feletti részének vizei a lefejező vályúba kerülnek. Ha a lefejező vályú bemélyülése intenziv, lépcső képződik. Akkor, ha a lefejezett vályú a lefejezés helyén nem terjedt túl (a lefejezés a vályúvégnél történik) egy lépcső képződik a vályútalp vízválasztónál. Ha a lefejezés nem a vályúvégnél történt, két lépcső is kialakulhat.

Vályúvégek összekapcsolódásánál tanuhegyek alakulhatnak ki, ha egy fővályú két mellékvályúja hátrál egymás felé. A tanuhegy a fővályú oldalánál képződik (*4a. ábra*), de képződhet a végénél is (*4b,c. ábra*). Utóbbi esetben a fővályú villásan kettéágazva két mellékvályura különül.



6. ábra: Karros tanuhegy kialakulása igazi lefejeződéssel
Jelmagyarázat: 1. I. típusú vályú, 2. lépcső, 3. vályúvég hátrálásának iránya, 4. vályutalpi vízválasztó, 5. I. típusú vályútalp lejtésének iránya, 6. tanuhegy, I. kezdeti állapot, II. kifejlett állapot.

Figure 6: Developing of karren mesas with real capturings
Legends: 1. I. type karren rinnen, 2. escarpment, 3. direction of withdrawal of rinnen end, 4. rinnen bottom drainage, 5. direction of grade of I. type karren rinnen bottom, 6. mesa I. starting condition, II. full developed condition

Állefejeződésnél akkor alakulhat ki tanuhegy, ha a mellékvályú hátráló vége eléri a fővályú peremét. Ez végbemehet akkor, ha az egyenes fővályúból íves lefutású mellékvályú képződik (*5a. ábra*), de akkor is, ha a fővályú íves lefutású szakaszánál egy ugyancsak íves (*5b. ábra*) vagy kettő egyenes lefutású (*5c. ábra*) mellékvályú képződik.

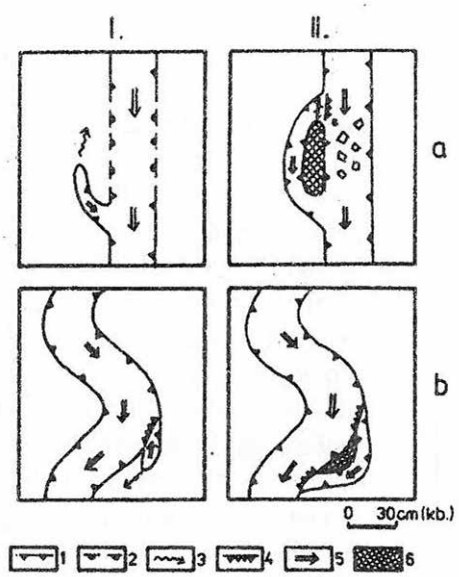
Karros tanuhegyek alakulhatnak ki a fővályúk között is. Ekkor a tanuhegy kialakításában két mellékvályú vesz részt (*5d. ábra*).

Igazi lefejeződésnél is kialakul tanuhegy. Ilyenkor valamely fővályú és annak két mellékvályúja fogja közre a tanúhegyet. A tanuhegy elkülönülése a környezetétől akkor fejeződik be, amikor a gyorsabban fejlődő mellékvályú eléri a már korábban kialakult másik mellékvályú oldalsó részét (*6. ábra*).

Tanuhegyek a fentebb vázoltaktól eltérő módon is kialakulhatnak, amelyek közül kettőt említünk.

Ritkán, de előfordul, hogy a karros tanuhegy kialakulásában a karrbarlangoknak is szerep jut. Ilyenkor a mellékvályú a fővályú karrbarlangos szakasza felett éri el a fővályút (vagy annak egy másik mellékvályúját). A tanuhegy kialakulása akkor fejeződik be, amikor a karrbarlang mennyezete elpusztul (*7a. ábra*).

Ha a fővályú kis mélységű és kanyarulatot formál, a benne áramló oldószer a vályuperemnek ütközik, és azon túlfolyik. A túlfolyó víz a lejtős térszinen fentről lefelé fejlődő vályut (antiregressziós vályú) alakít ki. Az így kialakuló mellékvályú alsó vége hosszabbodása során elérheti a fővályút. Ennek eredményeként a zugtól független, a kanyarulaton kívül elhelyezkedő tanuhegy képződik (*7b. ábra*). Az így kialakult antiregressziós mellékvályú gyorsan függő helyzetűvé alakul (a fővályúhoz kapcsolódás mindkét helyén lépcső képződik), miután a fővályú, amelyben több oldószer áramlik gyorsabban mélyül. Az ilyen mellékvályuk ezt követőleg a fővályú felől már nem kapnak vízutánpótlást. Az antiregressziós vályúban nem alakul ki vályútalp vízválasztó.



7. ábra: Karros tanuhegy kialakulása karrbarlang felnyílása (a) és antiregressziós vályú (b) képződése esetén
Jelmagyarázat: 1. I. típusú vályú, 2. karrbarlang, 3. vályúvég hátrálásának iránya, 4. lépcső, 5. I. típusú vályú talpának lejtés iránya, 6. tanuhegy I. kezdeti állapot, II. kifejlett állapot
Figure 7: Developing of karren mesas after opening up the karren cave (a) and developing of antiregression rinnen (b)
Legends: 1. I. type karren rinnen, 2. karren cave, 3. direction of withdrawal of rinnen end, 4. escarpment, 5. direction of grade of I. type karren rinnen bottom, 6. mesa I. starting condition, II. full developed condition

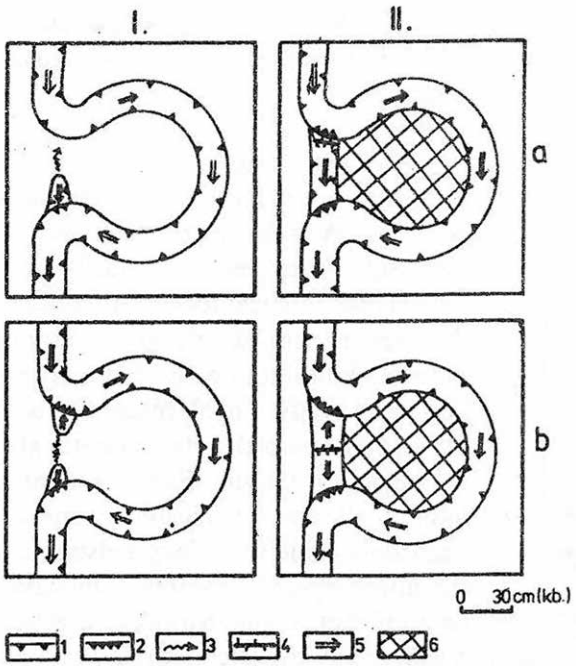
3.2.2. Sziget- és tanuhegyek kialakulása kanyarulatok által közrefogott térszíneken

Karrvályuk zug részei kialakulhatnak igazi-, vagy álmeanderezés során is. A nyak részeknél a zugok átvágása történhet állefejeződéssel, vagy igazi lefejeződéssel. Állefejeződés során nem a vályuban áramló oldószer különíti el a zug részt. Ilyenkor a zug, vagy a nyak részre hulló és ott lefolyó csapadékvíz hatására alakulnak ki karrvályuk. Ezek a kanyarulatot alkotó karrvályú mellék karrvályúi, amelyek függő helyzetűek. Az állefejeződés történhet a nyaknál, de történhet a zug bármely részénél. Végbemehet egyetlen karrvályú hátrálásával (*8a. ábra*), vagy két karrvályú végének hátrálásos összekapcsolódásával (*8b. ábra*). Előző esetben a mellékvályú végénél jön létre vályutalpi vízválasztó (lépcső mind a vályúvégnél, mind a vályutorkolatnál kialakul), utóbbi esetben a két vályúvég összekapcsolódásánál. A két mellékvályú torkolatánál egy-egy lépcső képződik.

A kanyarulat különböző részein képződő karrvályúk a zúg területét több, különböző nagyságú tanuhegyre különíthetik. Két mellékvályú hátrálása esetén a vízválasztó a nyakrész belsejében fejlődik ki, egy mellékvályú hátrálása esetén ott, ahol a mellékvályú vége eléri a fővályút. Mindkét esetben a nyakrésznél kialakult mellékvályú végei többnyire függnek a fővályú talpa felett.

Igazi lefejeződés során a zúg rész elkülönülését a vályúban áramló oldószer végzi.

Igazi lefejeződés legegyszerűbben III. típusú vályúknál jöhet létre, miután az ilyen vályúk mélysége csak néhány cm. Akkor, ha a hordozó vályú (I típusú vályú) lejtése kicsi és a III. típusú vályú meanderöve széles, a meanderív hosszú, a vályúban áramló víz nem követi a hurok ívét, hanem a nyakon átfolyik. A nyak területén ezért egy intenzíven fejlődő antiregressziós vályú fejlődik ki.

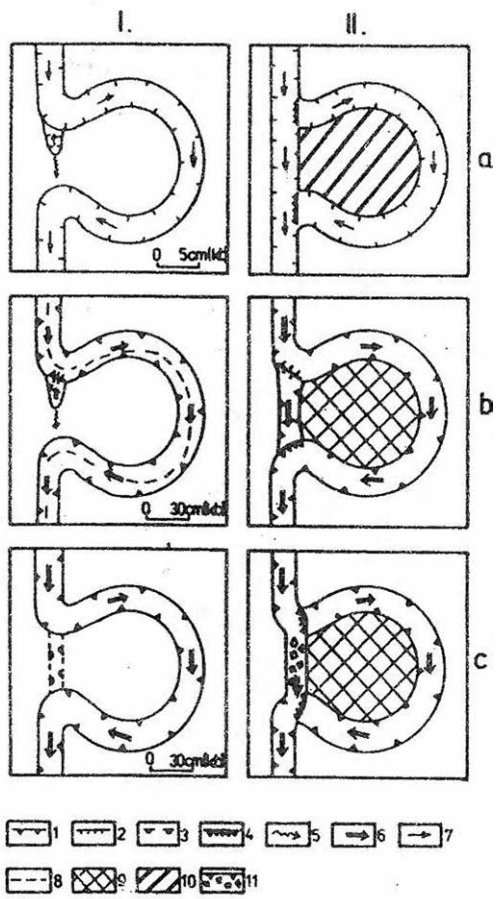


8. ábra: Karros tanuhegyek kialakulása kanyarulat állefejeződésével egy (a), két (b) mellékvályú regressziója esetén
Jelmagyarázat: 1. I. típusú vályú, 2. lépcső, 3. vályúvég hátrálásának iránya, 4. vályútalp vízválasztó, 5. I. típusú vályú talpának dőlésiránya, 6. tanúhegy, I. kezdeti állapot, II. kifejlett állapot
Figure 8: Developing of karren mesas with pseudocapturing of bends in the case of regression of 1 (a) or 2 (b) ancillary rinnens
Legends: 1. I. type karren rinnen, 2. escarpment, 3. direction of withdrawal of rinnen end, 4. rinnen bottom drainage, 5. direction of grade of I. type karren rinnen bottom, 6. mesa I. starting condition, II. full developed condition

A lefejeződés akkor történik meg, ha az antiregressziós vályú mélysége meghaladja a kanyarulati résznél a vályú mélységét. A lefűzött vályúszakasz függő helyzetbe kerül, mindkét vége lépcsővel kapcsolódik a nyak résznél kialakult vályúszakaszhoz. Miután a zúg rész területén kanyarulat lesiklás történhet, ott oldalirányban kis kiterjedésű, gyakran hegyes kúpot alkotó karros szigethegy alakul ki (*9a. ábra*). A jelenség megfigyelhető II. típusú vályúnál is. Ilyenkor a zúgrész átvágása III. típusú vályú kialakulása során történik meg.

Igazi lefejeződés alakulhat ki I. típusú vályuknál is elsősorban akkor, ha a vályút egyetlen meander (hurok meander) képezi (túlfejlett vályú, *VERESS M.* 1995). A regressziós vályúk mélysége felső végük felé nagymértékben csökken. A vályúban áramló víz, sodorvonala a vályú kanyargása miatt kilendül. A sodorvonal helyenként a vályú peremnek ütközik. Az ütközési helyek elsősorban ott alakulnak ki, ahol vályúperem irányváltozása a legnagyobb mértékű. Ilyen helyek lesznek a nyak részek, E helyeken a vályúban áramló víz egy kisebb része átfolyik, ami a hurok részleges lefűződését eredményezi (*9b. ábra*). A nyak résznél kialakuló antiregressziós vályú és a meander vályú talpa együtt mélyülhetnek. Mindkét vályúszakasz aktív marad, ugyanis víz mind az antigregressziós, mind a fővályú már lefűzött részébe egyaránt juthat. Az antiregressziós vályú alsó, torkolati vége függ a fővályú talpa felett, felső végénél vályutalp vízválasztó alakul ki. Az antiregressziós vályú által kialakított tanuhegyet további vályúk állefejeződéssel tanuhegy roncsokra különíthetik.

A nyakrésznél karrbarlang is kialakulhat. A tanuhegy kialakulása a karrbarlang mennyezetének elpusztulásával fejeződik be (*9c. ábra*). A lefejezett



9. ábra: Karros sziget- és tanuhegyek kialakulása kanyarulatok igazi lefejeződésével

Jelmagyarázat: 1. I. típusú vályú, 2. III. típusú vályú, 3. karrbarlang, 4. lépcső, 5. vályúvég hátrálásának iránya, 6. I. típusú vályú talpának dőlésiránya, 7. III. típusú vályú talpának dőlésiránya, 8. sodorvonal, 9. tanuhegy, 10. talpszigethegy, 11. felnyílásos karrvályú, I. kezdeti állapot, II. kifejlett állapot

Figure 9: Developing of karren mesas with real capturing of bends

Legends: 1. I. type karren rinnen, 2. III. type karren rinnen, 3. karren cave, 4. escarpment, 5. direction of withdrawal of rinnen end, 6. direction of grade of I. type karren rinnen bottom, 7. direction of grade of III. type karren rinnen bottom, 8. channel line, 9. mesa, 10. karren inselberg on the bottom, 11. karren cave with opening up I. starting condition, II. full developed condition

kanyarulat függő helyzetű, lépcsőkkel kapcsolódik a nyak résznél kialakult vályú szakaszhoz.

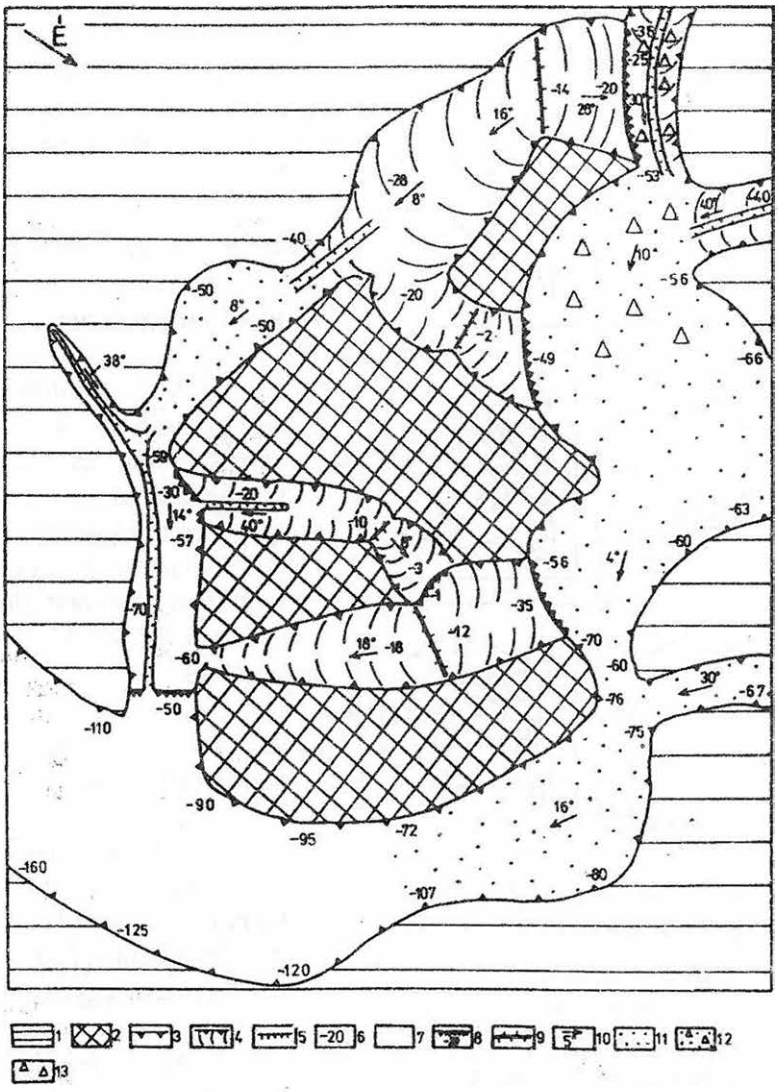
4. A térképezett karros térszínrészletek kioldódástörténete

A kioldódástörténet felvázolásához nem csak a karros tanú- és szigethegyek kialakulásának elemzése során nyert eredményekre támaszkodunk, hanem azokra is, amelyekhez a meanderfejlődés vizsgálata (*VERESS M.* 1998) során jutottunk.

4.1. Az "A" jelű karros térszínrészlet (10. ábra)

Kialakul hátrálással az íves lefutású I. és a II. jelű karrvályú, utóbbi előzőnek mellékvályúja (*11a. ábra*). E két karrvályú egymáshoz képest részben párhuzamosan fejlődik.

Az I. és II. vályúktól hátráló mellékvályúk végei egymást elérve tanuhegyek sorát hozzák létre (*11b,c,d. ábrák*). Elsőnek az V., majd a VI, VII, végül a VIII. jelű tanuhegy alakul ki. A kialakulási kor fentebbi trendje különösen az V. és VI. tanuhegy esetében érhető tetten. Ugyanis a III.a jelű mellékvályú csak akkor alakulhat ki (ami előfeltétele a VI. jelű tanuhegy kialakulásának) amikorra a II.a és a III. jelű vályú összekap-



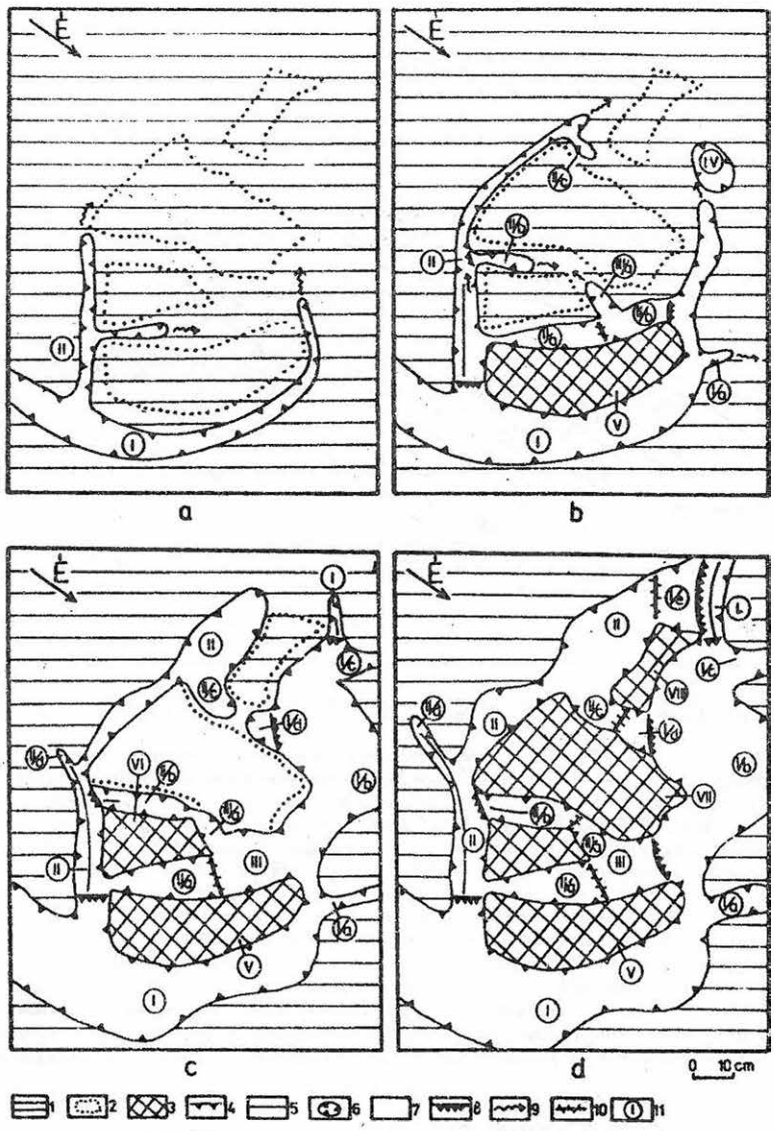
10. ábra: Az "A" jelű térszínrészlet morfológiai térképe

Jelmagyarázat: 1. a térképezett térszínrészletet határoló nem, vagy kismértékben karrosodott térszín, 2. tanúhegy, 3. I. típusú vályú (függőleges oldalú) 4. I. típusú vályú (lankás oldalú), 5. III. típusú vályú 6. vályú mélységadattal, cm-ben (mélységadat ott került feltüntetésre, ahol az aljzat mélységének a mérése történt a peremhez képest, 7. fedőüledék nélküli vályútalp, 8. lépcső, mélységadattal, cm-ben, 9. vályútalp vízválasztó, 10. vályútalp dőlésének iránya és lejtőszöge, 11. talaj és mállási maradék, 12. talaj kőzettörmelékkel, 13. kőzettörmelék

Figure 10: Morphological map about "A" ground surface part

Legends: 1. rock developing karren near the mapped ground surface part, 2. mesa, 3. I. type karren rinnen (vertical-sided), 4. I. type karren rinnen (gently slooping-sided) , 5. III. type karren rinnen, 6. rinnen with abyss data in centimetres (it is written where it was measured), 7. rinnen bottom without covering sediment, 8. escarpment with abyss data in centimetres, 9. rinnen bottom drainage, 10. direction and slope of grade of karren rinnen bottom, 11. soil and weathering remains, 12. soil debris, 13. debris

csolódik. (E két utóbbi vályú összeoldódása eredményezi V. jelű tanúhegy kialakulását.)



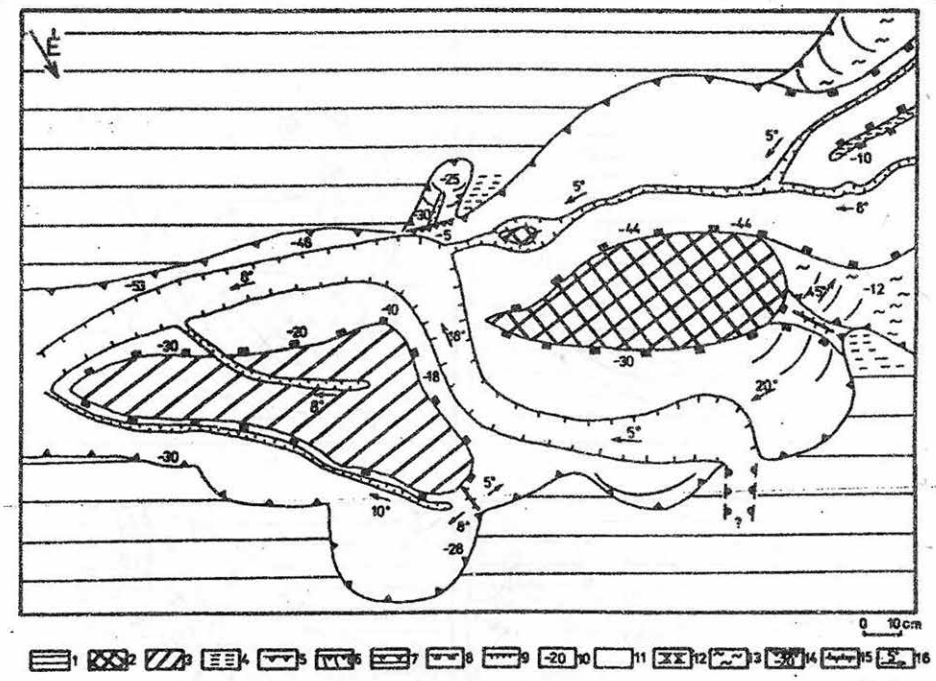
11. ábra: Az "A" jelű karros térszínrészlet kioldódástörténete

Jelmagyarázat: 1. nem karrosodó, vagy rekonstruálható karrformát még nem hordozó felszín, 2. később kialakuló tanuhegy, 3. tanuhegy, 4. I. típusú vályú, 5. III. típusú vályú, 6. madáritató kezdemény, 7. fedőüledék mentes vályú- és madáritató talp, 8. lépcső, 9. vályúvég hátrálásának iránya, 10. vályútalp vízválasztó, 11. karrvályú és madáritató és tanuhegy azonosító jele, a, b, c, korábbi állapot, d. jelenlegi állapot

Figure 11: Solution history of "A" ground surface part

Legends: 1. do not karren surface, or there is not reconstructable karren forms, 2. later developed mesa, 3. mesa, 4. I. type karren rinnen, 5. III. type karren rinnen, 6. little kamenitza, 7. rinnen bottom and kamenitza bottom without covering sediment, 8. escarpment, 9. direction of withdrawal of rinnen end, 10. rinnen bottom drainage, 11. identity sign of rinnen, kamenitza and mesa (a, b, c former condition, d present condition)

Az egymás irányába hátráló mellékvályúk közül a II. vályútól hátráló mellékvályúk az idősebbek. Ezt bizonyítja, hogy a vályútalp vízválasztók az I.



12. ábra: A "B" jelű karros térszínrészlet morfológiai térképe
Jelmagyarázat: 1.a térképezett területet határoló nem, vagy kismértékben karrosodó térszín, 2. talpi tanúhegy, 3. talpi szigethegy, 4. félszigethegy, 5. I. típusú vályú (függőleges oldalú) 6. I. típusú vályú (lankás oldalú), 7. I. típusú vályú (aláhajló oldalú), 8. II. típusú vályú (függőleges oldalú), 9. III. típusú vályú, 10. vályú mélységadattal cm-ben (mélységadat ott került feltüntetésre, ahol az aljzat mélységének mérése történt a peremhez képest, 11. fedőüledéknentes vályútalp, 12. karrbarlang, 13. terasz, 14. lépcső, mélységadattal, cm-ben, 15. vályútalp vízválasztó, 16. vályútalp dőlésének iránya és lejtőszöge
Figure 12: Morphological map about "B" ground surface part
Legends: 1. rock developing karren near the mapped ground surface part, 2. bottom mesa, 3. karren inselberg on the bottom, 4. karren halfinselberg, 5. I. type karren rinnen (vertical-sided), 6. I. type karren rinnen (gently slooping-sided) , 7. I. type karren rinnen (underincline-sided), 8. II. type karren rinnen (vertical-sided), 9. III. type karren rinnen, 10. rinnen with abyss data in centimetres (it is written where it was measured), 11. rinnen bottom without covering sediment, 12. karren cave, 13. terrace, 14. escarpment with abyss data in centimetres, 15. rinnen bottom drainage, 16. direction and slope of grade of karren rinnen bottom

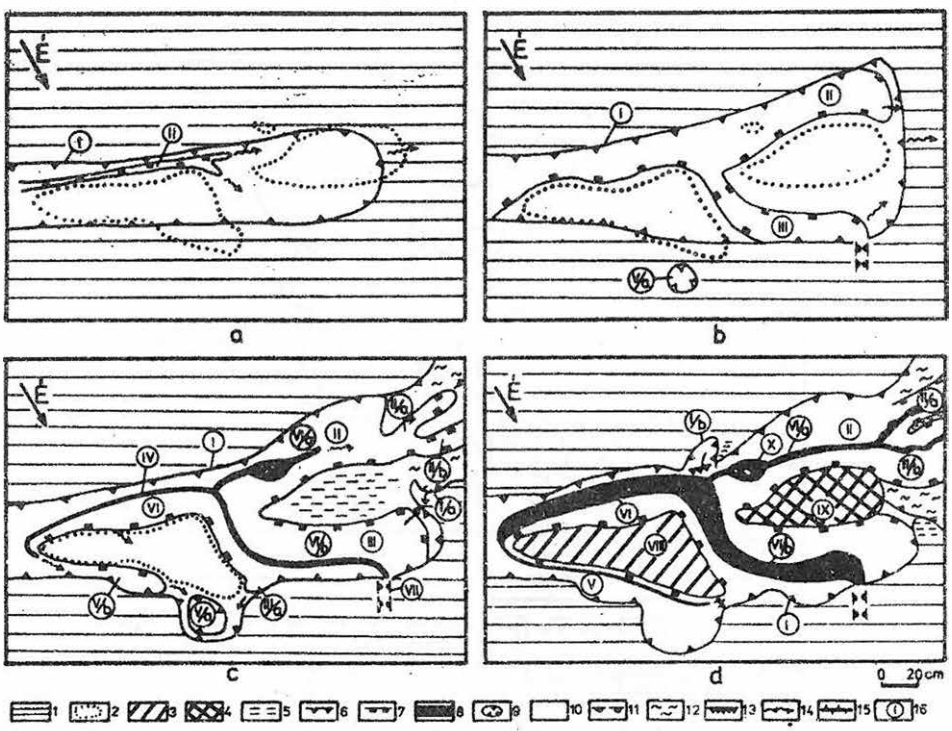
jelű vályúhoz közelebbi helyzetűek. Továbbá az is, hogy a II. vályú és a mellékvályúk talpának magasságkülönbsége kisebb, mint az I. vályú és ennek mellékvályúinak talp magasságkülönbségei.

4.2. A "B" jelű karros térszínrészlet (12. ábra)

Kialakul hátrálással az I. jelű, I. típusú karrvályú. Ennek talpán II. jelű, II. típusú karrvályú képződése is elkezdődik (*13a. ábra*). A II. jelű karrvályú, majd később az V. jelű is intenziv szélesedése az I. jelű vályú peremének irányá-

ba annak vályútalpát felemészti. E helyeken teraszok formájában sem maradnak meg az I. jelű karrvályú vályútalpának maradványai. (Ilyenek csak a belsejében mint talpi tanú- és szigethegyek őrződnek meg.) A II. jelű karrvályútól villásan kettéágazva kialakul a II.a és II.b, továbbá annak III. jelű mellékvályúja (*13b,c. ábrák*). A II.a és II.b jelű vályúk kevésbé intenzív szélesedése miatt az I jelű vályú talpából ezen vályúszakaszon teraszok képződnek.

Az V. és a III.a jelű vályúvégek összekapcsolódásával a VIII. jelű talpi szigethegy, a III. valamint az I.a jelű vályúk összekapcsolódásával a IX. jelű talpi



13. ábra: A "B" jelű karros térszínrészlet kioldódástörténete

Jelmagyarázat: 1. nem karrosodó, vagy rekonstruálható karrformát még nem hordozó térszín, 2. később kialakuló sziget- és tanuhegy, 3. talpi szigethegy, 4. talpi tanúhegy, 5. félszigethegy, 6. I. típusú vályú, 7. II. típusú vályú, 8. III. típusú vályú, 9. madáritató kezdemény, 10. fedőüledékmentes vályú- és madáritató talp, 11. karrbarlang, 12. terasz, 13. lépcső, 14. vályúvég hátrálásának iránya, 15. vályutalp vízválasztó, 16. karrvályú, madáritató, karrbarlang tanu- és szigethegyek azonosító jele, a, b, c korábbi állapot, d jelenlegi állapot

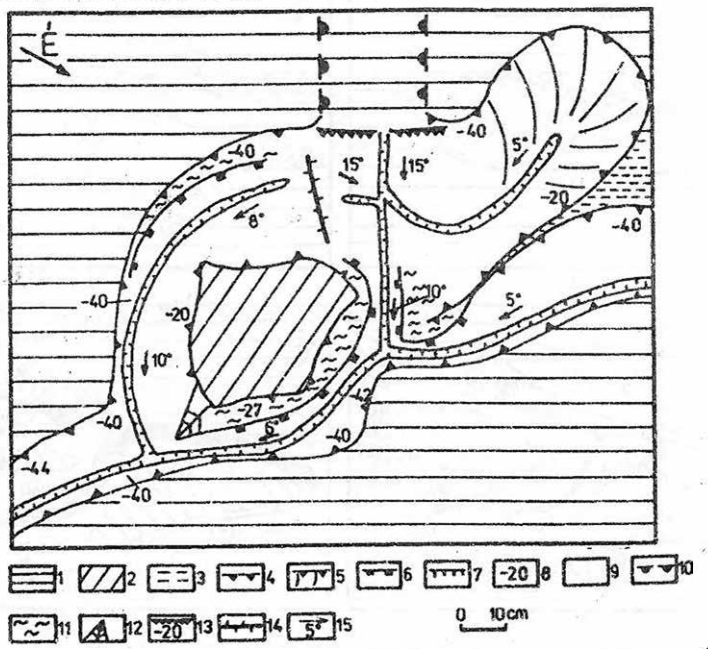
Figure 13: Solution history of "B" ground surface part

Legends: 1. do not karren surface, or there is not reconstructable karren forms, 2. later developed karren inselberg and mesa, 3. karren inselberg on the bottom, 4. bottom mesa, 5. karren halfinselberg, 6. I. type karren rinnen, 7. II. type karren rinnen, 8. III. type karren rinnen, 9. little kamenitza, 10. rinnen bottom and kamenitza bottom without covering sediment, 11. karren cave, 12. terrace, 13. escarpment, 14. direction of withdrawal of rinnen end, 15. rinnen bottom drainage, 16. identity sign of rinnen, kamenitza, karren cave, mesa and karren inselberg (a, b, c former condition, d present condition)

tanúhegy alakul ki. (A VIII. jelű szigethegy felszíne az V. jelű vályú fölé csak néhány cm-el magasodik, ami utal területének jelentős mértékű lepusztulására.) A VI.a jelű karrvályú villás kettéágazása eredményeként egy olyan talpi tanúhegy is kialakul, amely II. típusú vályú talpából képződött (*13c,d. ábrák*).

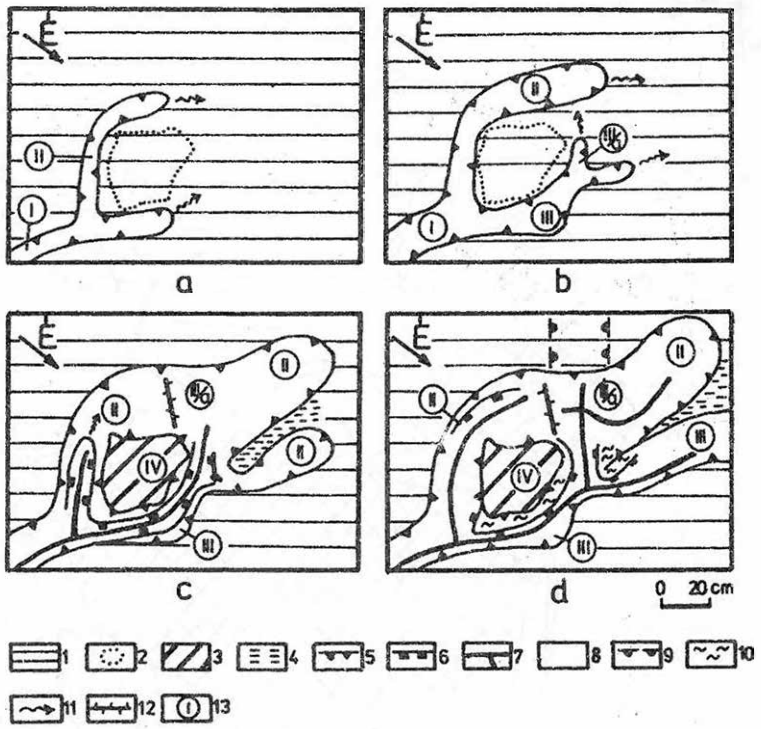
4.3. A "C" jelű karros térszínrészlet (14. ábra)

ÉNy-i irányba hátráló I. jelű karrvályúból kialakul a II. és a III. jelű karrvályú (*15a. ábra*). A II. jelű karrvályú idősebb, vagy gyorsabb fejlődésű mint III. jelű. Emiatt III.a jelű mellékvályú Ny-i irányú hátrálása során (*15b. ábra*) a II. karrvályú peremét éri el. Miután előző fejlődése gyorsabb, utóbbi felső végét lefejezi (*15c,d. ábrák*).



