

KARROS FOLYAMATOK ÉS FORMÁK RENDSZEREZÉSE TOTES GEBIRGE-I PÉLDÁK ALAPJÁN

VERESS MÁRTON

Berzsenyi Dániel Tanárképző Főiskola, Földrajz Tanszék
9700 Szombathely, Károlyi G. tér 4.

Összefoglalás:

A magashegységi karrosodási folyamatokat – főleg az ausztriai totesi példák alapján – tekintjük át. Oldódási típusokat, ezen belül oldódási folyamatokat különítünk el. Rendszerezünk az oldódási folyamatok során keletkező formákat, javaslatot teszünk a még eddig le nem írt oldódási folyamatok és formák nevezéktanára.

1. Bevezetés

A karrok morfológiai csoportosítását már elvégezték (MONROE, W-WATSON, H., 1972; BÖGLI, A. 1976; BALÁZS D., 1990.). Újabban a karsztosodási jelenségek csoportosítása és a formák genetikai értelmezése annak figyelembevételével történik, hogy az oldószer és az oldódó kőzet érintkezési felülete milyen geometriai formát képez (VERESS M.-PÉNTEK K. 1992; VERESS M.-PÉNTEK K., 1994). Alább rendszerezünk azokat az oldódási folyamatokat – főleg totesi példák alapján – amelyek a kartípusok és az ezeket képező morfológiai elemek kialakulásáért felelősek (I. táblázat). A rendszerezés alapja, hogy az oldószer és a kőzet érintkezési felülete (az oldódás helye) milyen kiterjedésű és helyzetű. A rendszerezés során javaslatot teszünk a karros nevezéktan bővítésére.

Úgy tűnik, az oldódási folyamatok eredményeként többnyire a folyóvízi eróziós, ill. a karsztos makroformákhoz hasonló (természetesen nagyságrendekkel kisebb méretben) formák képződnek. Ezért az itt leírásra került folyamatok, ill. formák elnevezésénél az eróziós (CHOLNOKY J. 1926, PÉCSI M.-SZILÁRD J., 1973) és karsztos makroformáknál már meghonosodott nevezéktant használtuk.

2. Felületi oldódás

Elsősorban réteglapos felszíneken játszódik le. (Rétegfejes térszíneken lejtőkarr képződik, tehát a vonalas oldódás a meghatározó.) Eredményeként élek, gerincek, háta, kúpok, tornyok, esetleg törmelékdarabok maradnak vissza (maradvány térszínek).

Előfordulhat, hogy a felszínen a szelektív oldódás eredményeként lépcső, különböző formálódik ki. Ilyenkor a lépcsőhomlok önmagával többé-kevésbé párhuzamosan hátrál.

Folyamatok és formák

FOLYAMAT	RÉSZFOLYAMAT	FORMA
FELÜLETI OLDÓDÁS		gerince, hát, kúp, torony (maradványtérzsin) lépcső saroknyom
VONALAS OLDÓDÁS	vonalas, egyenes irányú oldódás	egyszerű vályú: nagy vályú (\cup \cup alakkal), barázda (ld. az I. típusú vályút), rovátka (\cup alakkal)
		összetett vályú: - I. típusú vályú ($\vee\vee\vee\vee$ alakkal), - II. típusú vályú (\vee alakkal), - III. típusú vályú (\cup alakkal), gerincevályú (maradvány térzsin)
	meanderező vonalás oldódás	hasonló kényszer meander vályú
	álmecanderezés	eletsúztatott kényszer meander vályú
	igazi meanderezés	szorított kényszermeanderes vályú szabad kényszermeanderes vályú
	kanyarulat lesiklás	kanyarulat szinlők (homorú oldal) szoknya (domború oldal)

	<p><i>kanyarulat tültsíjlődés</i></p> <ul style="list-style-type: none"> — karrvályú zúg — karrvályú nyak — nyaki barlang — nyakivályú — karrvályú holtág — korróziós sziget hely (maradvány térszín) <p><i>vályú regresszió</i></p> <ul style="list-style-type: none"> — regressziós szurdok — gerinc sziklahíd — karrvályú vízválasztó — obszkevns vályú — függővályú — vályú roncs <p><i>vályú keresztetződés</i></p> <ul style="list-style-type: none"> — önlefejeződés — keresztirányú lefejeződés <p><i>vályú lefejeződés</i></p> <ul style="list-style-type: none"> — egyszerű — összetett
	<p><i>teraszosodás</i></p> <ul style="list-style-type: none"> — karrterasz — teraszroncs, él, élröncs
LOKÁLIS OLDÓDÁS	<p><i>madáritató</i></p> <ul style="list-style-type: none"> — vályútalp madáritató — vályúvég madáritató — függő madáritató — összetett madáritató — átrelődéses szurdok <p><i>madáritató lefejeződés</i></p>
VERTIKÁLIS OLDÓDÁS	<p><i>kürtő képződés</i></p> <ul style="list-style-type: none"> — akna kürtő — vályútalp kürtő — vályúvég kürtő (vak kürtő, lefejeződéses kürtő) — fe nyílásos kürtő
TALAJ ALATTI OLDÓDÁS	

<p>FELSZÍN ALATTI OLDÓDÁS</p>	<p><i>karrbarlang képződés</i></p> <p><i>deltásodás</i></p> <p><i>lefejeződés</i></p> <p><i>lefejeződés hátrálás</i></p>	<p>víznyelőlbarlang, forrásbarlang, átmenőbarlang</p> <p>karrvályú barlang</p> <p>emeletes karrvályú barlang</p> <p>karrvályú barlang víznyelő</p> <p>kürtös vak karrvályú</p> <p>vakkarrvályú</p> <p>kürtös víznyelőlbarlang</p>
<p>ÖSSZEOLDÓDÁS</p>		<p>saroknyom uvala</p> <p>kürtő uvala</p> <p>madarító uvala</p> <p>vályútalp szakadék többor</p> <p>felnyílt karrvályú</p> <p>karrvályú sziklahíd</p> <p>mennyezetmaradvány</p>

Valószínűleg a saroknyom karros térszínnek olyan felületi leoldás eredményei, ahol az oldódás helyenként nagyobb méretű, mint máshol. A megfigyelések arra utalnak, hogy a kialakuló saroknyom karrok az okozói más karros formák (karr-barázdák, madáritatók) képződésének.

3. Vonalas oldódás a felszínen

A vonalas oldódás eredményeként alakulnak ki a lejtőkarrok, amelyeket különböző méretű (rovátka, barázda, nagyvályú) egymással többé-kevésbé párhuzamos, különböző sűrűségű, hosszanti bemélyedések, vályuk alkotnak.

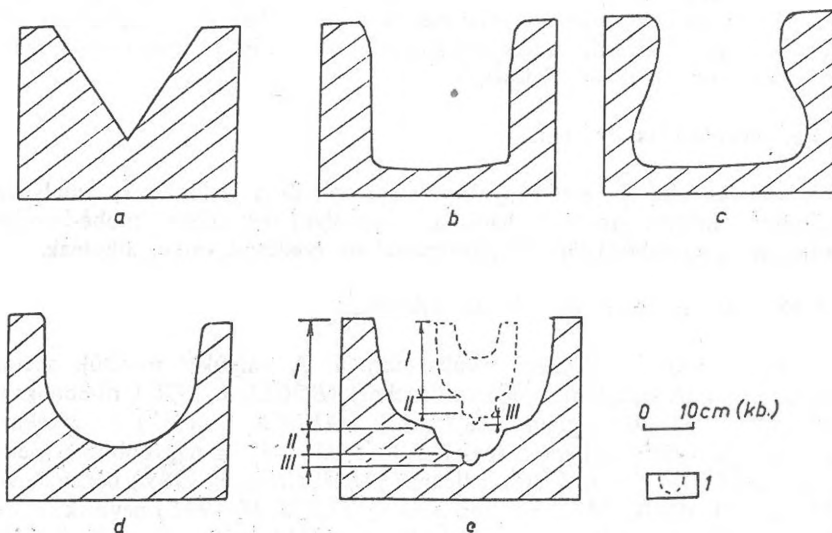
3.1. Vonalas, egyenes irányú oldódás a felszínen

A lejtőn lefolyó oldószer vályukat formál. A vályukat méretük szerint csoportosítják. A kisebb méretűeket rilleneknek (BÖGLI, A. 1976.), ribbonoknak (TRUDGILL, S. 1985), gravitációs karmak (JAKUCS, L. 1980), rovátkáknak (BALÁZS, D. 1990), esőbarázdáknak (VERESS, M. 1992), a nagyobb méretűeket rinneneknek (BÖGLI, A. 1976.), rilleknek (TRUDGILL, S. 1985.) barázdáknak (BALÁZS, D. 1990), oldódási csatornáknak (VERESS, M. 1992.) nevezik. A kanyargó vályukat meanderkarnak (BÖGLI, A., 1976.) hívják. A rovátkák nemcsak kisméretűek, hanem többnyire környezetükbe simulnak, míg a barázdák vagy egy másik barázdába csatlakoznak, vagy vakon elvégződnek (lefolyástalannak). A barázdák mérete igen változatos lehet. Adott barázda mérete valószínűleg attól függ, hogy ott mennyi az oldószer maximális mennyisége. A rovátkához nem tartozik vízgyűjtő terület. Felső végük peremeknél, gerinceknél kezdődik. A barázdák nem rovátkákból fejlődnek, hanem valószínű, hogy egymás alatti saroknyomok összeoldódása és mélyülése során képződnek.

A vályúk alakját (1. ábra) valószínűleg nagymértékben meghatározza az oldószer mennyiségének időbeli alakulása. Ez viszont az oldószer eláramlási sebességétől (ami a hordozó terület lejtésétől függ), valamint az utánpótlás mértékétől (amit viszont a vízgyűjtő terület morfológiája, a hótakaró vastagsága, az olvadás intenzitása befolyásol) függ.

Aktív időszakokban az oldószer mennyiségének folyamatos csökkenése mellett az oldás egyre kisebb sávra terjed ki. Ekkor V-keresztmetszetű vályú képződik. V-keresztmetszetű vályú képződik akkor is, ha a vályúhoz oldalról is oldószer érkezik. A vályúk között azonban ilyenkor lekerekített vályúközi peremek, hátaik, gerincek képződnek. Előfordulhat, hogy a vályúközi gerincen is vályú képződik (gerincvályú).

Huzamosabb ideig változatlan vízhozamnál széles talpú, függőleges oldalú vályúk képződésére lehet számítani. Valószínűleg gyorsuló ütemű vízhozam csökkenés esetén félkör, ill. U (homorú lejtőkkel határolt) keresztmetszetű vályúk képződnek. Túlhajló oldalú, lefelé kiöblösödő vályúk képződnek, ha a vályúban áramló vízmennyiség tartósabban stabilizálódik. Hasonló vályú alak jöhet létre talaj alatti oldódás esetén. Ilyenkor a vályútalp talajelborítása alatt az oldódási idő meghaladja a vízáramlási időt, ill. az oldódás intenzitása is nagyobb lesz.



I. ábra: Különböző, egyszerű (a-d) és összetett (e) vályú keresztmetszetek
Jelmagyarázat: I, II, III, vályútípusok, I. idősebb vályúk

A fentebb említett egyszerű vályuktól jól elkülöníthetők az összetett vályúk, amelyeket *LECHNER, J.* (1953) ineinandergeschachtelten formának nevez.

Az oldószer mennyiségének nagyméretű csökkenése, majd ezen mennyiség tartósabb stabilizálódása eredményezi, hogy a már kialakult vályúban (I. típusú) újabb (II. típusú), majd az utóbbiban egy még kisebb (III. típusú) vályú képződik. Bár e kategorizálásnak a vályúk összetett kifejlődése esetén van értelme, az egyes vályútípusok méretük alapján is elkülöníthetők. Az I. típusú vályúk szélessége és mélysége néhány dm, míg a III. típusú vályúé néhány cm. A II. típusú vályúk mérete az I. és III. típusú vályúk közé esik. Bár e kategorizálásnak a vályúk összetett kifejlődése esetén van értelme, előfordulhatnak olyan II. típusú vályúkkal rendelkező vályúk is (belsejükben III. típusú vályúval), amelyek nem I. típusú vályú talpon alakultak ki. Előfordulhat, hogy az I. típusú vályúban csak III. típusú (e vályútípusból egyetlen vályútalpon akár kettő is kialakulhat), fejlődhet ki, ill. az, hogy az I. típusú hiányzik. A nagyobb vályú növekedése esetén a benne elhelyezkedő kisebb is növekszik, míg a kisebb vályú növekedésekor a nagyobb vályú nem fejlődik.

A III. típusú vályú kialakulásának más okai is lehetnek:

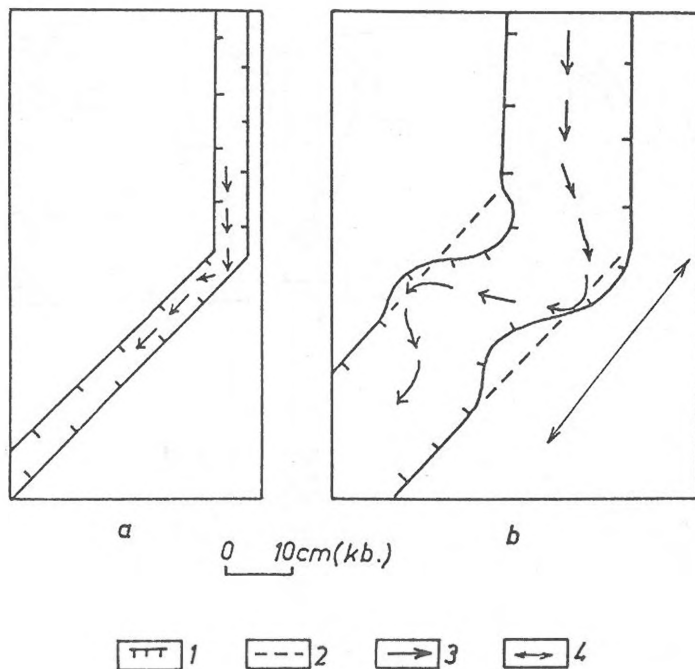
- kúrtóktól visszahátráló oldódás,
- a nagyobb vályú talpát fedő talajból kiszivárgó oldószer oldódása.

A III. típusú vályúk talpán az oldódás nem egyenletes (kagylós oldódás). Eredményeként vályútalp (ill. a vályú egésze) néhány cm-es kiterjedésű bemélyedésekre tagolódik.