14. ábra: A "C" jelű karros térszínrészlet morfológiai térképe
Jelmagyarázat: 1. a térképezett térszínrészletet határoló nem, vagy kismértékben karrosodott térszínrészlet, 2. szigethegy, 3. félszigethegy 4. I. típusú vályú (függőleges oldalú) 5. I. típusú vályú (lankás oldalú) 6. II. típusú vályú (függőleges oldalú), 7. III. típusú vályú, 8. vályú mélységadata cm-ben (mélységadat helye ott került feltüntetésre, ahol az aljzat mélységének mérése történt a peremhez képest), 9. fedőüledék mentes vályútalp, 10. karrbarlang, 11. terasz, teraszmaradvány, 12. szoknya, 13. lépcső mélységadattal, cm-ben, 14 vályútalp vízválasztó, 15. vályútalp dőlésének iránya és lejtésszöge

Figure 14: Morphological map about "C" ground surface part
Legends: 1. rock developing karren near the mapped ground surface part, 2. karren inselberg, 3. karren halfinselberg, 4. I. type karren rinnen (vertical-sided), 5. I. type karren rinnen (gently slooping-sided), 6. II. type karren rinnen (vertical-sided), 7. III. type karren rinnen, 8. rinnen with abyss data in centimetres (it is written where it was measured), 9. rinnen bottom without covering sediment, 10. karren cave, 11. terrace, terrace remain, 12. skirt, 13. escarpment with abyss data in centimetres, 14. rinnen bottom drainage, 15. direction and slope of grade of karren rinnen bottom

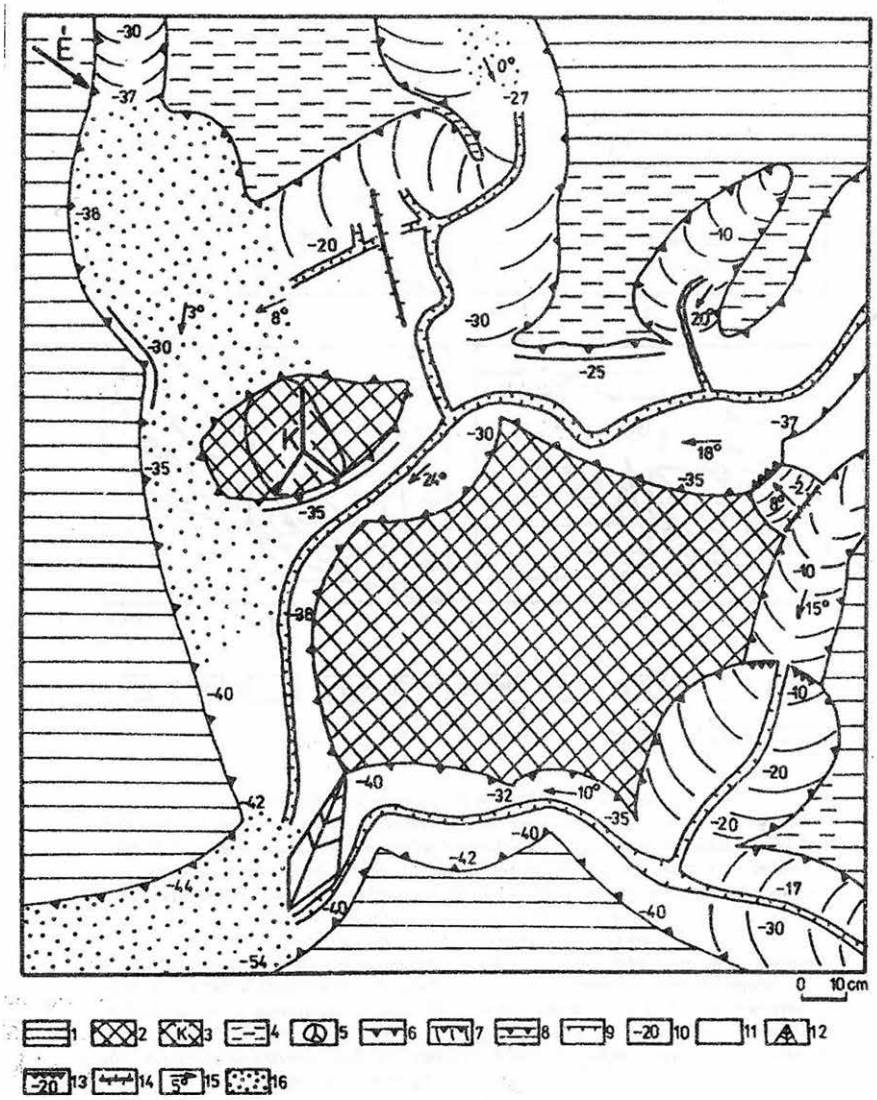


15. ábra: A "C" jelű karros térszínrészlet kioldódástörténete
Jelmagyarázat: 1. nem karrosodó, vagy rekonstruálható karrformát még nem hordozó térszín, 2. később kialakuló szigethegy, 3. szigethegy, 4. félszigethegy, 5. I. típusú vályú, 6. II. típusú vályú, 7. III. típusú vályú, 8. fedőüledék nélküli vályútalp, 9. karrbarlang, 10. terasz, 11. vályúvég hátrálásának iránya, 12. vályútalp vízválasztó, 13. karrvályú és szigethegy azonosító jele a. b. c. korábbi állapot, d. jelenlegi állapot

Figure 15: Solution history of "C" ground surface part
Legends: 1. do not karren surface, or there is not reconstructable karren forms, 2. later developed karren inselberg, 3. karren inselberg, 4. karren halfinselberg, 5. I. type karren rinnen, 6. II. type karren rinnen, 7. III. type karren rinnen, 8. rinnen bottom without covering sediment, 9. karren cave, 10. terrace, 11. direction of withdrawal of rinnen end, 12. rinnen bottom drainage, 13. identity sign of rinnen and karren inselberg (a, b, c former condition, d present condition)

Az I. típusú vályúk talpán (II és III.a jelű vályúk) II. típusú vályúk alakulnak ki. Ezek kiszélesedése okozza II. és III. jelű vályú talpainak teraszosodását. A II. típusú vályúk kifejlődése befejeződik a lefejeződés idejére. Erre utal, hogy a II. vályúk, ill. a teraszok a lefejezett vályúrészeken már nem fejlődnek ki.

A lefejezés eredményeként kialakul a IV. jelű szigethegy. Ennek felszíne alacsonyabb mint a környező felszín magassága. A II. és III. jelű vályúk kifejlődése során nincs nyoma olyan hatásnak, amely a tanuhegy területén a felszín lepusztulását okozhatta volna. Ezért valószínű, hogy a II. és III. vályúk kialakulása előtt a szigethegy területén a fentebb vázolt karrosodási folyamatoktól független karrosodás játszódhatott le.

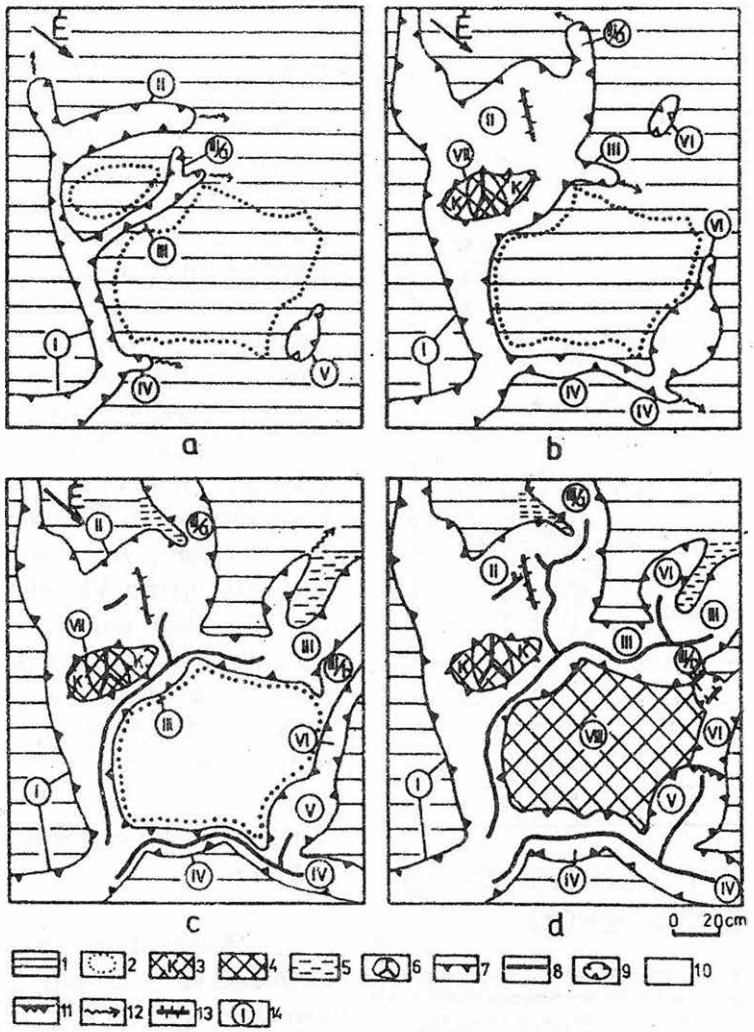


16. ábra: A "D" jelű karros térszínrészlet morfológiai térképe

Jelmagyarázat: 1. a térképezett térszínrészletet határoló nem, vagy kismértékben karrosodott térszín, 2. tanuhegy, 3. karrosodott tanuhegy, 4. félszigethegy 5. karros magaslat, 6. I. típusú vályú (függőleges oldalú), 7. I. típusú vályú (lankás oldalú), 8. I. típusú vályú (aláhajló oldalú), 9. III. típusú vályú, 10. vályú mélységadattal, cm-ben (mélységadat ott került feltüntetésre, ahol az aljzat mélységének mérése történt a peremhez képest), 11. fedőüledék nélküli vályútalp, 12. szoknya (meander lesiklásnál), 13. lépcső mélységadattal (cm-ben), 14. vályútalp vízválasztó, 15. vályútalp dőlésének iránya és lejtőszöge, 15. talaj és mállási maradék

Figure 16: Morphological map about "D" ground surface part

Legends: 1. rock developing karren near the mapped ground surface part, 2. mesa, 3. karren mesa, 4. karren halfinselberg, 5. karren height, 6. I. type karren rinnen (vertical-sided), 7. I. type karren rinnen (gently slooping-sided), 8. I. type karren rinnen (underincline-sided), 9. III. type karren rinnen, 10. rinnen with abyss data in centimetres (it is written where it was measured), 11. rinnen bottom without covering sediment, 12. skirt (at slipping down), 13. escarpment with abyss data in centimetres, 14. rinnen bottom drainage, 15. direction and slope of grade of karren rinnen bottom, 16. soil and weathering remains



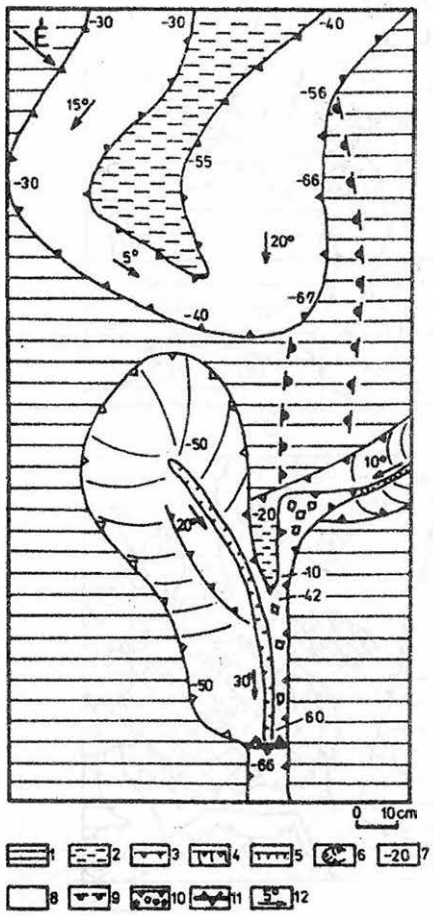
17. ábra: A "D" jelű karros térszínrészlet kioldódástörténete

Jelmagyarázat: 1. nem karrosodó, vagy rekonstruálható karrformát még nem hordozó térszín, 2. később kialakuló sziget- és tanuhegy, 3. karrosodott tanuhegy, 4. tanuhegy, 5. félszigethegy 6. karros magaslat, 7. I. típusú vályú, 8. III. típusú vályú, 9. madáritató kezdemény 10. fedőüledék nélküli vályútalp, 11. lépcső, 12. vályúvég hátrálásának iránya 13. vályútalp vízválasztó, 14. karrvályú és tanuhegy azonosító jele a. b. c. korábbi állapot d. jelenlegi állapot

Figure 17: Solution history of "D" ground surface part

Legends: 1. do not karren surface, or there is not reconstructable karren forms, 2. later developed karren inselberg and mesa, 3. karren mesa, 4. mesa, 5. karren halfinselberg, 6. karren height, 7. I. type karren rinnen, 8. III. type karren rinnen, 9. little kamenitza, 10. rinnen bottom without covering sediment, 11. escarpment, 12. direction of withdrawal of rinnen end, 13. rinnen bottom drainage, 14. identity sign of rinnen and mesa (a, b, c former condition, d present condition)

4.4. A "D" jelű karros térszínrészlet (16. ábra)



18. ábra: Az "E" jelű karros térszínrészlet morfológiai térképe Jelmagyarázat: 1. a térképezett térszínrészletet határoló nem, vagy kismértékben karrosodott térszín, 2. felszigethegy, 3. I. típusú vályú (függőleges oldalú) 4. I. típusú vályú (lankás oldalú), 5. III. típusú vályú, 6. függőleges és lankás oldalú madárítató maradvány, 7. vályú és madárítató mélységadattal cm-ben (mélységadat ott került feltüntetésre, ahol az aljzat mélységének mérése történt a peremhez képest), 8. fedőüledék nélküli vályútalp, 9. karrbarlang, 10. felnyílásos karrvályú, 11. karrvályú sziklahíd, 12. vályútalp dőlésének iránya és dőlésszöge

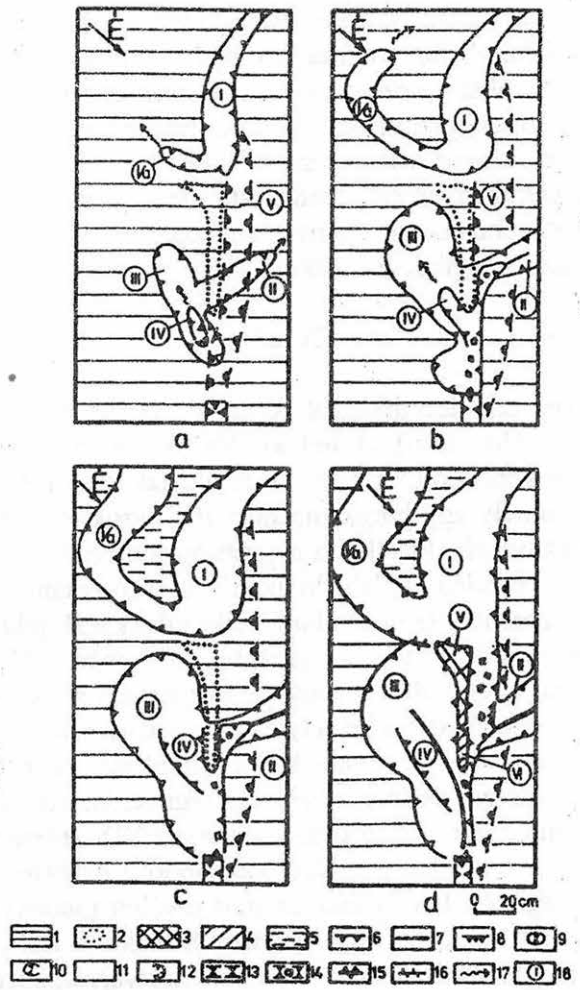
Figure 18: Morphological map about "E" ground surface part

Legends: 1. rock developing karren near the mapped ground surface part, 2. karren halfinselberg, 3. I. type karren rinnen (vertical-sided), 4. I. type karren rinnen (gently slooping-sided), 5. III. type karren rinnen, 6. vertical-sided and gently slooping-sided kamenitza remain, 7. rinnen and kamenitza with abyss data in centimetres (it is written where it was measured), 8. rinnen bottom without covering sediment, 9. karren cave, 10. opening rinnen, 11. rinnen arch, 12. direction and slope of grade of karren rinnen bottom

I. jelű karrvályú keletről-nyugatra, majd egy kanyarulatot alkotva délnyugati irányba hátrálva fejlődik. A karrvályútól nyugati irányba hátrálva mellék karrvályuk (II., III., IV. jelű) alakulnak ki (*17a. ábra*). Az idősebb II. jelűt, a fiatalabb, de intenzivebben fejlődő III.a jelű lefejezi, amit előző talpának vályútalp vízválasztója bizonyít. Kialakul a VII. jelű egyenetlen felszínű karrosodott tanúhegy (*17b. ábra*). Felszíne valószínűleg idősebb vályútalp roncsokat hordoz, ami kialakulása előtti karrosodására utal. Ezt követően (*17c. ábra*) a III.b jelű karrvályú eléri a VI. jelű karrvályút (állefejeződés) ami III. jelű karrvályúnak a VI. jelűhöz képesti idősebb kialakulási korát, vagy gyorsabb fejlődését bizonyítja. Kialakul a VIII. jelű tanuhegy (*17d. ábra*).

4.5. Az "E" jelű karros térszín részlet (18. ábra)

Kialakul az I. jelű karrvályú és mellékvályúja (I.a). Az I. jelű karrvályú egy rendszert képez (karrvályú víznyelővel) az V. jelű karrbarlanggal. E karrbarlang felett feltehetően egy madárítató (III. jelű) alakul ki, amelyhez a II. jelű karrvályú kapcsolódott (*19.a ábra*).



19. ábra: Az "E" jelű karros térszínrészlet kioldódástörténete
Jelmagyarázat: 1. nem karrosodó, vagy rekonstruálható karrformát még nem hordozó térszín, 2. később kialakuló sziget- és tanúhegy, 3. tanúhegy, 4. szigethegy, 5. félszigethegy, 6. I. típusú vályú, 7. III. típusú vályú, 8. lépcső, 9. madáritató, 10. roncsolódott madáritató, 11. vályú- és madáritató talp, 12. karrvályú víznyelő, 13. karrbarlang, 14. felnyílásos karrvályú, 15. karrvályú sziklahíd, 16. vályútalp vízválasztó, 17. vályúvég hátrálásának iránya, 18. karrvályú, madáritató és tanúhegy azonosító jele, a, b, korábbi c, jelenlegi, d jövőbeni állapot
Figure 19: Solution history of "E" ground surface part
Legends: 1. do not karren surface, or there is not reconstructable karren forms, 2. later developed karren inselberg and mesa, 3. mesa, 4. karren inselberg, 5. karren halfinselberg, 6. I. type karren rinnen, 7. III. type karren rinnen, 8. escarpment, 9. kamenitza, 10. destructive kamenitza, 11. rinnen and kamenitza bottom, 12. rinnen sink, 13. karren cave, 14. opening rinnen, 15. rinnen arch, 16. rinnen bottom drainage, 17. direction of withdrawal of rinnen end, 18. identity sign of rinnen, kamenitza and mesa (a, b, former condition, c present condition, d condition in the future)

A II. jelű karrvályú és a madáritató talpán a karrbarlang mennyezete annyira kivékonyodhatott, hogy annak egy része felnyílásos karrvályúvá alakulhatott (*19b. ábra*). Ezáltal a madáritató és a II. jelű karrvályú között a kapcsolat megszakadt. Várható, a I.a jelű karrvályú és a madáritató összeoldódása,. továbbá a karrbarlang mennyezetének teljes hosszban történő beomlása (*19d. ábra*). Ezen folyamatok eredményeként a madáritató roncs és az I. jelű karrvályú közti területen az eredeti térszín maradványa tanuheggyé (V.), a II. jelű karrvályú talpának maradványa szigetheggyé alakul (VI.)

4.6. Az "F" jelű karros térszínrészlet (20. ábra)

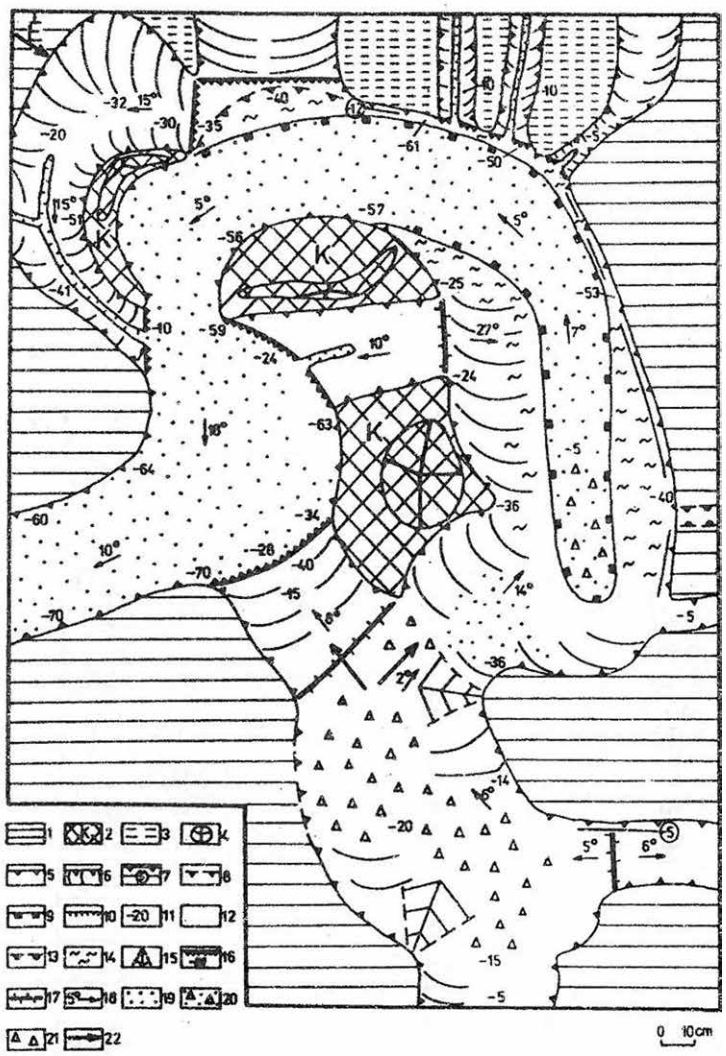
Esővíz barázdás kifejlődéssel kialakul az I. jelű karrvályú három meandert képezve (*21a. ábra*). A két kisebb (m_1 és m_2 jelű) meander igazi meanderezés során képződött, amit a vályú oldalak szoknyái bizonyítanak. A nagy meandernél, amely egy hurok meander (m_3) szoknya nem ismerhető fel. Ennek ellenére e kanyarulat kialakulás is igazi meanderezéssel történhetett, amit a kanyarulat homorú oldalán az aláhajló oldalfalak bizonyítanak.

Az m_3 jelű meander területén korán elkezdődik a II. jelű karrvályú kialakulása, amely állefejeződéssel leválasztja a zúg egy részén a XV jelű tanuhegyet (*21b. ábra*). A korai lefejeződést bizonyítja, itt mérhető a legkisebb lépcső magasság, ami a vályú nagymértékű bemélyülésével hozható kapcsolatba.

Az egyre szélesedő I. jelű vályúban a sodorvonal kilendülése fokozódik, amely eredményezi III és IV. jelű vályúk antiregressziós fejlődését (*21b,c. ábrák*). A III. vályú hurokszerű kifejlődése kialakítja a XIV jelű tanúhegyet. (Mind a XIV, mind a XV jelű tanúhegy területe karrosodott. A karrosodás ideje azonban nem adható meg.) Az I. vályúnak számos további mellékvályúja képződik regresszióval (VII., VIII., X., XI. jelű vályúk). Kialakul a XII jelű karrbarlang, vályúvég összekapcsolódás történik V és VI. jelű karrvályuk között.

A zúg rész lefejeződését a IV jelű antiregressziós vályú kifejlődése eredményezi, kialakul a XVI. jelű tanuhegy (*21d. ábra*).

A karrbarlangból kiáramló oldószer az I. jelű vályú vályutalpának részleges mélyítésével II. típusú vályú (XIII. jelű) kialakulását eredményezi. Ez az I. jelű vályútalp egyes részein terasz képződését eredményezi. Az I. jelű vályú aláhajló oldalfalainál a peremek leomladoznak.

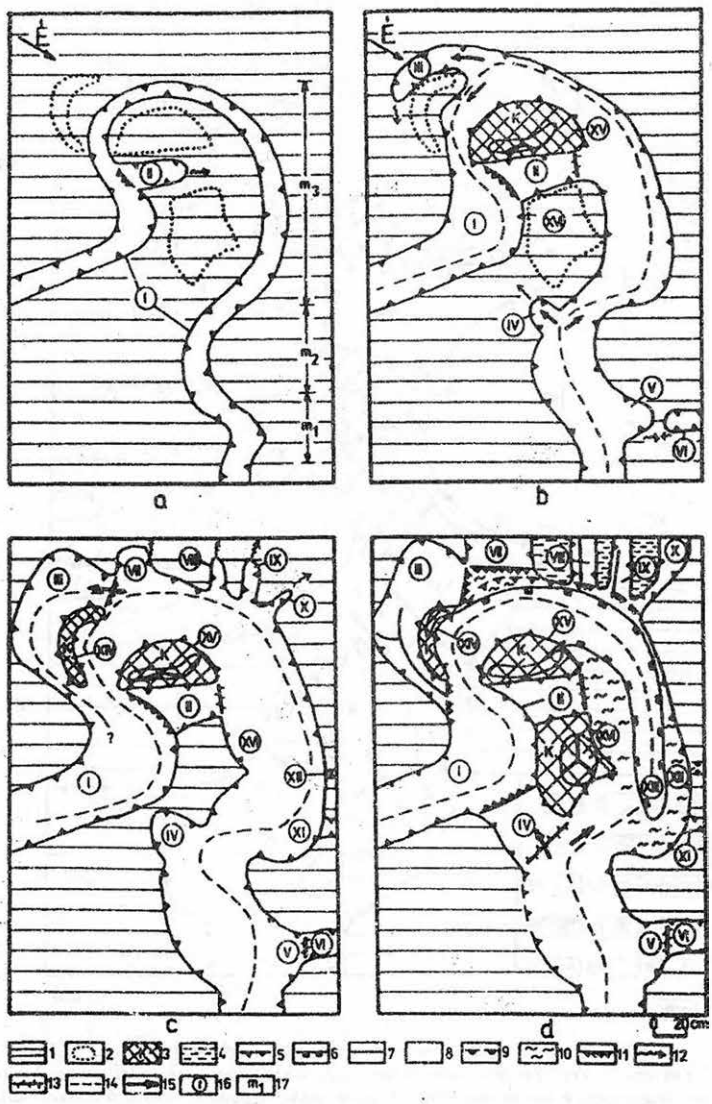


20. ábra: Az "F" jelű karros térszínrészlet morfológiai térképe

Jelmagyarázat: 1. a térképezett térszínrészletet határoló nem, vagy kismértékben karrosodott térszín, 2. karrosodott tanuhegy, 3. félsziget- és tanuhegy, 4. karros magaslat, 5. I. típusú vályú (függőleges oldalú), 6. I. típusú vályú (lankás oldalú) 7. I. típusú vályú szakasz (aláhajló oldal, a szám az aláhajló falnak a vályúperemtől mért legnagyobb távolságát jelzi cm-ben, vízszintes irányban) 8. lepusztult vályúperem, 9. II. típusú vályú (függőleges oldalú), 10. III. típusú vályú, 11. vályú mélységadattal, cm-ben (mélységadat ott került feltüntetésre, ahol aljzat mélységének mérése történt a peremhez képest), 12. fedőüledék nélküli vályútalp, 13. karrbarlang, 14. terasz, 15. szoknya roncs (meander lesiklásnál), 16. lépcső mélységadattal (cm-ben), 17. vályútalp vízválasztó, 18. vályútalp dőlésének iránya és lejtőszöge, 19. talaj és mállási maradék, 20. talaj és kőzettörmelék, 21. kőzettörmelék, 22. térképezés idején észlelt vízáramlási irányok

Figure 20: Morphological map about "F" ground surface part

***Legends:** 1. rock developing karren near the mapped ground surface part, 2. karren mesa, 3. karren halfinselberg and mesa, 4. karren height, 5. I. type karren rinnen (vertical-sided), 6. I. type karren rinnen (gently slooping-sided), 7. I. type karren rinnen (underincline-sided, the number shows the biggest distance, in centimetres, between underinclined side and boundary of rinnen, in horizontal direction), 8. ruined boundary of rinnen, 9. II. type karren rinnen (vertical-sided), 10. III. type karren rinnen, 11. rinnen with abyss data in centimetres (it is written where it was measured), 12. rinnen bottom without covering sediment, 13. karren cave, 14. terrace, 15. skirt remain (at slipping down), 16. escarpment with abyss data, 17. rinnen bottom drainage, 18. direction and slope of grade of karren rinnen bottom, 19. soil and weathering remains, 20. soil debris, 21. debris, 22. water flowing directions at the time of mapping*



21. ábra: Az "F" jelű karros térszínrészlet kioldódástörténete

Jelmagyarázat: 1. nem karrosodó, vagy rekonstruálható karrformát még nem hordozó térszín, 2. később kialakuló sziget- és tanuhegy, 3. tanuhegy, 4. félszigethegy, 5. I. típusú vályú, 6. II. típusú vályú, 7. III. típusú vályú, 8. fedőüledék nélküli vályútalp, 9. karrbarlang, 10. terasz, 11. lépcső, 12. vályúvég hátrálásának iránya, 13. vályútalp vízválasztó, 14. sodorvonal, 15. valószínósíthető vízáramlási irányok, 16. karrvályú és tanuhegy azonosító jele, 17. meander azonosító jele a. b. c. korábbi állapot, d. jelenlegi állapot Figure 21: Solution history of "F" ground surface part

Legends: 1. do not karren surface, or there is not reconstructable karren forms, 2. later developed karren inselberg and mesa, 3. mesa, 4. karren halfinselberg, 5. I. type karren rinnen, 6. II. type karren rinnen, 7. III. type karren rinnen, 8. rinnen bottom without covering sediment, 9. karren cave, 10. terrace, 11. escarpment, 12. direction of withdrawal of rinnen end, 13. rinnen bottom drainage, 14. channel line, 15. probable water flowing directions, 16. identity sign of rinnen and mesa, 17. identity sign of meander (a, b, c former condition, d present condition)

5. Következtetések

a. Azok a vályúk, melyeket vályútalp vízválasztók és lépcsők választanak el egymástól, regresszióson fejlődtek ki. E formák helyének, helyzetének (pl. egymáshoz képesti) figyelembevételével megállapítható az összekapcsolódás típusa is.

b. A vályúvég összenövések, a vályú ál- és igazi lefejeződések, a kanyarulat ál- és igazi lefejeződések segítségével valamely karros térszínrészleten megállapítható a sziget- és tanúhegyek kialakulásának módja és a különböző karrformák kialakulási sorrendje.

c. Valamely karros térszínrészlet részletes morfológiai térképének és a karrformák relatív kialakulási korának felhasználásával olyan térképsorozat szerkeszthető, amellyel egy bizonyos mélységig felvázolható annak kioldódástörténete.

IRODALOM

BALÁZS D. (1987): Szigethegyek-tanuhegyek - Természet Világa 7. sz. p. 261-265.

BALÁZS D. (1990): Karrformák-karregyüttesek - Karszt és Barlang II. p. 117-122.

BÖGLI, A. (1976): Die wichtigsten karrenformen der Kalkalpen - In: Karst processes and relevants landsforms. ISU Comission on Karst Denudation. Ljubljana p. 141-149.

BULLA B. (1954): Ált. természeti földrajz II. - Tankönyvkiadó, Bp.

CHOLNOKY J. (1926): A földfelszín formáinak ismerete (Morfológia) - Bp.

SZUNYOGH G. (1995): Mészkőfelszinek kisformáinak grafikus ábrázolása - Karsztfejlődés I. (Totes Gebirge karrjai) p. 41-60.

SZUNYOGH G. (1998): Nagy területet lefedő karrvályúrendszer struktúrájának elemzése - Karsztfejlődés II. (Totes Gebirge karrjai) BDTF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p. 7-34.

VERESS M. (1995): Karros folyamatok és formák rendszerezése Totes Gebirge-i példák alapján - Karsztfejlődés I. (Totes Gebirge karrjai) p. 7-30.

VERESS M.-ZENTAI Z.-HORVÁTH E. T. (1996): Egy magashegységi karsztterület vertikális formáinak vizsgálata (Totes Gebirge, Ausztria) - BDTF Tud. Közl. X. Természettudományok 5. p. 141-157.

VERESS M. (1998): Karrmeanderek - Karsztfejlődés II. (Totes Gebirge karrjai) BDTF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p. 35-58.

KARSZTFEJLŐDÉS II. (Totes Gebirge karrjai)
Szombathely, 1998. pp. 125-148.

NAGY TERÜLETET LEFEDŐ KARRVÁLYÚRENDSZER STRUKTÚRÁJÁNAK ELEMZÉSE

SZUNYOGH GÁBOR*- LAKOTÁR KATALIN*- SZIGETI ILONA**

*Berzsenyi Dániel Tanárképző Főiskola, Természetföldrajzi Tanszék, 9700. Szombathely, Károlyi Gáspár tér 4. POB. 170
**8200. Veszprém, Kőhid u. 2.

Abstract: *All karren forms of a 500 m^2 rock surface area in Totes Gebirge were measured with map-board method, in 1:25 scale by the authers. The purpose of this work was to find the regularities of different karren formations in their situation compared to each other, to recognize and explain their effects for each other, to make a morphometric basis of limestone area of provenance and to make a clear picture about different forms of high-altitude karst in Totes Gebirge.*

The examined territory was divided 20 pieces 5×5 metres square sections for measurement. All these sections were covered with a net which had 0.5×0.5 meter wide parts. Everything was drawn to scale and correctly which could be seen in one part. All the karren forms were shown without deformation on the final map (A/0 size).

After using this map the following results were found: the structure of drainage on this territory; the area of each forms; regularities of so-called type I rinnen and the rillens joined to rinnens; basins without through channel; pipes to lower part of limestone and aqueous territories which are the final part of drainage.

Quantitative analysis were used in the examination of characteristic forms of rinnens and regularities of their development were determined.

The so-called leaf-shaped or fan-shaped karren was separated as a new karren form. These are apparently not too important forms, but they have very important part in development of bigger forms.

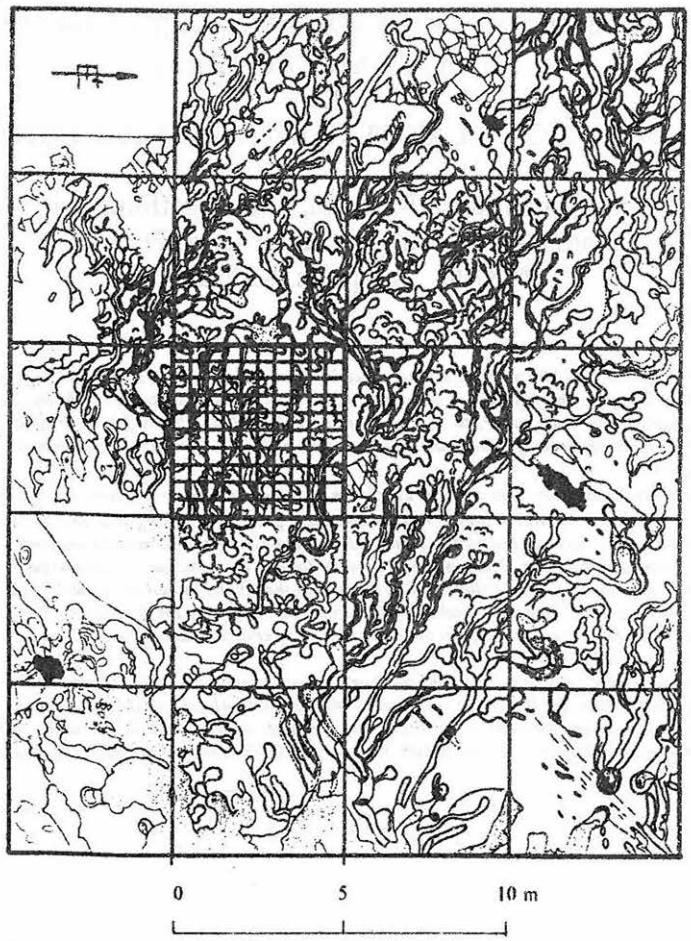
The causes of development of multichannel rinnens, islands and bifurcations were explained. The morphometric analysis of other small forms (pipes, basins, stepped karrens) of examined terrritory was also made.

Bevezetés

Előzmények

A Berzsenyi Dániel Tanárképző Főiskola Természetföldrajzi Tanszékének karsztkutató csoportja 1993 óta rendszeresen végez komplex karsztmorfológiai vizsgálatokat az ausztriai Totes-hegységben. E munkacsoporton belül mi a karros képződmények részletes (1:10, 1:20, 1:100 méretarányú) térképezésével és grafikus megjelenítésével foglalkoztunk. Kutatásaink első két évében egyedi formaelemek felvételét végeztük, melynek célja a totesi területen előforduló jellegzetesebb karrtípusok grafikus dokumentálása, szemléltetési célokra ill. morfometriai vizsgálatok megalapozása érdekében. Az 1995-ös és 1996-os években (a Widerkar-csúcs közelében) viszont már egy nagy, mintegy 500 m^2-es terület komplex feldolgozását végeztük el, amennyiben egy 20×25 méter kiterjedésű mészkőfelszín valamennyi karsztos képződményét felmértük és térképen ábrázoltuk. Célunk az volt, hogy:

- térképünkkel lehetőséget adjunk különböző karros képződmények egymáshoz viszonyított helyzetében mutatkozó törvényszerűségek feltárására, egy-



1. ábra. A részletpont-felvételt szolgáló hálózat
Figure 1: The network for measurement of sections

másra gyakorolt hatásuk felismerésére és értelmezésére;
- megalapozzuk a mészkő lepusztulási folyamatának kvantitatív (morfometriai) jellemzését;
- olyan oldalról világítsuk meg a karrosodás folyamatát, amelyet mindeddig (ilyen nagy terület egyidejű áttekinthetőségének korlátozottsága miatt) nem lehetett megtenni, így szolgálva e folyamatok újabb mozzanatainak felismerését;
- szemléletes képet adjunk a Totes-hegységben még nem járt érdeklődőknek a magashegységi karsztosodás e különös alakzatairól.