3.2. Meanderező vonalas oldódás

3.2.1. Meander típusok

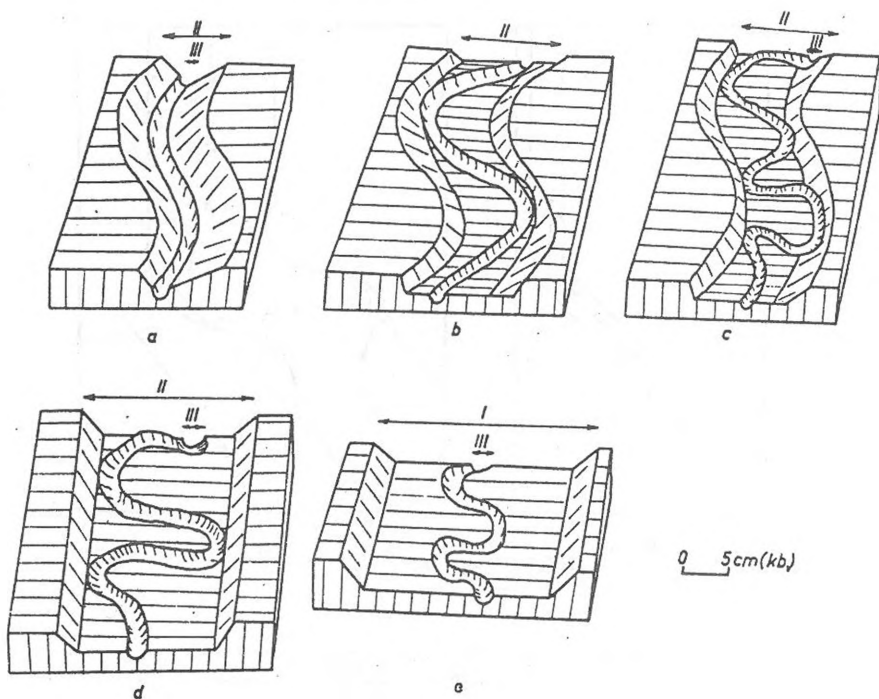
Az esővíz barázdák (rovátkák) – melyek sohasem kagylós morfológiájúak –, nem mutatnak meanderezést. Hasonlóan nem meandereznek a nagyvályúk (I. típusú) ez alól kivételt jelentenek a túlfejlett vályúk. Ezek talpa kis lejtésű és gyakran egy-egy kanyarulattal rendelkeznek. Minél kisebb a vályú, a meanderezés annál határozottabb és annál nagyobb szakaszokon fejlődik ki a meanderezés. Összetett karrvályúk II. ill. a III. típusú vályuinál többnyire fokozódik a meanderezés (a meanderek hossza nő, hullámhossza csökken) Gyakran ugyanannál a vályúnál megfigyelhető hogy lefelé a vályútalp irányába a meanderezés mértéke fokozódik (FRIDTJOF, B. 1954.).



2. ábra: Álmeanderképződés különböző irányú I. típusú vályúszakaszok érintkezésénél (fénykép után)

Jelmagyarázat: a. meanderképződés előtti állapot, b. meanderképződés, 1. vályúperem, 2. meanderképződés hiánya esetén a vályúperem várható pereme, 3. oldószor sodorvonala, 4. meander

Valószínű, hogy a vályúk meanderezése lehet ál- és igazi meanderezés. Álmeanderezés esetében a kialakuló vályú irányváltozásai késztehetik az oldószert meanderezésre. Ez kanyarulatok, félmeanderek kialakulását eredményezi. Ugyanis a sodorvonal kilendülése következtében a kőzet ezeken a helyeken az oldószert leggyorsabban áramló részeivel érintkezik. Ezeken a helyeken az oldás fokozódik, ami kanyarulat kialakulását eredményezi. Ilyen helyek lehetnek, ahol különböző irányú vályú szakaszok kapcsolódhatnak egymásba (2. ábra). Ennek lehetnek tektonikai okai, de oka lehet a felszín már meglévő morfológiája is. Pl. amikor egymás felett, de nem egyvonalban vályú szakaszok alakulnak ki saroknyom sorokból. Ezeket a lejtő csapásába eső szakaszok kapcsolják később össze, amely a vályú zezguzos lefutását eredményezheti.



3. ábra: Összetett karrvályúk átöröklődő meanderei
 Jelmagyarázat: I., II., III. vályútípusok, a. kialakulásától kényszermeanderező, hasonló szorított meander, b. kialakulásától kényszermeanderező, elcsúsztatott meander, c-d. szorított meander, e. szabad meander

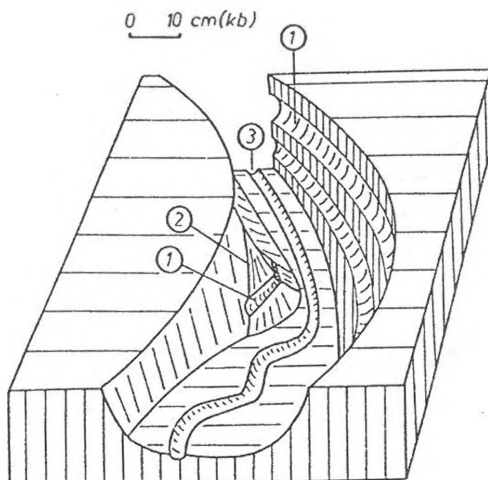
Az igazi meanderezés esetében az oldószert sodorvonala eleve kanyarog, ami meanderező vályú kialakulást okoz. Ez a jelenség elsősorban III. típusú vályúknál figyelhető meg. Feltételezzük, hogy az igazi meanderezés akkor lép fel, ha az oldószert telített lesz és ezáltal munkavégző képessége csökken.

Mind az álmeander, mind az igazi meanderezés során átöröklődő vályúk képződnek. Az álmeanderező vályúkban kialakuló II. vagy III. típusú vályúk kényszermeanderezhetnek. Így hasonló és elcsúsztatott kényszermeanderek képződnek. Az igazi meanderezést végző vályúk lehetnek szorítottak vagy szabad meanderezésűek (3. ábra). Legváltozatosabb meanderezést a III. vályú típusok mutatnak esetenként teljes hosszukban, vagy csak bizonyos szakaszaikon. A III. típusú vályúk szorított meanderező, ill. szabad meanderű (3/e. ábra) szakaszai fölött, vagy alatt (vályú kilépés madáritatóból, ill. belépés kürtőbe) a lejtőszög számottevően változik.

3.2.2. Meander fejlődés

3.2.2.1. Kanyarulat lesiklás

A meander mentén a bemélyülés lehet függőleges (meander szurdok képződik), vagy ferde irányú, ami a kanyarulat lesiklását eredményezi. Utóbbi oka az lehet, hogy az oldószer meanderezése miatt a sodorvonal a kanyarulat homorú oldalának irányába tolódik el. Ilyenkor a homorú oldal meredek túlhajló lejtővel, míg a domború lankás lejtővel határolt (4. ábra).



4. ábra: Kanyarulat lesiklás
(fénykép után)
Jelmagyarázat: 1. szinlő
2. szoknya,
3. III. típusú vályú

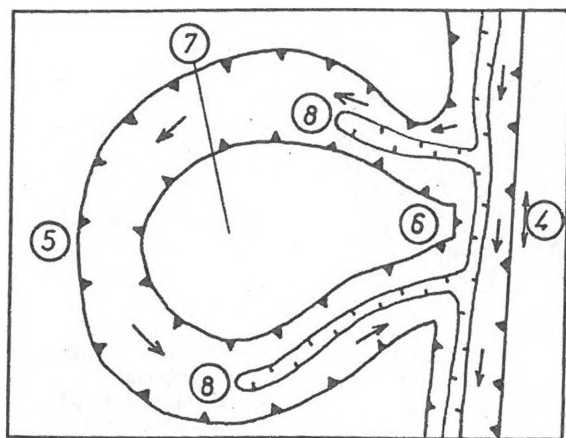
Ez a lejtő fent éles peremű, lefelé szoknyaszerűen kiszélesedő. A homorú oldalakon kanyarulat szinlő vagy szinlők fejlődhetnek ki, kevésbé markánsan a domború oldalon is előfordulhatnak szinlők. Kialakulásukat illetően az alábbiak jöhetnek szóba:

- a folyásirányba eső homorú ívben kialakuló, részben a domború oldalon is kifejlődő, de ott fokozatosan kiékelődő szinlő,
- idősebb II. vagy III. típusú vályú maradványok,
- kisvízhez tartozó sodorvonal helyek.

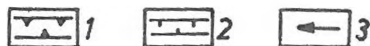
A fenti formakincs akkor fejlődik ki markánsan, ha az I. típusú vályúban a III. típusú vályú hasonló, vagy elcsúsztatott kényszermeanderezést végez.

3.2.2.2.2. Kanyarulat túlfejlődés

Valószínűleg, ha aktív időszakban a vályúban hosszú ideig sok oldószér áramlik, a kanyarulat gyorsabb ütemben fejlődik oldalirányban mint lefelé. Kanyarulat túlfejlődés játszódik le, karrvályú zug és karrvályú nyak képződik. Ezt követően bekövetkezik a kanyarulat lefejeződés, karrvályú holtág alakul ki, amely korróziós szigetehyget fog közre (5. ábra). Ez a folyamat elsősorban hurok vályúknál fordul elő. A lefejeződést valószínűleg elősegíti a nyak részénél végbemenő barlangképződés (nyaki barlang), ill. az itt bekövetkező oldószér túlfolyás (nyaki vályú).



0 20cm (kb.)



5. ábra: Kanyarulat lefejeződés (fénykép után)
Jelmagyarázat: 1. I. típusú vályú, 2. III. típusú vályú, 3. vályútalp lejtés iránya,
4. lefejeződési hely, 5. karrvályú holtág, 6. karrvályú nyak,
7. karrvályú zug (korróziós szigetehy), 8. hátráló vályúk

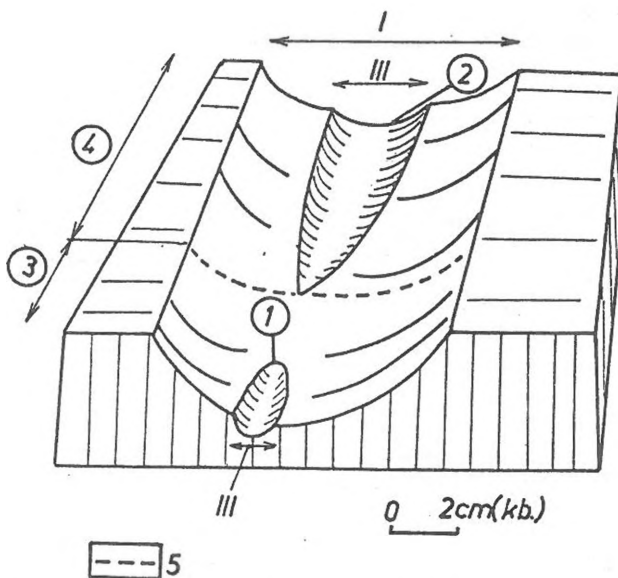
3.3. Vályú regresszió

A különböző vályútípusok hátrálnak. A hátrálást kísérő bemélyülés különösen nagy esésű részeken jelentős (regressziós szurdokok). Hasadékperemek hátrálást kísérő erőteljes feltagolódásával fésűs karr képződik. (Itt a vályúk mellett félkürtők is kifejlődnek.)

A hátráló II. típusú vályúknál gyakori, hogy közöttük a gerinc elkeskenyedik, végül átréselődik (gerinc sziklahíd).

A III. típusú vályúk hátrálását — amelyek különösen I. típusú vályú talpakon gyakoriak — gyakran kísérik vályú szétágazások (10. ábra). A szétágazó vályúk azonban igen gyakran nem hegyesszöget, hanem derékszöget zárnak be egymással.

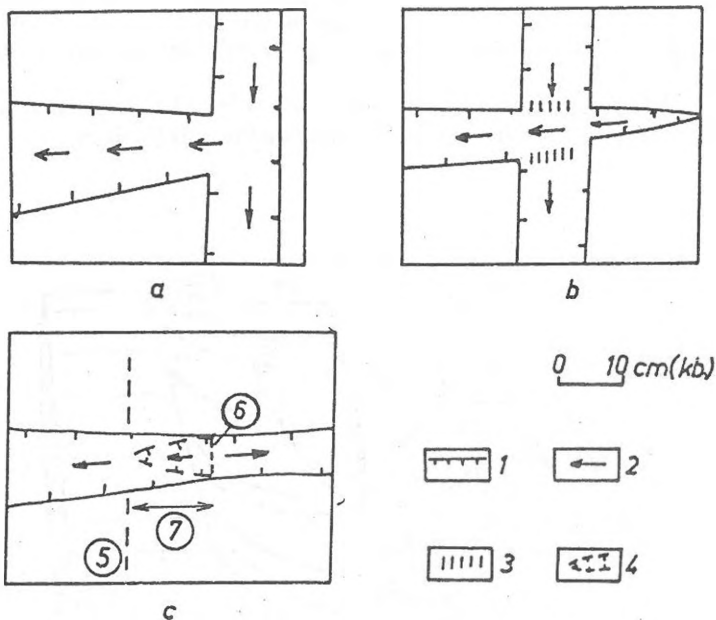
A vályú visszahátrálás általában lejtésirányú. Előfordul azonban regresszió vízszintes felületeken is, sőt a lejtéssel ellentétes irányba is (6. ábra).



6. ábra: Karrvályúvízválasztó kialakulás és vízgyűjtő differenciálódás regressziós fiatal vályúk hatására

Jelmagyarázat: I, III. vályútípusok, 1. lejtésirányba hátráló vályú, 2. lejtésiránnyal ellentétes irányba hátráló vályú, 3. lejtésirányba hátráló vályú vízgyűjtő területe, 4. lejtésiránnyal ellentétes irányba hátráló vályú vízgyűjtő területe, 5. vízválasztó

A II., de főleg a III. típusú vályúknál gyakori, hogy az egyik vályú a másikra merőleges helyzetű. A hátráló vályúvég lefejezheti (vályú lefejeződés), ill. átmetszheti (vályú keresztződés) a másik vályút (7/a. ill. 7/b. ábra).