Jelen tanulmányban beszámolunk a felmérés menetéről és a térkép értelmezéséről.

A felmérés módszere



2. ábra. Az alkalmazott jelek kulcsa
Figure 2: The used codes

A térképezendő területet 20 db 5×5 méteres négyzet alakú szelvényre osztottuk. A négyzetek sarkát a mészkőbe süllyesztett, M4-es csavarokkal megjelöltük, helyüket geodéziai módszerekkel bemértük. E csavarok közé 5×5 méteres, 0,5 méter szemnagyságú hálót feszítettünk ki, mely a részletpontok felvételéhez nyújtott bázisvonalakat (*1. ábra*). Egy-egy 5×5 méteres terület térképét közvetlenül a helyszínen, gyakorlatilag végleges formába öntve, A/4-es milliméter-papírra rajzoltuk, éspedig M=1:25 léptékben. Pontosan, mérethelyesen mindent felvettünk, ami egy-egy hálószemben látható volt. Szükség szerint mérőszalaggal kiegészítő méréseket iktattunk be, bár az esetek többségében elegendő pontosságot érhettünk el a hálószemek oldalaihoz viszonyított becsléssel is.

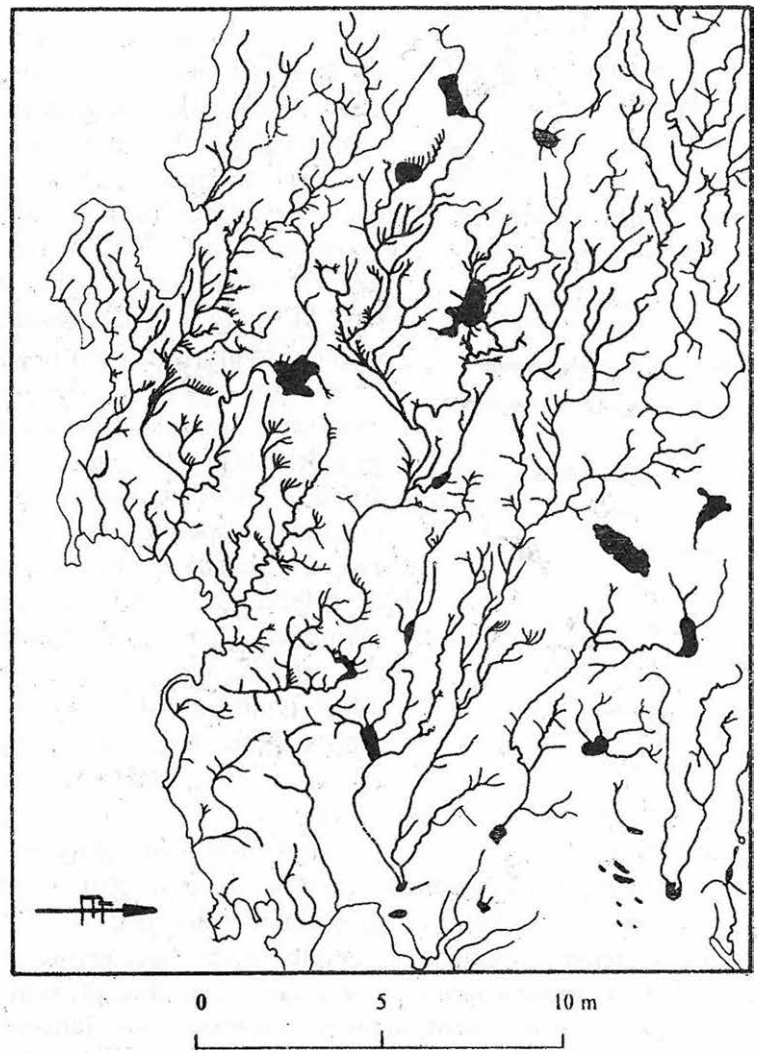
A teljes térkép felvétele kb. 240 munkaórát vett igénybe, melyet mintegy 50 irodai munkaóra követett, amikor is egyetlen, A/0 méretű pauszon egyesítettük a részletrajzokat, és megformáztuk térképet.

A végleges térkép (tekintélyes mérete miatt) viszonylag nehezen kezelhető, ezért A/3-as lapokra bontva atlasz-szerű kivitelben is megjelentettük. Alább viszont a karros képződmények struktúrájának jellegzetesebb elemeit önállóan, (a többi elem zavaró hatásától mentesítve) a térképből külön kiemelve mutatjuk be.

Az alkalmazott jelkulcs igazodik a karsztkutatásban szokásos jelekhez, de néhány, speciális képződmény dokumentálásához különleges jelekre volt szükség (*2. ábra*). Valamennyi vizsgált karrforma torzítás mentesen került bemutatásra.

A vizsgált terület általános jellemzése

A terület vízhálózatának szerkezete



3. ábra. A terület vízhálózatának szerkezete
Figure 3: The structure of drainage on the territory

A *3. ábrán* a terület vízhálózatának szerkezete látható. A bemutatott térkép tulajdonképpen a karrvályúk rendszerének *„csontváza"*, amennyiben nem tűnteti fel, hogy az egyes formaelemek milyen kiterjedésűek, hanem csak legmélyebb pontjaikat összekötő vízgyűjtő-vonalait ábrázolja.

Vastag vonallal az u.n. I-es karrvályúk nyomvonalát jelöltük. A vékony vonalak az I-esbe csatlakozó alsóbbrendű karrvályúk.

A fekete foltok átvezető csatorna nélküli medencéket tükröznek, melyek több bevezető, de csak egyetlen elvezető csatornával rendelkeznek. Ha valódi folyóvizek hálózatához hasonlítanánk a karrvályúk szóban forgó rendszerét, akkor e medencék átfolyásos tavakként lennének értelmezhetők.

A *3. ábrán* szürkével jelölt területek a mészkő mélyébe vezető kürtőket mutatják. Figyelemre méltó, hogy e kürtőkhöz vagy egyáltalán nem, vagy csak elenyésző számban vezet karrvályú. E kürtők tehát a vízhálózattól bizonyos mértékben függetlenül fejlődhettek, különben összeköttetés lenne közöttük. Elhelyezkedésükben bizonyos törvényszerűség megfigyelhető: a terület keleti (a dőlésirányt figyelembe véve alsó) részén nagyobb számban fordulnak elő.

A vályúhálózat nem izolált kürtőkbe, hanem a megfigyelt terület déli részén elterülő, növényzettel vastagon beborított (a *3. ábrán* fehéren hagyott) *„mocsárba"* vezet. E vizenyős terület tehát a vízhálózat végső befogadójaként működik.

Figyelemre méltók a csatornákba kapcsolódó kis erecskék (*„forráspatakok"*). Ezek az u.n. levélkarrok nyomvonalai (morfológiájukról alább lesz szó), melyek - feltételezésünk szerint - központi szerepet játszanak a vályúhálózat kialakításában.

A *3. ábra* alkalmas további, morfometriai vizsgálatok elvégzésére (pl. a hálózat rendűségének, magnitúdójának és vízfolyássűrűségének meghatározására, vagy fraktál-tulajdonságainak feltárására, stb.)

Az I-típusú vályúhálózat áttekintő térképe

A *4. ábrán* a terület valamennyi formaelemét bemutató térkép megfelelő befeketítésével kiemeltük az u.n. I-típusú karrvályuk rendszerét. A fentebb adott hasonlatot tovább fejlesztve: az I-típusú vályúk alkotják a karrképződmények rendszerének *„törzsét"*.

E csatornák 20–60 cm széles, 30–80 cm mély, U-keresztmetszetű vályúk. Szélességük változó ugyan, de fokozatos kiszélesedés nem jellemző rájuk (ami pedig a valódi folyóhálózatok általános törvényszerűsége); az összefolyási pontok alatt (ahol pedig nyilvánvalóan több vizet szállítanak) szelvényük nem bővebb. Különös tulajdonsága az I-típusú karrvályúknak az is (amint az a *4. ábra* alapján is érzékelhető), hogy felső végük soha sem keskenyedik el, hanem az alsó szakaszaikra is jellemző teljes szélességet kialakító félkör alaprajzú völgyfőben záródnak. Ez alátámasztja azt a feltételezésünket, hogy az I-es karrvályúk kialakulásuk után rögtön végleges formájukat felvéve, hátravágódással keletkeznek. Ezen hipotézis szerint az I-es



4. ábra. Az I-es típusú karrvályú-hálózat áttekintő térképe
Figure 4: The index map of type I rinnen

vályúk gyakorlatilag csak felső végükön, az említett félkör alakú völgyfőben fejlődnek, többi részükön a további bővülés csak alárendelt, ill. csak a II-es és III-as vályúk kifejlődésére korlátozódik. (Karros térszíneken azonban ettől eltérő mechanizmus is vezethet vályúképződéshez. *ZENTAI Z.-HORVÁTH E. T.* (1995) a Totes Gebirge egy másik, az általunk vizsgáltnál lényegesen meredekebb területén a lejtés irányába bővülő csatornákat is megfigyelt).

Az I-típusú karrvályúk talpán szinte kivétel nélkül mindig találhatunk u.n. III-as típusú vályúkat is, amik tulajdonképpen téglalap keresztmetszetű, 1-2 cm széles, 5-10 mm mély, kicsiny, gyakran kanyargó, fiatal vízvezető-csatornák. Az I-es vályúkban előfordulnak II-es csatornák is, melyek 5-10

cm szélesek, 5-20 cm mélyek, és szintén U-alakúak, de (értelemszerűen) sokkal kisebbek, mint az I-es vályúk.

Amint a *4. ábra* alapján is érzékelhető, az I-es csatornák a terület fő vízlevezető vonalai. Helyzetükre egy ÉÉNy-DDK irányultság jellemző. Ez az irány nem esik egybe a terület Ny-K-i helyzetű dőlésirányával, tehát az I-es csatornák áldőlésben vezetnek. Nyomvonalukra jellemzőek az éles törések, derékszögű kanyarok. A kanyarok eredményeképpen az I-esek irányultságában így bár alárendelten, de egy KÉK-NyDNy összetevő is megjelenik.

A *4. ábrán* feltűnő, hogy némelyik I-es karrvályú igen határozottan kanyarog, ill. félkör alakú kiöblösödések sorozata képezi oldalát. (Ez utóbbiak is a hátravágódás hipotézisét támasztják alá: a kiöblösödések fejlődésében megrekedt hátravágódás-kezdemények.)

Látható, hogy a víznyelőkürtőkbe torkolló csatornák sokkal rövidebbek, mint a mocsaras terület vízgyűjtőjéhez tartozó csatornák. Ennek magyarázata is visszavezethető az I-es csatornák hátravágódására: a szóban forgó kürtők viszonylag fiatalok (vagy legalább is kevesebb ideje képesek kellő mennyiségű vizet elvezetni), és a belőlük hátravágódó karrvályúk kifejlődésére még viszonylag kevés idő állt rendelkezésre. Ha az I-es vályúk mérete kapcsolatban állna az általuk szállított víz hozamával, akkor a hosszabb vályúknak nagyobb keresztmetszetűeknek kellene lenni. Márpedig, amint a térkép mutatja, a rövid (tehát kis vízgyűjtőjű) vályúk átlagos szélessége és mélysége a hosszú, nagy vízgyűjtőjű vályúkéival nagyjából megegyezik.

A teljes vízvezetőhálózat térképe

Az *5. ábrán* kiemeltük mindazokat a karros képződményeket, melyek valamely vízvezetőhálózat részét képezik: kürtőket és növényzettel lefedett vízgyűjtő területeket, az I-es karrvályúkat a hozzájuk kapcsolódó, több méter hosszú (morfológiájuk alapján II-es karrvályúk csoportjába sorolható) mellékágakat, az u.n. levélkarrokat és a levezető csatornával rendelkező kamenyicákat. A képződmények e teljes hálózatának rajzolata olyan benyomást kelt, mintha a csatornák robbanásszerűen futnának-terjednének szét, és most e *„robbanás"* egy pillanatnyi helyzetét látnánk.

Valamennyi formaelem közös tulajdonsága a lekerekítettség: nem találhatók fokozatosan elkeskenyedő vízgyűjtő barázdák, hanem csak széles, kerekded formájú medencékből vagy negyed-gömbökből összeálló mélyedések.



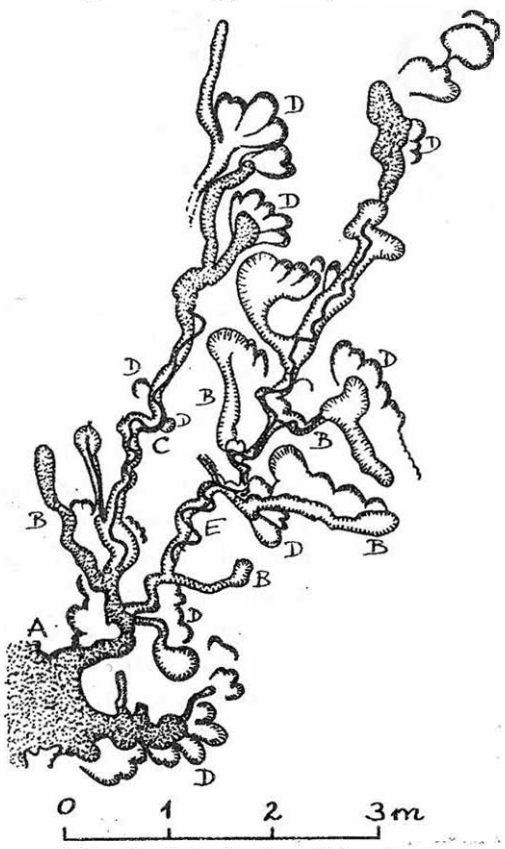
5. ábra. A teljes vízvezetőhálózat térképe
Figure 5: The map of drainage on the territory

Meglepő, hogy a köztes (az *5. ábrán* befeketítéssel nem kiemelt) területek semmiféle morfológiai kapcsolatot nem mutatnak a karrvályúhálózattal: nem látható közöttük *„aktív"* hidrológiai kapcsolat nyoma, azaz nem alkotnak közös, együttdolgozó hidrológiai rendszert. A köztes térszínre hulló csapadék vize nem a közeli csatornák irányába folyik, hanem a terület átlagos dőlésirányának megfelelően keletre. Nem találhatók továbbá vízválasztó gerincek sem az egyes csatornák között: a karrvályúkat lapos *„fennsíkok"* választják el egymástól.

Az I-es és II-es csatornák oldalaiba (elsősorban kanyarulataiknál) hosszúkás, erősen elnyúlt ellipszisre emlékeztető medencék torkollanak.

Térképi megjelenésük szerint úgy illeszkednek a csatornák oldalaihoz, mint a fák levelei szárukhoz, törzsükhöz. E hasonlóság miatt levélkarroknak neveztük e karros kisformát. (Részletes jellemzésükre alább kerül sor). Feltételezzük, hogy e levélkarrok preformálják a hátraharapódzódó I-es és II-es csatornák nyomvonalát. Az *5. ábra* alapján megállapíthatjuk. hogy e levélkarrok irányultsága nem véletlenszerű, amennyiben irányuk minden esetben ellentétes a terület általános lejtési irányával (azaz a levélkarrok „dőlésben felfelé" növekednek), tehát a csatornák hátravágódása valamilyen módon „*érzékeli*" az átlagos lejtésirányt.

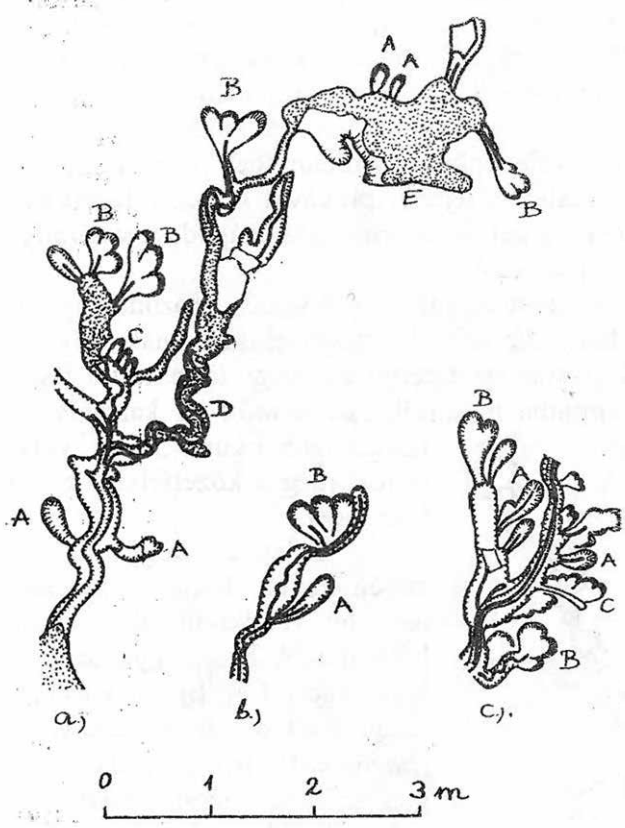
Jóllehet a karrvályúk a hozzájuk kapcsolódó képződményekkel együtt a terület igen nagy hányadát lefedik, mégis előfordulnak vályúszegény régiók. E tartományok viszont rendszerint egy vagy több kürtőt foglalnak magukba. Úgy tűnik, mintha a kürtők „*taszítanák*" a karrvályúkat. (Legfeljebb a kürtő „*saját*" vályúja töri meg a kőzetfelszín egyenletességét.)



6. ábra. Egy tipikus karrkarrvályú szerkezete
Figure 6: The structure of a tipical rinnen

Érdekes, hogy a déli, növényzettel borított mocsaras területet rendkívül éles vonal határolja. A határ egy hosszában kettévágott I-es típusú karrvályú megmaradt oldalához hasonlít. E „*partvonal*" nyomvonala zegzugos, számos, hierarchikusan egymásra épülő öböl tarkítja. Ez a körívekből álló cakkos perem is valami instabil, robbanásszerű hátrálás pillanatképét idézi. Minthogy ilyen peremvonal csakis a növényzettel vastagon beborított területek határán fordul elő, feltételezhető, hogy a partvonal hátrálásának okát elsősorban biogén tényezőkben kell keresni. (A növényzet feltételezett medenceformáló szerepének tudományos vizsgálata még várat magára).

A növényzettel benőtt zónából több felé a környező (növényzetmentes) térszín magasságával egyező szigetek emelkednek ki. Peremük általában köríves bemélyedésekből áll: eltűnt I-es típusú karrvályúk



7. ábra. Néhány példa levélkarrok elhelyezkedésére
Figure 7: Some examples for lamellar karren

peremének maradványainak tűnnek. Izolált, rendszertelen elhelyezkedésük azonban inkább arra utal, hogy a növényzettel borított medencék biogén fejlődésének egy speciális változatát nyújtják.

A karrvályúk jellegzetes formakincse

Egy tipikus karrvályú szerkezete

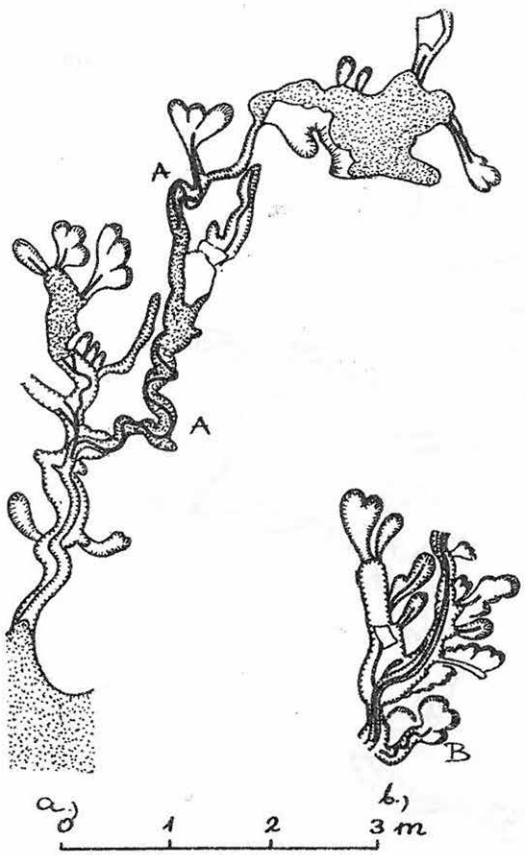
A *6. ábrán* egy átlagos karrvályú szerkezete látható. Torkolata a növényzettel borított (A-val jelölt) mocsaras területre esik, ahonnan (folyásiránnyal ellentétesen haladva) kb. 1 méterrel egy elágazáshoz jutunk. A két ág közelítőleg párhuzamosan, kanyarogva-meanderezve halad. E főágakból 1–3 méter hosszú (B-vel jelölt) mellékágak válnak ki. Némelyek ezek közül különösebb elvékonyodás és elágazás nélkül (váratlanul) elvégződnek, többségük azonban u.n. legyezőkarrból álló völgyfőből ered. A főágak (és néhány mellékág) talpán u.n. III-as típusú csatornák kanyarognak-meandereznek. (Bár a meanderezésnek soféle válfaja van, jelen tanulmányban e kérdés behatóbb vizsgálatával nem foglalkozunk). Az I-es és II-es vályúk oldalához (D-vel jelölt) levélkarrok illeszkednek.

Levélkarrok, legyezőkarrok

A vizsgált terület formakincsének talán az egyik legmeglepőbb elemei a levélkarrok. Bár terepbejárás során ezek nem feltűnőek, mert a mély csatornák, medencék és kürtők markáns formái mellett szinte észrevétlenek

maradnak, de térképi ábrázolásuk nyomán kitűnik központi szerepük a karrvályúk kialakulása szempontjából (*7. ábra*).

A levélkarrok hosszúkás, 0,5–1 méter hosszú, 5–10 cm széles, lejtésirányukkal ellentétesen kiszélesedő, erősen megnyúlt ellipszissel záródó mélyedések (a *7. ábrán* A-val jelölve). Keresztmetszetük alakja széles teknő (U-alakú). Soha nem fordulnak elő sík talpú levélkarrok (ezért nem téveszthetők össze a saroknyom-karrokkal). Köznapi életből vett hasonlattal azt mondhatnánk, hogy olyanok, mintha fagylaltos kanállal kiemeltek volna egy hosszú csatornát a mészkő felszínéből.



8. ábra. Kényszermeanderezés
Figure 8: Forced meandering

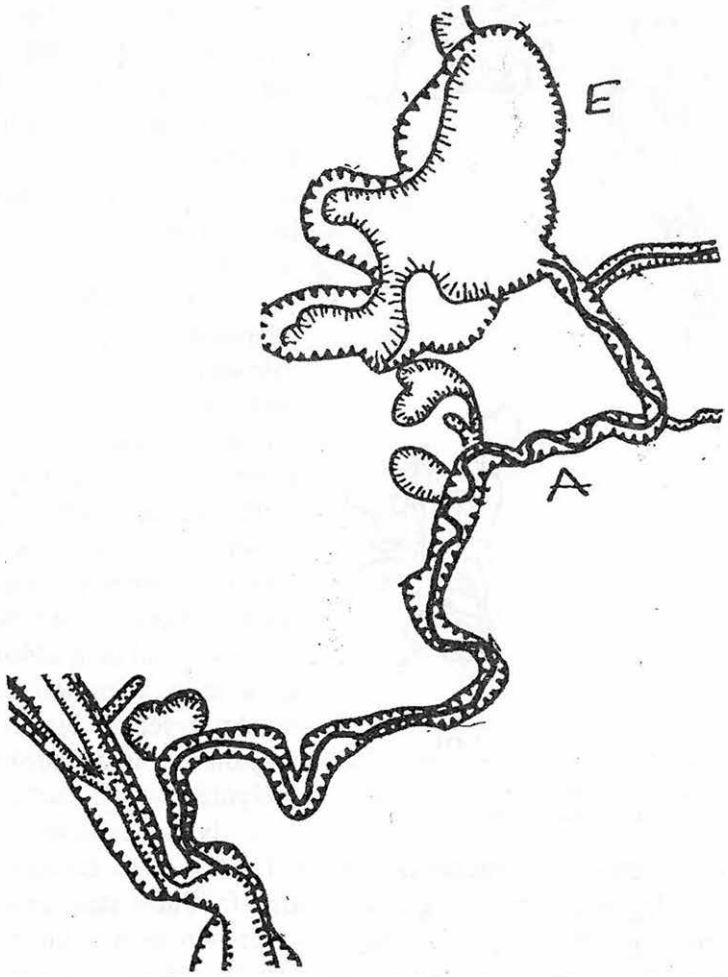
A levélkarrok gyakran csoportokban jelennek meg: ilyenkor szétnyitott legyezőre emlékeztetnek (a *7. ábrán* B-vel jelölve). Sokszor láthatunk I-es karrvályúk pereme mentén sorakozó, szorosan egymáshoz tapadó levélkarrokat is (a *7. ábrán* C-vel jelölve).

A levélkarrok genetikai jelentősége abban áll, hogy véleményünk szerint ezek preformálják az I-es és II-es csatornák nyomvonalát. Szerepük különösen jól látszik a *7/b. ábrán*. A B jelű legyezőkarr jobb oldali *„levele"* kimélyült, és a hozzávezető I-es karrvályú szerves folytatását alkotja. Feltehető tehát, hogy valamikor a szóban forgó I-es a még szimmetrikus (azonos levélmélységű) legyező tövénél végződött, majd a jobboldali levél mélyülése meghaladta a többiét, és mélyen bevágódva megadta a hátráló I-es következő szakaszának irányát. Ezen modell értelmében a *7/a. ábrán* látható legyezőkarrok még csak kezdeti fejlődési stádiumban vannak. Találni olyan legyezőkarrokat is, amelyek esetében nem valamelyik szélső, hanem egy közbülső levélnél indult meg a hátravágódás, így ma a főcsatornának ugyanazon pontjához mindkét oldalról becsatlakoznak levélkarrok.

A levélkarrok genetikai szerepének fenti hipotézisét megerősíti az a megfigyelés is, hogy igen sok esetben az I-es (vagy II-es) karrvályú határozott kanyarulattal rendelkezik egy-egy levélkarr becsatlakozásánál. Ez azzal magyarázható, hogy korábban ott egy kétlevelű legyezőkarr volt, amelynek egyik levele felemésztődött az I-es vályú hátravágódása során. Gyakoriak mind az egy-, mind a két-, mind a háromlevelű legyezők.

A csoportos levélkarr az egyetlen olyan képződménytípus, amely mentén víz folyhat az I-es vályúkba peremükön (oldalvonalukon) keresztül. Az I-es csatornák u.i. általában éles pereműek, nem látszik rajtuk az agresszív víz lekerekítő hatása.

A levélkarrok tengelyvonalában sokszor előfordul III-as típusú



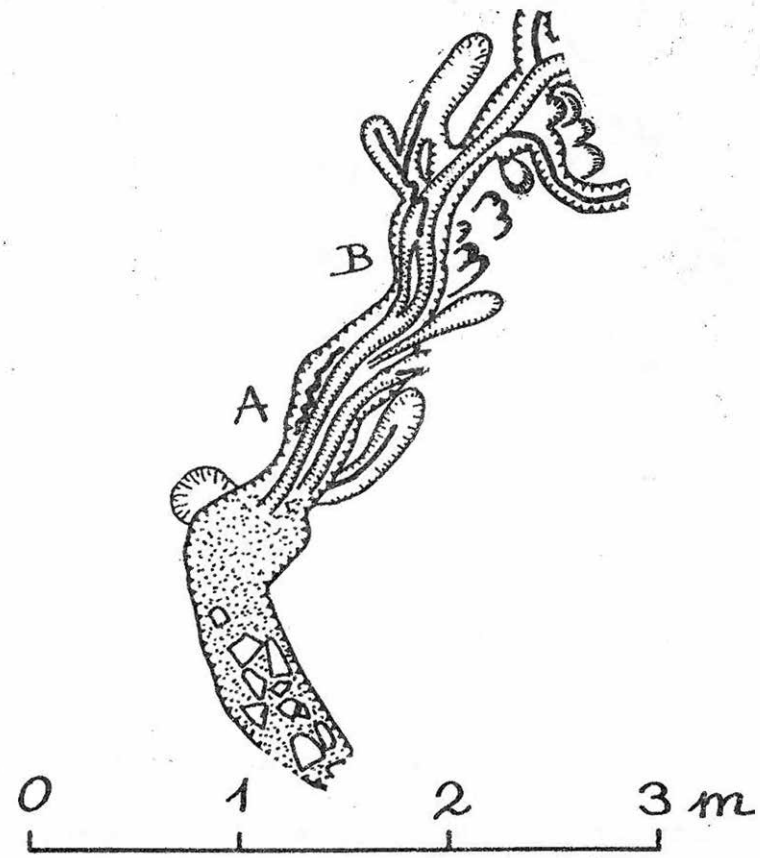
9. ábra. Szorított meanderezést végző III-as karrvályú
Figure 9: Pressed meandering type III rinnen

karrvályú is, jelezve, hogy a levélkarrok jelentős vízszállítási feladatokat látnak el.

Karrmeanderek

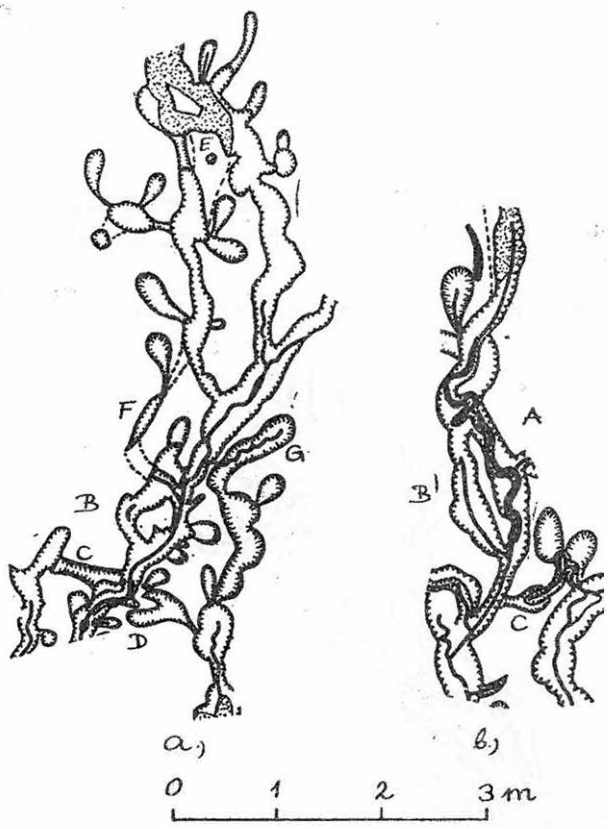
A karrvályúk egyik legjellemzőbb tulajdonsága meanderezésük. Jelen tanulmányban a meanderezés kialakulásával nem kívánunk foglalkozni, csupán főbb típusait emeljük ki.

Előfordul, hogy maga az I-es karrvályú meanderez. (A meanderezés



10. ábra. Többcsatornás vályú
Figure 10: Multichannel rinnen

abban különbözik az egyszerű kanyargástól, hogy felismerhető rajta a kanyarulat-lesiklás jelensége, azaz mélyebb szinteken a kanyarulatok a magasabb szintiekhez képest eltolva helyezkednek el. Ilyen meanderkanyarulat ismerhető fel pl. a *6.* és a *7/a ábrák* D-vel jelölt szakaszain.



11. ábra. Bifurkációk, karr-szigetek
Figure 11: Bifurcations, karren islands

A meanderezés azonban elsősorban a III-as csatornák jellemzője. Attól függően, hogy meanderezés szempontjából milyenek szóban forgó III-ast magába foglaló csatornák, több típusuk lehetséges.

Ha az I-es karrvályú valamilyen oknál fogva kanyargott, akkor az alján kialakuló III-as szükségképp követi az I-es nyomvonalát, de annak kanyargása miatt meanderezésre kényszerül (*8. ábra* A-jelű szakasza).

Meanderező III-assal levélkarrokban is találkozhatunk (lásd. a *8/b. ábra* B-vel jelölt részét).

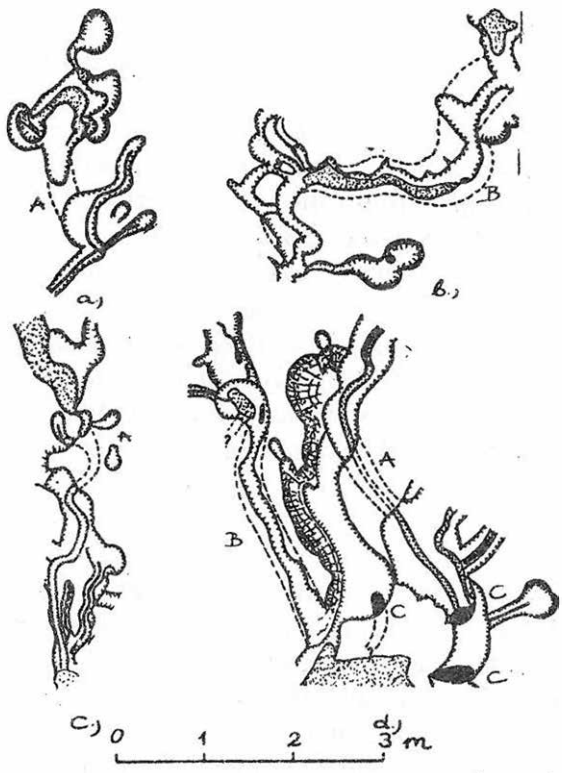
Ha az I-es karrvályú nem meanderez, hanem egyenes szakaszokból áll, akkor a III-as szorított meanderezést végez (*9. ábra* A-val jelölt szakaszán).

E meandertípusok szép együttesét mutatja a 11/b. ábra. Az A-val jelölt szakaszon az I-es karrvályú nem meanderez, hanem enyhe kanyarokat alkot csupán. Ennek belsejében jól fejlett szorított meanderezést végez a II-es karrvályú, melynek talpán kialakult III-as viszont kényszermeanderezést mutat.

A meanderkanyarulatok növekedésére-fejlődésére szép példát láthatunk a *6. ábra* E-vel jelölt területén. E szakaszon az I-es enyhe kanyargással fejlődött ki, mely (kezdetben) értelemszerűen kényszermeanderezésre késztette a III-ast. A III-as meanderezéséhez szükséges feltételek azonban olyan kedvezőek lehettek, hogy nem maradt az I-es által *„előírt"* határok közé szorulva, hanem egyre nagyobb amplitúdóval lengve túllépett az I-es peremein is.

A karrvályúk ritkán előforduló formakincse

Többcsatornás karrvályúk



12. ábra. Felszín alatti karrvályúk
Figure 12: Rinnens under the surface

Egy-egy I-es típusú karrvályúban rendszerint csak egy-egy II-es (vagy III-as) vályú alakul ki. Bár ugyan alárendelten, de találhatunk olyan I-est is, melynek talpába szorosan egymás mellett több II-es karrvályú is mélyült. Ilyen esetet mutat a *10. ábra*. Mint látható, az A-jelű helyen két, kb. 10 cm széles II-es, és közvetlenül mellettük egy kb. 1 méter hosszú, meanderező III-as alakult ki. A *10. ábra* B-vel jelölt szakaszánál pedig a II-es vályú ketté ágazik, és szigetet alkot.

Szigetek, bifurkációk

Szigetképződés nem csak a II-es és III-as karrvályúk körében mutatkozik, hanem az I-es csatornák esetében is. A *11. ábrán* B-vel jelölt szakaszokon az I-es ketté ágazik, és hosszú, széles szigeteket ölel körül.

A szigetképződés a vályúk hátravágódásos fejlődésével hozható kapcsolatba. Több helyen megfigyelhető, hogy ugyanannak a vályúrendszernek két ága (hátrálásuk során) megközelíti egymást, sőt a fiatalabb belevág az idősebb, az adott területen már korábban hátravágódott csatorna oldalába, azaz bifurkáció alakul ki. Erre példaként szolgál a *11/b.* ábra C-jelű pontja, ahol is egy legyezőkarr egyik, II-essé fejlődött, hátravágódó ága elérte egy másik vályú levélkarrját, azaz behatolt ez utóbbi vízgyűjtőjébe. Kialakuló bifurkáció nyoma ismerhető fel a *11/a. ábra* C-jelű szakaszánál is. Itt egy levélkarr mélyedése köti össze két önálló karrvályú vízrendszerét.

Bifurkációt megelőző *„pillanatot"* örökít meg a *11/a. ábra* D-jelű részlete is: mindkét oldalról egymás felé halad a hátravágódás.