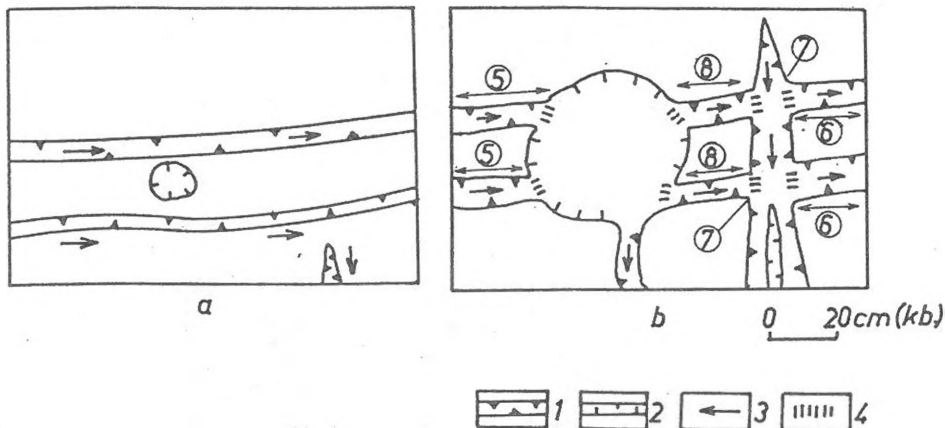


7. ábra: Vályú lefejezések regresszióval (fénykép után)

Jelmagyarázat: a. vályúlefejeződés, b. vályúkeresztződés, c. vályúvégek eltérő regressziója

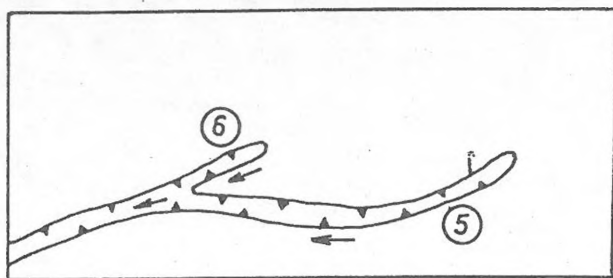
1. vályúperem, 2. vályútalp lejtési iránya, 3. lépcső, 4. hajdani vályúperem, 5. hajdani vízváltató, 6. jelenlegi vízváltató, 7. obszervens vályúrészlet

A karrványú karrványúhoz hátrálás eredményeként karrványú vízváltató alakulhat ki (7/c ábra). Akkor, ha valamelyik intenzívebben mélyül, részben fel-emésztí a kevésbé intenzíven mélyülő talpát, annak lejtése a korábbihoz képest ellentétes irányú lesz (obszervens karrványú részlet). Vályúroncs keletkezik, ha a vályúnak nemcsak a felső, hanem az alsó vége is lefejeződik (8. ábra). Önlefejeződés játszódik le, amikor a gyorsabban hátráló mellékvályúk a fővályút fejezik le (9. ábra).

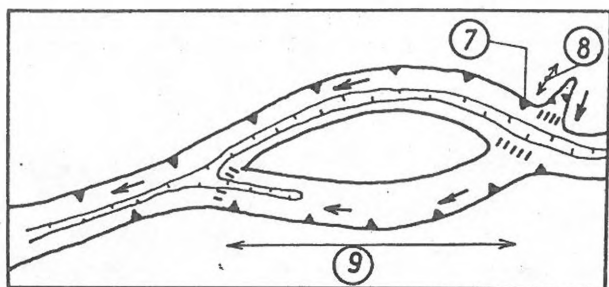


8. ábra: Lefejeződés madáritató által és vályúkereszteződés (vázlatrajz és fénykép után)
 Jelmagyarázat: a. lefejeződés előtti állapot, b. lefejeződés és vályúkereszteződés, 1. I. vályú pereme, 2. III. vályú pereme, 3. vályútalp lejtésiránya, 4. lépcső, 5. vályúlefejeződés alsó szakaszon, 6. vályú lefejeződés felső szakaszon, 7. vályúkereszteződés, 8. vályúroncs

Előfordulhat, hogy I. típusú vályúk egyikéből a másikba keresztirányba képződő III. típusú vályú hátrál vissza és azt lefejezi. A lefejeződés lehet egyszerű, vagy összetett. Egyszerű lefejeződés akkor következik be, amikor a lefejezett I. vályúban még nem alakult ki III. típusú vályú (10/a. ábra). Ekkor az I. típusú vályútalpon lejtésirányba, ill. azzal ellentétesen hátrál a III. típusú vályú. Összetett lefejeződés akkor következik be, amikor a lefejezett I. típusú vályúban a lefejezés idejére ugyancsak kialakul egy regressziós III. típusú vályú (10/b. ábra). Ekkor nemcsak az I, hanem a III. típusú vályú is lefejeződik. Ebben az esetben a lefejeződési hely feletti vályútalp vizeit vezeti el a lefejezést végző III. típusú vályú (azt a vizet, ami nem folyik túl), míg az ez alatti szakaszét nem. Megjegyzendő, utóbbi vályútalp vizei is egyre nagyobb arányban kerülhetnek a lefejezést végző III. típusú vályúba. (Ugyanis a lefejeződési helytől megkezdődik a lefejező III. típusú vályú lejtéssel ellentétes irányú hátrálása a lefejezett III. típusú vályú lefejeződés alatti szakaszába.)

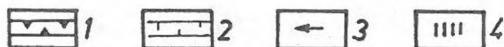


a

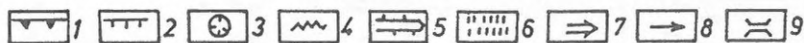
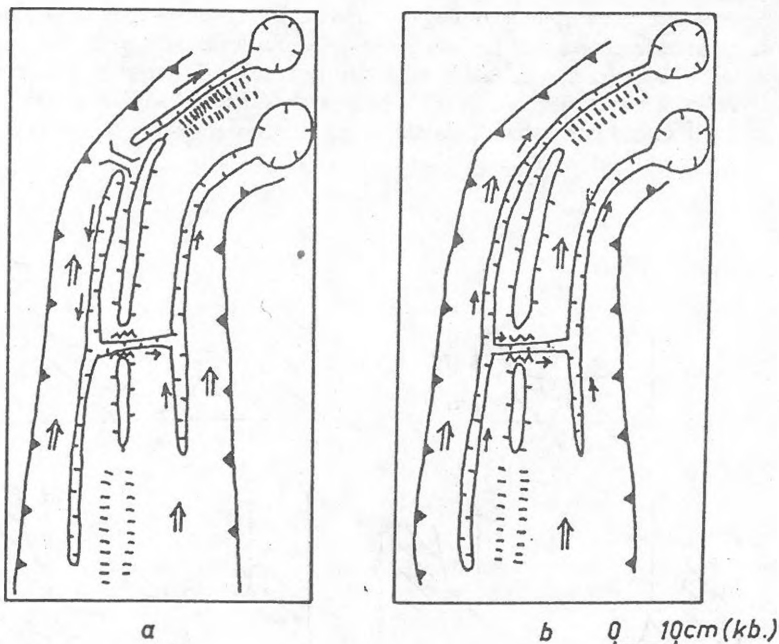


b

0 20cm (kb.)



9. ábra: Önlefejeződés vályúkereszteződéssel
 Jelmagyarázat: a. lefejeződés előtti állapot, b. lefejeződés utáni állapot, 1. I. vallyú,
 2. III. vallyú, 3. vallyútalp lejtésiránya, 4. lépcső, 5. fővallyú, 6. mellékvallyú, 7. lefejeződési hely
 (vályúkereszteződés), 8. függővallyú, 9. vallyúroncs



10. ábra: Egyszerű (a) összetett (b) lefejeződés (fénykép és vázlatrajz felhasználásával)
 Jelmagyarázat: 1. I. típusú vályú pereme, 2. III. típusú vályú pereme, 3. kürtő,
 4. keresztiszurdok, 5. vályúközi gerinc, 6 vályúközi hát, 7. I. típusú vályú talpának lejtésiránya, 8.
 III. típusú lejtő talpának lejtésiránya, 8. III. típusú lejtő talpának lejtésiránya,
 9. vályútalp vízválasztó

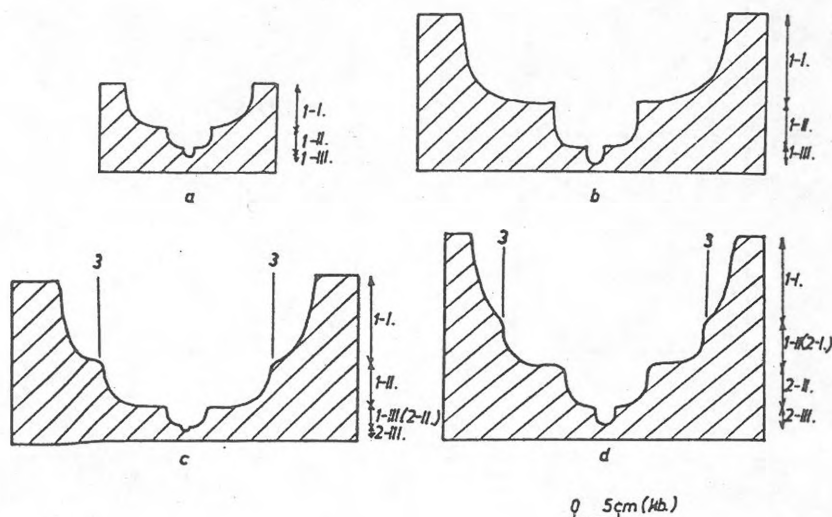
3.4. Teraszosodás

A karr teraszok olyan kis lejtésű vályútalp maradványok (ezek a vályú belseje és alsó vége felé lejtnek) összetett széles talpú vályú belsejében, amelyek fokozatosan mennek át a vályú oldallejtőjébe, míg befelé éles peremmel folytatódnak egy alsóbb helyzetű vályú meredek oldalában.

Akkor képződnek, ha az idősebb, nagyobb vályú növekedése leáll, ill. lelassul (pl. az oldószér mennyisége csökken, vagy a vályú túl nagy lesz), a fiatalabb kisebb vályú (vagy vályúk), növekedése során felemészti(k) az idősebb vályú (vagy vályúk) talpát (11. ábra). Hasonló folyamat játszódik le akkor, ha az oldószér elvezetésének intenzitása nő meg. Ennek egyik oka lehet, amikor mélységi

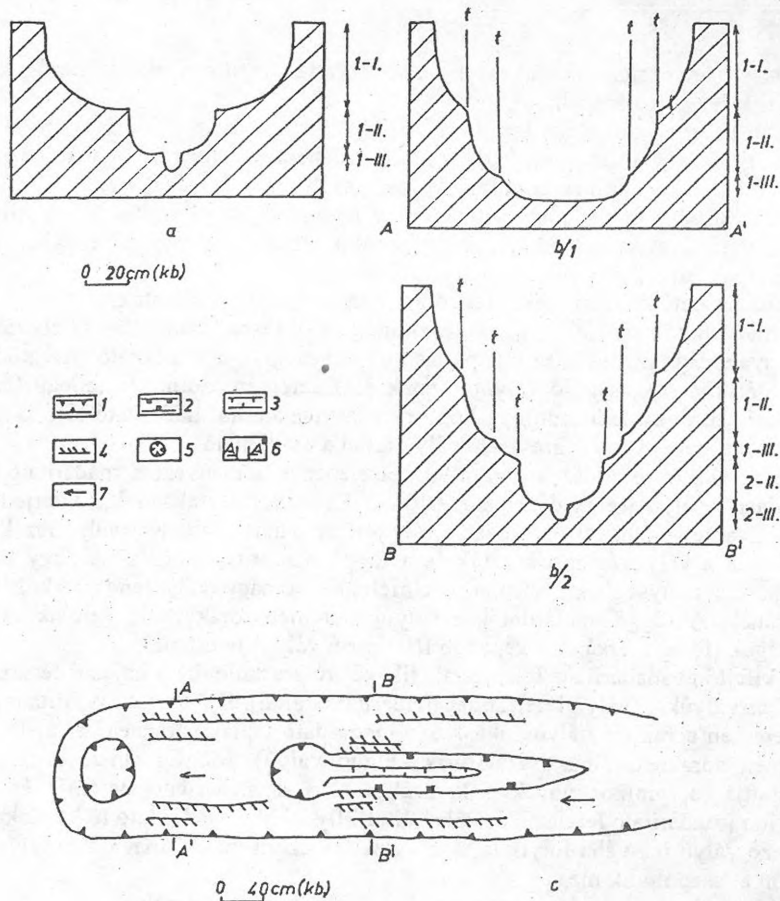
lefejeződésénél következik be (12. ábra). Valószínű, hogy a teraszok kialakulásában mindkét jelenség szerepet játszik.

A teraszok a vályútalpi utólagos oldódása következtében többnyire nem alkotnak összefüggő felszínt (teraszröncsök). Előfordulhat, hogy a vályúnak csak az egyik oldalán nyomozhatók (páratlan teraszok). Teljesen el is pusztulhatnak, ilyenkor a hordozó vályú oldalában, az eltérő meredekségű oldallejtők metsződésénél élek nyomozhatók. Gyakran az élek is meg-megszakadnak (élröncs), feltehetően az oldalról beáramló oldószer oldóhatására.



11. ábra: Teraszképződés az I. típusú vályú növekedése vagy vízhozam csökkenés esetén (felmérés, vázlatrajz és fénykép után)

Jelmagyarázat: a-b. a különböző vályúk hasonló ütemű növekedése, c-d. a fiatalabb vályúk gyorsabb ütemű növekedése, I., II., III. vályútípusok, 1. az a-b. fejlődési szakasz idején képződő vályúk, 2. a c-d. fejlődési szakasz idején képződő vályúk, 3. terasz



12. ábra: Teraszképződés mélységi lefejeződések esetén (felmérés, vázlatrajz és fénykép után)
 Jelmagyarázat: a. lefejeződések előtti fejlődési szakasz, b. lefejeződések utáni fejlődési szakasz,
 b/1. első lefejeződési hely utáni inaktív vályúszakasz, b/2. második lefejeződési hely utáni aktív
 vályúszakasz, c. felülnézet I., II., III. vályútípusok (keresztmetszeteken), t: terasz
 (keresztmetszeteken), 1. 1-I. vályú pereme, 2: 2-II. vályú pereme, 3: 2-III. vályú pereme,
 4. terasz, teraszroncs, 5. kürtő, 6. szelvény helye az alaprajzon, 7. vályútalp lejtésiránya

4. Lokális oldódás

A viszonylag vastagon kifejlődött áramló oldószernek elsősorban a kőzet felszínhez közelebbi részei telítődnek. Akkor, ha az oldószer turbulensen áramlik a telítődés sokkal inkább végbemehet annak teljes vastagságában.

Kellően rövid úthosszú lamináris áramlásnál az oldószernek a kőzetfelszíntől távolabb eső részei viszont oldóképesek maradhatnak. Ekkor a törések mentén elszivárgó oldószer még telítetlen része lefelé irányuló oldást fejt ki. Ezért foko-

zottabb vízelvezetési helyeken a helyi oldódás eredményeként kürtők (ill. madáritatók) alakulhatnak ki.

Adott helyen a turbulens áramlás laminárisba mehet át az alábbiak miatt:

- a lejtő, vagy a vályútalpak felső részén végbemenő nagyobb oldódás miatt a lejtőszög csökken, ami az áramlási sebesség csökkenését eredményezi,
- a leoldódás az egyenetlen felületeket legömbölyíti, elsimítja (pl. a vályukanyarulatok legömbölyödnek, vagy saroknyomok összenövésével kialakuló vályútalpak fokozódó mértékben elsimítódnak).

A kis területű felszíni leoldódás során jönnek létre a madáritatók.

A madáritatók morfológiáját valószínűleg az oldószert utánpótlás és elvezetés viszonya szabja meg. Ha az utánpótlás hirtelen megnő, a madáritató átréselődik. A madáritató megcsapoló vályúja annak éles peremén szurdokos jellegű (átréselődési szurdok). Előfordulhat, hogy nem a túlcorduló madáritató tő alakít ki karrvályút, hanem egy regresszálo vályú éri el a madáritatót.

Akkor, ha az oldódás a karrvályú belsejében eredményezi a madáritató kialakulását, vályútalpak madáritató képződik. Ezek horizontálisan kis kiterjedésű formák, amelyek növekedésének a vályúméret határt szab. Karrvályúhoz kapcsolódnak a vályúvég madáritatók és a függő madáritatók. Előzőek nagy területűek, kis mélységűek. Jelenlétük előfeltétele a nagy vályúrendszerek kialakulásának. A függő madáritatók a vályúk peremén sorakoznak, belőlük vályú oldalágak (főleg markánsan képződő III. típusú vályúk) vezetnek.

A kifejlődő madáritató felemészti, ill. két részre különíti a hajdani térszínen futó karrvályúkat (vályú lefejeződés madáritatók által). Ilyenkor a madáritató felső peremén sorakozó vályúszakaszok a madáritató táplálói lesznek, az átellenes peremen sorakozók inaktivizálódnak (függő vályú). Megfigyelhető a fentiek fordítottja is, amikor növekvő karrvályú eléri a madáritató peremét és azt felnyitja (madáritató lefejeződés vályú által). Ilyenkor a madáritató tő kiszívkor a lefejező vályú irányába folyik le, nagy vízkor viszont másik, magasabb helyzetű vályún át csapolódik meg.

Előfordulhat, hogy két megcsapoló vályú képződik, amelyekből az egyik intenzívebben mélyül. A kevésbé mélyülő fokozatosan inaktivizálódik, függő mederré alakul.

A madáritató belsejében kialakuló időszakos tő változó területű, kisebb kiterjedésű kifejlődéséhez a madáritató talpán újabb madáritató, vagy madáritatók képződnek (összetett madáritató). Létrejöttük valószínűleg a madáritató tóban lejátszódó keveredési korrózióval magyarázható.

5. Vertikális oldódás

A vertikális oldódás uralkodóan a felszíntől lefelé függőleges irányba fejlődik ki, eredményeként kürtők képződnek.

Az oldódás végbemehet vályúkon kívül (akna kürtők), vagy vályúk belsejében (vályútalpak kürtők). A vályútalpak kürtők egyik típusa (vak kürtő) ott alakul ki, ahol a vályúkat jól fejlett oldódási hasadékká fejlődött törések harántolják. E típusba

Akna kúrtók jellemzői az alábbiak:

tartozó kúrtók valószínűleg vakon végződnek, belsejükből származó talajkitöltés lehet növényzettel. A vályútalp kúrtók másik típusába tartozó kúrtók átmérője nagyobb nem feltétlenül végződnek vakon, talaj és növénykitöltés nélküliek, vályúk lefejeződése során képződnek (lefejeződéses kúrtó). A vályúvégi kúrtók a vályúk alsó végében fordulnak elő, de nem a vályútalpról, hanem a vályúperemről nyílnak (peremük a vályú peremével egyezőmagasságú). Morfológiájuk hasonlít az akna kúrtók morfológiájához (íves, homorú oldallejtő, amely félkúrtókkal, ill. oldódási csatornákkal tagolt). Az akna kúrtók átmenetet mutatnak a mezo karsztos formák, az aknák felé.

(39 kőn)

(40 kőn)

6. Talaj alatti oldódás

A mélyedéseket kitöltő talaj alatt játszódik le. Eredményeként sík aljzatú, későbbé tagolt lefelé kiszélesedő jelleget vehetnek fel a karrvályúk és a madáritatók.

7. Üregesedés, barlangképződés

A felszín alatti üregesedés törés, vagy réteglap mentén megy végbe. A felszín alatti üregesedés történhet a felszíni oldástól függetlenül, ill. attól függően. Ekkor a képződő üregek kialakulhatnak:

- karos mélyedések között,
- karrvályúk alatt.

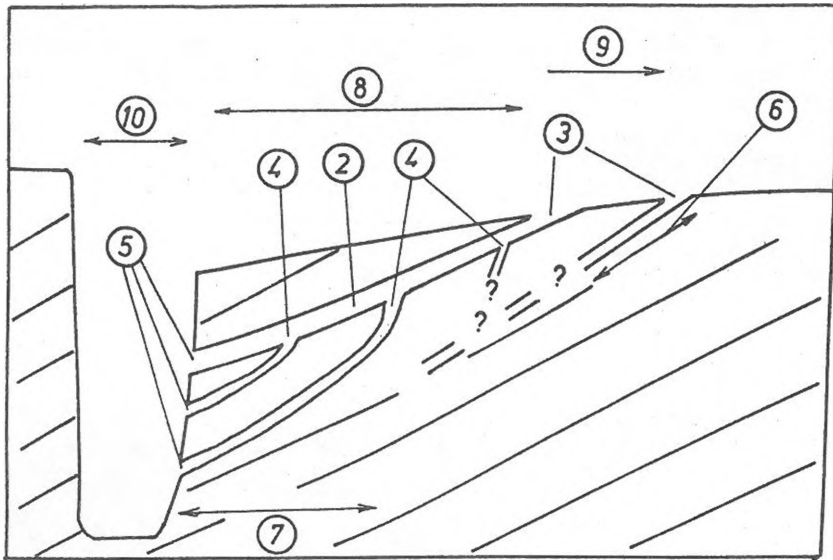
(43, 44 kőn)
~~33~~

(33 a bra)

A barlangok lehetnek víznyelő, forrás és átmenő karrbarlangok (13. ábra). A víznyelő karrbarlangok indulhatnak madáritatóból és karrvályúból. Forrásbarlangok nyílnak kúrtóba, karrvályúba, madáritatóba, hasadékba. A karrvályúk alatti karrbarlangok (karrvályú barlang) esetében mindkét típus deltásodást mutathat. A deltásodó víznyelőbarlang a vályútalpon mélységi lefejeződés hátterében képződik. A deltásodó forrásbarlangokhoz a hasadékok oldalában különböző magasságokban nyíló forrasszajak tartoznak. Az egymás alatti forrasszajak akkor fejlődnek ki, amikor a karr barlangban barlangi lefejeződés játszódik le (karrbarlang víznyelő). Ez a folyamat valószínűleg nemcsak karrvályú alatti barlangban megy végbe. Valószínű, hogy a karrvályúk alatt (ott ahol az üregesedés réteglapok mentén megy végbe) emeletes karrvályú barlangrendszerek is kialakulnak.

(43 kőn)

(33 a bra)



0 30 cm (kb.)



13. ábra: Karrvályubarlang rendszer (felmérés)

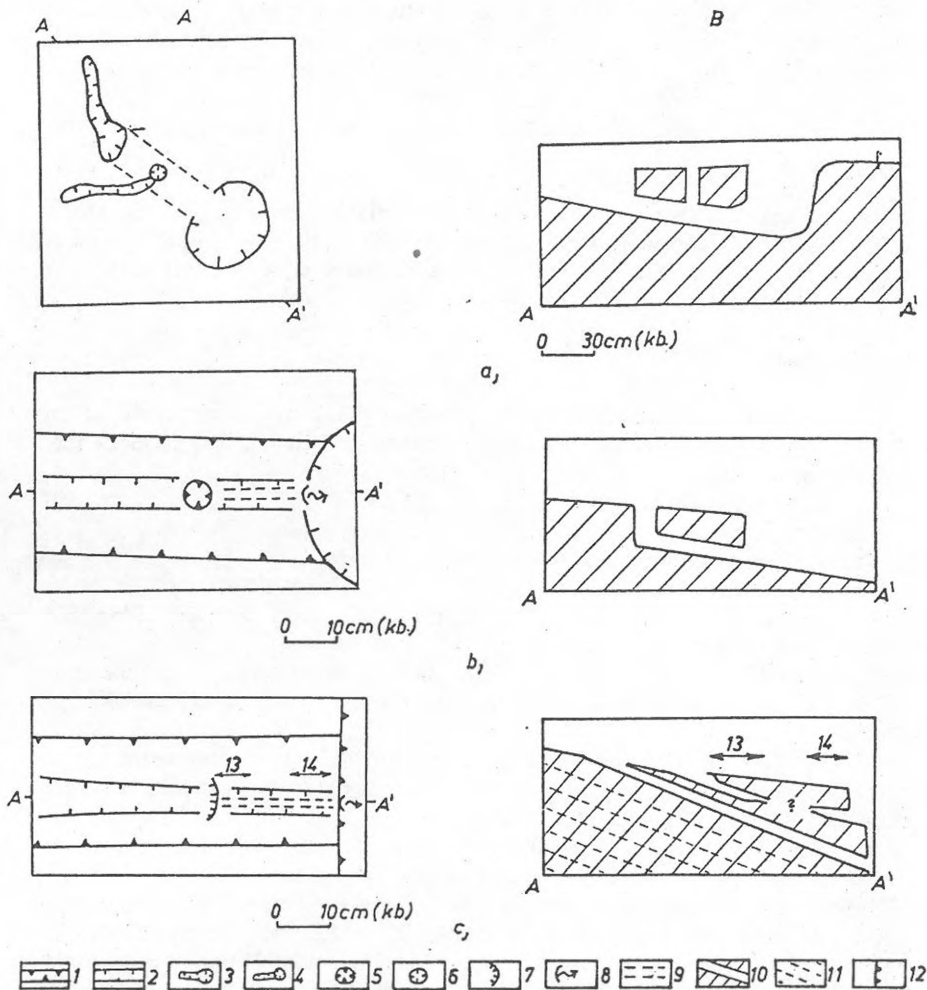
Jelmagyarázat: 1. réteglap, 2. átmenő karrvályubarlang, 3. karrvályú víznyelő, 4. karrbarlang víznyelő, 5. forrásszáj, 6. víznyelő karrbarlang, 7. forrás karrvályubarlang, 8. átmenő karrvályubarlang, 9. lefejeződési hely hátrálása, 10. hasadék

8. Mélységi lefejeződés

Előfordulhat, hogy a karrbarlang olyan karrvályút és pl. madáritatót kapcsol egymásba, amelyek egy szintben helyezkednek el. A karrbarlang felett a felszínen a vályúnak nincs folytatása (vak karrvályú). A karrbarlang felett a barlang mennyezete és a felszín között kürtő helyezkedhet el. Ennek kialakulása részben, vagy teljesen utólagos oldódással (esetleg fölharapódzóddással) történt (felfylásos kürtő). Az ilyen kürtőhöz vezető vályú (kürtős vak karrvályú) a kürtő kialakulása után képződött regresszióval (14/a. ábra).

Akkor, ha a vályúk lefejeződnek (karrvályú mélységi lefejeződés) a vályú a lefejeződési ponton túl is folytatódhat (14/b. ábra). E helyeken alakulnak ki a karrvályú víznyelők (morfológiailag kürtők). A lefejeződési helyen karrvályú víznyelőbarlang is képződhet pl. ha az oldódás réteglap mentén megy végbe kürtőszakasz nélküli víznyelő barlang vagy átmenő barlang képződik (14/c. ábra).

A vályúk alatt barlangok alakulhatnak ki az alábbi módokon.



14. ábra: Mélységi lefejeződések (fénykép és vázlatrajz után)

a. Vak karrvályú és rányelés kialakulása, karrvályú a barlang kialakulásával egyidős; a kürtő kialakulása a barlang kialakulását követően történt b. III. típusú vályú lefejeződése kürtővel: a karrvályú barlang a vályú kialakulása után képződött, c. III. típusú vályú lefejeződése réteglap mentén képződött karrvályú víznyelőbarlang által

Jelmagyarázat: A: felülnézet, B: oldalnézet, 1. I. típusú vályú, 2. III. típusú vályú, 3. karrbarlangos vak karrvályú, 4. kürtös vak karrvályú, 5. karrvályú víznyelő (kürtő), 6. madáritató, 7. karrvályú víznyelő, 8. karrvályú forrásszáj barlang, 9. barlang (felülnézet), 10. barlang (oldalnézet) 11. réteglapok, 12. hasadék, 13. víznyelőbarlang, 14. forrásbarlang

A nagyobb vályúk belsejében a lefejeződési helyek - hasonlóan a karsztok epigenetikus völgyeinek mélységi lefejeződési helyeihez (JAKUCS, L. 1971) - hátrálnak a vályú felső végek felé. A II. és III. típusú vályúk ezt a hátrálást egyértelműen bizonyítják. (Ugyanis a felsőbb helyzetű lefejeződési helyekhez kisebb méretű II. ill. III. típusú vályúk vezetnek annak ellenére, hogy a vízgyűjtő területek lényegében hasonlóak.)

A lefejeződési helyek kialakulásának oka - miután közethatár elborítás hiányában nem fejlődhet ki - feltehetően az, hogy a leoldódás miatt a vályútalp lejtőszöge egyre kisebb lesz. (Ez elősegíti a lamináris áramlás állandósulását.) A megfigyelések arra utalnak, hogy a vályútalpak ellankásodása az alsó végektől a felső vályúvégek felé megy végbe. Ez maga után vonja az oldószer lamináris áramlási módjának a felső vályúvég irányába történő kiterjedését, ami a lefejeződési hely hátrálását (újabb kürtők kialakulása) eredményezheti.