Felszín alatti bifurkációk

A bifurkációnak egy igen különös: felszín alatti formájával is találkozhatunk. A *11/a. ábrán* az E-jelű területen két I-es típusú karrvályú között a felszín alatt alakult ki széles, "felszín alatti I-es kapcsolat. Külön érdekessége, hogy egy kis aknán keresztül e rövid barlangocska kapcsolatban van a külszínnel.

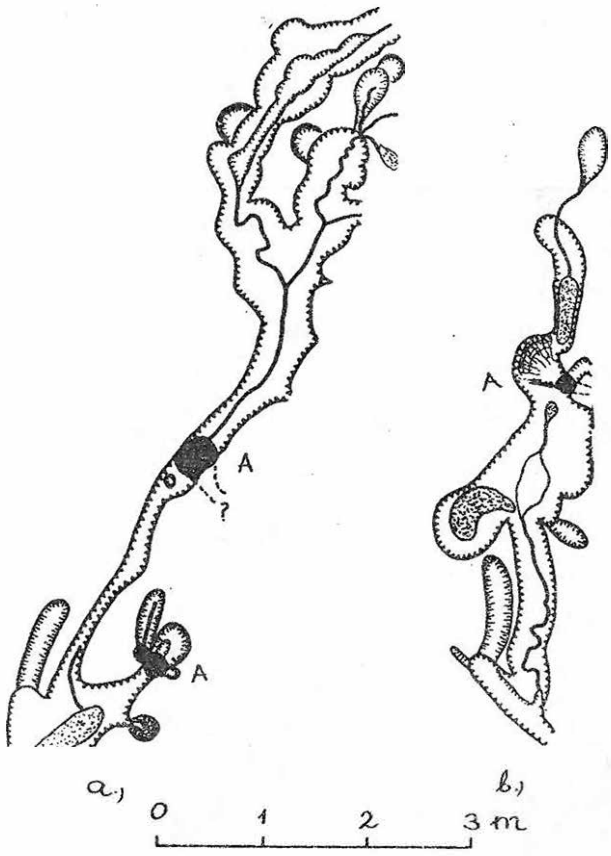
A felszín alatti bifurkáció valamennyi karrvályú-típussal előfordulhat. A bifurkációt pl. I-es vályú valósítja meg a 11/a ábra A-jelű barlangja esetében. II-es típusú vályú teremti meg a földalatti összeköttetést a 12/c ábrán. A 11/a ábrán G-vel jelölt mélyedés vizét pedig egy III-as erecske vezeti a mészkő belsején át közeli I-esbe. Úgy tűnik tehát, hogy a bifurkációk kialakulásában nem érvényesül olyan fejlődési sorrend, mely szerint az I-es (vagy II-es) feltétlenül előbb kell kialakuljon, mint a III-as. Végül létrejöttek olyan földalatti járatok is, melyek a normális karrvályúk teljes hierarchiáját tartalmazzák: a 12/d ábra A-jelű barlangja alapvetően I-es, de alján megszakítás nélkül folytatódik e csatorna "normális" részén megjelenő II-es.

Karrbarlangok

Az I-es csatornák egy része „szakadékdolinákra" emlékeztet, amennyiben teljes hosszukban kapcsolódnak a külszínhez, de a kapcsolódási vonal sok esetben (a vályú szélességéhez képest) igen keskeny (*12/b* és *12/d ábrák* B-jelű részein). Keresztszelvényük lefelé öblösödő jelleget mutat. Kialakulásukról több hipotézis is napvilágot látott: előfordulhat, hogy egy felszín alatti csatorna mennyezetének átfűrészelődésével, esetleg beomlásával jöttek létre (*VERESS,* 1995), de nem lehetetlen, hogy a vályú mélyülése egy tágulási folyamattal járt együtt. Az előbbi mellett szól az a megfigyelésünk, hogy a felszín alatti járatok nem ritkán kis kürtőkkel a külszínhez kapcsolódnak (*11/a ábra* E és F-jelű zónáiban). Elképzelhető, hogy e kürtőcskék az oldódás hatására kitágultak, végül kiterjedtek a fedett vályúszakasz teljes hosszára.

A karrvályúk mélyülésükkel együttjáró kiszélesedésüket támasztja alá az, hogy az I-es vályúk más területeken is gyakran áthajló oldallal rendelkeznek, tehát a mélyülést kísérő bővülés nem idegen az I-es típusú csatornáktól.

A karrbarlangok csoportosításával és kialakulásuknak a fenti elgondoláson kívül szóba jövő változataival részletesen VERESS (1995) tanulmánya foglalkozik.



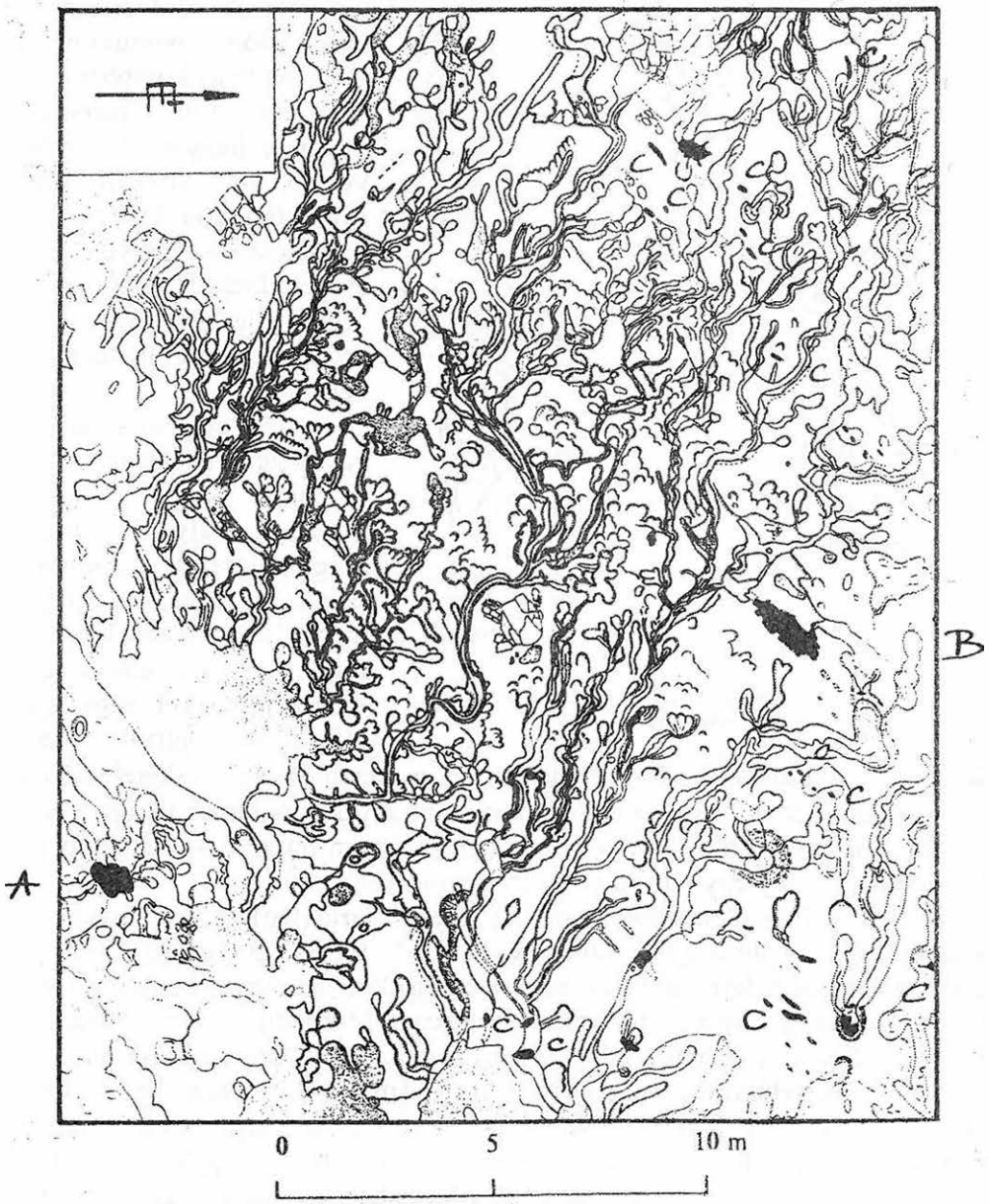
13. ábra. Karrvályúk mélységi lefejeződése
Figure 13: Abyssal capture of rinnens

Egy-egy karrvályú vizének *„különleges"* elvezetési módja a csatornák mélységi lefejeződésével történik. A *12/d ábrán* C-vel jelölt pontokon a (feltehetőleg) korábban már kialakult I-es karrvályú talpán a hegység belsejébe vezető un. *karrvályú-víznyelő* fejlődött ki, amelybe a csatornában folyó vizek elnyelődnek. Hasonló jelenséggel állunk szemben a *13. ábrán* A-val jelölt területeken.

Keletkezésüknek egy kézenfekvő magyarázata lehet, hogy a szóban forgó I-es vályú (a fentebb megfogalmazott hipotézis szerint) teljes, végleges méretében vágódik hátra. E folyamat során elérve egy kereszthasadékot vagy már kifejlődött kürtőt, azon áthalad. (Áthaladása azáltal lehetséges, hogy az oldódás - feltételezésünk szerint - elsősorban a vályú hátoldala mentén zajlik, így kialakulására nézve érdektelen, hogy a róla lefolyó víz a már korábban létrejött vályútalpon folyik-e végig, vagy egy kürtőn elszivárog a mélybe.

Azt a feltételezésünket, hogy (a vizsgált területen) az I-es karrvályúk kialakulása, bővülése gyakorlatilag csak felső végük környezetére korlátozódik a mélységi lefejeződések azáltal is igazolni látszanak, hogy a vályúk mérete nem nagyobb a kürtők feletti szakaszon. Márpedig ha a már kialakult I-es karrvályúk a bennük folyó víz hatására tovább bővülnének, akkor a kürtők alatt kisebb méretű szelvényt kellene látnunk. Ezzel szemben különbség legfeljebb az I-es talpán látható II-es vagy III-as vályú bevágódásának mértékében van. Ez a folyamat sejthető a 13/a. ábra alapján is: az I-es karrvályúban a mélybe vezető kürtőnél megszakad a III-as karrvályú folyto-

nossága, és csak kb. 2 méterrel lejjebb jelenik meg újra. A lefejeződés tehát csak a III-as vályúra volt hatással. (Természetesen más, általában meredekebb területeken *ZENTAI – HORVÁTH* (1995) megfigyelései szerint előfordulnak lefelé szélesedő karrvályúk, melyek esetében a fent vázolt mechanizmus értelemszerűen alárendelt szerepet kap).

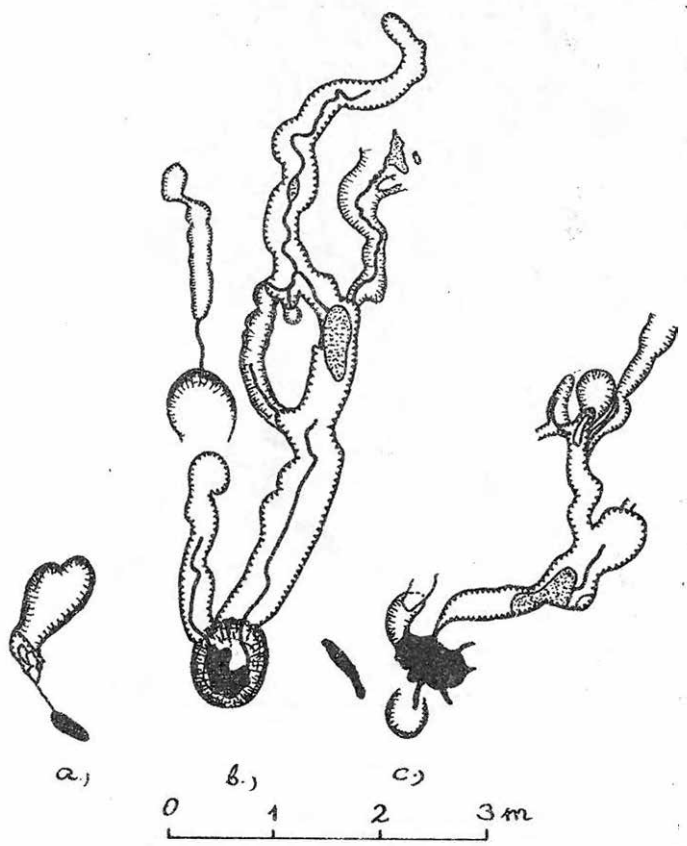


14. ábra. A hegység mélyébe vezető kürtők elhelyezkedésének áttekintő térképe
Figure 14: The index map of pipes carrying to depth of mountain

A vizsgált terület egyéb kisformái

Kürtők

A vizsgált 500 m^2-es területen kevés kürtő található. Jellemzőjük, hogy (a *14. ábrán* A-val jelölttől eltekintve) hozzáfolyás nélküliek, vagy csak igen kis vízgyűjtővel rendelkeznek. Ezek *VERESS* (1995) által kidolgozott rendszer szerint az un. *aknakürtők* csoportjába sorolhatók. Különösen feltűnő a térkép közepe táján elhelyezkedő B-jelü akna, mely tekintélyes (1×2 méteres) mérete ellenére sem rendelkezik vízbevezető csatornával. Úgy tűnik, hogy a kürtők fejlődése teljesen független a karrvályúk rendszerétől, ellenkező esetben nagyobb kürtők kialakulása nagyobb hozzáfolyást követelne meg.



15. ábra. Kürtők és karrvályúk kapcsolata
Figure 15: Connection between pipes and rinnens

A területen előfordulnak azonban víznyelő funkciót is ellátó un. *vályúvégkürtők* (*VERESS*, 1995). De a vízszállítási funkció ezek esetében is alárendelt, mert nem egy esetben viszonylag nagy keresztmetszetű kürtők csak kis kiterjedésű csatornarendszerrel állnak kapcsolatban, míg hatalmas hálózatú karrvályúk vizét egy-egy kicsiny méretű lefejeződés teljes egészében a mélybe tudja szállítani. Ha a kürtők és a vályúk között szoros genetikai kapcsolat lenne, akkor karakterisztikus méreteikben is arányosságnak kellene látszani.

Feltételezésünk szerint a kürtők és a karrvályúk közötti kapcsolat elsősorban abban áll, hogy a már kialakult kürtőkből kiindulva I-es típusú

karrvályúk vágódnak hátra. E folyamatot tükrözik a 15. ábra térképrészletei. Különösen a *15/b. ábra* támasztja alá az elmondottakat: egy nagyméretű (kb. 0,5 m^2 keresztmetszetű) kürtőből két, jól fejlett I-es indul ki. az egyik mindössze 2 méter, a másik 8 méter hosszú. Mindkettő üstszerű völgyfővel zárul,



16. ábra. Nagyméretű medencék áttekintő térképe
Figure 16: The index map of bigger basins

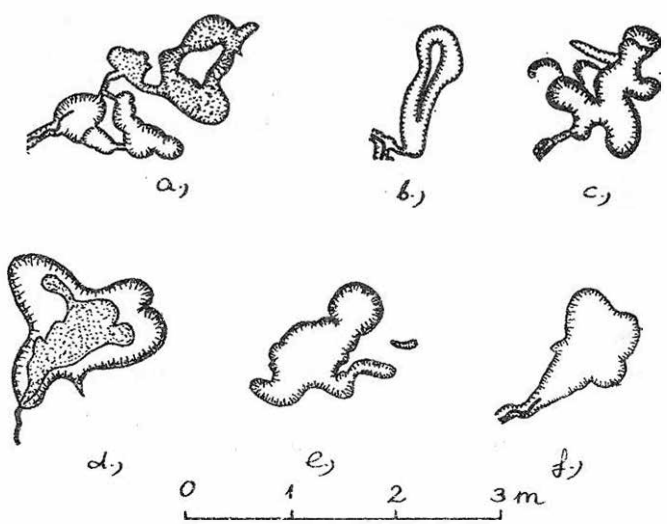
jelentősebb hozzáfolyás nélkül.

A kürtők többsége kicsiny méretű, általában erősen elnyúlt ellipszishez hasonló alaprajzú, tektonikus irányítottságú függőleges üreg (*14. ábrán* C-vel jelölve), melyek a VERESS (1995) -féle rendszer szerint *vályútalp-kürtők* közé sorolhatók.

Kamenyicák

A felmért területen viszonylag nagy számban fordulnak elő tekintélyes méretű 1-2 m^2 alapterületű, lapos medencék (a *16. ábrán* feketével kiemelve).

E medencék nyilvánvalóan a *lokális oldódással* kialakult *madáritatók* különféle válfajaihoz kapcsolhatók (*VERESS*, 1995), bár formakincsükben kissé eltérnek a *„hagyományos értelemben vett"* kamenyicákétól. (Ez arra

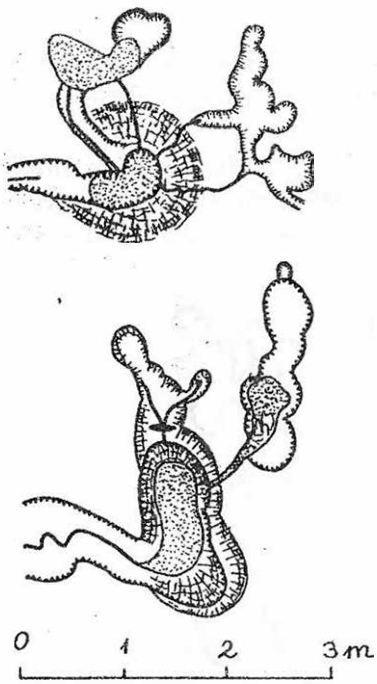


17. ábra. Néhány példa nagykiterjedésű medencékre
Figure 17: Some examples for bigger basins

utal, hogy a kamenyicák formagazdagsága igen tekintélyes, és vizsgálatuk, osztályozásuk még további kutatást igényel.) Mélységük általában megegyezik a be- ill. kivezető I-es vályú mélységével, bár magukban a medencékben átvezető csatornák nyomai nem láthatók. Peremük minden esetben határozott, nem ritkán aláhajló (*17. ábra*). Gyakran növényzet települt aljzatukra (lásd pl. a *7/a.* és a *9. ábrák* E-vel jelölt, valamint a *17. ábra a.* és *d.* jelű részeit). Legmélyebb pontjuk nem mindig a medence közepén található, u.i. ott kiemelkedések (szigetek) is mutatkozhatnak (*17/a, 17/b ábrák*). Alaprajzuk teljesen szabálytalan, amőbaszerű.

Egy különleges, igen szép változatukat képezik az u.n. *„románkori keresztelő medencék"* (*18. ábra*). Ezek a fent említettektől minden tekintetben elkülönülnek. Alaprajzuk szabályos kör, vagy kissé megnyúlt ellipszis. Középpontjukban kiflihez-veséhez hasonló alakú, tökéletesen sík, vízszintes aljzat található, mely csaknem függőleges falakkal van körbevéve. E falak feljebb fokozatosan ellankásodnak, és szinte éles határ nélkül, folyamatosan

olvadnak a környező térszínbe. Nem lefolyástalanok: igen jól fejlett, áthajló oldalú I-es karrvályúk indulnak belőlük. A medence aljzatát mindig vékony talajréteg borítja, melyből - megfigyeléseink szerint - soha nem távozik el a víz: állandóan nedves. A medence oldalait mindössze III-as típusú karrvályúk törik meg. Felületük mindig teljesen ép, törés- és repedésmentes. Színük üde, friss, algásodás nyomai nem vehetők észre. Mindezek arra utalnak, hogy a *„románkori keresztelő medencék"* folyamatosan, teljes felületük mentén fejlődnek. Kialakulásuk mikéntje azonban előttünk mindeddig tisztázatlan.

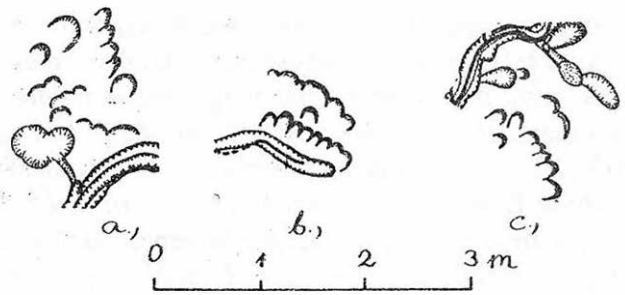


18. ábra. "Románkori keresztelő medencék"
Figure 18: "Baptizing basin in Romanesque age"

Saroknyomkarrok

Bár a saroknyomkarrok nem tartoznak a karrvályúrendszer elemeihez, de a vizsgált terület oly jellegzetes képződményei, hogy érdemes pár szóval megemlékezni róluk.

Mint ismeretes, a saroknyomkarrok tökéletesen sík alapú, meredek, félkörszerűen ívelő hátoldalból, és lankás előtérből álló kisformák. A karrvályúk közötti térszín leggyakoribb képződményei: átlagosan minden négyzetméterre jut egy-egy.



19. ábra. Saroknyomkarr-csoportok
Figure 19: Trittkarren groups

Általában csoportosan fordulnak elő (*19. ábra*); csoportjaik burkoló görbéje közelítőleg egybe esik a terület csapásirányával, attól max. ±30 fokkal térnek el. Úgy tűnik, hogy e csoportok (akárcsak az I-es karrvályúk) hátráló mozgást végeznek, és mint valami gyalu, letarolják a területet. Megfigyelhető, hogy egyes helyeken a karrvályuk pereme mentén sorakoznak fel (*19/b. ábra*), másutt attól (már) 0,5 – 1 méterre vannak, (de még a peremmel közel

párhuzamos helyzetben), ill. előfordulnak a vályúktól nagyobb távolságban is (*19/c. ábra*). Feltételezhető, hogy e különböző helyzetek a saroknyomcsoportok vándorlásának különböző fázisai, de határozott véleményt csak további vizsgálatok után lehet kimondani.

IRODALOM

VERESS M. (1995): Karros folyamatok és formák rendszerezésének szempontjai a Totes-gebirgei példák alapján. Karasztfejlődés I. (Totes Gebirge karrjai) Szombathely, p. 7-31

VERESS M.-LAKOTÁR K. (1995): Saroknyomkarrok morfogenetikai csoprtosítása Totes-gebirgei példák alapján. Karasztfejlődés I. (Totes Gebirge karrjai) Szombathely, p. 89-105

BALOGH Z. (1997): Saroknyomkarrok vizsgálata az ausztriai Totes-hegységben. Szakdolgozat. Szombathely.

SZABÓ L. (1995): Karrvályúrendszerek térképezése a Totes-hegységben. Karasztfejlődés I. (Totes Gebirge karrjai) Szombathely, p. 61-71

SZUNYOGH G. (1995): Mészkőfelszínek kisformáinak grafikus ábrázolása. Karasztfejlődés I. (Totes Gebirge karrjai) Szombathely, p. 41-61

ZENTAI Z.,-HORVÁTH E. T. (1995): Totes-hegységi lejtőkarrok morfometriai vizsgálatának eredményei. Karasztfejlődés I. (Totes Gebirge karrjai) Szombathely, p. 79-89

KARSZTFEJLŐDÉS II. (Totes Gebirge karrjai)
Szombathely, 1998. pp. 149-168.

SAROKNYOMKARROK VIZSGÁLATA AZ AUSZTRIAI TOTES-GEBIRGÉBEN

BALOGH ZOLTÁN

2092, Budakeszi, Erdő u. 10.

Abstract: One type of karren forms is examined in the paper. This is trittkarren. The development of these forms is shown with the analysis of measurement (corner height, corner pitch, sole width) of 240 trittkarrens. The slope of territory is the most important factor in development of karren process in the case of trittkarrens. According to the results the development of trittkarren forms depends on slope of surface.

Bevezetés

Munkánkban a karros formakincs azon típusával foglalkozunk, amelyet a német szakirodalom lépéskarrnak nevez, de elterjedtebb a saroknyom elnevezés, ezért a továbbiakban mi is ezt használjuk. (A forma leírását lásd később.) A saroknyomok vizsgálata megkülönböztetett figyelmet érdemel, mivel a megfigyeléseink arra utalnak, hogy más karros formák (karrvályúk, kamenyicák) elsősorban saroknyomokból fejlődnek ki, de azért is, mert fejlődésük a karbonátos lejtők kezdeti, felületi leoldódásával szoros kapcsolatban lehet.

A dolgozat alapját azok a terepi vizsgálatok képezik, amelyeket a Totes-Gebirgeben, magashegységi expedíciók keretében folytattunk.

Kutatásunk célja olyan - a saroknyomok méreteiből álló - adattömeg létrehozása, amelynek elemzésével a saroknyomok fejlődése, valamint a fejlődésüket meghatározó tényezők leírhatók. A saroknyomok fejlődésének feltárásával a karbonátos lejtők lepusztulási, fejlődési sajátosságaihoz kívánunk adatokkal szolgálni.

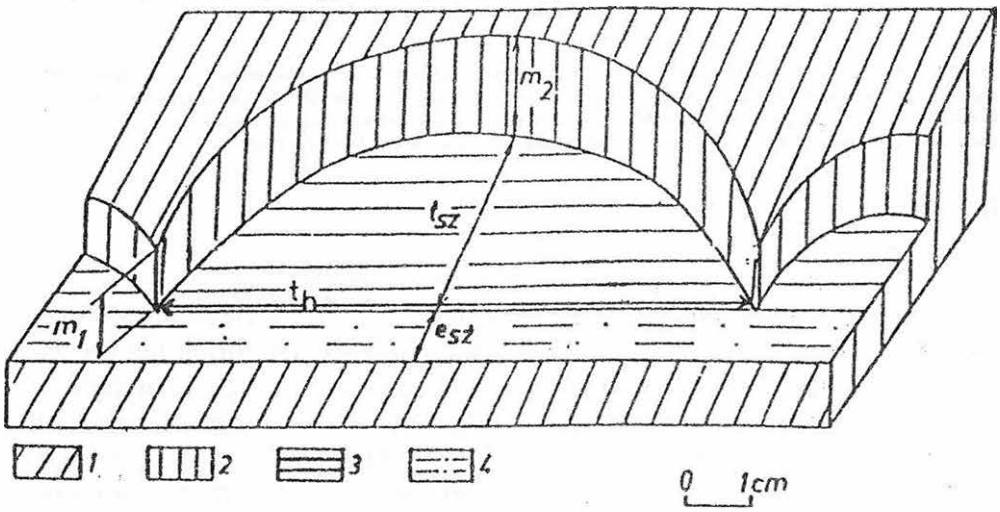
A Totes Gebirge karsztjának kutatásával ezidáig is sokan foglalkoztak. *LEHMANN O.* már 1927-ben végzett ezen a területen karsztmorfológiai vizsgálatokat, *GEYER G.* geológiai kutatásait alapul véve. Munkájában bemutatja a tektonika és a kőzetminőség, valamint a karsztformák közötti összefüggéseket (*GÖTZINGER, G.* 1949). Ezt követően 1946-47-ben *LECHNER, J.* és *GÖTZINGER, G.* végzett kutatásokat, de fenti kutatók is elsősorban a barlangokkal, valamint a hegység karszthidrográfiájával foglalkoztak (*LECHNER, J.* 1949).

BÖGLI, A. (1960) az általunk vizsgált saroknyomokat a fedetlen karsztfelszíneken kialakuló ún. szabad-karrok közé sorolja. Ugyanakkor egy

felosztás szerint (*VERESS M.*, 1995) a felületi leoldódás során kialakuló formák közé tartoznak.

A saroknyomok morfológiája és genetikája

A karros formakinccsel foglalkozó, német nyelvű szakirodalomban gyakran találkozhatunk a *Fußtritte* ill. *Trittenkarr* elnevezéssel, amelyet leginkább lépéskarrnak fordíthatnánk. E tanulmányok azonban jobbára csak a forma leírására szorítkoznak (*BAUER, F.* 1958) A hazai irodalomban is csak az

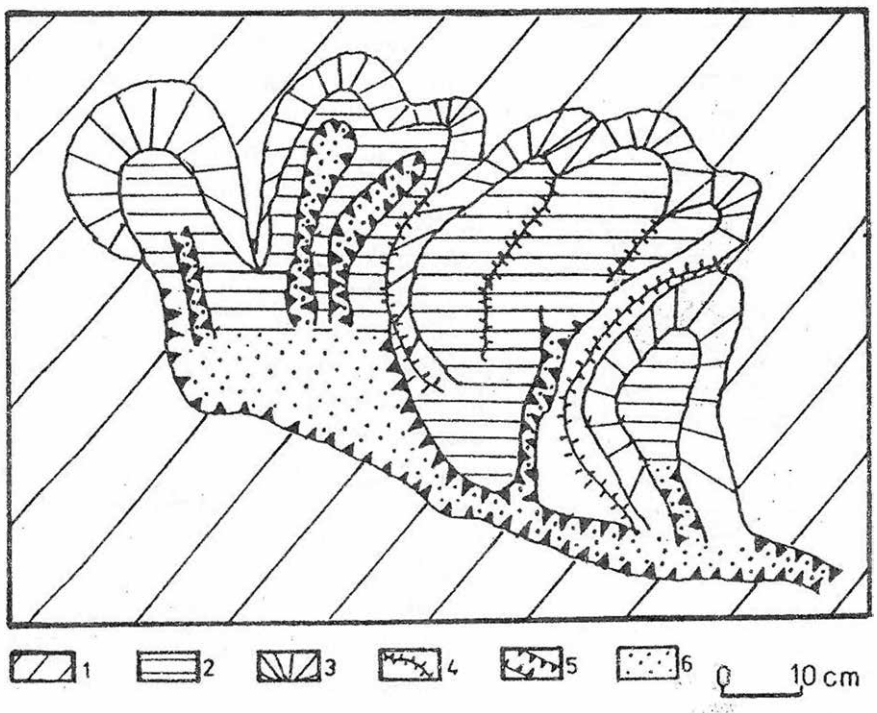


1. ábra. A saroknyom részei (VERESS M.-LAKOTÁR K. nyomán 1995)
Jelmagyarázat: 1. lejtő, 2. sarok, 3. talp, 4. előtér, m_1: sarok legkisebb magassága, m_2: sarok legnagyobb magassága, t_{sz}: talp legnagyobb szélessége, t_h: talp legnagyobb hosszúsága, e_{sz}: előtér szélessége
Figure 1: Parts of trittkarrens (M. VERESS. - K. LAKOTÁR 1995)
Legends: 1. Slope, 2. Corner, 3. Sole, 4. Foreground, h_1: smallest height of corner, h_2: greatest height of corner, s_w: greatest width of sole, s_l: greatest length of sole, f_w: width of foreground

utóbbi időben került e karrtípus bevezetésre (*BALÁZS D.* 1990). A saroknyom karrok részletes morfológiai leírását és morfogenetikai csoportosítását elsőként *VERESS M.-LAKOTÁR K.* (1995) végezték el. A saroknyomformák három részre - sarok, talp, előtér - különíthetők (*1. ábra, VERESS M. - LAKOTÁR K.* 1995).

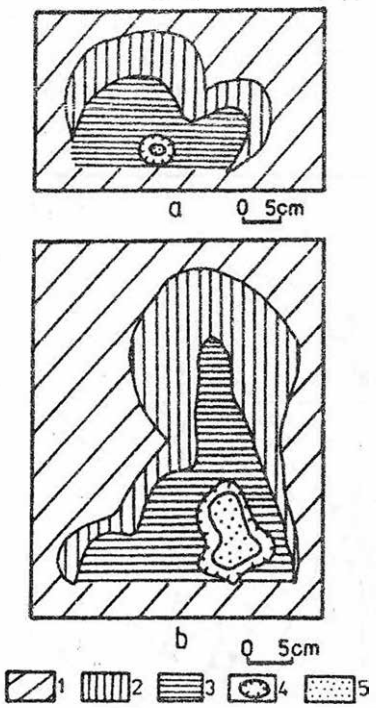
A sarok és a lejtő metszésvonala (amely valamennyi képződménynél megfelel a felülnézeti képnek) többnyire ívelt. Ilyenkor az ív szárai a hordozólejtő irányába mutatnak. A sarok magassága a hordozó lejtő meredekségének növekedésével egyre nagyobb: 40°-os dőlésszögű lejtőnél átlagosan 12 cm, míg 10°-os lejtőszög esetében átlagosan csak 3,2 cm. A sarok magassága a sarok közepén a legnagyobb, az oldalsó részen csökken, fokozatosan belesimul környezetébe. A sarok íves felületei alsó végükön esetenként teljesen megközelíthetik egymást. Az ívek lehetnek a lejtő csapásával, vagy erre

merőlegesen megnyúltak. Az ívek össze is kapcsolódhatnak (kis dőlésű hordozólejtőn egymás mellett, szinte egy vonal mentén több sarok is megfigyelhető). Az ívek összekapcsolódási helyei hegyesek vagy lekerekítettek. Oldalnézetben a sarok lehet sík, leggyakrabban azonban homorú. Előbbi esetben a talp és a sarok határa éles, utóbbi esetben átmenete a talpba fokozatos.



2. ábra. Karrvályukhoz kapcsolódó saroknyomok.
Jelmagyarázat: 1. lejtő, 2. saroknyom, 3. sarok, 4. sarokrészek közti karrgerinc-maradvány, 5. karrvályú talpa
Figure 2: Trittkarrens belonged to karren trough
Legends: 1. Slope, 2. Trittkarren, 3. Corner, 4. Karrencrest-remain between parts of corners, 5. Sole of karren trough

A talp alakját a sarok határozza meg. A talp legtöbb esetben a lejtő csapásirányában megnyúlt, ettől csak 25°-os dőlésű lejtők formáinál van eltérés: itt a talp szélessége nagyobb, mint a hosszúsága, azaz dőlésirányban megnyúlt. A talp dőlésszöge a legtöbb formánál 0°. Vannak azonban olyan saroknyomok is, amelyeknél ez a dőlésszög nagy. Ezek a saroknyomok több esetben karrvályúhoz kapcsolódnak, a már fent leírt módon. A megfigyelések arra utalnak, hogy a talp szélessége és a hordozólejtő meredeksége között szoros kapcsolat van. Kis dőlésszögű hordozólejtőn a képződmények talpa széles. Minél meredekebb viszont a hordozólejtő, a talp annál keskenyebb.



3. ábra. Kamenyica a saroknyom talpán. Jelmagyarázat: 1. lejtő, 2. sarok, 3. saroknyom talpa, 4. kamenyica oldalfala, 5. kamenyica talpa
Figure 3. Kamenitza on the sole of trittkarren Legends: 1. Slope, 2. Corner, 3. Sole of trittkarren, 4. Sidewall of kamenitza, 5. Sole of kamenitza

Egyes saroknyomoknál előtér is megfigyelhető. Előtérnek tekinthetjük azt a lejtőrészt, amely változatlan lejtőszög mellett a sarok ívén túl is folytatódik. Az előtér elsősorban a kis dőlésű hordozólejtőn képződött saroknyomoknál fejlődött ki. Nagyobb lejtőszögnél már egyáltalán nem, vagy csak alig felismerhető ill. mérhető. Megléte arra utal, hogy a talp alatti lejtőrész nem ugyanolyan ütemben oldódik le mint amilyen ütemben a talp mélyül.

A saroknyomok méretbeli változatosságát érzékelteti az a megfigyelés, hogy még ugyanazon a hordozólejtőn elhelyezkedő hasonló alakú saroknyomok között sem találunk két teljesen egyforma méretű képződményt. Ennek az lehet az oka, hogy egy nagyobb méretű saroknyom esetében a hordozólejtőnek az a része, ahol a forma elhelyezkedik, hosszabb ideje ki van téve az oldási folyamatoknak, mint az a lejtőrész, ahol az előbbinél kisebb, de ugyanolyan karakterű forma található. Ezért ugyanazon a lejtőn két hasonló alakú saroknyom közül a kisebb méretű a fiatalabb, a nagyobb méretű az idősebb képződmény. Ugyanis nincs okunk feltételezni, hogy a képződési sebességek ugyanazon lejtőrészen, néhány centiméteres távolságon belül eltérőek lennének. Azonban vannak olyan saroknyomok egyazon hordozólejtőn, amelyek egyik paraméterüket (pl. a talpszélességet) tekintve egyformák, tehát azonos korúaknak tekinthetők, viszont sarokmagasságuk pl. különböző. Ez csak azzal magyarázható, hogy egy képződményen belül az egyes lejtőrészletek eltérő sebességgel fejlődhetnek.

Az irodalmi adatok (*BÖGLI, A.* 1960; *PFEFFER, K-H.* 1978), de saját megfigyeléseink is azt bizonyítják, hogy a saroknyomok karrosodás által alig, vagy egyáltalán nem tagolt, réteglapos sziklafelszínek gyakori, változatos formái. A lejtők dőlése, amelyeken a formák elhelyezkednek, 10° és 70° között változik. Ennél kisebb ill. nagyobb dőlésű lejtőkről hiányoz-

nak. Gyakran kapcsolódnak karrvályúkhoz, illetve gyakran kamenyica figyelhető meg a saroknyom talpán (*2., 3/a* és *3/b. ábra*).

A saroknyom kialakulása arra vezethető vissza *VERESS M.-LAKOTÁR K.* (1995) szerint, hogy a lejtős felszín helyenként nagyobb mértékben oldódik, mint máshol. A leoldódás iránya a lejtős felületen közel vízszintes és a lejtőre nem merőleges. (Az oldódási irányt a talp helyzete adja meg.) A vízszintes irányú oldódás következtében függőleges felület képződik, amely önmagával párhuzamosan hátrál.

Az adatgyűjtés módszere

Az általunk vizsgált formák felmérését az Albert-Appel-Haus és a Pühringer-Hütte nevű menedékházakat összekötő 201 sz. turistaút mentén, a Widerkar-csúcs keleti karrlejtőjén, kb. 1900 m tszfm-ban végeztük el.

A saroknyomok paramétereinek mérése lejtőszögmérő és mérőszalag - az ívelt felületeknél mérőzsinór - felhasználásával történt. Ezzel a módszerrel 280 képződmény adatait mértük le, összesen hét különböző dőlésszögű hordozólejtőn. A 280 képződmény közül 244 adatait használtuk fel (azokét ti., amelyek nem kapcsolódnak más karrformákhoz).

A különböző saroknyomoknak a következő adatait mértük meg (*1.ábra*):
- az adott képződményt hordozó lejtő dőlésszöge,
- a sarok magassága (a sarokrésznél létrejött lejtőszakasz hosszát értjük ezen),
- a sarok dőlésszöge,
- a talp dőlésszöge,
- a talp hosszúsága,
- a talp szélessége, (az előzőre merőleges távolság)
- a sarok ívének hosszúsága (a sarok felső vége és a képződmény felett húzódó lejtőszakasz metszésvonalának hossza),
- az előtér szélessége (csak a 10° ill. 20°-os lejtőkön található formák esetében meghatározó).

Az adatok kiértékelése és a képződmények fejlődésére vonatkozó okfejtés során az alábbi törvényszerűségeket vettük alapul:
- azoknál a képződményeknél, ahol előtér van, a talp mélyülése megy végbe, a talp szélesedik (ennek másodlagos következménye a sarok magasságának kismértékű növekedése);
- a sarok hátrálása miatt nő a sarok magassága és ennek másodlagos következménye szintén a talp kismértékű szélesedése;
- kis dőlésű hordozólejtőn a sarok nagymértékű hátrálása sem eredményezi a sarok magasságának ugyanolyan mértékű növekedését, viszont meredekebb

hordozólejtőn a sarok kismértékű hátrálása is nagyarányú sarokmagasság-növekedéssel jár;
- a sarok középső részének magasságnövekedése a sarok ívhosszának növekedését eredményezi;
- ugyanezt okozza a sarokdőlés csökkenése, ha a sarokmagasság a sarok középső részén lényegesen nem változik;
- valamint a talpszélesség növekedése, ha sarok nem válik számottevően meredekebbé;
- a talp hosszúsága nem befolyásolja az ívhossz alakulását;
- a talp mélyülése okozza a talp alatti lejtőrész fölemésztődését, így alakul ki ui. az előtér, amelynek jelenléte tehát a talp teljes szélességében végbemenő leoldásra utal;
- a talp alatti lejtőrész lepusztulása az előtér kialakulása ill. növekedése ellen ható folyamat, az előtér hiánya tehát a lejtő lepusztulására is utal, de jelzi azt is, hogy a talp területén nincs, vagy csak kis mértékű az oldás.

Az adatok értékelése

Kis dőlésszögű (10°, 12°, 15° és 20°-os) hordozólejtőn

10°-os, 12°-os, 15°-os és 20°-os dőlésű hordozólejtőkön összesen 75 képződményt mértünk fel. A kis lejtésű térszínek saroknyomainak adatai (*I., II., III., és IV. táblázat*) alapján megállapíthatók a következők:
1. a sarokrész valamennyi képződménynél kis magasságú,
2. a legtöbb formánál mérhető a saroknyomok előtere,
3. a talp szélessége ezen hordozólejtő saroknyomainál nagyon változatos,
4. nagy talpszélességhez nem minden esetben tartozik nagy sarokmagasság és fordítva.

A képződmények fejlődése a következőképpen mehet végbe:
- a talp szélességének növekedésével a sarok hátrál;
- eközben magassága nem, vagy csak alig változik, ennek oka egyrészt a hordozólejtő kis dőlésszöge, másrészt a sarok feletti lejtőrész lepusztulása;
- a talp önmagával párhuzamosan is mélyül, eközben felemészti az alatta lévő lejtőrészletet, így alakul ki és lesz egyre nagyobb az előtér;
- a talp alatti lejtőrész is lepusztulhat önmagával párhuzamosan, mert esetenként az előtér kicsi vagy teljesen hiányzik.

I. táblázat. 10°-os dőlésű hordozólejtő saroknyomainak adatai
Table I. Data of trittkarrens on 10° piching slopes

sarokdőlés /°/ corner piching /°/	talpdőlés /°/ piching of sole /°/	sarokmagasság /cm/ height of corner /cm/	talpszélesség /cm/ width of sole /cm/	talphossz /cm/ length of sole /cm/	ívhossz /cm/ arc length /cm/	előtérszélesség /cm/ foreground width /cm/
30	0	1,5	6	13	17	4
35	1	1,7	5	16	21	7
25	1	2	3	7	6	-
50	0	2	15	21	31	10
35	6	2	5	11	18	3
40	0	2	8	11	10	-
42	2	2,5	16	24	49	-
40	2	2,5	10	23	39	27
48	0	2,5	10	16	26	9
30	0	3	2	5	5	-
31	0	3	5	11	8	-
30	0	3	1	9	11	20
32	1	3	10	22	30	6
11	18	3	-	-	-	-
30	2	3,5	3,5	11	16	4
50	4	3,5	5	15	20	4
32	0	4	5,5	21	29	7
32	2	4	5	19	21	7
32	0	4	4	12	17	14
36	0	4	1	9	10	20

II. táblázat. 12°-os dőlésű hordozólejtő saroknyomainak adatai
Table II. Data of trittkarrens on 12° piching slopes

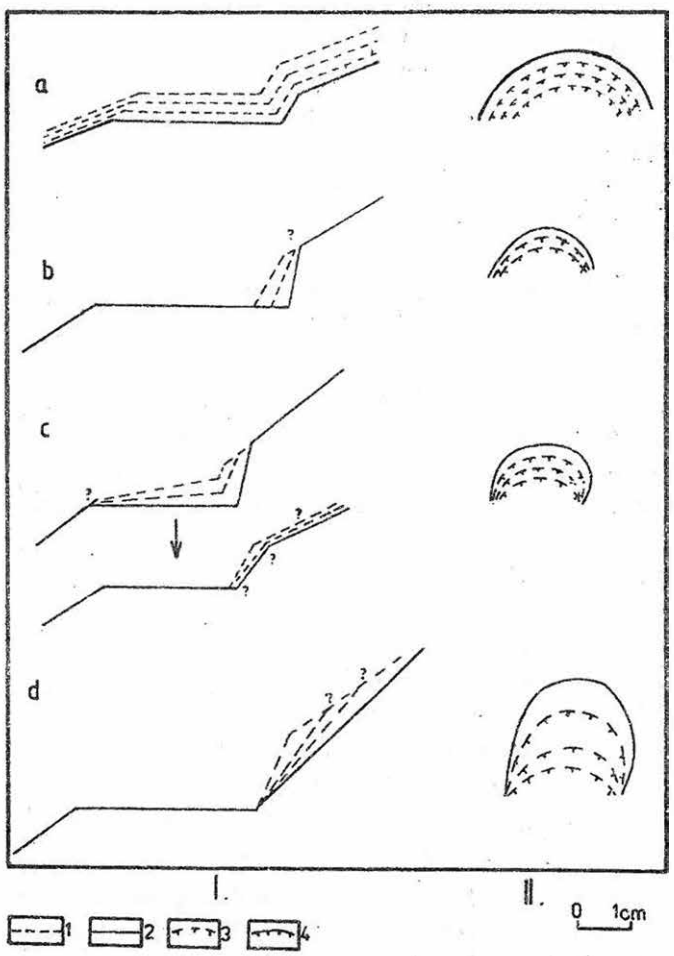
sarokdőlés /°/ corner piching /°/	talpdőlés /°/ piching of sole /°/	sarokmagasság /cm/ height of corner /cm/	talpszélesség /cm/ width of sole /cm/	talphossz /cm/ length of sole /cm/	ívhossz /cm/ arc length /cm/	előtérszélesség /cm/ foreground width /cm/
50	0	1	9	8	38	13
45	0	2	6,5	12	24	17
45	0	2,5	6	14	28	7
50	0	2,5	15	16	46	-
40	0	3	4	3	23	-
42	0	3	11	11	36	32
42	0	4	10	10	30	-
48	0	4,5	11	11	44	18
54	0	4,5	7	15	28	12
55	0	5	9	18	30	18
45	0	6	15	16	56	-
50	0	6	8	9	33	-
45	0	6	8	16	34	-
42	0	6,5	14	16	51	14
45	0	7	8	12	38	-
75	1	7	12	5	35	-
43	1	7	17	10	32	10

III. táblázat. 15°-os dőlésű hordozólejtő saroknyomainak adatai
Table III. Data of trittkarrens on 15° piching slopes

sarokdőlés /°/ corner piching /°/	talpdőlés /°/ piching of sole /°/	sarokmagasság /cm/ height of corner /cm/	talpszélesség /cm/ width of sole /cm/	talphossz /cm/ length of sole /cm/	ívhossz /cm/ arc length /cm/	előtérszélesség /cm/ foreground width /cm/
55	0	1	6	13	18	18
58	0	2	7	12	15	-
45	0	2	2	7	9	5
50	0	2	5	16	20	10
35	0	2	7	13	18	5
55	0	2	6	18	35	10
40	0	2,2	4	9	10	5
35	0	2,5	4	8	9	10
58	0	3	8	18	35	-
50	0	3	4	10	22	-
48	2	3	4	11	20	-
55	2	3	3	9	24	5
55	0	3	7	15	26	-
40	0	3	2	7	16	10
45	2	3	1,5	5	15	16
50	0	3,5	16	18	60	16
50	0	3,5	211	14	29	30
50	0	4	12	15	35	10
45	0	4	4	12	19	20
45	0	4	4	12	15	15
45	0	5	6	15	18	15
45	0	5	5	10	10	8
45	0	5	8	12	20	5
40	0	5	5	19	35	20
42	0	5	5	13	18	-
50	3	5	4	13	28	7
32	0	6	5	9	22	2
42	0	6	7	8	42	15
19	0	6	11	19	46	6

IV. táblázat. 20°-os dőlésű hordozólejtő saroknyomainak adatai
Table IV. Data of trittkarrens on 20° piching slopes

sarokdőlés /°/ corner piching /°/	talpdőlés /°/ piching of sole /°/	sarokmagasság /cm/ height of corner /cm/	talpszélesség /cm/ width of sole /cm/	talphossz /cm/ length of sole /cm/	ívhossz /cm/ arc length /cm/	előtérszélesség /cm/ foreground width /cm/
45	1	0	6	16	24	3
50	0	0	5	17	27	3
40	0	0	8	17	30	8
42	0	1	7,5	15	28	-
30	3	1	8	13	23	7
42	4	2	4	12	36	-
30	0	2	3	12	20	8
42	5	3	8	15	39	9
48	0	3	9	15	30	1
45	0	3	9	16	28	-
52	1	3	8	16	32	12
50	0	3,5	15	9	64	12
52	0	3,5	4	12	20	10
48	0	4	3	10	19	10
50	0	4	1,5	11	20	10
60	0	4	4	9	30	14
30	0	4	4	11	23	15
38	4	4,5	5	16	29	1
40	2	5	6	17	30	2
42	8	5	4	20	35	3
50	0	5	9	29	45	12
50	1	5	3	12	21	7
48	0	5	2	14	32	14
40	0	5	4	14	24	14
58	0	5	3	7	30	11
52	1	5	4	15	36	0
53	0	5	5	13	35	9
48	2	5,5	4	12	30	5
45	0	5,5	5	118	40	5
52	1	6	4	12	29	9
52	0	6	7	14	30	17
50	0	6	5	12	28	18
48	1	6	8	18	38	10
48	0	6	8	18	35	10
47	0	6	7	19	38	23
50	0	6	13	18	45	0
52	0	6	14	18	52	8
40	0	7	7	14	30	5
48	0	7	7	11	38	0



4. ábra. A különböző dőlésű hordozólejtők képződményeinek fejlődése. I. oldalnézet, II. felülnézet, a. kisdőlésű hordozólejtő, b. 25°-os dőlésű hordozólejtő, c. 30°-os dőlésű hordozólejtő, d. 40°-os dőlésű hordozólejtő, 1. oldással már lepusztult mészkőfelszínrészlet, 2. oldással még nem lepusztult mészkőfelszín részlet, 3. korábbi sarokív, 4. jelenlegi sarokív.

Figure 4: Development of formations on different pitching slopes
I. profile view, II: view from above
a: small pitching slopes, b: 25° pitching slopes
c: 30° pitching slopes, d: 40° pitching slopes
Legends: 1. Limestone surface part already eroded with solution, 2. Limestone surface part still not eroded with solution, 3. Former corner arc, 4. Actual corner arc

Mindez csak úgy lehetséges, ha az oldás nemcsak a képződmény egészén (tehát mind a talp, mind a sarok teljes területén), hanem a környezetében, vagyis a hordozólejtőn is végbemegy. A sarok feletti lejtőrész leoldódását és egyben lepusztulását igazolja az, hogy a sarok magassága nem növekedik számottevően, mint azt a fentiekben láthattuk. Bizonyos esetekben hiányozhat, ill. alig mérhető az előtér, ez pedig a talp alatti lejtőrész leoldódásának és egyben lepusztulásának a következménye (*4. ábra*).

25° -os dőlésszögű hordozólejtőn felmért saroknyomok

25°-os dőlésű hordozólejtőn összesen 65 képződményt mértünk fel. A fenti meredekségű hordozólejtőkön kialakult saroknyomokat az alábbiak jellemzik (*V. táblázat*):

1. előtér a legtöbb esetben nem mérhető ill. kis kiterjedésű,
2. nagy talpszélességhez általában nagy sarokdőlés ill. kis talpszélességhez kis sarokdőlés tartozik,
3. nagy talpszélességhez nagy ívhossz, ill. kis talpszélességhez kis ívhossz tartozik,
4. nagy sarokmagassághoz nagy ívhossz, ill. kis sarokmagassághoz kis ívhossz tartozik,
5. a talp ill. az ív hosszúsága között nincs összefüggés, a talphossz változása nem befolyásolja az ívhossz alakulását.

Ezek alapján egy képződmény növekedése felülnézetben úgy adható meg, hogy a talp szélesedése során a sarok egyre íveltebb lesz. Ez arra vezethető vissza, hogy a sarok oldódásos eredetű hátrálása a kialakuló ív középső részén a legnagyobb mértékű. Oldalnézetben a saroknyom fejlődése során a sarok egyre meredekebb lesz. Mivel előtér csak alig mérhető a 25°-os dőlésű hordozólejtő képződményeinél, megállapíthatjuk, hogy a talp mélyülése már nem olyan intenzitású, mint a kisdőlésű hordozólejtőkön. Vagyis az oldás nem az egész lejtőrészleten (ideértve a saroknyom környezetét is) történik, hanem szinte csak a saroknyom területére koncentrálódik (*4. ábra*)

30°-os lejtésű térszíneken felmért saroknyomok

30°-os dőlésű hordozólejtőn összesen 27 képződményt mértünk fel. A terepi felmérések során a következőket figyeltük meg:

1. a talp szélessége ennél a hordozólejtőnél a legkevésbé változatos,
2. előtér alig, vagy egyáltalán nem mérhető,
3. a talp a legtöbb esetben nem vízszintes, hanem enyhén dől.

V. táblázat. 25°-os dőlésű hordozólejtő saroknyomainak adatai
Table V. Data of trittkarrens on 25° piching slopes

sarokdőlés /°/ corner piching /°/	talpdőlés /°/ piching of sole /°/	sarokmagasság /cm/ height of corner /cm/	talpszélesség /cm/ width of sole /cm/	talphossz /cm/ length of sole /cm/	ívhossz /cm/ arc length /cm/	előtérszélesség /cm/ foreground width /cm/
34	0	18	18	10	80	6
35	0	17	18	10	90	-
38	0	10	12	10	60	-
38	0	10	3	4	50	-
38	0	10	2	2	28	-
38	0	11	6	7	42	-
39	-	11	4	-	72	-
39	-	12	24	6	100	-
40	0	23	4	4	70	-
40	0	5	6	5	28	-
40	-	8	10	7	25	5
40	-	10	4	-	35	4
40	0	6	7	10	26	-
40	0	5	15	8	30	15
42	0	9	7	12	22	9
42	0	8	12	10	44	-
42	0	14	37	7	110	-
42	0	10	8	7	55	60
43	0	16	24	8	100	10
43	2	5,50	9	21	29	-
43	9	4,50	7	16	27	-
44	6	4	9,50	19	31	-
44	7	7	4,50	13	16	3
44	8	8	2	10	13	-
44	6	7	9	22	30	-
44	12	11	8	25	33	-
44	4	15	3	13	18	13
44	9	13	4	11	17	13
45	4	12	7	27	26	-
46	10	10	1	10	11	-
46	1	10	10	27	35	7

sarokdőlés /°/ corner piching /°/	talpdőlés /°/ piching of sole /°/	sarokmagasság /cm/ height of corner /cm/	talpszélesség /cm/ width of sole /cm/	talphossz /cm/ length of sole /cm/	ívhossz /cm/ arc length /cm/	előtérszélesség /cm/ foreground width /cm/
48	1	18	11	16	24	9
49	7	7,5	2	10	14	7
50	8	4	10	25	26	-
50	8	8	8	18	29	-
50	6	9	11	13	28	2
50	8	8	2	10	16,5	3
50	1	22	9	18	30	17
50	-	7	-	-	28	-
50	9	7	3,5	17	22	8
50	9	6	1	8	9	12
50	8	6	2	9	20	6
50	4	5	5	20	25	10
52	4	9	10	15	32	7
52	3	14	6	14	16	16
52	1	13	4	10	15	17
52	9	10	5	16	21	8
53	7	7	1	8	8	11
54	7	7	4	17	19	-
54	0	10	9	5	63	11
55	0	5	5	8	20	-
56	0	3	3	8	20	-
58	0	5	4	9	22	-
58	0	5,5	7	9	20	-
58	0	3	4	11	20	-
58	0	4	5	12	23	-
60	2	6	12	5	18	-
60	4	3	13	8	20	-
60	0	4,5	14	9	27	16
60	1	6	12	5	14	9
60	0	3,5	9	3	11	13
60	6	6	10	3	15	-
62	7	5	9	4	13	-
70	7	4	9	4	10	-

VI. táblázat. 30°-os dőlésű hordozólejtő saroknyomainak adatai
Table VI. Data of irittkarrens on 30° piching slopes

sarokdőlés /°/ corner piching /°/	talpdőlés /°/ piching of sole /°/	sarokmagasság /cm/ height of corner /cm/	talpszélesség /cm/ width of sole /cm/	talphossz /cm/ length of sole /cm/	ívhossz /cm/ arc length /cm/	előtérszélesség /cm/ foreground width /cm/
46	13	7	4	9	30	-
46	11	15	5	6	50	-
50	11	8	2	6	30	-
54	10	10	4	10	35	6
45	10	9	4	7	30	-
44	10	7	6	9	28	5
48	9	9	2	7	45	6
38	8	14	8	12	43	-
40	8	12	7	13	48	-
48	8	14	4	6	30	-
50	8	8	2	6	30	-
50	7	8	2	6	28	2
38	6	15	7	16	10	4
40	6	6	2	9	30	2
46	6	13	4	16	25	-
40	5	7	6,50	14	18	-
30	5	3	5	12	20	5
50	5	6	4	12	30	5
40	4	6	8	20	55	2,5
50	4	20	8	24	20	4
28	4	7	4	13	34	5
44	4	25	4	21	70	-
36	3	30	5	17	62	-
35	2	20	12,50	10	55	4
60	0	11	5	8	18	-
37	0	6	5	15	21	-

VII. táblázat. 40°-os dőlésű hordozólejtő saroknyomainak adatai
Table VII. Data of trittkarrens on 40° piching slopes

sarokdőlés /°/ corner piching /°/	talpdőlés /°/ piching of sole /°/	sarokmagasság /cm/ height of corner /cm/	talpszélesség /cm/ width of sole /cm/	talphossz /cm/ length of sole /cm/	ívhossz /cm/ arc length /cm/	előtérszélesség /cm/ foreground width /cm/
58	0	13	8	11	38	4
50	0	14	7	11	40	4
50	10	6	9	10	42	8
50	0	19	7	10	50	-
50	0	23	10	4	62	-
50	0	8	7	12	35	-
48	0	5	9	10	26	-
48	12	9	7	10	38	-
48	12	10	8	10	40	7
45	2	10	7	10	48	5
45	0	6	3	4	9	-
42	-2	17	5	10	48	5
42	0	13	5	5	30	-
40	0	11	6	16	35	-
40	0	28	7	13	70	-

Ezen lejtőtípus képződményeinél a legnehezebb összefüggéseket találni az egyes saroknyomok különböző elemeinek méretei között, amelyek az alábbiak (*VI. táblázat*):

1. nagy sarokmagassághoz *általában* nagy talpszélesség ill. kis sarokmagassághoz kis talpszélesség tartozik,
2. minél magasabb a sarok, annál nagyobb a sarok ívének a hossza,
3. meredekebb sarokhoz *általában* alacsonyabb sarok tartozik és fordítva,
4. a sarok ívének hossza nem növekedik egyértelműen a talp hosszúságának a növekedésével.

A talp szélességének növekedésével a sarok ugyan hátrál, de nem annak teljes kiterjedésében. A legtöbb esetben egyre magasabb és egyre íveltebb lesz. Akkor, ha a talp szélességének növekedése nem jár együtt a sarok magasságának növekedésével, valószínű, hogy a sarok feletti lejtőrészlet leoldódása is végbemegy. Ez eredményezheti azt is, hogy a sarok nem válik egyre meredekebbé, mint ahogy az néhány saroknyom adataiból látszik. Az előtér hiányából arra következtethetünk, hogy a talp már nem teljes kiterjedésében mélyül, az oldás intenzitása a sarok felé erőteljesebb. Ez néhány képződmény esetében azt okozhatja, hogy a sarok hátrálásával együtt a talp is ellankásodik.

30-°os lejtőn az oldódás elsősorban a saroknyom területére koncentrálódik. Valószínűleg saroknyom területén a leoldódás a sarok alsó (talphoz közelebb eső részén) és felső, valamint a talp felső (a sarokhoz közelebb eső) részén történik (*4. ábra*).

40°-os dőlésű lejtőn felmért saroknyomok

40°-os dőlésű hordozólejtőn összesen 15 formát mértünk fel. A nagy lejtésű térszínek saroknyomainak adatai (*VII. táblázat*) alapján megállapítható, hogy:

1., a talprész hossza átlag 9.73 cm (15 saroknyom közül 7-nél 10 cm), a talp hossza változatlannak tekinthető,
2., a talprész szélességének átlaga 7 cm,
3., a talp dőlése a legtöbb esetben 0°,
4., előtér alig vagy egyáltalán nem mérhető,
5., átlagosnál nagyobb ill. kisebb sarokmagassághoz az átlagosnál nagyobb ill. kisebb ívhossz tartozik,
6., nagy sarokmagassághoz általában kis sarokdőlés tartozik és fordítva,
7., kis sarokdőléshez általában nagy ívhossz tartozik.

A képződmények fejlődése a következőképpen mehet végbe:

A 4. pontban leírtak valószínűsítik, hogy ezen a lejtőtípuson a talp mélyülése nem számottevő. Az 1. és a 2. pont alapján biztosnak látszik az, hogy a

sarok hárálása sem jelentős. Vagyis az oldás a talprészen nem jellemző. A képződmény fejlődése során a sarok felső része leoldódik. Ezáltal nő a sarok magassága és a csökken a sarok dőlésszöge. Miután az oldódás főleg a sarok középső részén történik a sarok íve egyre hosszabb lesz. A fentebb kifejtett oldódási folyamat eredményeként a sarok feletti lejtőrész lepusztul és ez a lepusztult lejtőrész a továbbfejlődő saroknyom sarokrészét képezi. Tehát a nagyobb dőlésű (40°-os) hordozólejtők saroknyomainál a sarokrész fokozatos ellankásodása megy végbe, a sarok és a lejtő közötti éles átmenet egyre inkább eltűnik.

Mindez csak úgy lehetséges, hogy e saroknyomok fejlődése során az oldás a sarokrész felső ill. középső szakaszára koncentrálódik, a lejtőrészlet más szakaszain a leoldódás nem jelentős (*4. ábra*).

Összegzés

1. A saroknyomok az egységes, tagolatlan lejtő oldódásos eredetű, kezdeti (primer) feltagolódása során keletkeznek.
2. A különböző lejtőkön kialakult saroknyomok méreteinek összehasonlításával a hordozólejtő oldásos eredetű lepusztulása rajzolható meg. Eszerint a lejtőszög növekedésével az oldás a lejtő mentén egyre lokalizáltabb lesz.
3. A saroknyomok esetében a karrosodás folyamatát leginkább meghatározó tényező a formát hordozó lejtő dőlése. Kis lejtőszögnél a már kialakult formák stabilizálódnak, alakjuk megtartása mellett egyre nagyobbak lesznek. Nagyobb lejtőszög esetén a saroknyomok alakja a kialakulási kor függvényében változhat (a sarokrész ellankásodik). A kialakult formák kevésbé stabilak, mivel a talpuk feletti lejtőrész (sarok) részleges leoldódása miatt fokozatosan belesimulnak környezetükbe. Nagy dőlésszögű lejtőkön a saroknyomok jelenléte valószínűleg az egyes képződmények gyors újraképződésével hozható kapcsolatba.

IRODALOM

BALÁZS D. (1990): Karrformák-karregyüttesek - Karszt és Barlang II. p. 117-122.

BAUER, F. (1958): Nacheiszeitliche Karstformen in den österreichischen Kalkhochalpen - Internat. Kongress für Spaleologie Bari, p. 299-328.

FÜLÖP J. (1989): Bevezetés Magyarország geológiájába, 246 p.

GÖTZINGER, G. (1949): Neue karst- und quellengeologische Forschungen im Toten Gebirge - Protokoll, der 3. o. Versammlung d. Höhlenkomission Wien, p. 32-33.
LECHNER, J. (1949): Über Höhlen und andere Karstformen im Toten Gebirge - Protokoll d. 4. o. Vollversammlung d. Höhlenkomission Werfen, p. 33-38.
PFEFFER, K-H. (1978): Die Auspragung der Einzelformen - Karstmorphologie, p. 58-64.
VERESS M. (1995): Karros folyamatok és formák rendszerezésének szempontjai Totes Gebirge-i példák alapján - Karsztfejlődés I. p. 7-31.
VERESS M.-LAKOTÁR K. (1995): Saroknyomkarrok morfogenetikai csoportosítása Totes Gebirge-i példák alapján - Karsztfejlődés I. p. 89-103.

KARSZTFEJLŐDÉS II. (Totes Gebirge karrjai)
Szombathely, 1998. pp. 169-190.

KARSZTOS MÉLYEDÉSEK MORFOMETRIAI VIZSGÁLATA A TOTES - GEBIRGÉBEN

SZABÓ LEVENTE

Berzsenyi Dániel Tanárképző Főiskola, Természetföldrajzi Tanszék, 9700 Szombathely, Károlyi Gáspár tér 4.

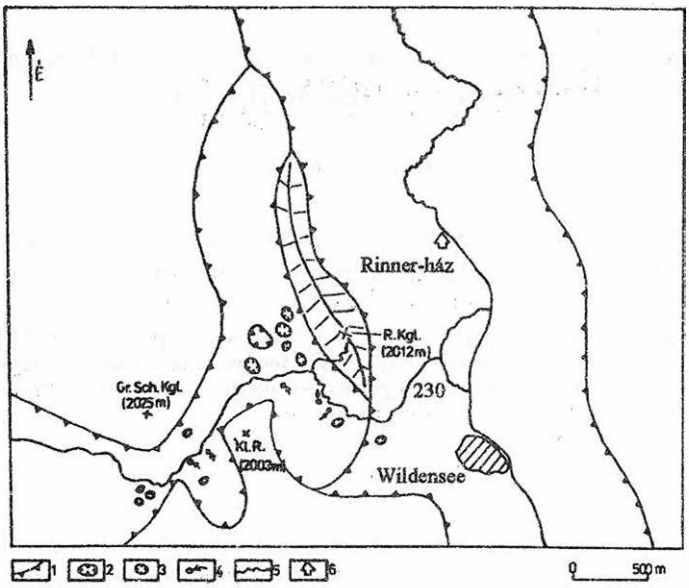
Abstract: The morphology of karstic depressions are very different on the high mountains. We made comparison the forms of some surfaces with their different height, vegetation and geomorphological type. 253 forms were measured. 11 types of forms were separated and there were connections beetween the frequency of each forms and the different types of examined surfaces.

Bevezetés

Magashegységi karsztterületek formakincséről már számos leírás készült, azonban a szerzők többnyire egy-egy terület komplex morfológiai értékelésére törekednek (*WILLIAMS* 1996, *KUNAVER* 1983). Jelen, a Totes-Gebirgében végzett felmérések alapján készült feldolgozás elsősorban egyes formákat - a lefolyástalan karsztos mélyedéseket - állítja a vizsgálat középpontjába. Ezen formák az alapvető morfológiai hasonlóság mellett jelentős mértékű alakrajzi és méretbeni változatosságot mutatnak.

Célszerűnek tűnt egy olyan, általános morfometriai felvételezés, amely lehetőleg minden formatípust, s azoknak lehetőleg minél többféle területen való előfordulását bemutatja. Elképzelésünk szerint az így nyert adatmennyiség statisztikai feldolgozása során egyrészt pontosabb képet kaphatunk az egyes formatípusokról, másrészt (a formák térbeli eloszlása, méretei és egyéb tulajdonságai alapján) a felszíni karsztosodás különbözőségeit tükröző területtípusokat különíthetünk el. Esetleg a karsztosodási folyamatot - s így egy-egy terület formakincsét, karsztos arculatát - befolyásoló tényezőket is pontosabban meghatározhatjuk.

Fenti célokat több lépcsős vizsgálatsorozattal lehet megvalósítani. Jelen munka az első, közelítő jellegű vizsgálatok eredményeiről számol be. Ezen első mintavétel során a katéna-elvet alkalmaztuk. Egy fennsíkrészleten, 1950 m tengerszint feletti magasságban kezdtük a felmérést és egy mintegy négyszáz méterrel lejjebb húzódó, egykori gleccservölgy talpáig rögzítettük egy vonal (sáv) mentén elhelyezkedő formák paramétereit. (Hosszanti és erre merőleges átmérő, mélység, valamint a törmelékkel és a növényzettel borítottság mértéke.) Mivel a magashegységi lejtők általában



1.ábra. A kutatott terület morfológiai vázlata
Jelmagyrázat: 1. gleccservölgy pereme, 2. jégvájta mélyedés (tengerszem), 3. óriásdolina, 4. jelentősebb vízelvezetési helyek, 5. turistaút, 6. turistaház
Fig. 1. The morphological map of the investigated area
Legends: 1. brink of the glacier valley, 2. mountain lake, 3. giant doline, 4. sink-holes, 5. path, 6. shelter

nehezen járhatók, a fennsíkra vezető, gyakran szerpentinező turistaút mentén található formákat mértük fel. Nagyjából 2,5 km távolságon 253 formát rögzítettünk. A turistaút vonalvezetése azonban nyilván nem véletlenszerű; a látványosabb kirándulóhelyeket és a turistaházakat fűzi fel viszonylag könnyen járható útvonal mentén. Az adatok kiértékelése során természetesen figyelembe vettük, hogy ez a körülmény befolyásolja a mintavételt.

A vizsgált terület a Rinner-csúcs (2012m) alatt húzódó glaciálisan formált térszínen található (*1.ábra*). A fennsíkot tagoló U-alakú völgyek talpa növénytelen, csak a meredek völgyoldalakban kipreparálódott mészkőrétegek keskeny lépcsőin telepedett meg törpefenyő illetve sziklagyep. A fennsíkról lefelé nyomuló jégár előtt nunatakként tornyosulhatott a Rinner-csúcs gerince, két ágra választva a gleccsert. E két kisebb ág függőgleccserként csatlakozhatott a nagyjából ÉÉNY-i irányba mozgó nagyobb gleccserbe. Ez utóbbi völgy talpa nagyjából 1600 méter tengerszint feletti magasságban, már az erdőhatár alatt húzódik. Vizsgálataink során tehát különböző magasságú, eltérő növényborítottságú és változatos geomorfológiai helyzetű térszínek formakincsét hasonlíthattuk össze.

A formatípusok általános jellemzői

A terepi munka során, elsősorban kvalitatív jellemzők alapján az alábbi formákat különítettük el:

Kamenyicák (4): Olyan, viszonylag kisméretű, 1-1,5 m átmérőjű, fél méternél kisebb mélységű tálszerű karsztos mélyedések, melyek aljzata többnyire lapos. Speciális karros formáknak tekinthetők,a vizsgált területen előfordulásuk kevésbé jellemző. (Az egyes formák megnevezése után a zárójelben a térképezett mennyiséget - darabszámot - tüntettük fel.)

Karros mélyedések (3): Szintén speciális előfordulású formák. Enyhe lejtésű karrmezőkön egyes vízelvezetési centrumok (kürtők) környékén - a gyorsabb oldódás miatt - a karrmező eredeti szintjétől többé - kevésbé határozott peremmel elkülönülő mélyedés képződik. Előrehaladottabb stádiumban a kisebb karrmezők egész felülete ilyen mélyedéssé alakulhat.

Karrdolinák (44): Környezetétől határozottan elkülönülő, szabálytalan alakú, gyakran törésvonalakhoz igazodóan szögletes peremű sekély mélyedések. Belsejében többnyire hasadékkarrokkal erősen feltagolt, átoldódott és pillérekre különült a vékonypados kifejlődésű kőzet. A kisebb, egykét méter átmérőjű mélyedésekben - továbbfejlődésük során- kürtők is megjelenhetnek, melyek tovább gyorsítják a formaképződést. Előfordulásuk általánosnak tekinthető, a felmért formák 17%-át adják.

Aknásodó dolinák (39): Olyan, nagyobb méretű, fejlettebb dolinák melyek aljában kürtők, egymással összeoldódott kürtőcsoportok alakultak ki. A felületi leoldódás helyett tehát a kürtős zónában történő vertikális mélyülés dominál.

Aknakezdemények (5): Az előző forma továbbfejlődött változatának tekinthető: a kürtős zóna gyakorlatilag felemésztődött, az összeoldódott kürtők helyén egységes, több méter átmérőjű aknaszerű forma képződött, alján a pillérmaradványok anyaga törmelékként halmozódott fel. Az aknáktól alapvetően kisebb mélysége alapján különíthetők el. *VERESS M. - HORVÁTH T. - ZENTAI Z.* (1996.) szerint ilyen, viszonylag kis méretű aknák üregbeszakadással is létrejöhetnek, majd - elsősorban a bennük felhalmozódó hó olvadása nyomán - továbbfejlődnek.

Aknák (21): Valószínűleg többféle módon is kialakuló formák. Többek között a fentebb bemutatott folyamat során kialakult aknakezdemények továbbfejlődése is eredményezheti aknák kialakulását. Jellemzően több méter átmérőjű, párhuzamos falú, vertikálisan megnyúlt képződmények. Gyakori a csoportos kifejlődésük. Ilyenkor a szomszédos formák közötti keskeny válaszfalak ablakosan összenyílnak illetve leomlanak, végső soron igen nagy méretű összetett formák jöhetnek létre. *VERESS M. - HORVÁTH T. - ZENTAI Z.* (1996) az aknák három típusát különíti el. A fentebb említett

üregbeszakadásos eredetűn (omladékos típus) kívül csatorna- és zsomboly típusokat ismernek fel. *COLLIGNON, B.* (1992) szintén három típust különít el: zsombolyokat, omladékos kürtőket, havas aljú kürtőket. Csatorna típusú aknát (vályúvég akna) jelen munkában is elkülönítünk, aknásodó kürtő néven (lásd alább). Ezen elnevezés szerintünk jobban kifejezi a képződmény genetikáját. (*FORD, D.C. -WILLIAMS, P.* (1989) a néhány méter átmérőjű, 6-7 m mély, elliptikus keresztmetszetű, lefelé keskenyedő formákat oldásos aknáknak nevezi.)

Óriásdolinák (3): Különlegesen nagy képződmények. A hajdani gleccservölgyek talpán, jelentős kiterjedésű vízgyűjtő terület központjában kialakult mélyedések. Feltételezhető, hogy kiformálódásuk már a gleccserjég csiszoló munkájával elkezdődött, s ezt követhette a karsztos továbbfejlődés.

Kürtők (4): Keskeny, 1-2 m átmérőjű, henger alakú formák; az ennél nagyobb átmérőjűeket az aknákhoz sorolják (*VERESS M. - PÉNTEK K.*1995). Képződése törések által meghatározott, ezért mélységük gyakran a 100 m-t is meghaladhatja. (*ZÁMBÓ L.*1992) Előfordulásuk jellemzően nagyobb karsztos formák belsejéhez illetve karrmezőkhöz kötődik, itt igen nagy számban fordulnak elő. Az általunk felmért négy kürtő - kivételesen - önállóan fordult elő.