9. Összeoldódás

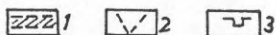
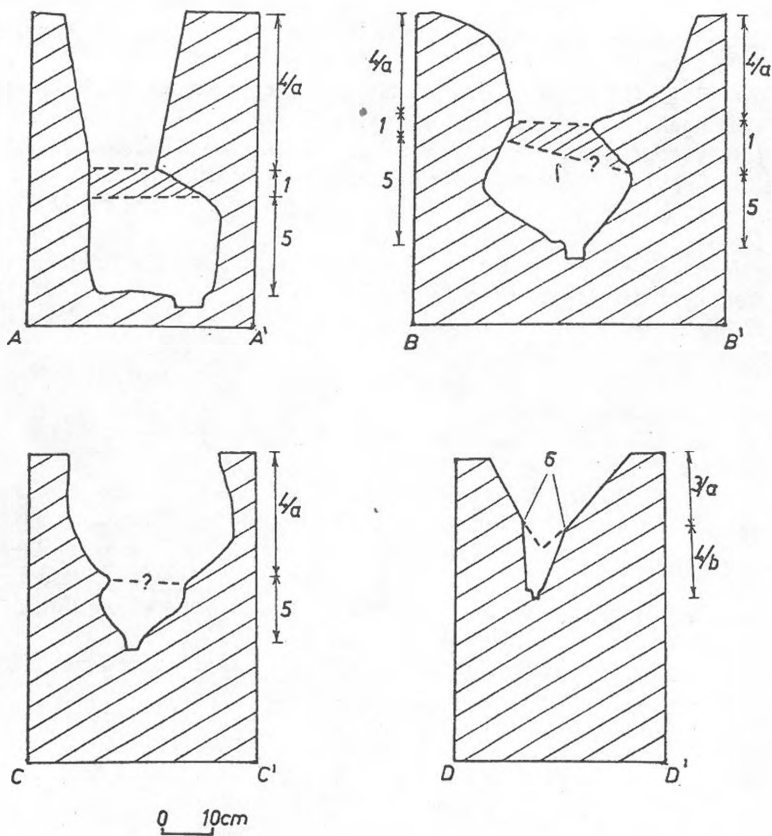
A már kialakult különböző karos formák oldalirányú növekedésük során összekapcsolódnak. Az eredeti térszín csonkakúpok, ívelt lefutású gerincek formájában marad meg.

Az összeoldódás végbemehet:

- kürtő és kürtő,
- saroknyom és saroknyom,
- madáritató és madáritató között,
- karrvályú és barlang között (az összeoldódás természetesen különböző karrformák között is végbemehet).

Hasonló felszíni formák (kürtő és kürtő, saroknyom és saroknyom, madáritatók és madáritató) összeoldódásakor kürtő, saroknyom és madáritató uvalák képződnek.

Felszíni (karrvályú) és felszín alatti (karrvályú barlang) is összeoldódhat. A karrvályúk alatti barlangok mennyezetüket részben oldódással (az alulról felfelé ill. a fentről lefelé oldás következtében a vályú és a karrvályú barlang összeoldódik) részben beomlással elveszítik (15. ábra). A mennyezet részleges pusztulása során keletkeznek a karrvályú sziklahidak. (Ha a karrbarlangba közel merőlegesen képződő vályú alatt történik a felnyílás, vályútalp szakadék töbör képződik.) A hajdani barlangok víznyelőpontjáig jellegzetes keresztmetszetű vályúk keletkeznek (felnyílásos karrvályú). E típus szelvényben lefelé keskenyedő, majd közel kör keresztmetszetet mutat. A vályú oldalában mennyezetmaradványok fordulnak elő.



15. ábra: Felnyíllásos karrvályú (felmérés)

Jelmagyarázat: 1. hajdani mennyezet, 2. felszíni vályúrész korábbi, ma már hiányzó része, 3. III. típusú vályú, 4/a. felszíni oldódással mélységi lefejeződéstől függetlenül kialakult vályúrész, 4/b felszíni oldódással mélységi lefejeződés hatására kialakult rész, 5. terasz, 6. felszín alatti oldódással kialakult vályúrész,

Megjegyzés: A-A' és B-B' közötti szakaszon a felnyíllás a karrvályú barlang mennyezetének beomlásával, C-C' szelvényél összeoldódással történt; C-C' és D-D' szelvények között ment végbe a mélységi lefejeződés

Irodalom

- BALÁZS D.* (1990): Karrformák-karregyüttesek – Karszt és Barlang II. sz. pp. 117–126.
- BÖGLI, A.* (1976): Die wichtigsten karrenformen der kalkalpen – In: Karst processes and relevant landsforms. ISU Comission on Karst Denudation. Ljubljana pp. 141–149
- FRIDTJOF, B.* (1954): Verkarstung und Bodenschwund im Dachsteingebiet - Mitteilungen der Höhlenkommission 1. p 53–56.
- CHOLNOKY, J.* (1926): A földfelszín formáinak ismerete (Morfológia) – Bp.
- JAKUCS, L.* (1971): A karsztok morfofenetikája – Akadémia Kiadó, Bp.
- JAKUCS, L.* (1980): A karszt biológiai produktum – Földr. Közl. 28., 4. pp. 331–444.
- LECHNER, J.* (1953): Neue Formen des Hochgebirgskarstes im Toten Gebirge - Mitteilungen der Höhlenkommission, pp. 47–49.
- MONROE, W.-WATSON, H.* (1972): A glossary of karst terminology – US Geological Survey, Washington
- PÉCSI, M.-KEREKES, S.* (1973): A folyóvízi eróziós formák és folyamatok értelmező szótára – Földr. Közl. 21., 1. p 473–478.
- TRUDGILL, S.* (1985): Limestone geomorphology – Longman, London and New York
- VERESS, M.-PÉNTEK, K.* (1992): Physical and chemical aspects of hydrodynamics of some karstic process. – New perspectives in Hungarian geography, Studies in Geography in Hungary 27, Akadémia Kiadó, Bp. pp. 91–104.
- VERESS, M.-PÉNTEK, K.* (1994): Néhány karsztos folyamat leírása fizikai-kémiai hidrodinamika alapján – Berzsenyi Dániel Tanárképző Főisk. Tud. Közl. IX. Természettudományok 4. pp. 145–172.
- VERESS M.* (1992): A karsztosodás mikroformái a karok – Természet Világa 3. pp. 129–131.

NÉHÁNY TOTESI KARROS FORMA DOMBORZATRAJZI ÁBRÁZOLÁSA

VERESS MÁRTON*–NACSA TAMÁS**–SZÉLES GYULA*
–DOMBI LÁSZLÓ***

*Berzsenyi Dániel Tanárképző Főiskola, Földrajz Tanszék
9700 Szombathely, Károlyi G. tér 4.

**8600 Siófok, Jókai u.

*** 8600 Siófok, Csobánc u. 15.

Összefoglalás:

A Totes Gebirge-hegységben terület szintezéssel 6 karros mikrotérszín szintvonalas térképét készítettük el. Munkánkban a felmérés, ill. térképkészítés menetét vázoljuk. Röviden áttekintjük az egyes térképezett területek karros formáit, utalunk az egyes térképek részletességére és felhasználhatóságuk karrmorfológiai, karrgenetikai lehetőségeire.

1. Bevezetés

A karros mikrotérszínnek térképezésére két módszer kínálkozik. Felszínalak-tani, amikor különböző jelekkel fejezhető ki a karros formák (a jelek többé-kevésbé utalhatnak a formák térbeli képére, ami növeli a térkép valósághűségét), ill. a domborzatrajzi, szintvonalas ábrázolás.

Ez utóbbi ábrázolásnak elsősorban az az előnye, hogy a karros formák függőleges kiterjedésének és a hordozó térszín magasságviszonyainak bemutatására is alkalmas.

2. Felmérés és térképkészítés

A felmérések tervezésénél ill. kivitelezésénél az alábbiakat tartottuk szem előtt:

– Lehetőleg egy-egy forma felmérésére és ábrázolására kerüljön sor, tekintettel a karros felszín összetettségére.

– Egy-egy karros képződmény felvételénél kivitelezhető legyen egyetlen műszerállásból a teljes felmérés végrehajtása. (Ez növeli a felmérés pontosságát.)

– A felmérés a magassági szög kiküszöbölése érdekében (hogy a függőleges értékek torzulása minél kisebb legyen) szintezéssel történt (előre leolvasások). A felmérést azonban tachyméterrel (típusa: Te-C13) végeztük, tekintettel arra, hogy a rendelkezésünkre álló szintező irányzószögmérője nem eléggé részletes beosztású.

– Ahhoz, hogy a megfelelő részletek szintvonalakkal kifejezhetőek legyenek 0,1 m-ként terveztük a szintvonalak kiszervezését helyi rendszerben.

A felmérés során kiderült, hogy néhány esetben 1:20 ill 1:10 méretarányú térképet kell készíteni. Még ilyen méretarány esetén is a bemért helyek sűrűsége a térképen olyan mértékű volt, hogy az interpolálást nem lehetett elvégezni.

Ezért nem lehetett eltekinteni a karros formák kiterjedésbeli felmérésétől és ezek ábrázolásától.

A hirtelen változó lejtők esetében a lejtőátmenet éles, és így a lejtőátmeneti vonal is határozott (*IMRÉDI-MOLNÁR B.*, 1970). A karros formákat és a belsejükben előforduló részformákat határoló lejtőátmeneti vonalak többnyire élesek, így ezek bemérésével a formák és részformák kiterjedésükben is felmérhetők és ábrázolhatók. A lejtőátmeneti vonalak bemérése viszonylag kevés hely bemérésével lehetséges (elegendő a lejtőátmeneti vonalak töréspontjait bemérni).

A felméréssel párhuzamosan jegyzőkönyvezést is végeztünk (milyen formának, vagy milyen részformának a peremei kerültek felmérésre).

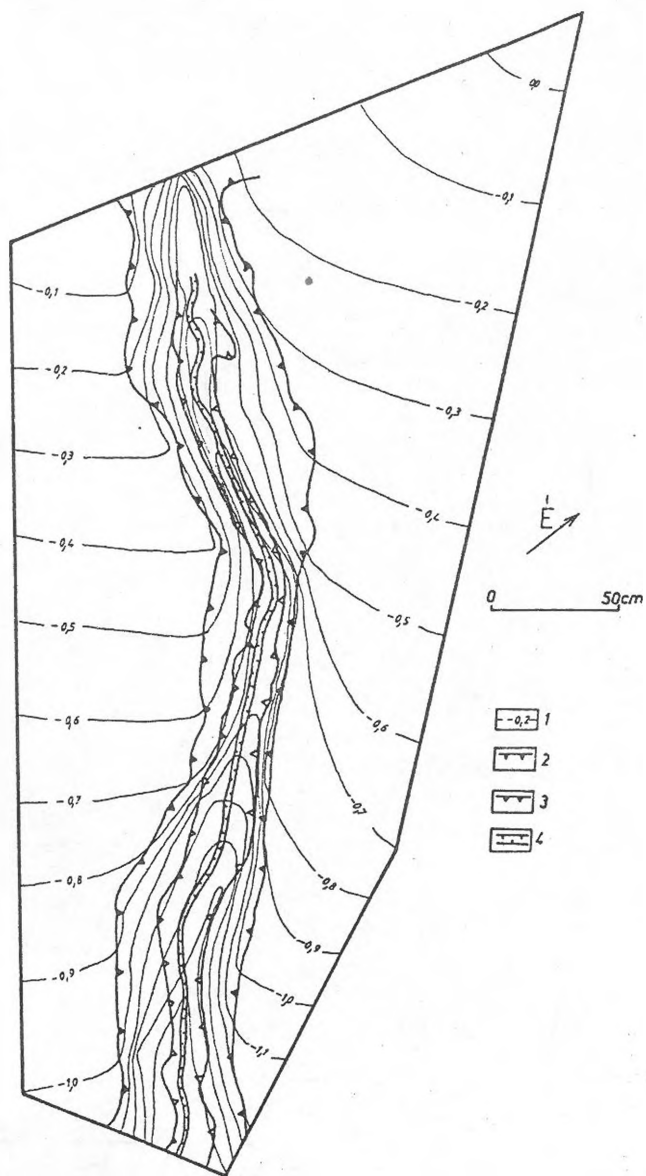
A térkép teljes, szintvonalas kiserkesztését a helyszínen nem végeztük el. Elengedhetetlen volt viszont a helyszínen a lejtőátmeneti vonal-rendszerek térképre vitele. Egy-egy forma felmérését négy fő végezte (1 fő leolvasó, 1 fő figuráns, 1 fő a leolvasási, 1 fő a geomorfológiai jegyzőkönyvet vezette). A felmérést követően – pl. egy 5–10 m-es vonalas kiterjedésű forma kb. 70 felmérési ponttal lett felmérve – készítettük el a lejtőátmenet vonalrendszer térképet.

Minden egyes forma teljes felmérésére azonban nincs lehetőség. Ugyanis az általunk ismert legkeskenyebb felmérő lécs sem helyezhető pl. a III. típusú vályúk belsejében. Kis szélességű, vonalas formák esetében gyakran csak a nyomvonal lefutásának felmérése célszerű. Kicsi távolságkülönbségek (és magasságkülönbségek) mérése esetén a leolvasási pontatlanságokból származó hiba nagysága a mérendő távolságkülönbségeknél nagyobb is lehet. A cm-es távolságkülönbségek mérése esetén ugyanis a cm-es beosztású lécet leolvasva mm-es leolvasási hibák adódhatnak. (A mérési távolságok csökkenésével ezek a hibák természetesen csökkennek.) A mérés pontosságát lézeres távmérővel lehetne növelni ill. kéziméréssel (mérőszalaggal a műszer-hely és a bemérendő hely közötti távolság mérése). Ez utóbbi mérés azonban csak akkor célravezető, ha vízszintes távolságmérést lehet végezni. A kis szélességű vonalas formák átellenes peremeinek mérése ezért úgy oldottuk meg, hogy egyik peremük bemérésre került, majd ezen a helyen mérőszalaggal a forma szélességét mértük. Ilyen módszerrel mértük fel pl. az 1994/11 terület vályúit (6. ábra). Itt tehát a vonalas formákat nyomvonaluk mentén ábrázoltuk szélességükben.