Aknásodó kürtők *(11):* Kürtőcsoportok összeoldódása során képződő forma. Szintén jellemző az előfordulása a nagyobb mélyedésekben (aknásodó dolinák, aknakezdemények), az önálló előfordulásúak a térképezett formák 4%-t adják.

Oldással kiszélesedett hasadékok *(23) :* A terület jellegzetessége, hogy tektonikai vonalak mentén nagy mennyiségű víz (hólé) szivároghat a kőzettömeg belsejébe. Ennek során a hasadékok kiszélesednek, sőt a hasadék két oldala között jelentős magasságkülönbség alakulhat ki. Az az oldal ugyanis, ahonnan a beszivárgó víz érkezik, oldással lealacsonyodik. Itt a hasadék falán lejtőkarrokat és egyéb oldásos formákat találhatunk, míg a szemközti fal oldásformákban szegény. E hasadékok a regisztrált formák 9%-t adják: Különösen a völgyoldalakban képződött teraszfelszíneken jelentős az előfordulásuk.

Dolinák (95*):* Nagyjából kerekded peremű és keresztmetszetű, igen különböző méretű, többnyire talajjal fedett formák. Alakrajzukat és - feltételezhetően - kialakulásukat tekintve is szoros kapcsolatot mutatnak a középhegységi területeken található dolinákkal. Az erdőhatár alatt gyakori formatípus, a felmért formák 37%-át adják.

I. táblázat Összesítés a felmért formák morfometriai adatairól
Morphometrical datas of the forms

1.	átm.(1) diameter (méter)	átm.(2) diameter (méter)	mélység depth (méter)	h.megny. horisontal extension	v.megny. vertical extension	méret (m3) calibre	törmelék scrubble %	növényzet vegetation %	típus
átlag (average)	1,63	1,00	0,50	0,60	2,60	1,06	20,00	78,75	kamenyicák (kamenitzas)
szórás (dispersion)	0,82	0,50	0,12	0,22	1,10	0,89	17,32	18,50	(4 db)
szórás/átl. (aver./disp.)	0,50	0,50	0,24	0,35	0,42	0,84	0,87	0,23	
2.	átm.(1)	átm.(2)	mélység	h.megny.	v.megny.	méret	törmelék	növényzet	típus
átlag	7,67	7,00	2,12	0,94	3,33	156,50	61,67	15,00	karros mélyedések (karren depressions)
szórás	3,06	2,16	0,62	0,08	0,27	144,58	37,93	7,07	(3 db)
szórás/átl.	0,40	0,31	0,29	0,08	0,08	0,92	0,62	0,47	
3.	átm.(1)	átm.(2)	mélység	h.megny.	v.megny.	méret	törmelék	növényzet	típus
átlag	3,57	2,56	1,38	0,78	2,67	23,23	69,42	35,19	karrdolinák (karren dolines)
szórás	2,34	1,54	0,88	0,23	2,25	40,14	31,2	22,71	(44 db)
szórás/átl.	0,65	0,6	0,64	0,3	0,84	1,73	0,45	0,65	
4.	átm.(1)	átm.(2)	mélység	h.megny.	v.megny.	méret	törmelék	növényzet	típus
átlag	5,63	3,58	2,63	0,80	2,19	519,69	42,16	73,19	dolinák (dolines)
szórás	6,09	4,28	2,78	0,23	1,50	4082,27	32,71	29,57	(95 db)
szórás/átl.	1,44	1,10	1,06	0,29	0,68	7,86	0,78	0,40	
5.	átm.(1)	átm.(2)	mélység	h.megny.	v.megny.	méret	törmelék	növényzet	típus
átlag	5,91	4,45	5,66	0,81	0,98	215,99	68,89	33,70	aknásodó dolinák (doline changing into pit)
szórás	3,30	2,05	2,50	0,22	0,37	216,33	24,64	27,17	(38 db)
szórás/átl.	0,56	0,46	0,44	0,27	0,38	1,00	0,36	0,81	
6.	átm.(1)	átm.(2)	mélység	h.megny.	v.megny.	méret	törmelék	növényzet	típus
átlag	0,75	0,63	0,75	0,66	0,27	1,75	80,00	55,00	kürtők (pipe)
szórás	0,25	0,22	1,30	0,22	0,06	1,89 *		45,00	(4 db)
szórás/átl.	0,33	0,35	0,47	0,25	0,24	1,08 *		0,82	
7.	átm.(1)	átm.(2)	mélység	h.megny.	v.megny.	méret	törmelék	növényzet	típus
átlag	1,78	1,37	6,14	0,88	0,27	20,99	66,87	52,50	aknásodó kürtők (pipe changes into pit)
szórás	1,24	0,69	2,36	0,21	0,13	22,13	9,43	29,47	(11 db)
szórás/átl.	0,69	0,51	0,38	0,24	0,49	1,05	0,14	0,56	
8.	átm.(1)	átm.(2)	mélység	h.megny.	v.megny.	méret	törmelék	növényzet	típus
átlag	3,50	2,40	6,10	0,78	0,45	114,85	86,00	10,00	aknakezdemények
szórás	2,96	1,67	3,58	0,20	0,13	170,90	15,17 *		(4 db)
szórás/átl.	0,85	0,70	0,59	0,26	0,29	1,49	0,18 *		
9.	átm.(1)	átm.(2)	mélység	h.megny.	v.megny.	méret	törmelék	növényzet	típus
átlag	7,33	4,83	12,43	0,66	0,66	1133,00	69,29	10,00	aknák (pits)
szórás	7,03	5,91	6,74	0,22	0,61	3303,70	18,98 *		(21 db)
szórás/átl.	0,96	1,22	0,54	0,33	0,93	2,92	0,27 *		
10.	átm.(1)	átm.(2)	mélység	h.megny.	v.megny.	méret	törmelék	növényzet	típus
átlag	73,33	66,67	40,00	0,88	1,68	253 333	82,50	10,00	óriás dolinák (giant dolines)
szórás	24,94	28,87	8,16	0,10	0,37	190 559	7,50 *		(3 db)
szórás/átl.	0,34	0,43	0,20	0,12	0,22	75,00	0,09 *		
11.	átm.(1)	átm.(2)	mélység	h.megny.	v.megny.	méret	törmelék	növényzet	típus
átlag	17,43	2,96	2,76	0,23	4,76	205,57	40,67	64,29	oldásos hasadékok (karstic fissures)
szórás	11,72	1,67	1,97	0,19	3,44	328,10	26,39	32,45	(23 db)
szórás/átl.	0,67	0,57	0,71	0,86	0,72	1,60	0,65	0,50	
12.	átm.(1)	átm.(2)	mélység	h.megny.	v.megny.	méret	törmelék	növényzet	típus
átlag	7,09	4,27	4,37	0,74	2,06	3362,29	55,56	57,61	összes forma (all the forms)
szórás	11,01	8,30	5,83	0,28	2,05	34463,09	32,60	34,21	(254 db)
szórás/átl.	1,55	1,94	1,34	0,38	1,00	10,25	0,59	0,59	

* : hiányos adatsor miatt nem számítható

A morfometrikus adatok statisztikai vizsgálata, formatípusok szerinti csoportosításban

A felmérés során mérőléccel rögzítettük az egyes formák nagy- és kisátmérőjét, valamint mélységét. A növényzettel illetve törmelékkel borított felszín arányát becsléssel állapítottuk meg. A mért adatokból számítással határoztuk meg a formák alaprajzának horizontális- (a kis- és a nagyátmérő átmérő hányadosa) illetve vertikális (átmérők számtani közepe és a mélység hányadosa) megnyúltságát. Az átmérők és a mélység szorzataként a formák méretének nagyságrendi összehasonlításához kaptunk megfelelő adatokat. (Pillanatnyilag nem tűnik szükségesnek a tényleges méretek meghatározása - ez jóval aprólékosabb felmérést igényelne.)

A felmért 253 forma - meglehetősen egyenetlen eloszlásban - a fentebb ismertetett 11 típusra osztható. Így egy-egy formatípushoz a megbízható statisztikai eredményt lehetővé tevő adatmennyiségnél általában jóval kevesebb állt rendelkezésünkre. Mégis - miután a jelenlegi vizsgálatot elsősorban tapasztalatszerzésként, a további felmérések előkészítéseként végeztük - az igen rövid adatsorok esetében is végeztünk átlagszámítást illetve szórásvizsgálatot. Az adatok egy-egy adatsoron belüli hasonlósága mértékének megítéléséhez alkalmasnak tűnik a szórás/átlag értékek kiszámítása.

A formák tipizálását, a nevezéktan kidolgozását a terepi munka során, elsősorban kvalitatív jellemzők alapján végeztük. A mért paraméterek statisztikus feldolgozásával (*I. táblázat*) tovább finomítható a csoportosítás.

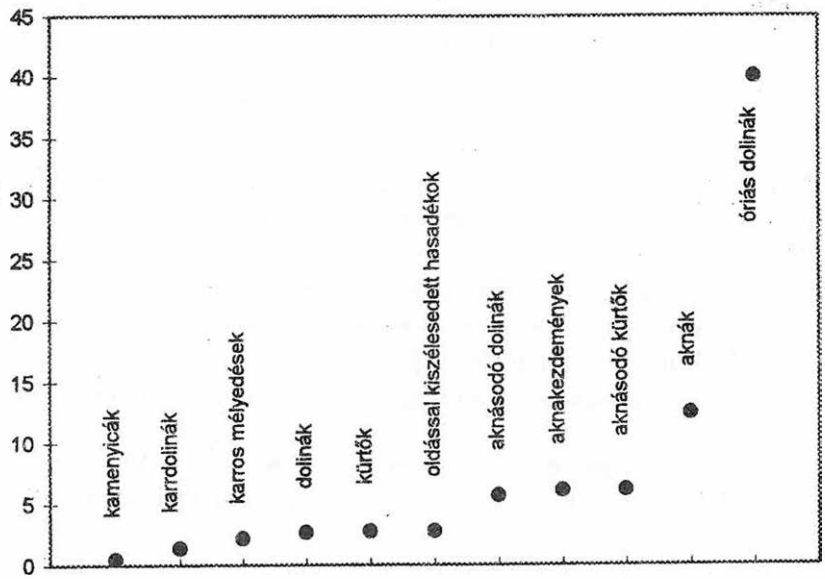
A formák átmérőinek átlagértékeiből kitűnik, hogy a karrdolinák méreteinél a dolináké valamivel nagyobb, s az aknásodó dolináké ez utóbbi értéket is meghaladja.

A kürtőkre vonatkozó értékeknél az aknásodó kürtőké nagyobb, s az aknakezdemények átlagos átmérője (bár az aknásodó dolinákénak alatta marad) az aknásodó kürtőkét meghaladja. Az adatok szóródása miatt azonban esetenként jelentős az átlagértékektől való eltérés; így vannak olyan aknakezdemények, melyek átmérője nagyobb mint a legtöbb aknásodó dolináé.

Az aknák átmérője általában nagyobb, mint a fenti, kezdetlegesebben kifejlődött karsztos formáé.

A mélységre vonatkozó adatok összevetésénél az átmérőkéhez hasonló eredményt kapunk. (*II. táblázat*)

II. táblázat A vizsgált formák átlagos mélység értékei
Table II. Average depths of the types of examined forms



III. táblázat Formatípusok szerint összesített űrméretek
Table III. Summarized calibres

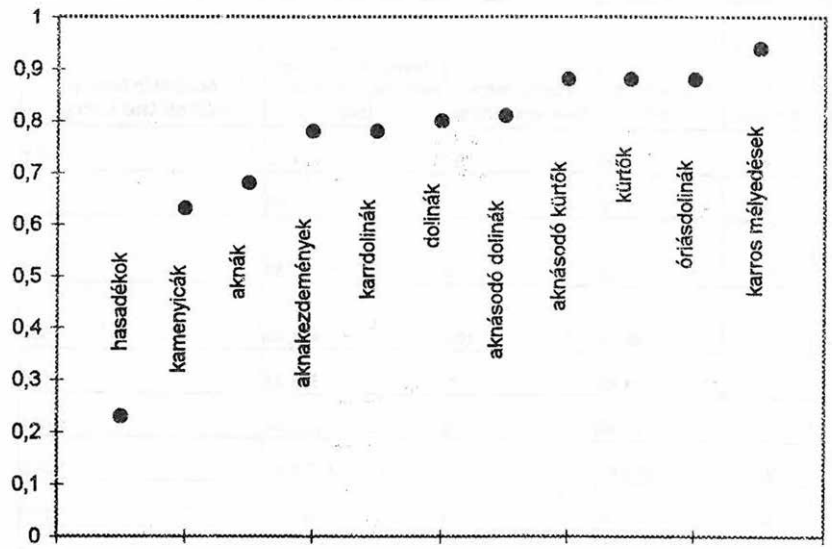
megnevezés (name of the forms)	db (pieces)	átlagos méret (m3)	átlagos méret (average calibre)	összesített űrméret (summarized calibre) (m3)	összesített űrméret (summarized calibre)
kamenyica (kamenitzas)	4	1,06	1	4,22	1
kürtő (pipes)	4	1,75	1	7,00	1
aknásodó kürtő (pipe changing into pit)	11	20,99	10	230,86	100
karros mélyedés (karren depressions)	3	156,50	100	469,50	500
aknakezdemény (embrional pits)	4	114,85	100	574,25	500
karrdolina (karren dolines)	44	23,23	10	1 022,09	1 000
oldásos hasadékok (karstic fissures)	23	205,57	100	4 728,25	5 000
(doline changin into pit)	38	215,99	100	8 207,95	5 000
akna (pits)	21	1 133,00	1 000	23 793,00	10 000
dolina (dolines)	95	519,69	500	49 370,55	50 000
óriásdolina (giant dolines)	3	253 333,00	100 000	760 000,00	500 000

A formák nagyságrendi vizsgálatánál egyértelműen a kamenyicák és a kürtők (tehát a legsekélyebb horizontális kifejlődésű-, valamint a legkeskenyebb vertikális kifejlődésű formák) a legkisebb űrméretűek. Az összeoldódások első lépcsőjét képviselő karrdolinák és aknásodó kürtők jelentik a következő nagyságrendet. A többi – fejlettebb - forma jelentősen nagyobb térbeli kiterjedésű. Az erdőhatár felett jellegzetes aknásodó dolinák átlagos mérete a dolináké alatt marad. Valószínű, hogy a talajjal fedett dolinák és a fedetlen térszíneken kialakuló dolina-szerű képződmények (karrdolinák, aknásodó dolinák) között nem szabad genetikai rokonságot keresni. Ha a formák összesített űrméreteit elemezzük, megállapítható, hogy a vizsgált területsáv karsztos alakulásában - a darabszámot is figyelembe véve - a dolináké a főszerep. Ez a formakincs azonban az erdőhatár alatti zónában terjedt csak el. E felett a különböző aknatípusok szabják meg a felszín karsztos arculatát. Feltűnő még az oldással kiszélesedett hasadékok jelentősége is. (*III. táblázat*)

A horizontális megnyúltságot jelentő átlagértékek a formák többségénél 0,68 és 0,88 közöttiek, tehát enyhén ovális alaprajzú formákról van szó.

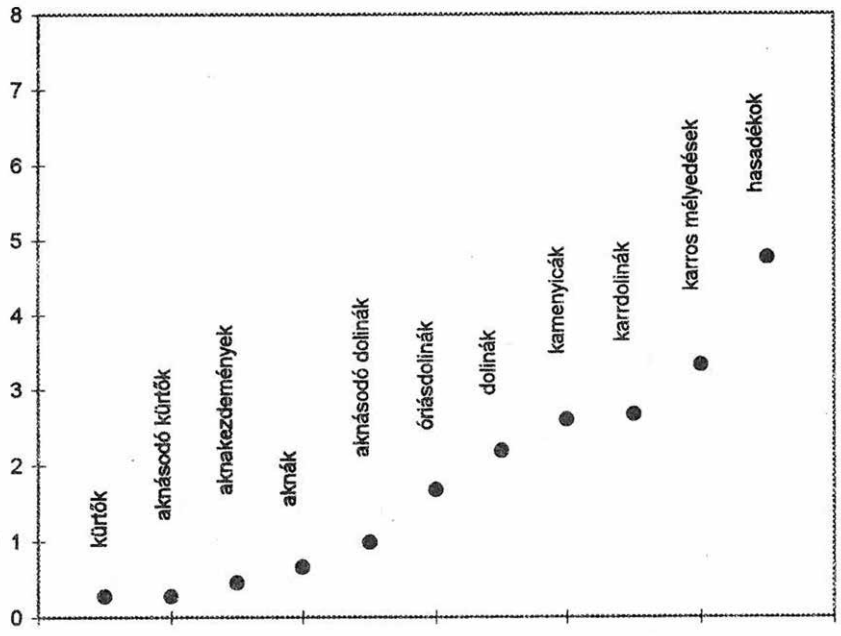
A megnyúltság iránya szinte kivétel nélkül egy-egy törésvonal irá-

IV. táblázat A vizsgált formák átlagos, horizontális megnyúltsága
Table IV. Average horizontal extension of the types of examined forms



nyával esik egybe. (*IV.táblázat*)

V. táblázat *A vizsgált formák átlagos, vertikális megnyúltsága*
Table V. *Average vertical extensions of the types of examined forms*



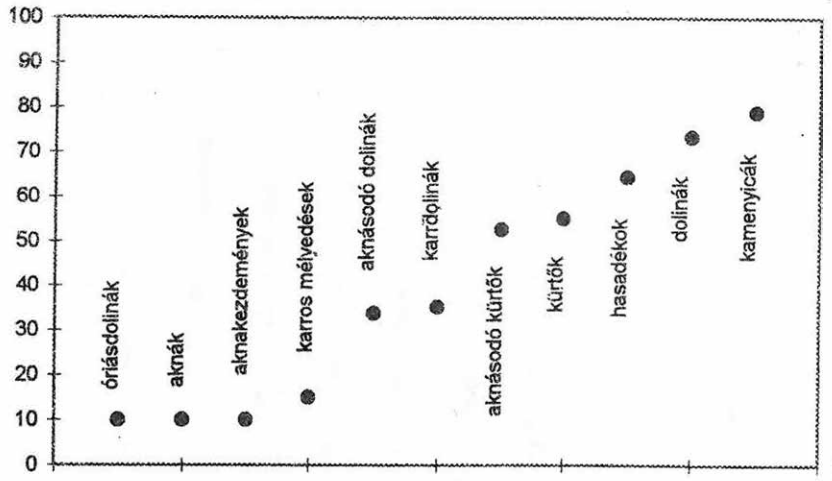
A vertikális megnyúltság fokozatosan növekszik (tehát a számértéke csökken) a karrdolinák - dolinák - aknásodó dolinák - aknakezdemények fejlődési sor szerint. Természetesen a kürtők megnyúltsága a legnagyobb. Megjegyzendő, hogy az aknakezdemények általában megnyúltabbnak bizonyultak az aknáknál, ami arra utalhat (az átmérőkre vonatkozó megállapításokat is figyelembe véve), hogy a felmért aknakezdemények inkább kürtőkből, mint dolinákból fejlődhettek ki. (*V. táblázat*)

A kamenyicák, óriásdolinák, oldással kiszélesedett hasadékok és a karros mélyedések (mélyedéses karrmező-részletek) egyedi, fenti formáktól mind alaprajzukat, mind kialakulásukat tekintve jól elkülöníthető formák; ez mért paramétereik illetve a megnyúltsági értékek alapján is nyilvánvaló.

A vizsgált morfometriai paraméterek szórás/átlag értékei általában jóval 1 alattiak, ami az egyes formákhoz rendelhető adatsorok viszonylagos egyöntetűségére utal. Legerősebb szórást a dolinák és az aknák átmérői esetében tapasztalhatunk.

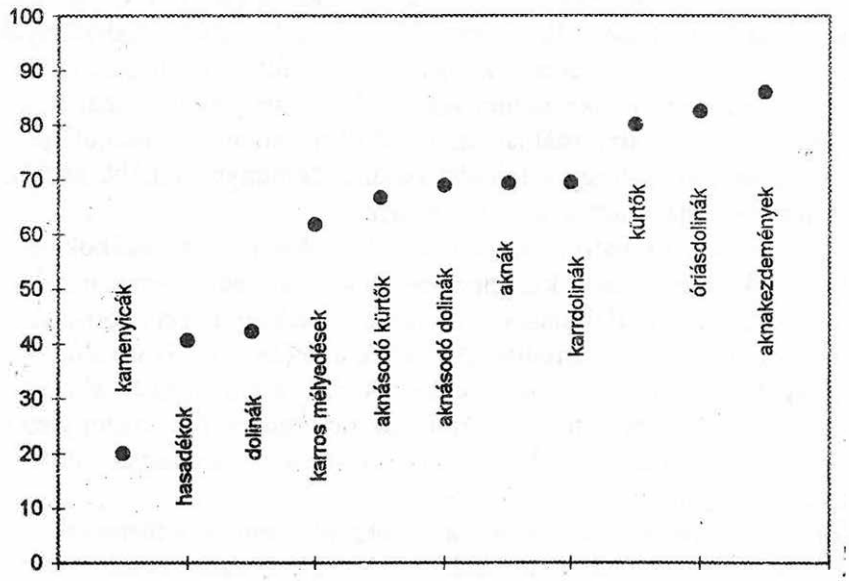
A formák általában növénytelenek és jelentős bennük a törmelék. A dolinák többsége az erdőhatár alatt található, ennek köszönhetően jelentősebb a talajjal- és növényzettel való fedettségük. A kamenyicák sekély mivoltuk miatt biztosítanak kedvezőbb megtelepedési lehetőséget a növé-

VI. táblázat A vizsgált formák átlagos növényzeti borítottsága
Table VI. Average deal of scrubbles in the types of examined forms

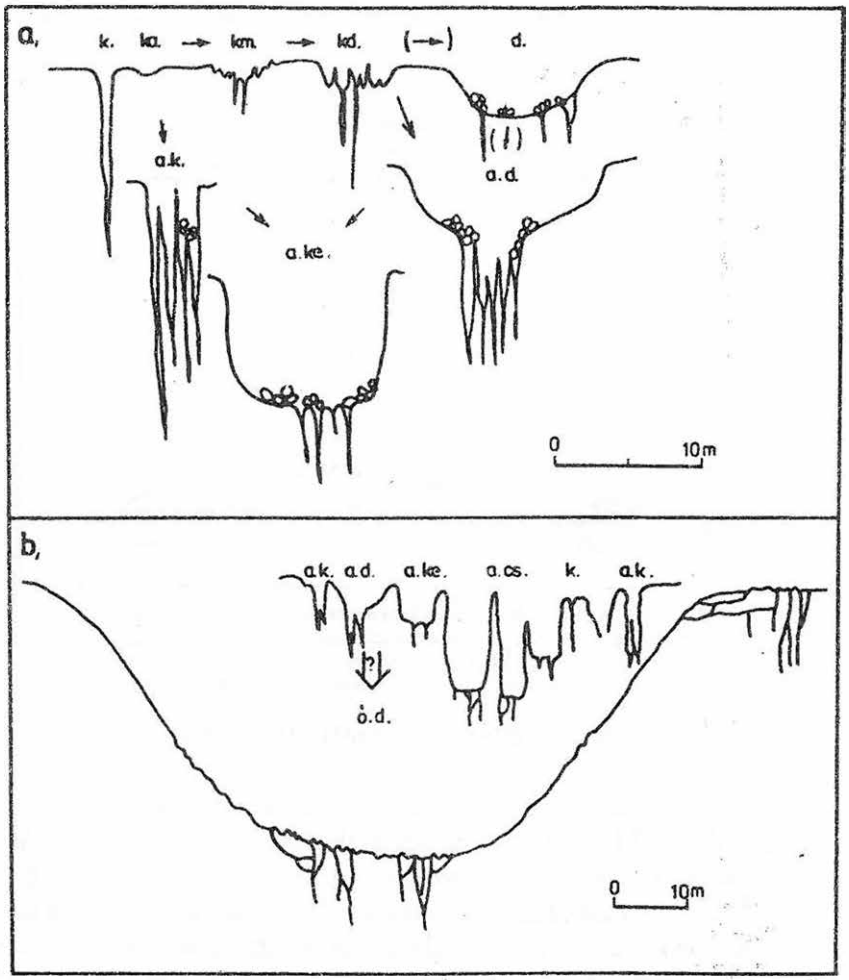


nyeknek. A többi, mélyebb forma esetében a hosszú árnyékos időtartam, a szélsőséges mikroklíma (fagyzugok illetve extrém felmelegedés váltakozása a napi hőmérséklet járása során), esetenként a hosszú ideig megmaradó hó

VII. táblázat A vizsgált formák átlagos törmelékkel borítottsága
Table VII. Average deal of scrubbles in the types of examined forms

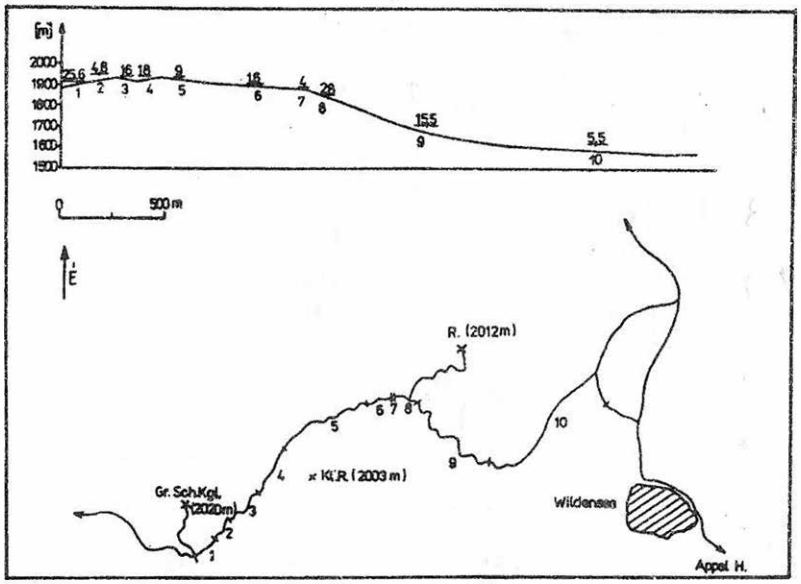


jóval kedvezőtlenebb feltételeket jelent. (*VI., VII. táblázatok*)



2.ábra. A vizsgált formatípusok elvi hosszmetszetei és a valószínűsíthető fejlődési irányok
Jelmagyarázat: A: aknaképződés lehetséges típusai, B: óriásdolina lehetséges kialakulása, k. kürtő, ka. kamenyica, km. karros mélyedés, kd. karrdolina, d. dolina, ad. aknásodó dolina, ak. aknásodó kürtő, a.ke. aknakezdemény, → : valószínű fejlődési irány, (→) : lehetséges fejlődési irány
Fig. 2. Conceptual sketchs of examined forms and the presumable directions of their development
Lengends: 1.A: presumable types of pits, B: presumable direction of the development of a giant doline, k: pipe, ka: kamenitza, km: karren depression, kd: karren doline, d: doline, ad: doline changing into pit, ak: pipe changing into pit, a.ke: embrional pit, →: presumable direction of development, (→): possible direction of development

Összességében megállapítható, hogy a kvalitatív jellemzők alapján kialakított tipizálás a mért paraméterek elemzése alapján helytállónak bizonyult. A kamenyicák, óriásdolinák, oldással kiszélesedett hasadékok és a karros mélyedések egymástól nagyon eltérő, speciális formák, míg a többi formát dolina- kürtő- és akna típusú formákként csoportosíthatjuk. E csoportokon belül, illetve közöttük fejlődési átmenetet feltételezhetünk az egyes formák között. (*2.ábra*)



3.ábra. A vizsgált turistaút-szakasz mentén elkülönített térszínek
Jelmagyarázat: 1.-10.: a szakaszok számozása, 25,6: formasűrűség
Fig. 3. The comparised surfaces near the examined path
Legend: 1.-10.: numbers of the path's segments, 25,6: density of forms

A formák területi megoszlás szerinti vizsgálata

A vizsgált területsávot - geomorfológiai jellemzőik alapján - 10 szakaszra osztottuk fel. (*3.ábra*) Az egyes szakaszok különböző hosszúságúak, illetve eltérő számú formát tartalmaznak. Az összehasonlíthatóságuk miatt a mért adatokból meghatároztuk a száz méteres szakaszra vetített darabszámot (a formasűrűséget). Ezt az értéket alább, az egyes szakaszok megnevezése után zárójelben tüntetjük fel. A formasűrűség alapján megállapítható, hogy a völgytalpakon és nyeregszerű térszíneken (melyek jellegükből adódóan több oldalról is lejtőkkel határolt helyi lefolyási központok) viszonylag nagy számú karsztos forma fejlődött ki. A völgyoldalak esetében a térképezett formák sűrűsége igen változatos lehet. Ennek elsősorban az a magyarázata, hogy ha a térképezés nyomvonala a lejtő csapásirányával egyezik, többnyire az oldalban kialakult kislejtésű szerkezeti teraszokon haladunk. A lejtésirányban húzódó útvonal esetében az egymás alatti/feletti réteglapokon és az ezeket összekapcsoló rétegfejes kibukkanásokon vezet a turistaút. Mivel a vizsgált formák többnyire a kislejtésű térszíneken alakulnak ki, ez utóbbi szakaszokra a formasűrűség kisebbnek adódik.

E tapasztalat is azt mutatja, hogy a lineáris térképezés helyett a jövőben célszerűbb reprezentatív mintaterületek (pl. völgytalpak, teraszfelszínek, nyergek) nagyobb - lehetőleg teljes - felszínén elvégezni a felmérést, s ezen ismeretek birtokában következtetni a karsztosodás területi különbözőségeire.

Tekintsük át a vizsgált területtípusok főbb jellegzetességeit (*VIII. táblázat*):

1.völgytalp (25,6): A fennsíkot tagoló egyik gleccservölgy talpán kezdtük a felmérést. A kopár mészkőtáblákat erőteljes, oldással kiszélesedett törések tagolják. A törések mentén változatos kifejlődésű karsztos mélyedések (elsősorban akna típusú formák), közöttük enyhe lejtésű karrmezők alakultak ki.

2.völgyoldal (4,8): Előbbi völgyből kivezető szintén kopár, növénytelen terület. Itt is a vertikálisan megnyúlt formák (aknásodó dolina, kürtő) előfordulása jellemző. (Aknák a völgyoldalakban - meredekebb lejtésű térszíneken - ritkábban fordulnak elő.)

3.völgytalp (16): Függő helyzetű oldalvölgy, viszonylag meredekebb lejtéssel és erőteljes hasadékrendszerrel. Feltűnő az aknák nagy száma.

4.völgyoldal (18): Fenti völgyből kivezető, viszonylag rövid útszakasz, mely visszavezet a fővölgy peremére. Az útszakasz többnyire csapásirányban, keskeny teraszfelszíneken vezet és a dolinák (valamint oldással kiszélesedett hasadékok) nagy számával jellemezhető.

5.lejtős réteglap-felszín (9): valójában a vizsgált fennsíkon húzódó fővölgy oldalában kialakult szélesebb, viszonylag erőteljes lejtésű karrmező. Az erős karrosodás eredményeként itt elsősorban karros mélyedések és karrdolinák fejlődtek ki.

6.karros tábla (1,6): Előző térszínhez nagyban hasonlító, de enyhébb lejtésű felszín. A szépen fejlett karrcsatorna-hálózatot (viszonylag ritkán elhelyezkedve) akna típusú formák tagolják. (Az aknák előfordulása elsősorban a kislejtésű térszíneken jellegzetes.)

7.völgyoldal (4): A gleccservölgy oldalából a platóra meredeken kivezető, rövid (25 m hosszú), meredek útszakasz ahol mindössze egy aknásodó dolina fejlődött ki.

8.nyereg (28): A Rinner-csúcs és a Kleine Rinner gerincei között kialakult, központi helyzetű térszín, melyre NY-felől kapaszkodunk ki, majd DK-i irányban, a platóról aláereszkedő völgyeket felfűző nagy gleccservölgy oldalán ereszkedünk tovább. A gerincekről származó törmelékborítás és a délies kitettség lehet a magyarázata, hogy e térszínen zárt növényzet (fűtakaró illetve foltokban törpefenyő), a növényzet alatt pedig viszonylag vastag talaj alakult ki. A felszín ezen, környezetétől elütő arculata a karsztos formakincsben is kifejezésre jut: itt jelennek meg először nagy számban dolinák. Egyébként az akna típusú formák száma a fennsíkot elhagyva egyre csökken, míg a dolina típusúaké növekszik.

VIII. táblázat Összesítés a vizsgált területszakaszokon felmért formák morfometriai adatairól
Table VIII. Morphometrical datas of the forms on the examined types of surfaces

1.	átm.(1) diameter (m)	átm.(2) diameter (m)	mélység (depth) (m)	h.megny. (horisontal extension)	v.megny. (vertical extension)	méret (calibre) (m3)	törmelék scrubble %	növényzet vegetation %	típus type of surface
átlag (average)	4,75	2,72	6,54	0,80	0,80	245,45	66,60	30,36	1. völgytalp (valley floor)
szórás (dispersion)	6,04	1,93	4,97	0,25	0,93	522,64	18,64	28,99	(32 db)
szórás/átl. (aver./disp.)	1,27	0,71	0,76	0,31	1,15	2,13	0,28	0,95	*25,6*
2.	átm.(1)	átm.(2)	mélység	h.megny.	v.megny.	méret	törmelék	növényzet	típus
átlag	5,92	2,33	2,12	0,61	2,15	73,08	60,00	75,00	2. völgyoldal (valley slope)
szórás	6,76	2,67	1,81	0,35	1,69	139,74	29,44	24,49	(6 db)
szórás/átl.	1,14	1,15	0,85	0,57	0,79	1,91	0,49	0,33	*4,8*
3.	átm.(1)	átm.(2)	mélység	h.megny.	v.megny.	méret	törmelék	növényzet	típus
átlag	6,38	4,53	6,76	0,68	1,30	1225,77	31,67	79,00	3. völgytalp (valley floor)
szórás	7,67	6,85	6,64	0,23	0,89	3772,98	30,78	27,09	(14 db)
szórás/átl.	1,23	1,51	0,99	0,34	0,68	3,08	0,97	0,34	*16*
4.	átm.(1)	átm.(2)	mélység	h.megny.	v.megny.	méret	törmelék	növényzet	típus
átlag	7,31	3,86	4,09	0,61	1,67	2055,78	45,31	41,54	4. völgyoldal (valley slope)
szórás	9,14	6,52	6,61	0,30	0,74	8233,24	26,19	26,63	(17 db)
szórás/átl.	1,25	1,69	1,62	0,49	0,44	4,00	0,58	0,64	*18*
5.	átm.(1)	átm.(2)	mélység	h.megny.	v.megny.	méret	törmelék	növényzet	típus
átlag	4,88	3,80	1,94	0,81	3,36	61,82	47,63	36,18	5. lejtős réteglap-felszín (inclined terrace)
szórás	2,69	2,06	2,01	0,18	3,09	111,66	28,72	21,52	(19 db)
szórás/átl.	0,55	0,54	1,04	0,22	0,92	1,81	0,60	0,59	*9*
6.	átm.(1)	átm.(2)	mélység	h.megny.	v.megny.	méret	törmelék	növényzet	típus
átlag	5,25	3,19	8,63	0,68	0,69	185,12	52,50	50,00	6.karros tábla (karrenfeld)
szórás	2,77	1,37	3,39	0,17	0,63	195,51	14,36	*	(8 db)
szórás/átl.	0,53	0,43	0,39	0,25	0,91	1,06	0,27	*	*1,6*
7.	átm.(1)	átm.(2)	mélység	h.megny.	v.megny.	méret	törmelék	növényzet	típus
átlag	12,00	8,00	5,00	0,67	2,00	480,00	25,00	50,00	7. völgyoldal (valley slope)
szórás	*	*	*	*	*	*	*	*	(1 db)
szórás/átl.	*	*	*	*	*	*	*	*	*4*
8.	átm.(1)	átm.(2)	mélység	h.megny.	v.megny.	méret	törmelék	növényzet	típus
átlag	8,91	5,38	3,65	0,71	2,98	6647,97	47,69	65,36	8. nyereg (saddle)
szórás	13,91	11,32	6,92	0,30	2,44	37836,21	29,52	26,92	(33 db)
szórás/átl.	1,56	2,10	1,89	0,42	0,82	5,69	0,82	0,41	*28*
9.	átm.(1)	átm.(2)	mélység	h.megny.	v.megny.	méret	törmelék	növényzet	típus
átlag	6,80	4,47	3,92	0,76	1,59	7253,21	75,71	38,50	9.meredek völgyoldal (steep slope)
szórás	12,88	11,66	6,03	0,28	0,94	59320,12	26,96	29,55	(70 db)
szórás/átl.	1,89	2,61	1,54	0,37	0,59	8,18	0,36	0,77	*15,5*
10.	átm.(1)	átm.(2)	mélység	h.megny.	v.megny.	méret	törmelék	növényzet	típus
átlag	9,10	4,80	3,25	0,74	2,99	997,10	19,39	88,16	10. törmelékes lejtő (slope with scrubbles)
szórás	12,57	5,68	3,64	0,30	2,69	5643,80	30,01	22,40	(49 db)
szórás/átl.	1,38	1,19	1,12	0,41	0,90	5,66	1,55	0,25	*5,5*

* *hiányos adatsor miatt nem számítható*

IX. táblázat A formaelosziás összesítése (formák és területszakaszok csoportosítása)
Table IX. Summary of the types of forms

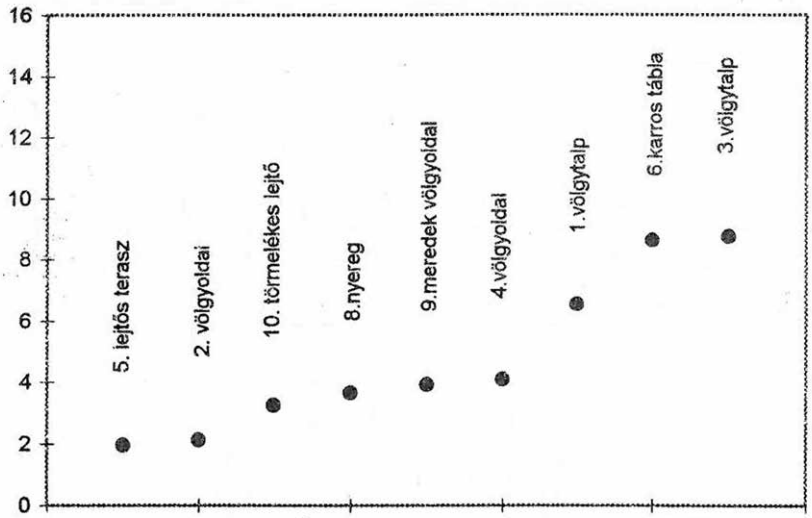
típus (types)	összesen (summary)	1. völgytalp (valley floor)	2. völgyoldal (valley slope)	3. völgytalp (valley floor)	4. völgyoldal (valley slope)	5. lejtős réteglap-felszín (inclined terrace)	6.karros tábla (karrenfield)	7. völgyoldal (valley slope)	8. nyereg (saddle)	9.meredek völgyoldal (steep slope)	10. törmelékes lejtő (slope with scrubbles)
kamenyica (karrenitzas)	4	0	0	2	1	0	0	0	1	0	0
karros mélyedés (karren depressions)	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
karrdolina (karren dolines)	44	4	1	0	1	13	0	0	1	24	0
dolina (dolines)	95	0	0	3	9	2	1	0	21	16	43
kürtős dolina (dolines with pipe)	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
aknásodó dolina (dolina changin into pit)	36	8	3	0	0	0	3	1	2	21	0
óriásdolina (giant dolines)	3	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0
össz.dolina (all types of dolines)	184	12	4	3	12	18	4	1	25	62	43
kürtő (pipes)	4	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0
aknásodó kürtő (pipe changing into pit)	11	10	0	0	1	0	0	0	0	0	0
össz.kürtő (all types of pipes)	15	13	1	0	1	0	0	0	0	0	0
aknaiszedmény (embrional pits)	5	2	0	0	0	1	0	0	0	2	0
akna (pits)	21	4	0	11	0	0	4	0	1	1	0
összetett akna (combined pits)	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
össz.akna (all types of pits)	27	7	0	11	0	1	4	0	1	3	0
hasadék (karstic fissures)	23	0	1	0	4	0	0	0	7	5	7

típus (types)	összesen (summary)	1. völgytalp (valley floor)	2. völgyoldal (valley slope)	3. völgytalp (valley floor)	4. völgyoldal (valley slope)	5. lejtős réteglap-felszín (inclined terrace)	6.karros tábla (karrenfield)	7. völgyoldal (valley slope)	8. nyereg (saddle)	9.meredek völgyoldal (steep slope)	10. törmelékes lejtő (slope with scrubbles)
kamenyica (karrenitzas)	4	0	0	2	1	0	0	0	1	0	0
dolinák (dolinas)	184	12	4	3	12	18	4	1	25	62	43
kürtők (pipes)	15	13	1	0	1	0	0	0	0	0	0
aknák (pits)	27	7	0	11	0	1	4	0	1	3	0
hasadék (karstic fissures)	23	0	1	0	4	0	0	0	7	5	6

összevont típus (summaried types)	völgytalpak (valley floors)	völgyoldalak (valley slopes)	5. lejtős réteglap-felszín (inclined terrace)	6.karros tábla (karrenfield)	8. nyereg (saddle)	9.meredek völgyoldal (steep slope)	10. törmelékes lejtő (slope with scrubbles)
kamenyica (karrenitzas)	2	1	0	0	1	0	0
dolinák (dolinas)	15	17	18	4	25	62	43
kürtők (pipes)	13	2	0	0	0	0	0
aknák (pits)	18	0	1	4	1	3	0
hasadék (karstic fissures)	0	5	0	0	7	5	6

9.meredek völgyoldal,szerpentinező útvonallal (15,5): Hol hasadékokkal tarkított keskeny teraszokon, hol az egymás alatti teraszfelszíneket összekötő rétegfejeken vezet a turistaút. Ennek megfelelően hol sűrűbben, hol ritkábban találkozhatunk a dolinák, kürtők, aknák különböző típusaival.
10.törmelékkel fedett lejtő (5,5): A gleccservölgy oldalának alsó harmada, mely a felülről érkező törmelék felhalmozódási zónája (törtlejtő). A kőzettani és morfológiai különbségeket a növényzet is hangsúlyozza: itt már csaknem összefüggő a fűtakaró, nagyobb törpefenyő foltok illetve ritkábban fenyő telepedtek meg. (Valószínűleg antropogén hatásra megritkult, egykori beerdősült zónáról van szó.) A karsztos formákat döntően a dolinák képviselik. Több dolina alján erőteljes feltöltődést figyelhetünk meg. Egyes helyeken, ahol a finomszemű, agyagos üledék vastagabban fedi a törmelékes mészkőfelszínt, a lejtőn lesiető időszakos vízfolyások medrei láthatók. Ezek rendszerint egy-egy (valószínűleg) vízelvezető járattal rendelkező doli-

X. táblázat A vizsgált területszakaszokon található formák átlagos mélység értékei
Table X. Average depths of the forms on the types of surfaces



nában illetve dolinasorban végződnek el.

Mind a formákat (11 típus), mind pedig az eltérő morfológiájú területszakaszokat (10 szakasz) célszerű - a könnyebb áttekinthetőség miatt - hasonlóságuk alapján csoportosítani. Így dolina- kürtő- valamint akna típusokat alakítottunk ki, és a területszakaszokat is megkíséreltük tipizálni. (*IX. táblázat*). Az összevont táblázatból is kitűnik, hogy a felszín lejtésviszonyai jelentősen befolyásolják az ott képződő karsztos formakincset.

XI. táblázat A formák területek szerinti összesített űrméretei
Table XI. Summary of the calibres on the examed surfaces

morfológiai környezet type of surface	átlagos űrméret (averige of calibre) (m3)	átlagos űrméret (averige of caiibre) (nagyságrend)	összesített űrméret (summarized calibre) (m3)	formák száma (pieces of forms) (db)	forma-sűrűség (density of forms)	100 m-re eső átlagos űrméret (average/100 m) (m3)	100 m-re eső átlagos űrméret (average/100 m) (nagyságrend)
6.karros tábla (karrenfeld)	185,12	100	1 481,00	8	1,60	296,20	100
2. Völgyoldal (valley slope)	73,08	10	438,45	6	4,80	350,76	100
5. lejtős réteglap-felszín (inclined terrace)	61,82	10	1 174,49	19	9,00	556,34	500
7. Völgyoldal (valley slope)	480	500	480,00	1	4,00	1 920,00	1 000
10. törmelékes lejtő (slope with scrubbles)	997,1	1000	48 858,13	49	5,50	5 484,08	5 000
1. völgytalp (valley floor)	245,46	100	7 854,91	32	25,60	6 283,93	5 000
3. völgytalp (valley floor)	1225,77	1000	19 612,43	16	16,00	19 612,43	10 000
4. völgyoldal (valley slope)	2055,78	2000	37 004,13	18	18,00	37 004,13	10 000
9.meredek völgyoldal (steep slope)	7253,22	5000	507 725,40	70	15,50	112 424,91	100 000
8. nyereg (saddle)	6647,97	5000	226 031,10	34	28,00	186 143,26	100 000

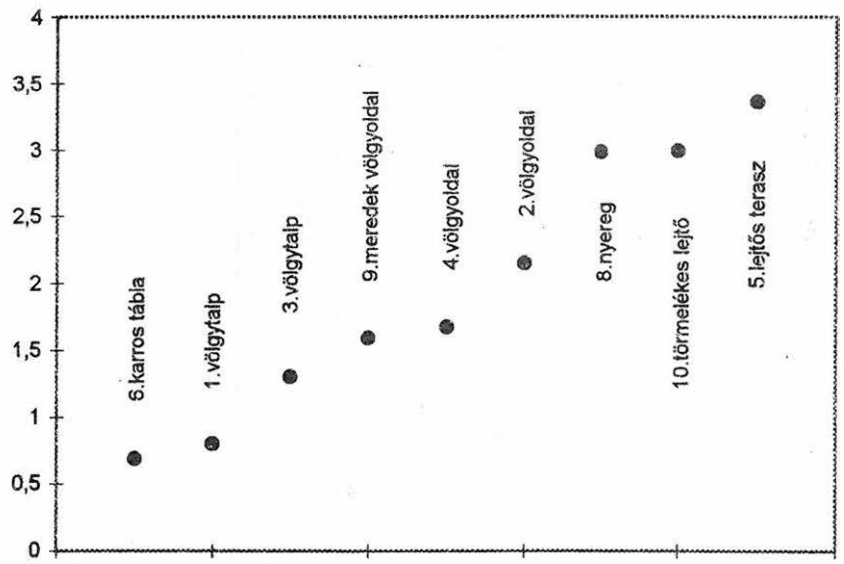
A morfometrikus adatok statisztikus vizsgálata, területtípusok szerinti csoportosításban

A formák átmérőit tekintve nem figyelhető meg szabályszerűség. A mélység értékek a platón kialakult völgytalpakon nagyobbak. (*X. táblázat*)

A formák nagyságrendi értékeit tekintve kitűnik, hogy a platón valamivel kisebbek a képződmények *átlagos* méretei. Itt jelentősebb az akna típusú formák mellett a karrdolinák és kürtők előfordulása – ez csökkenti az átlagos értékeket. Az alsóbb térszíneken szinte kizárólag a nagyobb méretű aknák és dolinák jelennek meg. A 4., 8., 9. szakaszok kiugróan magas értékei valószínűleg az itt előforduló óriásdolináknak köszönhetők (*XI. táblázat*).

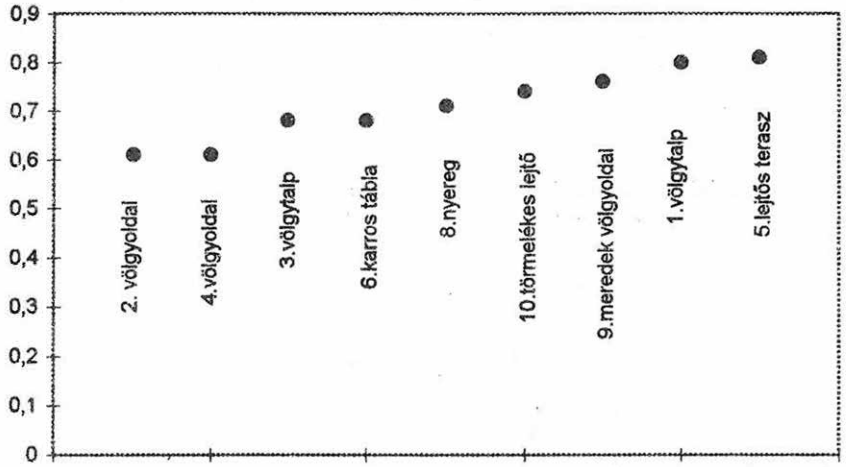
A horizontális és vertikális megnyúltsági értékek szabálytalanul váltakoznak, ami érthető az eltérő geomorfológiai jellegű térszínek váltakozása

XII. táblázat A vizsgált területszakaszokon található formák átlagos, horizontális megnyúltsága
Table XII. Average horisontal extension of the forms on the types of surfaces

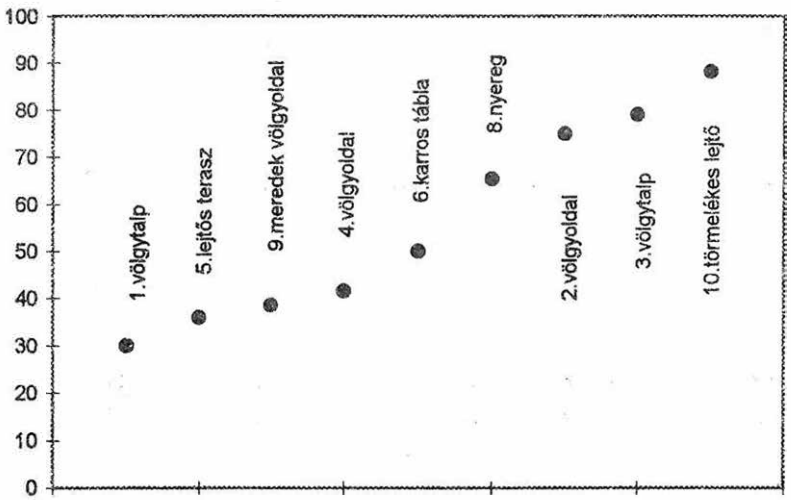


miatt. (*XII.* és *XIII. táblázatok*)

XIII. táblázat A vizsgált területszakaszokon talólható formák átlagos, vertikális megnyúltsága
Table XIII. Average vertical extensions of the forms on the types of surfaces



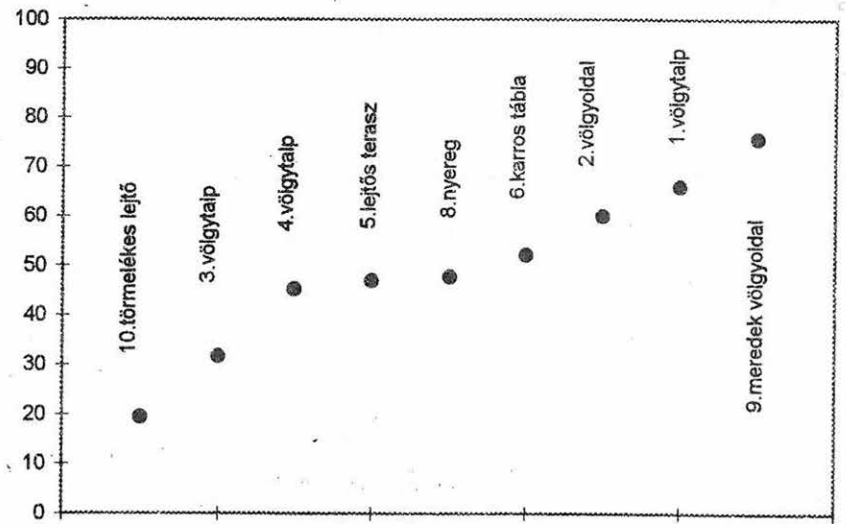
XIV. táblázat A vizsgált területszakaszokon található formák átlagos növényzeti borítottsága
Table XIV. Average deal of vegetation in the forms on the types of surfaces



A törmelék mennyisége az egyes térszínek relatív magasságával mutat párhuzamosságot: a gleccservölgyek talpán, oldallejtőik alsó harmadában jelentősebb a törmelékfelhalmozódás, a lejtők magasabb részein képződő törmelék áthalmozódása miatt. Ezért feltételezhetjük, hogy az egyes karsztos mélyedésekben található törmelék jelentős része is ebből az áthalmozódásból származik, és csak kisebb mértékben képződött a mélyedésekben

lejátszódó karsztosodás során. Feltűnő lehet, hogy éppen a törmelékes lejtőn a legalacsonyabb ez az érték, de itt a talaj- illetve a növényborítottság gátolja, hogy a törmelék a mélyedésekbe juthasson. A növényzeti borítottságban egyenlőre nem mutatható ki szabályszerűség, ehhez a morfometriai adatgyűjtés nem elegendő - alaposabb, ökológiai jellegű vizsgálódásra van szükség. (*XIV.* és *XV. táblázatok*)

XV. Táblázat A vizsgált területszakaszokon található formák átlagos törmelékborítottsága
Table XV. Average deal of scrubbles in the forms on the types of surfaces



Összegzés

Megállapítható, hogy az összefüggő növényzet határa feletti illetve - alatti térszínek karsztos formakincsében különbség mutatkozik. A kopár fennsíkon a vertikálisan megnyúlt, valamint az erőteljes karrosodásra visszavezethető formák dominálnak, míg a törmelékkel, talajjal, növényzettel fedett térszíneken a dolinásodás jellemző.

Ezen kívül úgy tűnik, hogy a fennsíkon kialakult gleccservölgyek talpi részén inkább az akna- és kürtő típusú formákkal találkozhatunk. A völgyoldalak keskenyebb-szélesebb, enyhébb-meredekebb lejtésű teraszain változatosabb a formák eloszlása.

Az egyes térszínek karsztosodási jellegzetességeinek pontosabb felderítése további vizsgálatokat igényel. Célszerűnek látszik egy-egy repre-

zentatív típusterületen, kiterjedtebb felszíneken hasonló morfometriai adatgyűjtéseket végezni.

IRODALOM

COLLIGNON, B. (1992.): Il manuale di speleologia. - Zanichelli.
FORD, D.C. - WILLIAMS, P. (1989.): Karst geomorphology and hidrology - London, Academic Press
KUNAVER, J. (1983): The high mountains karst in the Slovene feps - Geographica Yugoslavica V. p. 15-23.
VERESS M. - PÉNTEK K. (1995.): Kísérlet a felszíni vertikális karsztosodás kvantitatív leírására - Földrajzi Értesítő XLIV. 3.-4. p. 157.-177.
VERESS M. - HORVÁTH T. - ZENTAI Z. (1996.): Egy magasehgységi karsztterület vertikális formáinak vizsgálata - BDTF Tudományos Közleményei X. Természettudományok 5., p. 141. - 157.
ZÁMBÓ L. (1992.): A karsztosodó kőzet alaktana (karsztgeomorfológia) in: Általános Természetföldrajz (szerk.: Borsy Z.) Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest
WILLIAMS, P. V. (1966): Limestone pavements with special reference to Western Ireland - Transactions No. 40, Institute of British Geography, London

KARSZTFEJLŐDÉS II. (Totes Gebirge karrjai)
Szombathely, 1998. pp. 191-200.

ÚJABB ADALÉKOK A MAGASHEGYSÉGI VERTIKÁLIS KARSZTFORMÁK MORFOGENETIKÁJÁHOZ

HORVÁTH E. TAMÁS*-ZENTAI ZOLTÁN**

*9027. Győr, Répce utca 42.
**Berzsenyi Dániel Tanárképző Főiskola, Természetföldrajzi Tanszék, 9700. Szombathely, Károlyi Gáspár tér 4.

Abstract: The most important establishments of study-tours in Totes Gebirge in 1995 and 1996 are summarised in this study. Based on morphological and genetic characteristics the vertical "meso" forms and the high mountain "large" shafts are separated. The main characteristics of the high mountain vertical "meso" forms are given One of the possible development mode of shafts is shown. The further examinations are shown.

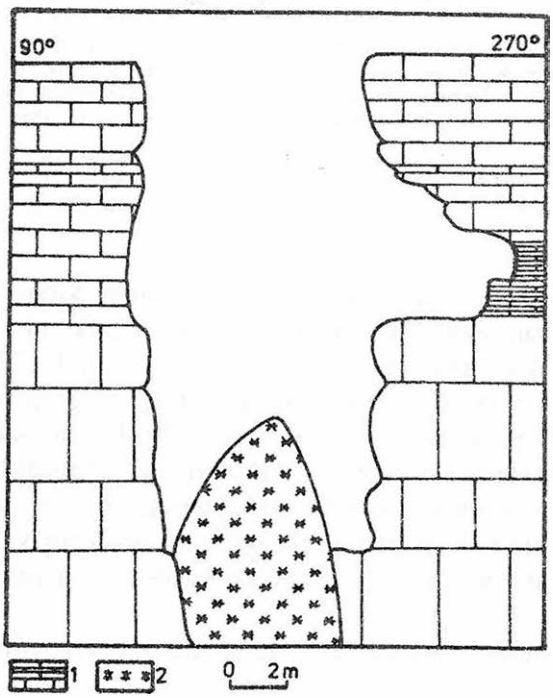
1. Bevezetés

Az1995. évi totes-hegységi vizsgálataink során a magashegységi vertikális karsztformákat tanulmányoztuk. Felméréseink eredménye a formák morfogenetikai tipizálása volt (*VERESS M-HORVÁTH E.T.-ZENTAI Z.* 1996). 1996. évi vizsgálatainkat két, egymással szomszédos mintaterületen végeztük el; a Hint. Bruder csúcs alatti és a Widerkar csúcs alatti gleccservölgyek völgytalpán és völgylejtőin , 1800 m.tszf. magasságban.
A formák vizsgálata során a következő szempontokat vettük figyelembe.
- az akna bejáratának helyzetét a preformáló törésekhez viszonyitva,
- az akna bejáratának szimmetria viszonyait (szabályos, vagy megnyúlt bejárati forma),
- az aknák hidrográfiai helyzetét (rendelkezik-e vizgyűjtő területtel, vagy sem),
- az aknák környezetét (van-e a vizgyűjtő területén talajtakaró, vagy fedetlen sziklafelszinen helyezkedik el),
- az aknák oldalfalainak tagoltságát,
- a törmelékanyag mennyiségét és helyzetét,
- az aknák mélységét,
- az aknák részaknáinak a számát (összetettségét).

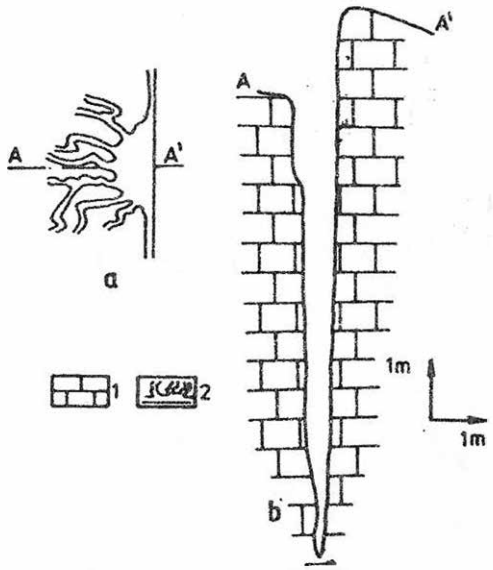
2. Aknatípusok

A fentiek alapján a következő aknatipusokat különböztettük meg.
- zsombolyok,
- vályúvég aknák (karros viznyelők),
- omlásos aknák.

A zsomboly elnevezés alatt azokat a függőleges helyzetű karsztos formákat értjük, amelyek vizgyűjtő területtel nem rendelkeznek, bejárati szájadékuk kör, vagy lóhere keresztmetszetű, hosszmetszetük fokozatosan elszűkülő (fagylaltos tölcsérszerű). Falaik felülete sima, tagolatlan, aljzatukon az omladék felhalmozódás alárendelt, vagy nincs (*1. ábra*). Ezek fejlődését a bennük felhalmozódott hó karsztkorróziós hatásához kötjük.



1. ábra: Zsomboly hosszelvény az 1997-ben vizsgált területről.
Jelmagyarázat: 1. mészkő. 2. hó.
Figure 1: Longitudinal section of shaft of examined territory in 1997
Legends: 1. limestone, 2. snow



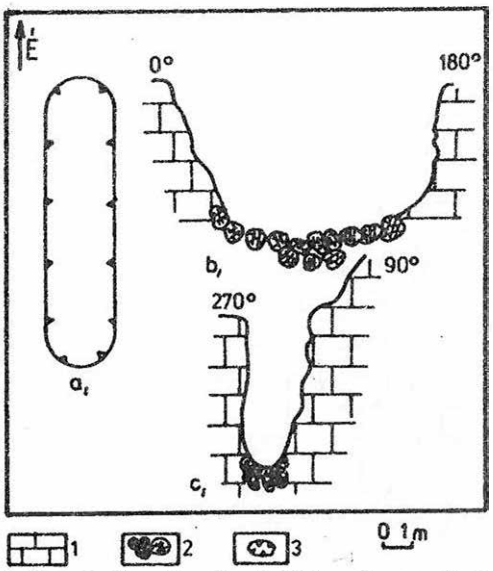
2. ábra: Vályúvég akna a, alaprajza és b, hosszelvénye az 1996-os vizsgálati területről. Figure 2: Ground-plan (a) and longitudinal section (b) of rinnen end pipe of examined territory in 1996
Legends: 1. limestone, 2. rinnen karren

A vályúvég aknák elnevezés alatt a vízgyűjtő területtel rendelkező függőleges formákat értjük. Ezek nem mások, mint vályúvég kürtők (*VERESS M.* 1995) továbbnövekedésével képződött karros víznyelők. Talajtakaró nélküli szabad sziklafelszíneken jönnek létre. Bejáratuk szűk, szabálytalan, vagy szilvamag alakú, falaik felülete rendkívül tagolt (*2. ábra*). Fejlődésüket a vályúkban lefutó csapadékvíz oldóhatásához kötjük .

Az omlásos aknák elnevezés alatt azokat a főként rögperemi helyzetben lévő formákat értjük, amelyek fő jellegzetessége a bennük felhalmozódott nagy mennyiségű törmelék (*3.ábra*). Fejlődésüket - a *KESSLER H.* (1932) által leirt módon - üregbeszakadással magyarázzuk, illetve másodlagosan zsombolyok, vagy vályúvég aknák átalakulásával, a bennük fagyaprózódás következtében felhalmozodó nagymennyiségű törmelék következtében.

3. Zsombolyfejlődés

Vizsgálataink során az alábbi megfigyelésekkel egészítettük ki eddigi megállapításainkat:



3. ábra: Omlásos akna alaprajz (a), hosszmetszete (b, c) az 1996-os vizsgálatiterületről.
Figure 3: Ground-plan (a) and longitudinal section (b,c) of debris pipe of examined territory in 1996
Legends: 1. limestone, 2. debris, 3. pipe in top-view

1. Az aknák a gleccservölgyek völgytalpain helyezkednek el, illetve a völgyoldalak esetében is mindig a kislejtésű (teraszszerű) térszineken találhatóak, a meredek völgylejtőkön, a kárcsúcsok és kárgerincek oldalában aknákat nem találunk. Erre többféle magyarázat is kínálkozik, ezek az alábbiak:
-már az eljegesedések előtt is völgyek húzódtak itt és ezek völgytalpán volt a legintenzivebb a karsztosodás, ez elősegitette (mintegy előkészitette) a jelenkori oldódás számára a térszint,
-a glaciális időszakokban a jég alatt lejátszódott oldódás jelölte ki a jelenkori karsztosodás helyeit,
-a jég visszahúzódása idején az olvadékvizek a völgytalpon szivárogtak el, és ez jelölte ki a jelenkori oldási helyeket,
-karsztosodás mindenütt lezajlik, lezajlott, de a meredek völgyoldalakban a törmelékképződés jóval intenzivebb, ezért ez elfedi a karsztosodás nyomait,
-a kislejtésű térszineken képes némi növényi élet megtelepedni, illetve talaj képződni, ezért az oldás itt koncentráltan megy végbe,
-a völgyek tengelyvonala egybeesik a fő tektonikai irányokkal, ezért itt a leghatékonyabb a vertikális oldódás.

A felmerült lehetőségek közül, jelenlegi ismereteink szerint, valószínű, hogy több tényező is hatott egyidejűleg, illetve egymás után.

2. Az általunk vizsgált formák mélysége (ismereteink szerint) nem haladja meg az 50 m-t, ezek egyetlen aknából álló egyszerű formák. (Az 1996. évi vizsgálataink alkalmával megfelelő felszerelés hiányában 2 aknának nem sikerült lejutni az aljára.)

Ezért meg kell különböztetni e képződményeket a több 100 m. mélységet is elérő magashegységi "*óriás*" zsombolyoktól, hiszen azok többszörösen nagyobb mélységűek, több aknából összekapcsolódó bonyolult, összetett formák (*BÖRCSÖK P. - GYOVAI L.* 1984, *KARDOS L.* 1988, *RYSZARD K.* 1980, *SEBESZTHA Z.* 1984,). Ezeket a formákat *JAKUCS L.* (1971) a jégkorszakokat túlélő preglaciális formáknak tartja, illetve ugyanitt a szubniválís régió hidegvizeinek lassú (és ezért mélyreható) kémiai reakcióival magyarázza. *BALÁZS D.* (1990) a Kaukázus, "óriás" zsombolyai kapcsán

fejti ki álláspontját azok korára vonatkozóan, amely szerint ezeket a visszahúzódó gleccserek olvadékvizei alakitották ki és a bennük felhalmozódó hó jelenleg is formálja őket.

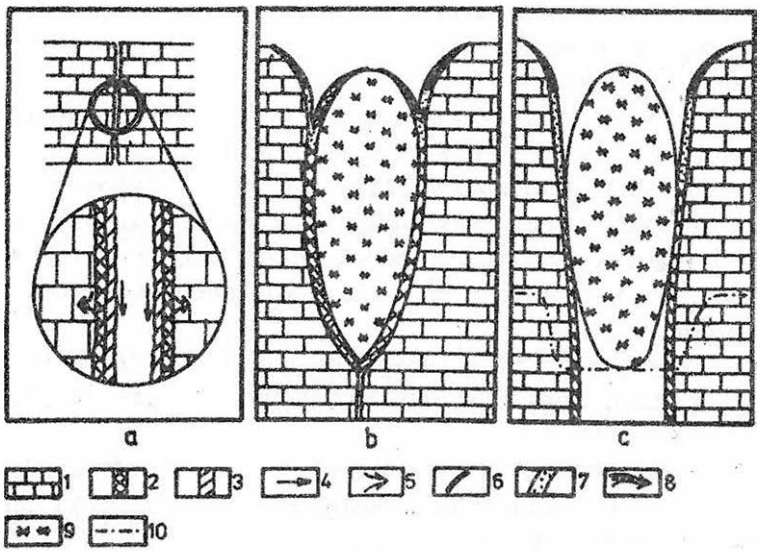
3. A vizsgált formák fejlődése (az omlásos tipust kivéve) primer hasadékok oldásos tágulásával (*VERESS M. - PÉNTEK K.* 1995) a felszinről kiindulva játszódik le (*VERESS M.-HORVÁTH E.T.-ZENTAI Z.* 1996) (*5. ábra*). Ezzel szemben a magashegységi óriás zsombolyok belső (mélyebb helyzetű) aknái felfelé gyakran vakon végződnek (*BÖRCSÖK P.-GYOVAI L* 1985, *LUKÁCS L.* 1980), éppúgy, mint a hazai középhegységi zsombolyok mélyebb helyzetű
aknái (*KÓSA A.* 1963, 1965, 1989, 1992/a,b, *SZENTHE I.*1971). Ez arra enged következtetni, hogy ezek fejlődése nem a felszínről kiindulva kezdődik.

4. A zsombolyok képződésében a bennük felhalmozódó hónak jelentős szerepet tulajdonítunk. Ez alapján fejlődésükben négy szakaszt különítünk el (*4. ábra*), amelyek az alábbiak:

I. Az első fejlődési szakaszban lejátszódó folyamatok megegyeznek a *VERESS M.-PÉNTEK K.* (1995) által leirtakkal, azaz a primér hasadékok falán lefelé szivárgó telitetlen oldat a hasadékok falát oldja, s azt szélesiti (*4.a ábra*). A folyamat eredményeként karsztos mikroforma, repedéskarr *(PLUHAR A.-FORD D.1970, ZÁMBÓ L. 1993)*, illetve hasadékkarr (*ZÁMBÓ L.* 1993) képződik. A primér hasadékok többségének fejlődése többnyire ezen a szinten megreked.

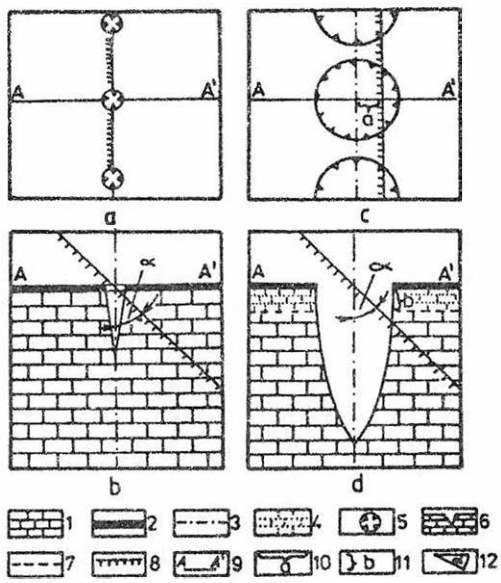
II. A második fejlődési szakaszba csak azok a formák léphetnek át, amelyek mélyülése elég gyors ahhoz, hogy lépést tartson a hasadék szélesedésével. Ennek feltétele, hogy az oldódás egy egy pontban koncentráltan játszódjék le. Ez ott valósulhat meg, ahol törésvonalak keresztezik egymást, vagy más kőzettani, vizrajzi....stb oknál fogva a kőzettestben helyi "gyengeségi zónák" alakultak ki.

Ebben a szakaszban megkezdődik a fiatal aknakezdeményekben a hó felhalmozódása (*4.b. ábra*). A felhalmozódó és összetömörödő hó elolvadva, olvadékvíz-korrózióval mélyíti az aknát. Az év során ez az időszak az akna képződésének a legintenzívebb időszaka. A hó elolvadását követően a (vizgyűjtő terület nélküli) zsombolyok gyakorlatilag inaktív állapotba kerülnek. Minél mélyebb, fejlettebb egy akna, annál tovább tart a hó teljes elolvadása, s igy egyre hosszabb ideig tart az aknaképződés aktív időszaka. Mivel az akna térfogata növekszik, nem csak az aktiv időszak időtartama, hanem az oldásban résztvevő oldószer abszolút mennyisége is növekszik. Tehát, ebben a szakaszban egy önerősitő folyamat indul meg.



4. ábra. A zsomboly fejlődés szakaszai.
a. I. fejlődési szakasz (Veress M.-Péntek K. 1995 nyomán) (a primer hasadékok tágulása), b. II. fejlődési szakasz, c. IV. fejlődési szakasz.
Jelmagyarázat: 1. mészkő, 2. telített oldószer, 3. telítetlen oldószer, 4. az oldószer áramlásának iárnya, 5. az oldásos tágulás iránya, 6. inaktív zóna, 7. kondenzvíz korróziós zóna, 8. hó olvadékvíz áramlásának iránya, 9. hó, 10. fagy behatolás maximális mélysége.
Figure 4: Parts of development of shaft
a. I. development part (the spreading of primary fissure), b. II. development part, c. IV. development part
Legends: 1. limestone, 2. saturated solvent, 3. insaturated solvent, 4. direction of flowing of solvent, 5. direction of saturation fissure, 6. inactive zone, 7. corrosion zone of condensation water, 8. direction of flowing of snow fusion water, 9. snow, 10. maximum of frost penetration

III.A harmadik fejlődési szakasz lényegében nem különül el élesen a második szakasztól. A különbség mindössze abban áll, hogy ebben a szakaszban már az egész év során megmarad a hó az aknában. Azaz, az akna fejlődése a tavaszi olvadások kezdetétől a téli fagyok beálltáig folyamatosan tart. A télen felhalmozódó hó kitöltheti az aknát (szinültig) és a tavaszi olvadás kezdetével megindul az akna falának az oldódása, miután a hóolvadásból származó víz filmet képez az akna falán. A bezáró kőzet erőteljesebben melegszik fel, mint a benne lévő hó, ezért az akna fala és a kitöltő hó között egy rés támad. Az olvadékviz a hó felszinén lecsorogva az akna falának mindig csak azt a szakaszát képes oldani, ahol a hó és a kőzet érintkezik. Ez a szakasz a nyári félév során egyre mélyebbre kerül. Ebből következően az akna alja a nyári félévben végig aktiv marad, míg a felsőbb részek folyamatosan inaktivizálódnak. Ott, ahol az akna fala és a hó között rés támad, az olvadékvíz-korrozió megszűnik. Helyette a kondenzvíz-korrózió indulhat be, ugyanis a hótömeg hűtő hatására a páradús levegő túltelitődik, és az akna falán lecsapódik. Ez a falakon kondenzálódott vizfilm a falakat oldja, en-



5. ábra. Az aknák növekedése és a felület leoldódása közötti kapcsolat. a. felülnézeti ábra: az aknák képződésének kezdeti időszakában, b. oldalnézeti ábra: az aknák képződésének kezdeti időszakában, c. felülnézeti ábra: az aknák jelenlegi állapotában, d. oldalnézeti ábra egy kifejlődött aknáról. Jelmagyarázat: 1. mészkő, 2. eredeti felszín, 3. az aknák tengelyvonala, 4. leoldódott kőzetösszlet, 5. akna felülnézeti képe, 6. akna oldalnézeti képe, 7. jelenlegi felszín, 8. törésvonal, 9. szelvény iránya, 10. az aknák tengelyvonala és a törésvonal közötti távolság, 11. leoldódott kőzetösszlet vastagsága 12. a törési sík és a függőleges irány közötti szög

***Figure 5:** Connection between development of pipes and solution of surface. a. ground-plan figure: in the first period of pipe development, b. side view figure: in the first period of pipe development, c. top-view figure: in present condition of pipes, d. side view figure of developed pipe*

Legends: 1. limestone, 2. original surface, 3. axis line of pipes, 4. saturated rock, 5. top-view of pipe, 6. side view of pipe, 7. present surface, 8. fault line, 9. direction of section, 10. distance between axis line of pipes and fault line, 11. thickness of saturated rock, 12. angle between fault plane and vertical direction

nek következtében az egyenletlenségek elsimulnak, a fal felülete tagolatlan lesz. Ha az akna sugara egy bizonyos méretet meghalad, a vizfilm részekre szakad szét (*VERESS M. - PÉNTEK K.* 1995) többek között ez indokolhatja a lóhere keresztmetszetű aknák képződését. Ez a folyamat évről évre periódikusan ismétlődik.