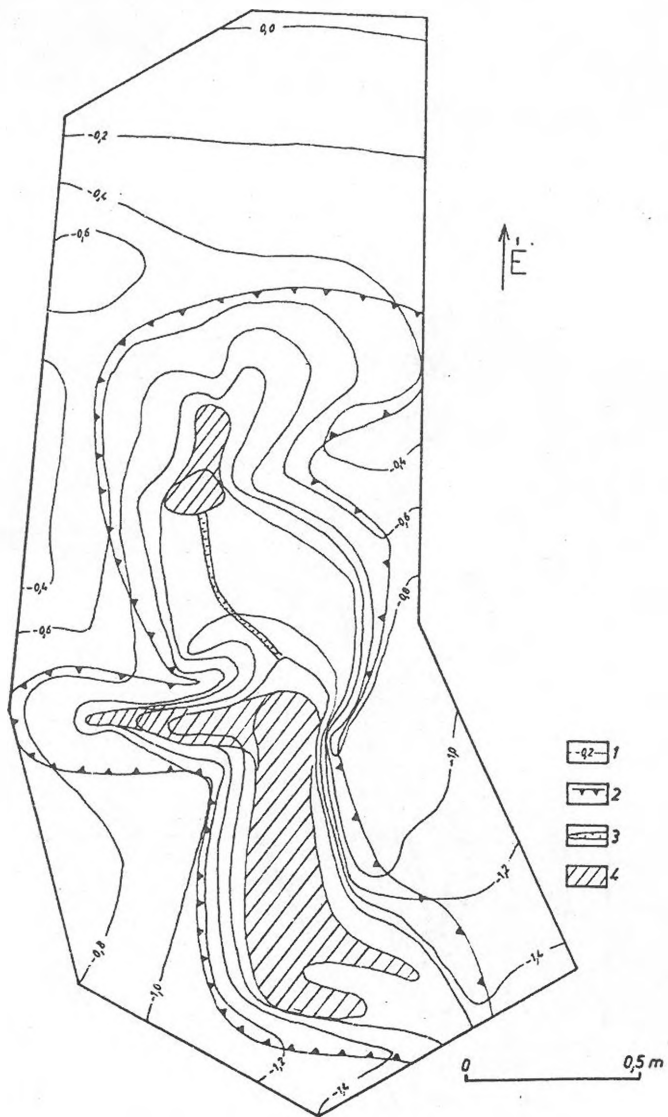
3. A térképezett területek

Az 1993/1/1 jelű térszín formája egy összetett karrvályú (1. ábra). A szintvonalakkal az I. típusú (ill. részben a II. típusú) vályú is kifejezhető. Megjegyzendő azonban, hogy mind az I. mind a II. típusú vályú peremeinek felmérését külön-külön elvégeztük.

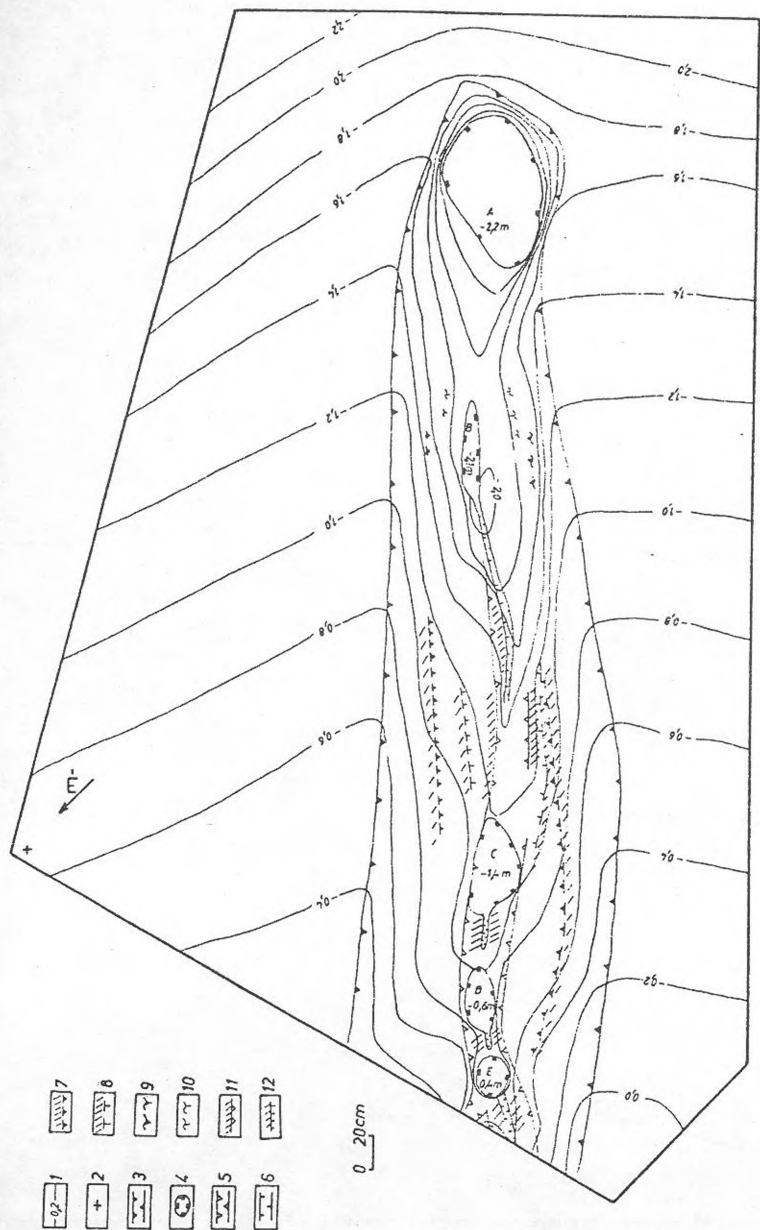
Az 1994/3. jelű térszín formája egyetlen nagy vályú (2. ábra). A kiserkesztett szintvonalakkal kifejezhető a peremek, a közel sík aljzat a vályú felső részének hurka. A III. típusú vályú nyomvonala jel alkalmazásával került a térképre.



1. ábra:
 Az 1993/1/1 jelű térszínrészlet összetett karrvályúja
 Jelmagyarázat: 1 szintvonal helyi rendszerben, 2. I. típusú vályú pereme, 3. II. típusú vályú pereme, 4. III. típusú vályú pereme

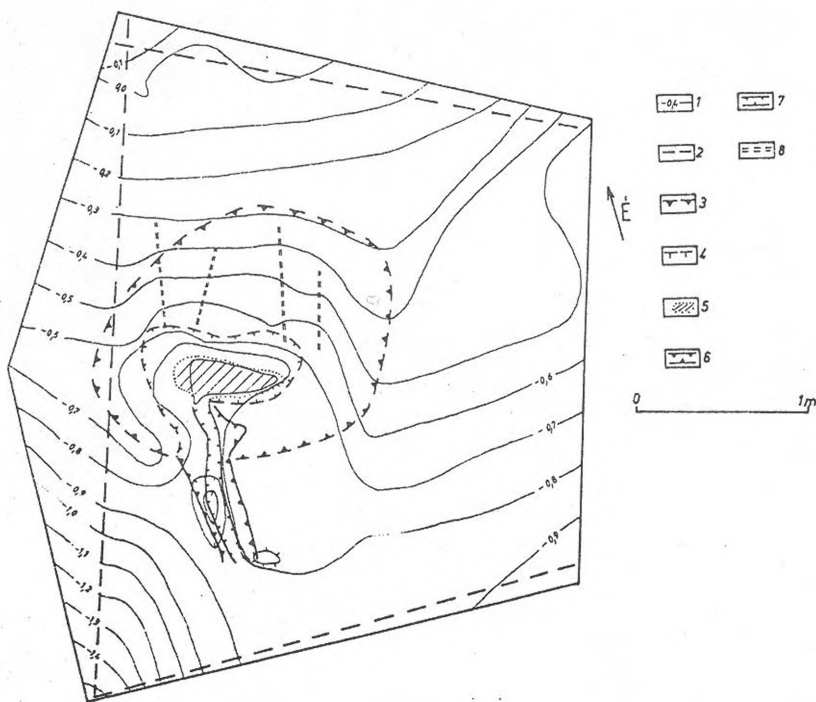


2. ábra: az 1994/3. jelű térszínrészlet nagy vályúja
 Jelmagyarázat: 1. szintvonal helyi rendszerben, 2. vályú pereme, 3. III. típusú vályú, 4. talaj



3. ábra: Az 1994/4 jelű térszmrészlet nagy völgyja
 Jelmagyarázat: 1. szintvonal helyi rendszerben, 2. műszer álláspontja, 3. nagy völgy pereme, 4. vályútalp kürtő, 5. B jelű kürtő II. típusú
 völgyjának pereme, 6. III. típusú völgyi pereme, 7-8. különböző magassági teraszröncsök,
 9-10. különböző magassági élek (teraszmaradványok) II. terasz, 12. képződő terasz

Az 1994/4. jelű térszín formája egy összetett morfológiájú nagy karrvályú (3. ábra) Bemérésre kerültek a nagy vályú peremei, a belsejében képződött kisebb vályúk, kürtök peremei, a III. típusú vályúk nyomvonalai (egyik peremük), ill. a nagy vályú oldalában a kis lejtésű talp maradványok (teraszok), továbbá a III. típusú vályú talpának fölemésztdése során visszamaradt talp maradványok). A szintvonal rendszer a nagy vályú ill. a benne képződött II. típusú vályúk kifejezésére alkalmas. Nem alkalmasak viszont a teraszok, a III. típusú vályúk kifejezésére azok kis kiterjedése miatt. Hasonlóképpen a kürtök belsejének ábrázolására sem, azok függőleges oldalfalai miatt.

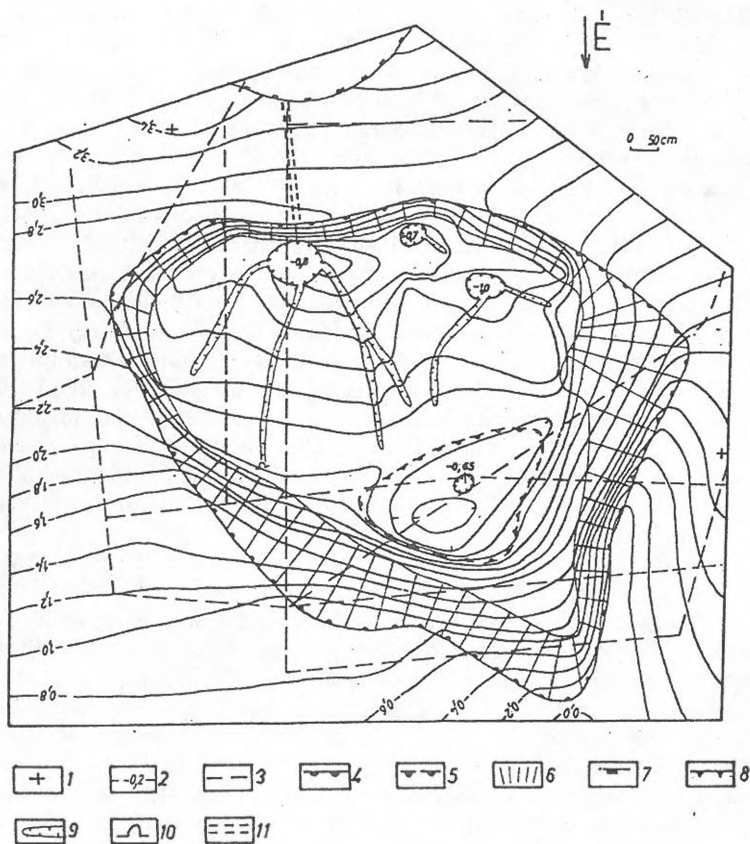


4. ábra: Az 1994/6 jelű térszínrészlet összetett madáritatója
Jelmagyarázat: 1. szintvonal helyi rendszerben, 2. törés, 3. külső madáritató,
4. belső madáritató pereme, 5. belső madáritató aljzata, 6. levezető II. (?) típusú vályú,
7. levezető III. (?) típusú vályú, 8. madáritató tápláló vályú

1994/6 jelű térszín formája egy összetett madáritató (4. ábra) Ennek megfelelően a hordozó, külső madáritató külső pereme, a belső madáritató külső és belső pereme, valamint a megcsapoló összetett vályú peremei kerültek bemérésre. A belső madáritatóhoz vezető kis méretű vályuknak csak a nyomvonaluk került bemérésre és ábrázolásra. A térkép genetikai információkat is hordoz. A hordozó (fő) madáritató oldalában képződött vályuk elvégződése arra utalnak, hogy a belső madáritató vízgyűjtője (tehát az a terület, ahonnan a kialakulásához szükséges oldószert kapja) az előző madáritató területe. Valószínű, hogy a törésvonalak által közrefogott terület az a háttérterület, amelyen lezajló karros folyamatok eredményezték ezen összetett forma kialakulását.

Az 1994/10 jelű térszín formája egy óriás madáritató (5. ábra). Nagy mérete – ezért a térkép viszonylag kis méretarányú – miatt akár töbörnek is lehetne tekinteni. Azonban nem az, mivel talpa egy olyan réteglapos felszín, amelyen jelenleg is karrosodás folyik. Továbbá oldalirányú kiterjedése feltűnően jelentős a mélységéhez képest. (Természetesen a madáritató besorolást csak akkor van értelme hangsúlyozni – és egyáltalán bizonyítani – ha a madáritató és töbör genetika más. Valószínű, hogy ez nem minden esetben áll fenn, így hogy az egyes különböző karstos formákat madáritatónak, vagy töbörnek tekintjük-e az jelenlegi ismereteink szintjén valószínűleg szubjektív megítéléstől függ.) Külső és belső pereme belsejének, ill. szűkebb környezetének törésvonalai, továbbá az aljzatán elhelyezkedő kürtök peremei ill. az ezekhez vezető vályúk egyik pereme került bemérésre. Feltűnő belsejében ill. környezetében a nagy törésgyakoriság. Valószínű a számos törés együttesen okozta kialakulását, ill. egyes törés(ek) egyes részformák kialakulásában játszottak szerepet. Látható, hogy az óriás madáritató a felszín alatti karrosodás következtében hidrográfiai kapcsolatban van környezetének karros formáival, ill. a belsejében lezajló karros folyamatok eredményeként lényegében hierarchikus karros rendszerre fejlődött, ill. fejlődik.