IV.A negyedik fejlődési szakaszban az aknák mélyülésének üteme stabilizálódik. Ennek oka, hogy egy bizonyos mélység alatt (ennek pontos meghatározása további vizsgálatokra szorul) a hőmérséklet kiegyenlítődés következtében az akna hőmérséklete nem csökken 0°C. alá, azaz a 0°C-os izotermá-

nak megfelelő mélység alatt már nem képes a hó felhalmozódni (*4.c. ábra*). Tehát a hófelhalmozódás csupán egy bizonyos aknamélységig, a bejáratközeli szakaszokra korlátozódik. Az az akna, amelyik ezt a mélységet eléri, évről évre átlagosan ugyanannyi havat képes raktározni. Ezeknél az aknáknál nem zárható ki annak a lehetősége, hogy a *„hódugó"* a téli félév során alulról olvad. Ezért ezek az aknák télen is aktivak maradhatnak, tehát mélyülhetnek.

A fent vázolt fejlődési modell a vízgyűjtő terület nélküli zsombolyok képződését próbálja meg értelmezni, a bennük felhalmozódó hó olvadékvizeinek segítségével. A vályúvég aknák képződését más mechanizmussal - a karrvályúkban lefolyó csapadékviz korróziós hatásával - magyarázzuk, de ezek esetében is valószínű, hogy az év egy bizonyos szakaszában hó halmozódik fel bennük, és ez hatással lehet a képződő formákra (*GRUBER P.-KOVÁCS GY.-SOMLAI SZ.* 1998).

A zsombolyok fejlődéséhez viszont időszakosan a felszíni vizek is hozzájárulhatnak. Hóolvadás idején a hótakaró felszínén lefolyó olvadékvizek a zsombolyokba juthatnak, azaz ilyenkor ideiglenesen vízgyűjtő területtel rendelkeznek a zsombolyok. Ennek megfelelően a két formatípus (zsomboly, vályúvég akna) nem minden esetben különül el élesen egymástól átmeneti formák is kialakulhatnak.

4. Összegzés.

Az 1995. és 1996. évi vizsgálataink során megismert vertikális karsztformák három morfogenetikai tipusba sorolhatóak be. Az alábbi kialakulási módok fordulnak elő:

- lineális pályákon érkező csapadék- és olvadékviz-korrózió (vályúvég aknatípus),
- aknában felhalmozódó hó olvadékviz-korróziója (zsomboly típus),
- üregbeszakadás és fagyaprózódás (omlásos típus).

Az így létrejövő formák méretüket, összetettségüket és képződési módjukat tekinve, mind pedig korukat tekintve eltérnek a magashegységi *"óriás"* zsombolyoktól.

A hazai zsombolyok közül az alsóhegyi zyombolyok ez utóbbi *„óriás"* zsomboly típussal mutatnak genetikai rokonságot.

-Hazai zsombolyok összehasonlitó vizsgálatát a magashegységi formákkal, azok közös és eltérő jegyeinek a feltárására.

IRODALOM

BALÁZS D. (1990): Arabika és Bzib, a mélyzsombolyok birodalma - Karszt és Barlang, I. kötet. p. 63-65.

BÖRCSÖK P.-GYOVAI L.(1984): "Jugoszlávia '84" Brezno pri Gamsovi Glavici -Mamet -Ponorna Bunovcu -Karszt és Barlang, II. köt. p. 109-111.

BÖRCSÖK P.-GYOVAI L.(1985): A Jubileum-barlang bejárása -Karszt és Barlang, I-II. köt. p. 53-55.

FORD D.C.-PLUHAR A.(1970): Dolomite Karren of the Niagare escarpment, Ontario, Canada.Z. Geomorph, 14. p.392-410.

GRUBER P.-KOVÁCS GY.-SOMLAI SZ. (1998): Vertikális karsztformák vizsgálata az ausztriai Totes Gebirgében - Karsztfejlődés II. (Totes Gebirge karrjai) BDTF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p. 201-210.

JAKUCS L.(1971): A karsztok morfogenetikája -Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 280.

KARDOS L.(1988): Franciaország legmélyebb barlangjaiban -Karszt és Barlang, I. köt. p. 53-56.

KESSLER H.(1932): A zsombolyok keletkezéséről -Barlangvilág, II. köt. 3-4. füzet, p. 20-22.

KÓSA A .(1963): A szögligeti Rejtek-zsomboly -Karszt és Barlang, II. köt. p. 66-70.

KÓSA A.(1965): A kettős zsomboly -Karszt és Barlang, I. köt. p. 17-18.

KÓSA A.(1989): A Type of Vertical Cave Consideret as a " Very Deep Karrenfeld " -Procedings of the International Congres of Speleológy, I. köt. p. 109-111.

KÓSA A.(1992/a): Alsó-hegyi zsombolyatlasz, Atlas propasti Doného Vrchu, Also-hegy /Dolny Vrch Pothole Atlas -Budapest, p.145.

KÓSA A (1992/b): Nyolcvan év az Alsó-hegyen (Még egy szó a zsombolyokról) -Karszt és Barlang, p. 9-14.

LUKÁCS L.(1980): A Jubileum-barlang -Karszt és Barlang, II. köt. p. 107-108.

RYSZARD K.(1980): A világ legmélyebb barlangja -Karszt és Barlang, II. köt. p. 112.

SEBESZTHA Z.(1984): A Wielka Sniezna bejárása -Karszt és Barlang, II. köt. p. 108-109.

SZENTHE I.(1971): Vizföldtani vizsgálatok a Vecsembüki-zsombolyban - Karszt és Barlang, II. köt. p. 57-60.

VERESS M.(1995): Karros folyamatok és formák rendszerezése Totes Gebirge-i példák alapján -Karsztfejlődés I. (Totes Gebirge karrjai), szerk. Veress M. Pauz Kiadó, Szombathely p.7-30.

VERESS M-PÉNTEK K.(1995): Kisérletek a felszini vertikális karsztosodás kvantitativ leirására - Földrajzi Értesitő, XLIV. évf. 3-4. füzet, p. 157-177.

VERESS M.-HORVÁTH E.T.-ZENTAI Z.(1996): Egy magashegységi karsztterület vertikális formáinak vizsgálata (Totes Gebirge, Ausztia) - BDTF Tud. Közl. X. Természettudományok 5. p. 141-157.
ZÁMBÓ L.(1983): A karsztosodó kőzet alaktana (karsztgeomorfológia) - Általános természetiföldrajz (szerk. Borsy Z.) Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, p. 280.

KARSZTFEJLŐDÉS II. (Totes Gebirge karrjai)
Szombathely, 1998. pp. 201-210.

VERTIKÁLIS KARSZTFORMÁK VIZSGÁLATA AZ AUSZTRIAI TOTES GEBIRGÉBEN

GRUBER PÉTER* - KOVÁCS GYÖRGY - SOMLAI SZILÁRD*****
*2500. Esztergom, Kőrösi L. u. 22/A.
**2040. Budaőrs, Szabadság út 154.
***8200. Veszprém, Szt. István út 43.

Abstract: *In the summer of 1996 and 1997 we have done the mapping of vertical karst forms. We have also researched the characteristics of their dimensions, and looked for connection between the researched area and evolution of karst forms. From our survey data and our studies during field-work we have concluded on evolution of some types of vertical karst forms.*

1. Bevezető

1996 nyarán lehetőségünk nyílt arra, hogy bekapcsolódhassunk a BDTF Természetföldrajzi Tanszékének évek óta folyó magashegységi karsztosodást kutató munkájába, melyet 1997-ben is folytattunk. Munkánk célja az volt, hogy egy karsztos térszínrészlet vertikális karsztformáit feltárjuk, és genetikai vizsgálatát elvégezzük.

Méréseinket 1800 m-es tengerszint feletti átlagmagasságban végeztük. 1996-ban egy É - D- i irányú gleccservölgy talpán a Widerkar-csúcs közelében a 201. sz. túristaút mentén (I. terület) mértünk fel 60.000 m^2 nagyságú területet. Itt 25 törés és 59 akna bemérése történt meg. A területről 1:500- as méretarányú térképet készítettünk (*1. ábra*).

1997- ben a hegység egyik hajdani hógyűjtőjének felső részében a Scheibling-csúcs közelében a 230. sz. túristaút mentén (II. terület) dolgoztunk fel egy 12.000 m^2 - es területet. Az erről készült térkép 1: 250-es méretarányú, 23 aknát és 11 törést ábrázol (*2. ábra*).

Különböző vizsgálatokat végeztünk el az aknák térbeli kiterjedését leíró paraméterek felhasználásával (szélesség, hosszúság, mélység). Szélességen az akna törésirányra merőleges legnagyobb kiterjedését, hosszúságon az akna törésirányba eső legnagyobb kiterjedését értjük. Az adatokból mélység / szélesség és hosszúság / szélesség hányadost képeztünk. Vizsgáltuk a mélység, a szélesség és a hosszúság egymáshoz viszonyított különböző paramétereit.

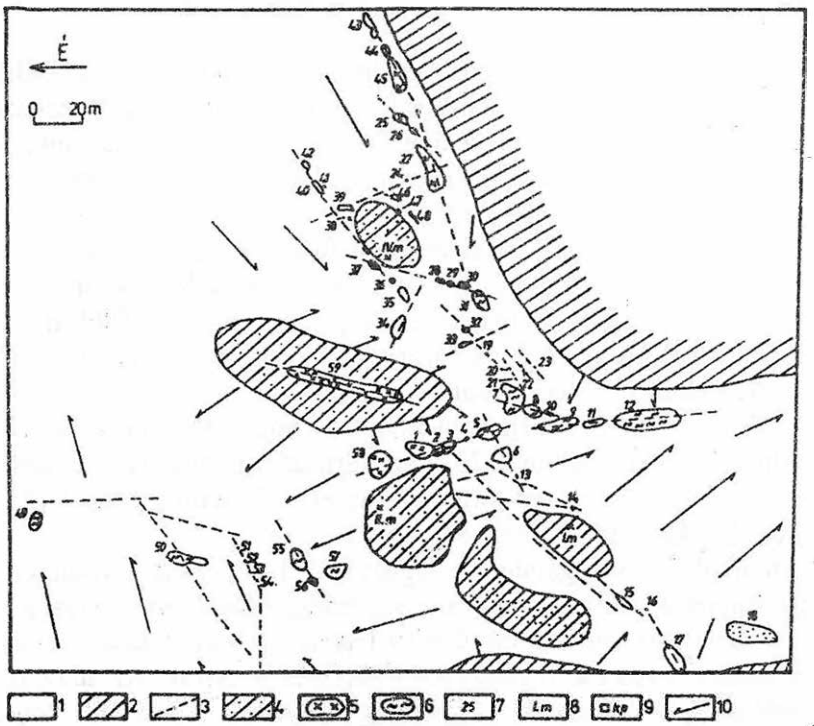
A vizsgált területen a vertikális karsztformákat *VERESS M.-ZENTAI Z.-HORVÁTH E. T.* (1996) három típusba sorolta: vályúvég-, omladékos- és

zsombolytípusú aknák. Vizsgálataink során mi is ezt a felosztást követtük, 1996-ban vályúvég- és omladékos típusú aknákat, 1997-ben az előző két típuson kívül zsomboly típusú aknákat is felmértünk.

2. A térképek értékelése és az aknák térbeli kiterjedését elemző vizsgálatok

2.1 Az aknák topográfiai elhelyezkedésének szabályszerűségei

Az aknák elhelyezkedését bemutató térképeken (*1, 2. ábra*) szembetűnő a törésvonalak lefutása és a bárányszikla, illetve az aknák elhelyezkedése közötti szoros kapcsolat. A bárányszikákat törések határolják. Ezek a törésekkel átjárt *„gyengeségi zónák"* a glaciális erózió következtében erősebben pusztultak le. A területeken lévő aknák többsége (85 %) a bárányszikák tövében helyezkedik el. Az aknák mélyüléséhez valószínűleg itt kedvezőek a feltételek. A két munkaterületen 1016 -, illetve 522 m ^{2} / db.- os az aknák

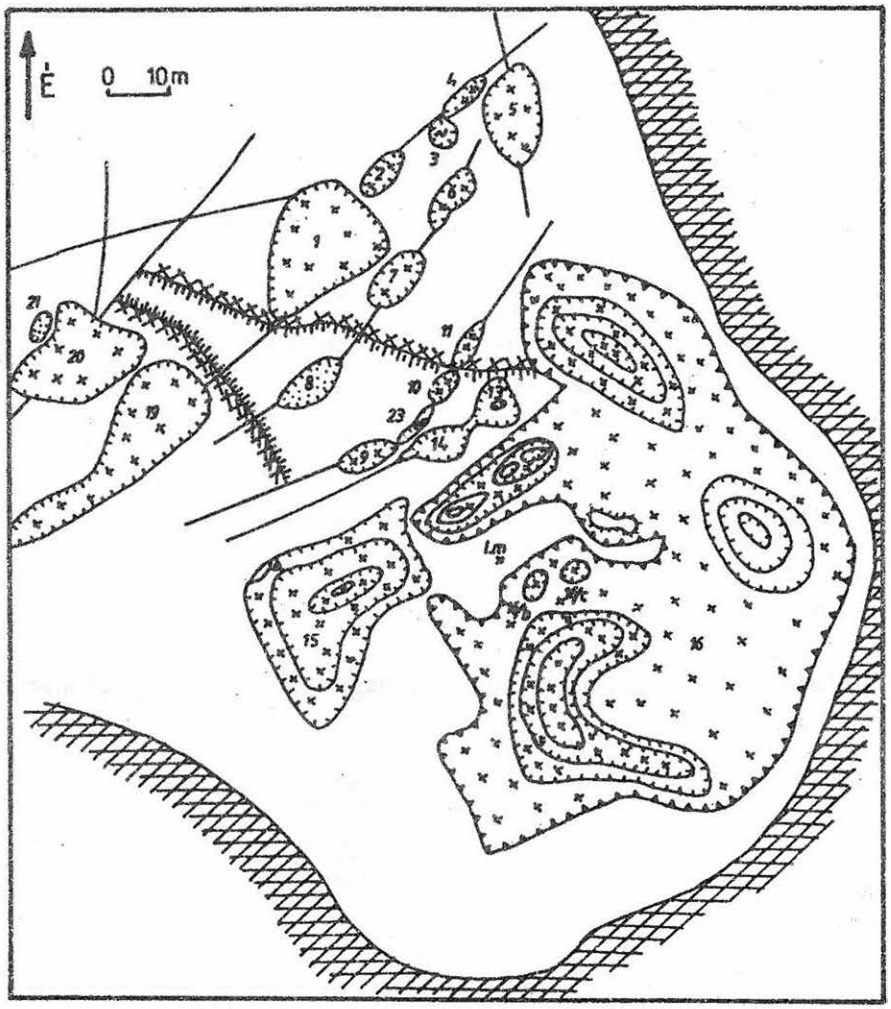


1. ábra. Az I. terület aknái

Jelmagyarázat: 1. karros térszín, 2. gleccservölgy oldala, 3. törésvonal, 4. bárányszikla, 5. omladékos típusú akna, 6. vályúvég akna, 7. akna száma, 8. műszerállás, 9. kapcsolódási pont a korábban felmért területhez, 10. lejtésirány

Fig. 1: Pits of territory I.

Legend: 1. karrenfield, 2. side of glacier valley, 3. fault-line, 4. embossed rock, 5. crumbly type pit, 6. channel type pit, 7. number of pit, 8. instrument's place, 9. connection point to the earlier measured area, 10. slope



2. ábra. A II. terület aknái.

Jelmagyarázat: 1. karros térszín, 2. tereplépcső, 3. sziklafal, 4. törésvonal, 5. akna pereme, 6. omladékos típusú akna, 7. vályúvég akna, 8. zsomboly típusú akna, 9. összenőtt omladékos típusú akna, 10. akna száma, 11. műszerállás, 12. barlang

Fig. 2: Pits of territory II.

Legend: 1. karrenfield, 2. bench, 3. rocky wall, 4. fault-line, 5. pit's edge, 6. crumbly type pit, 7. channel type pit, 8. pothole type pit, 9. accrete crumbly type pit, 10. number of pit, 11. instrument's place, 12. cave

sűrűsége. A magyarországi Alsó - hegyen ez az érték 32.000 m^2 / db. (*KÓSA A.*, 1992 alapján).

2.2 Az aknák mélységviszonyai

Az aknák mélysége 1 m- től 22,5 m- ig terjed. Átlagos mélység 5,5 m. A különböző aknatípusok mélységviszonyai között jelentős különbség nem mutatható ki. Az omladékos típusú aknák 1- 17 m. közötti mélységűek. A vályúvég aknák mélysége 1-22,5 m közötti (*I. táblázat*).

I. táblázat: Különböző típusú aknák mélységviszonyai
Table I. Depth relations of different pit types

aknatípusok type of pits	mélységtartomány I. terület depth domain territory I.	mélységtartomány II. terület depth domain territory II.	átlagos mélység I. terület average depth territory I.	átlagos mélység II. terület average depth territory II.
omladékos típus crumbly type	1 - 10 m.	2 - 17 m.	4,5 m.	6,5 m.
vályúvég channel type	2 - 22,5 m.	3 - 15 m.	6 m..	6,6 m.
zsomboly típus pothole type	.-	10 m. (1 db.)	-	10 m. (1 db.)

2.3 Az aknabejáratok méretbeli sajátosságai

Az omladékos aknák szájadéka általában nagyobb, a vályúvégeké kisebb (*II. táblázat*).

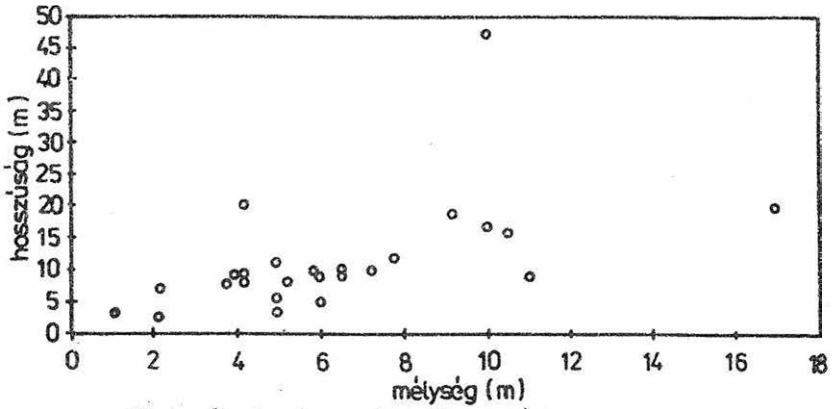
II. táblázat: Különböző típusú aknák méreteinek átlaga
Table II. Average dimensions of different pit types

aknatípusok type of pits	szélesség I. terület width territory I.	hosszúság I. terület length territory I.	szélesség II. terület width territory II.	hosszúság II. terület length territory II.
omladékos típus crumbly type	6,5 m.	14 m.	6,2 m.	9,8 m.
vályúvég channel type	2,1 m.	4,3 m.	2,1 m.	5,5 m.
zsomboly típus pothole type	-	-	4 m.	6 m.

Az akna szájánál két egymásra merőlegesen felvett méret egymáshoz viszonyított aránya a bejárat megnyúltságát jellemzi. Ha a hosszúság / szélesség arány 2- nél nagyobb, az akna bejáratát megnyúltnak tekintettük. Az aknák keresztmetszeti hányadosa túlnyomórészt 2 feletti értéket vesz fel (*III. táblázat*).

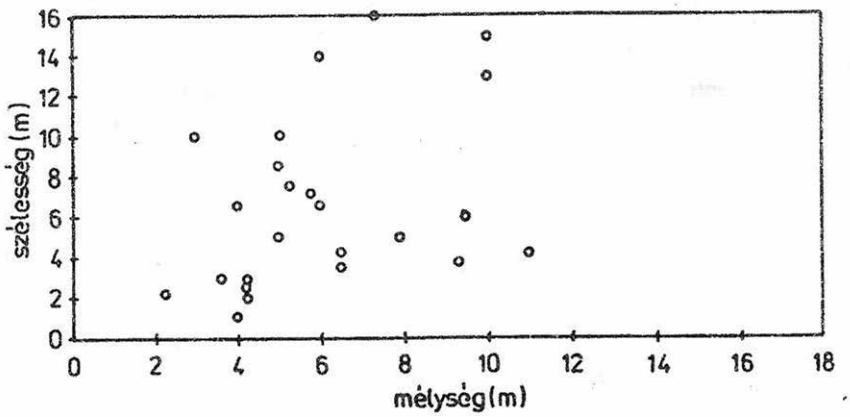
III. táblázat: Keresztirányú hányados 2 feletti értékének részesedése a két kutatott területen
Table III. The share of the cross-sectional quetient's above 2 value on the ressearched areas

aknatípusok type of pits	I. terület terrytory I.	II. terület territory II.	I. és II. terület átlaga average territory I., II.
omladékos típus crumbly type	60 %	69 %	64,5 %
vályúvég channel type	68 %	100 %	84 %



3a. ábra. Omladékos típusú aknák hosszúság és mélység adatai (I.-II. terület)
Fig. 3a. Lenght and depth parameters of crumbly type pits (territories I. and II.)

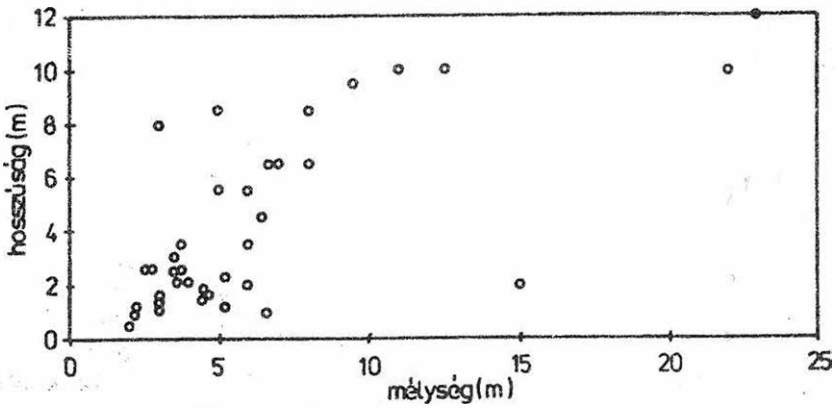
A hosszúság / szélesség hányados adatokból következtetni lehet a vályúvég aknák fejlődésmenetére (a sekély aknákat fiatalabbnak, a mélyeket idősebbeknek tekintjük). Mivel a különböző mélységű aknák keresztmetszeti hányadosa 2 körüli értéket vesz fel, így a hosszúság és a szélesség növekedési sebessége közel állandó a fejlődésük során.



3b. ábra. Omladékos típusú aknák szélesség és mélység adatai (I.-II. terület)
Fig. 3b. Width and depth parameters of crumbly type pits (territories I. and II.)

A kevésbé megnyúlt aknaforma kialakulását több tényező is előidézheti, amelyek az alábbiak:

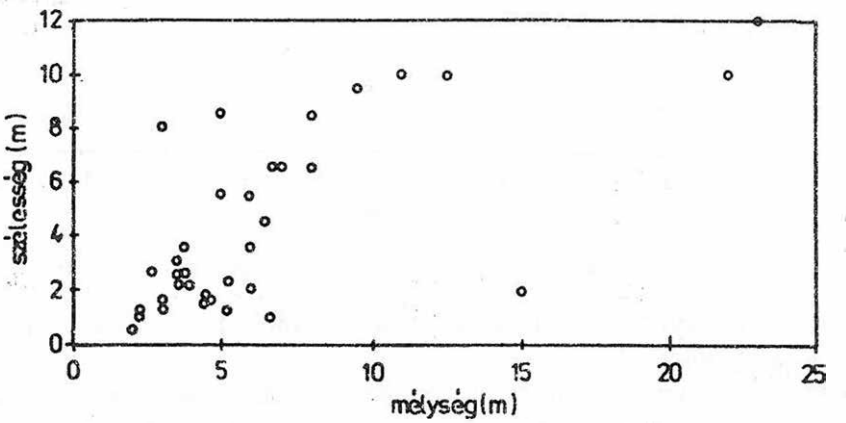
- Az akna egymással 90^0 - os szöget bezáró törések metsződésénél képződik. Ilyenkor az aknák növekedése a törésvonalak mentén minden irányban azonos ütemben történik. Ilyen például az 5. és 13. jelű akna (*1. ábra*).



4a. ábra. Csatorna típusú aknák hosszúság és mélység adatai (I.-II. terület)
Fig. 4b. Lenght and depth parameters of channel type pits (territories I. and II.)

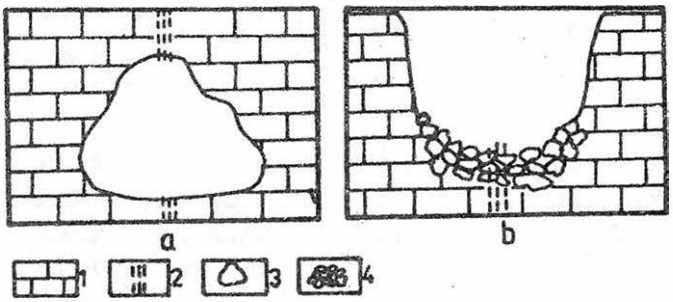
- A határoló térszín minden oldalról az akna irányába lejt, a preformáló törés gyengén fejlett. Ilyenkor minden oldalról karrcsatornák torkollanak az aknába. A karrcsatornák hasonló ütemű növekedése azt eredményezi, hogy az akna vízgyűjtő területe is minden irányba hasonló ütemben nő. Ezért az akna minden oldalról hasonló mennyiségű oldószert kap, ami az aknafalak hasonló sebességű hátrálását eredményezi. Ilyen pl. a 6., 8., 38. és 39. jelű akna (*1. ábra*).

2.4 Az akna megnyúltsága és mélysége közti kapcsolat elemzése

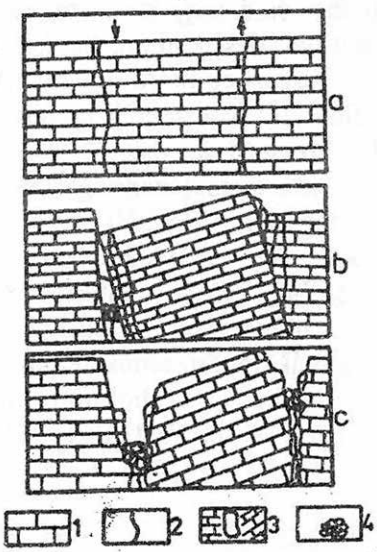


4b ábra. Csatorna típusú aknák szélesség és mélység adatai (I.-II. terület)
Fig. 4b. Width and depth parameters of channel type pits (territories I. and II.)

Vizsgáltuk az aknák mélységének és a bejáratainak egymáshoz való viszonyát (*3a., 3b., 4a., 4b. ábra).* Ilyen típusú vizsgálatokat (*SÁRVÁRY I.* (1970) az Alsó - hegy zsombolyain is végzett.



5. ábra. Omladékos típusú aknák képződése üreg vagy járat beomlásával. Jelmagyarázat: 1. mészkő, 2. törés, 3. felszín alatti üreg, 4. omladék. a. Felszín alatti üreg kialakulása. b. A felszín alatti üreg beomlása
Fig. 5: Formation of crumbly type pits by collapse of caverns or galleries Legend: 1. limestone, 2. fault-line, 3. underground cavern, 4. ruins a.) Development of underground cavern, b.) Collapse of underground cavern



6. ábra. Omladékos típusú aknák képződése a terület megbillenésével (VERESS M.-HORVÁTH E.T.-ZENTAI Z. 1996). Jelmagyarázat: 1. mészíő, 2. törésvonal, 3. felszín alatti üreg, 4. omladék. a. Törésvonalak kialakulása, b. A terület megbillenése, c. Omladékos típusú aknák képződése
Fig. 6: Formation of crumbly type pits by tilting of the area (VERESS M.-HORVÁTH E. T.-ZENTAI Z. 1996) Legend: 1. limestone, 2. fault-line, 3. underground cavern, 4. ruins a.) Development of fault-lines, b.) Tilting of the area, c.) Formation of crumbly type pits

Omladékos típusú aknák szélessége nem változik jelentősen a mélység növekedésével, a bejárati hosszúság viszont a mélység növekedésével jelentősen növekszik. A kis mélységű, így kis bejárati hosszúságú és kis bejárati szélességű aknák bejárata nem mutat megnyúltságot. Ugyanakkor a nagy mélységű aknák esetében, mivel azok bejárati hosszúsága jelentősen megnövekedett, míg bejárati szélessége közel változatlan maradt, megnyúltak lesznek.
A vályúvég aknáknál mindkét bejárati méret növekszik a mélység függvényében. Ezért azoknál nem jelentkezik a mélység növekedésével a bejárat megnyúltsága.

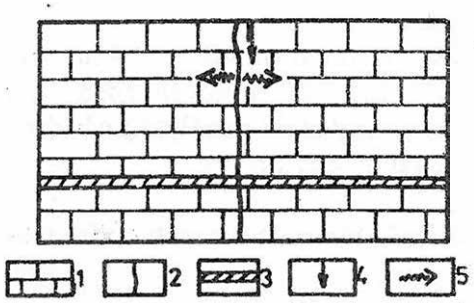
3. Az aknák fejlődése a vizsgált területeken

3.1 Omladékos aknák

A két terület omladékos aknái között alaktani különbségek nincsenek. A mélységbeli különbségek jelentősek (2.2 fejezet), feltehetőleg az aknaalakító folyamatok sebes-

sége és az aknaképződés feltételeinek különbözősége miatt.
Az aknák megfigyeléseink szerint kialakulhatnak:
- Felszín alatti üreg vagy járat beomlásával (*5. ábra*). Ilyenek az 1., 9. és 27. jelű aknák az *1. ábrán*, valamint az 5., 15. jelű aknák a *2. ábrán*.
- Terület megbillenésével (*VERESS M.-ZENTAI Z.-HORVÁTH E. T.*, 1996. *6. ábra*).
- Hasadékok összenövésével. Hasadék kialakulhat törés, repedés vagy kőzetminőségbeli eltérés mentén. A folyamatban központi szerepet játszik az oldódás. Az oldódás mértéke alapján két zónát lehet megkülönböztetni, egy intenzív és egy lassú oldódási zónát (*7. ábra*). Az intenzív zóna törésvonal és réteglap mentén található. Itt gyors az oldódás, mivel folyamatos az oldószer utánpótlás és irányított a folyamat. A lassú oldódási zónába az aknafalat alkotó szálkőzet tartozik, itt lassúbb az oldódás sebessége. Ha a törések kellő sűrűségben találhatók egymás mellett, akkor a réteglapok mentén összeoldódhatnak (*8. ábra*). A közöttük lévő maradék válaszfalak roncsolódnak, majd leomlanak. Ez tovább aprózódhat az oldódás- és a fagy hatására. Így nagy mennyiségű törmelék keletkezik az összenőtt hasadékok alján. Ezeket a formákat a méretük alapján omladékos aknának nevezhetjük (*8. ábra*). A törmelék alatt a törés mentén tovább folyik az oldódás. A törmelék követi a mélyülést, így egy utánrogyásos mozgás figyelhető meg (*8. ábra*).

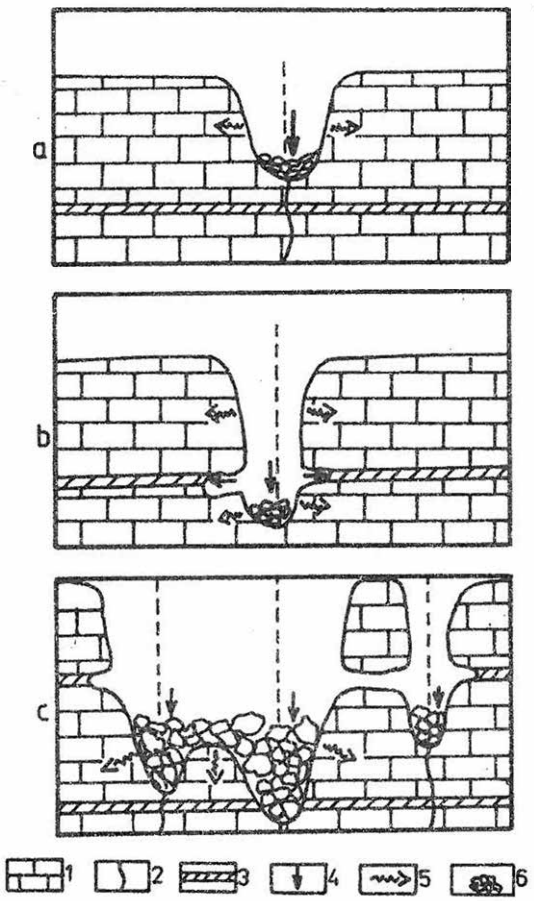
Az aknák törmelékanyaga származhat fagyaprózódásból, illetve oldódásból. Az omladékos aknák összenövéséből nagy kiterjedésű törmelékes mélyedések keletkezhetnek. Az aknák fejlődésének jelentős tényezője lehet a hókitöltésük (*HORVÁTH E. T.-ZENTAI Z.* 1998).



7. ábra. Az intenzív és a lassú oldódási zónák elvi rajza. Jelmagyarázat. 1. mészkő, 2. törésvonal, 3. réteglap, 4. intenzív oldódási zóna, 5. lassú oldódási zóna
Fig. 7: Theoretical sketch of the intensive and slow solution zones
Legend: 1. limestone, 2. fault-line, 3. bedding plane, 4. intensive solution zone, 5. slow solution zone

3.2 vályúvég aknák

Az I. területen a vályúvég aknák uralkodnak a lejtőkarros térszín miatt. A II. területen a lejtőkarrok kisebb száma és az egyéb feltételek következtében elsősorban omladékos típusú aknákat találtunk.
A vízgyűjtő terület nagysága egyaránt befolyásolja az aknák számát és mélységét. A vályúvég típusú aknák



8. ábra. Omladékos típusú aknák képződése hasadékok összenövésével.
Jelmagyarázat: 1. mészkő, 2. törésvonal, 3. réteglap, 4. intenzív oldódási zóna, 5. lassú oldódási zóna, 6. omladék, a. Hasadék kialakulása, b. Réteglap menti oldódás, c. Hasadékok összenövése.
Fig. 8: Formation of crumbly type pits by accretion of fissures
Legend: 1. limestone, 2. fault-line, 3. bedding plane, 4. intensive solution zone, 5. slow solution zone, 6. ruins a.) Formation of fissure, b.) Solution along bedding plane, c.) Accretion of fissures

kialakulása döntően a felszíni (horizontális) karsztformákhoz köthető, tehát ezek a vertikális formák a jégtakaró visszahúzódása után jöhettek létre. Ezen típus fejlődését is nagy mértékben befolyásolhatja az egyes aknákban tartósan megmaradó hó.

4. Összegzés

a. Feltérképeztük és elemeztük a Totes Gebirge két karsztos területének vertikális karsztformáit. Kapcsolatot találtunk a terület tektonikája, glaciális - és karsztos formái között.
b. Amíg az omladékos típusú aknák törések oldódásos típusú szélesedésével és a maradék válaszfalak omlásával, a vályúvégtípusú aknák oldódása (alakjukat megtartva növekednek) karrvályúk lefejeződésével alakulnak ki.

IRODALOM

HORVÁTH E. T.-ZENTAI Z. (1998): Újabb adalékok a magashegységi vertikális karsztformák morfogenetikájához. - Karsztfejlődés II. (Totes Gebirge karrjai). BDTF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p. 191-200.

KÓSA A. (1992): Alsó-hegyi zsombolyatlasz; Atlas propasti Dolného Vrchu; Alsó- hegy / Dolny Vrchu Pothole Atlas Budapest, MKBT.
SÁRVÁRY I. (1970): A zsombolygenetika kérdéseiről - Karszt és barlang I. p. 5 - 12.
VERESS M - HORVÁTH E. T. - ZENTAI Z. (1996): Egy magashegységi karsztterület vertikális formáinak vizsgálata BDTF Tud. Közl. X. Természettudományok 5. p. 141-157.