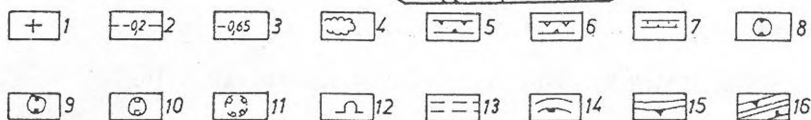
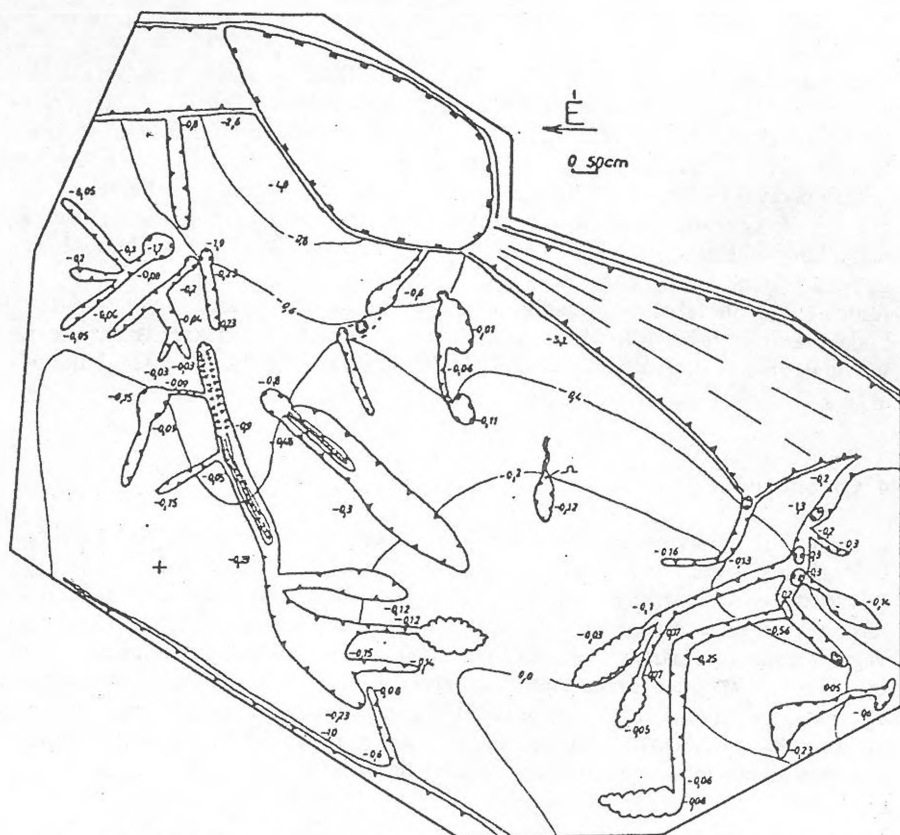
Az 1994/11 jelű térszín morfológiája változatos (6. ábra). A viszonylag nagy kiterjedésű területen csak a kis lejtésű réteglapos térszint lehetséges szintvonalakkal kifejezni. A réteglapos felszín formáit (saroknyomok, vályúk, kürtök, madáritatók) kiterjedésben különböző jelekkel ábrázoltuk, miután peremeiket bemértük. (A beméréssel párhuzamosan a bemérési helyeknél a vályúk, a saroknyom uvalák szélességét, ill. ezeknek és a kürtöknek a mélységét mérőszalaggal mértük.) Bár nem célunk itt a térképezett térszinek karrosodási körülményeinek elemzése, néhányra azért felhívnánk a figyelmet, reprezentálva így a térkép genetikai felhasználásának lehetőségeit.



5. ábra: Az 1994/10. jelű térszínrészlet óriás madáritatója
 Jelmagyarázat: 1. műszer álláspontja, 2. szintvonal helyi rendszerben, 3. törésvonal,
 4. óriás madáritató külső pereme, 5. rész (belső) madáritató pereme, 6. madáritatót határoló
 lejtő, 7. akna, 8. kürtő perem (mélységadattal méterben), 9. vályú,
 10. forrás karrbarlang, 11. átmenő karrbarlang

Ezek az alábbiak:

– E térszínrészlet karrosodását csak a területére hullott víz (ill. oldószer) okozza, mivel hasadékok határolják le minden irányból. Itt is tapasztalható, hogy számottevő karrosodás viszonylag kevés víz (oldószer) mellett megy végbe.



6. ábra: Az 1994/11 jelű térszínrészlet karros domborzatrajza
 Jelmagyarázat: 1. műszerállás helye, 2. szintvonal helyi rendszerben, 3. mélységadat méterben, 4. saroknyom uvala, 5. I. típusú vályú ill. válynú általában, 6. II. típusú vályú, 7. III. típusú vályú, 8. madáritató, 9. kürtő általában, válynúvég kürtő, 10. vályútalp kürtő, 11. kürtőroncs vályútalpon, 12. forrás karrbarlang bejárata, 13. átmenő karrbarlang, 14. akna, 15. hasadék, 16. hasadék rendszer

– E kis lejtésű térszín belső, DNy-i részén kialakult formák kialakulása az oldószér eláramlásához köthetők (ezt a zónát hozzávetőlegesen a $-0,2$ m szintvonal határolja). Ezek elsősorban saroknyom uvalák (ez a formakincs meglehetősen speciálisnak tűnik), ill. kisebb részben vályúvég madáritatók. Az oldószér összefolyási helyein kürtők, kürtő uvalak, ill. karrbarlangok képződnek. A kürtők által képviselt lefejeződéseket az a nagy hasadékrendszer ill. akna vezérli, amely a területet K-ről lezárja. A lefejeződési helyek (kürtők) két hasonló magasságú sort alkotnak (ezeket a magasságokat a $-0,4$ és a $-0,6$ m-es

szintvonalak jelölik ki, ill. a lefejeződési zóna felső és alsóhatárát a fentebb említett szintvonalak által kijelölhető magasságú helyek képezik). E két zóna közt helyezkedik el az a felület, ahol az oldószer áthaladva a különböző morfológiájú vályúkat kialakítja. (Irányuk részben, de nem teljesen, egybeesik a térszín lejtésirányával.) E vályúk kevésbé összetettek a lefejeződési helyek felé mélységük egyre nagyobb lesz a szélességükhöz képest és belsejükben egyre nagyobb gyakorisággal fejlődnek ki vályútalp kürtők. A vályúk mélyülésének gyorsuló ütemű növekedése arra utal, hogy az oldódás intenzitásának egyik fontos tényezője lehet a magasságkülönbség. Valószínű ugyanis, hogy a kürtők kialakulását gerjeszti a területet K-ről határoló akna és hasadékrendszer, ami a vályútalpon növeli (vályútalp kürtők kialakulásával) a helyi magasságkülönbségeket.

4. Összefoglalás

Úgy tűnik szintvonalas térkép karros térszínekről is készíthető. Ilyen térkép tudomásunk szerint karrfelszínekről eddig nem készült. Ez a speciális térkép (olyan tematikus térkép, amelynek alapját szintvonalak képezik) a karros felszínnek teljes formagazdagságát nem képes visszaadni. A térképezendő terület vagy forma kiválasztását követően (ez előzetesen alapos mérlegelést tesz szükségessé), Minden egyes esetben a felvételezőknek kell eldönteni, hogy mit fejeznek ki szintvonalakkal, mit jelekkel, vagy. mi kerül elhagyásra vagy. összevonásra. Az így elkészített szintvonalas térkép nem nélkülözheti a geomorfológiai térképen alkalmazott és ahhoz hasonló jelek használatát sem.

Irodalom

IMRÉDI-MOLNÁR B. (1970): Térképalkotás, Tankönyvkiadó, Bp.

MÉSZKÖFELSZÍNEK KISFORMÁINAK GRAFIKUS ÁBRÁZOLÁSA

SZUNYOGH GÁBOR

Berzsényi Dániel Tanárképző Főiskola, Földrajz Tanszék
9700 Szombathely, Károlyi G. tér 4.

Összefoglalás:

A tanulmány ismerteti a karros formakincs dokumentálásának egy olyan újszerű, grafikus módját, mely egyesíti a műszeres felmérésen alapuló torzításmentes térképi ábrázolás pontosságát a képies megjelenítés előnyeivel. Ennek eredményeképpen egyszerűen lehetővé válik a karrformák utólagos kvantitatív analízise és morfológiai feldolgozása, másrészt könnyebbé válik az egyes formákhoz kapcsolható szakmai érdekességek felismerése. A módszer alkalmazásaként a cikk bemutat és elemez néhány jellegzetesebb, a Totes-Gebirge hegységben készített rajzot.

Bevezetés

A mészkőfelszínek formakincsének „hagyományos” úton történő dokumentatív megjelenítése számos előnye mellett sokféle problémát is rejt magában. Ami pl. a *fényképes ábrázolás* legnagyobb előnye (mármint az, hogy mindent megmutat) egyben legfőbb hátránya is, mert nem tesz különbséget a vizsgált problémakör szempontjából lényeges és a lényegtelen elemek között. Alkalmazási területe korlátozott, hiszen a megjelenítendő alakzat helyzeténél, alakjánál fogva bizonyos képződmények (kicsiny üregek, kürtők) nem is fényképezhetők le. A fotódokumentáció további hátránya, hogy a rajtuk rögzített információt (perspektivikus torzításuk miatt) nem lehet közvetlenül felhasználni morfológiai elemzésekhez.

Ez utóbbi probléma áthidalható a vizsgált terület *műszeres (geodéziai) felmérése*vel. Ennek alapján lehetőség nyílik a felmért terület objektumainak kvantitatív értékelésére, de ez a nyereség másfelől adatvesztéssel jár, mert az apró, a karsztológia szempontjából értékes részleteket (méretarányának megfelelően) kénytelen elnagyolni. A geodéziai felmérés eredményeképpen általában egy-egy szintvonalas térkép készül, amely a bemutatandó karrformákat illetően nem képszerű, tehát maga a térkép nem illusztrálja azt a folyamatot, melynek tanulmányozását hivatott szolgálni.

Legtökéletesebbnek a *morfológiai térképezés* látszik. A morfológiai térképek már kiemelik a lényeges momentumokat, geodéziailag pontosak (számszerű feldolgozásra alkalmasak), de nem képszerűek, mert egyidejűleg sokféle szimbólummal dolgoznak. Jelkucsuk megfelelő használatával értelmezhetőek a vizsgált folyamatok, de fénykép-részletességű, képszerű ábrázolással adósok maradnak. A szemléletesség igénye pedig nem öncélú, mert nem ritkán éppen a lényeget kiemelő ábra adja az ötletet a további kutatásokhoz.

rások szerencsés módon egészíthetők ki, bizonyos mértékig kiküszöbölve az említett hiányosságokat. A módszert először (még kísérletképpen) a Totes Gebirge karszt-területére 1993-ban szervezett expedíció során alkalmaztam, majd Lakotár Katalinnal együttműködve az 1994 évi expedíció alatt már rutinszerűen használtuk.

A karros formakincs grafikus ábrázolási módjának lényege

E módszer lényege abban áll, hogy egy-egy, szakmai szempontból érdekes karros formáról, forma-együttesről vagy kisebb területről 1–5 cm pontossággal nagyléptékű, mérethelyes „műszaki rajzot” (alaprajzot, hossz- és keresztmetszeteket) készítünk, melyeket a vizsgált objektum képi megjelenését idéző grafikus jelekkel „művészi rajzzá” alakítunk. E rajzok bázisát egy, az egész területet lefedő 50×50 cm oldalhosszúságú négyzetháló, vagy egy, a képződmény hossz-tengelye mentén kifeszített 50 cm-es osztású zsinór szolgáltatta. E hálózat vonalaitól kiindulva bemértük a képződmények jellegzetes pontjait, majd azokat milliméter papírra felhordva 1:10, 1:20 vagy 1:100 méretarányban kialakítottuk pontos rajzukat. Ezt követően a nyers kontúr-vonalak közötti szabad felületeket a tárgy karsztmorfológiai érdekességeit „művészi kiemeléssel ill. elhanyagolással” kidomborító grafikus ábrává egészítettük ki. A rajzolás teljes egészében a terepen zajlott, irodai munka csupán az ábrák letisztázását foglalta magába. Egy-egy rajz elkészítése általában 4–8 órát vett igénybe.

A módszer előnyei a következők:

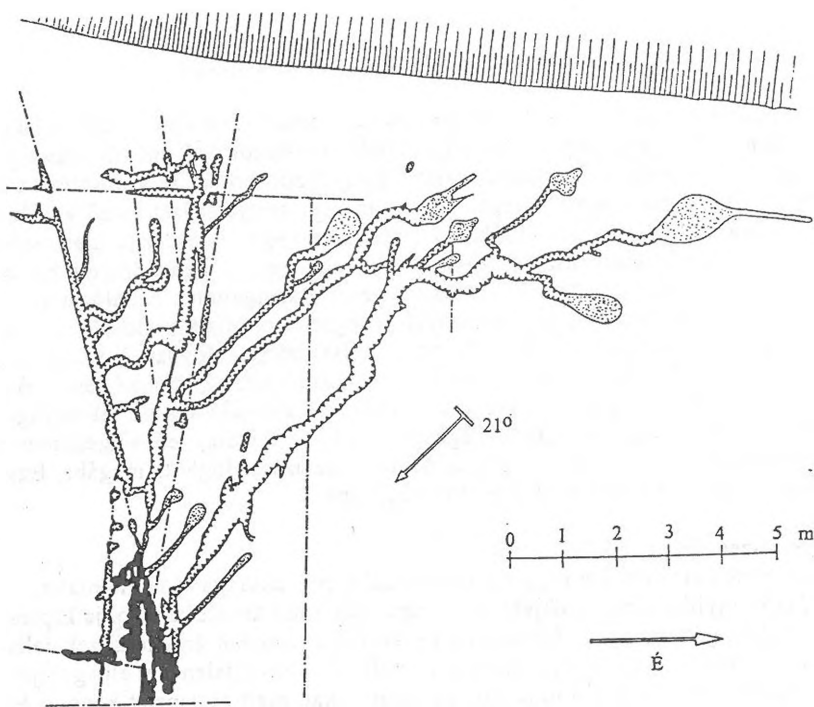
- a karsztos kisformákat nagy (szinte műszaki) pontossággal dokumentálja;
- megkönnyíti a vizsgált objektum felismerését, mert ábrázolási módja képes;
- megkönnyíti az egyes formákhoz kapcsolható szakmai érdekességek felismerését, mert a csak a lényeges elemeket emeli ki, a lényegteleneket elnagyolja;
- közvetlenül szolgálja a tudományos kutatásokat, mert átmenetet képez a hipotézisekben és az elméletekben megjelenő „ideális karsztformák” valamint a fényképekkel dokumentált „valódi képződmények” között.

Természetesen nem szabad elfeledkezni arról, hogy e módszer nem helyettesíti, hanem csak kiegészíti a bevezetésben felidézett tradicionális dokumentációs eljárásokat.

Az 1993-94 évi expedíciókon készített rajzok rövid ismertetése

Alább bemutatunk néhányat a Totes Gebirge karrmezőin az 1993–94 évi expedíciók során felvett rajzok közül. Ismertetésüket nem felvételük sorrendje vagy területi elhelyezkedésük szerint végezzük, hanem annak alapján, hogy az olvasó minél teljesebb képet kapjon e módszer adta lehetőségekről.

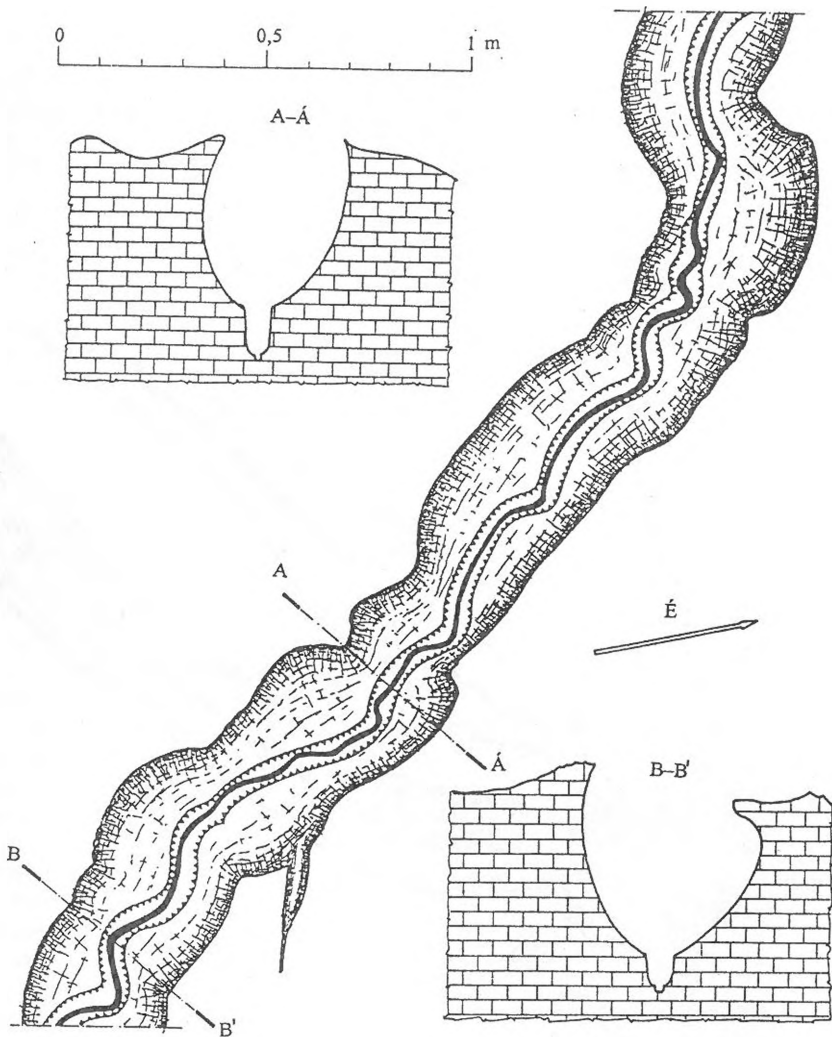
A rajzok többsége a szabad mészkőfelszíneken kialakult kisebb vízgyűjtő medencéknek, a felszíni vízfolyást szolgáló vályúknak és a vizet a hegység belsejébe vezető kürtőknek a formakincsét ábrázolja.



2. ábra: Vályú-hálózat 1:100 léptékű (áttekintő) térképe (1993/1 jelű terület)

Az 2. ábrán egy kiválasztott terület alaprajza viszonylag nagy léptékben látható. Az ábra alapján átfogó képet kaphatunk a szóban forgó, kb 30 m²-es terület csatornahálózatáról. Pontozott területek szemléltetik a lapos, gyakran talajjal, növényzettel kitöltött vízgyűjtő-medencéket. Farkasfogakkal szegélyezett kettős vonalak ábrázolják a csatornákat, és feketével sátozott mezők jelölik ki a mélybe vezető kürtők helyét. Az ábrán pontozott vonal mutatja a jól elkülöníthető repedések nyomvonalát. Feltűnő, hogy a csatornáknak csak egy része dőlésirányú, a többi azzal szöveget zár be. Ez utóbbiak azonban a pontvonalakkal kijelölt tektonikai irányokhoz illeszkednek.

A viszonylag kis léptékű (1:100 méretarányú) rajzok elsősorban a terület főbb vonásainak, szerkezeti felépítésének bemutatására szolgálnak. Részletesebb elemzésükre egy-egy kiragadott szakasz nagyléptékű bemutatása ad módot.

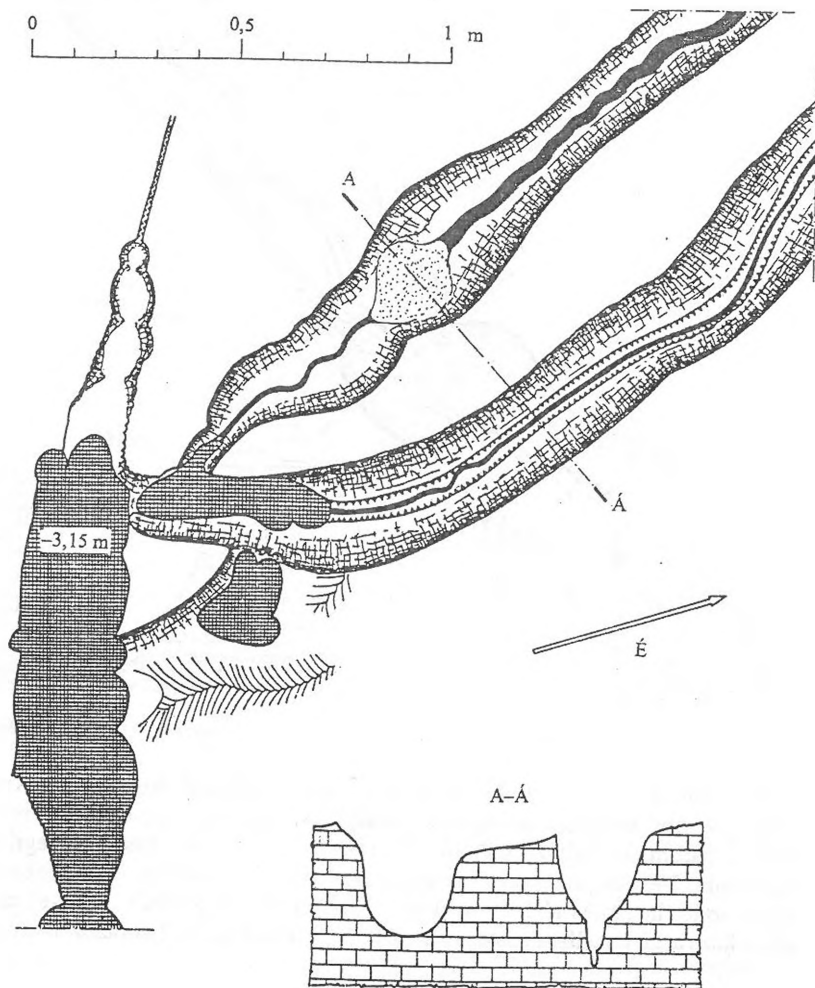


3. ábra: Egy csatorna középső szakaszának kinagyított képe (1993/1/1 jelű terület)

A 3. ábrán a 2. ábra egyik csatornájának középső szakasza látható. Amint az alaprajzokhoz mellékelt keresztmetszeteken (is) kitűnik, egy-egy csatorna rendszerint három, különböző méretű „al-csatornából” tevődik össze. A legnagyobb (általunk I-esnek nevezett) csatornát a vályú meredek, de fokozatosan ellaposodó, hengeres alakját érzékeltető árnyékolással jelöltük. Az I-es csatorna alján kanyargó u.n. II-es csatorna kontúrjait farkas-fogakkal ábrázoltuk kifejezve,

hogy a II-es általában függőleges falakkal határolt mélyedés. A II-es csatorna fe-
nekén keskeny, sekély, de jól kirajzolódó (III-asnak nevezett) kis vízjárat figyel-
hető meg. Mivel csapadékos időben legtovább ez a meder vezet a vizet, ezért a
vízfolyást érzékeltetendő a III-as csatornát széles, folytonos, kanyargó vonallal
ábrázoltuk.

A 3. ábra alapján tanulmányozható a különböző vályútípusok kanyarulatainak
rendszere, ill. feltárhatók a hierarchikusan egymásra épülő csatornák vonalvezet-
ésében mutatkozó törvényszerűségek.



4. ábra: Egy vályú alsó szakaszának kinagyított képe (1993/1/2 jelű terület)

A 4. ábra a 2. ábrán látható hálózat egy alsóbb szakaszát mutatja, ahol már megjelentek a csatornák nyomvonala mentén a mélybe vezető kúrtók. A jelkulcs egyrészt egyezik a 3. ábrán bemutatottéval, másrészt kibővül a kúrtókat szemléltető sötét, kétirányú vonalkázással, lapon fenekű, talajjal kitöltött, széles medencéket érzékeltető pontozással és a kőzet felszínét tagoló éles gerincű rovátkák sorozatát bemutató „fenyőgallyakkal”.

A 4. ábrán továbbra is feltűnő a csatornák hármass hierarchikus rendszere, de mészkőfelszínen kialakult képződmények sora gazdagodik az (egyelőre még) izoláltan elhelyezkedő, több méter mély kúrtókkal, és a később kibővülő csatornákat igen keskeny hasadékokként előre kijelölő (valószínűleg) tektonikus eredetű „preformáló résekkel”. Figyelemre méltó, hogy bizonyos szakaszokon a csatornák alján a II. és III. típusú vályukat széles, tálszerű medencék (vályútalpai madáritatók) váltják fel.

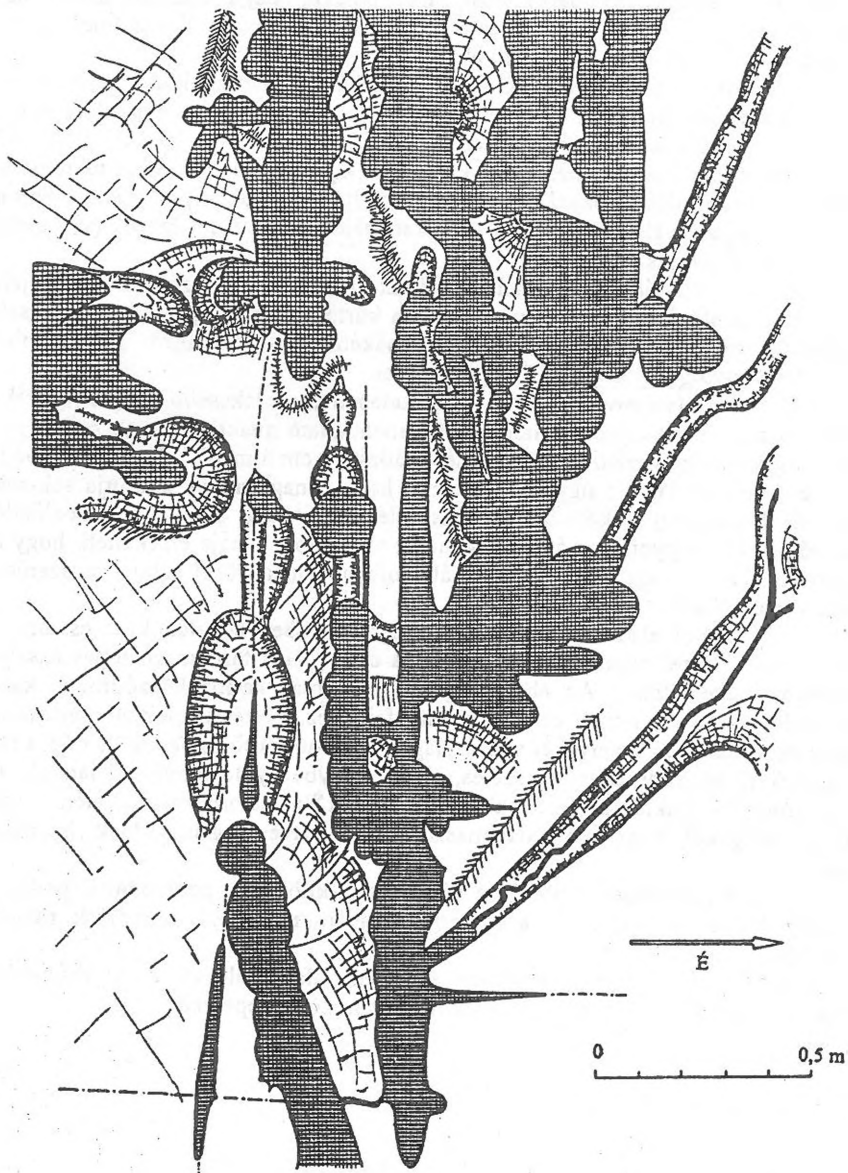
Az 5. ábra a 2. ábra csatorna-hálózatának víznyelős szakaszát mutatja. A jelkulcsban az előző ábrákéhoz hozzávettük a kúrtók felett megjelenő mélyedések tálszerű formáját érzékeltető, az I-es csatornáéhoz hasonló jeleket. E tálak mint kis „cirkusz-völgyek” fogják körbe a kúrtókat.

A víznyelők (vályúvég kúrtók) szerkezetében legérdekesebb az (ami egyébként csakis ezzel a rajzolási móddal dokumentálható mérethelyesen), hogy egy-egy nagyobb vízlevezető-járat sok kisebb, átlag 10 cm átmérőjű kúrtóból oldódik össze (kúrtó uvala). Ez úgy vehető észre, hogy a nagy aknák kontúrja sok-sok fél- ill. háromnegyed körívből áll. Kiemelendő továbbá, hogy az összeoldódó kúrtók között nagyon éles áthatási vonalak találhatók. A rajz érzékelteti, hogy a mészkő oldódása igen előrehaladott állapotban van: a kőzet szinte sajtyszerűen tele van üregekkel.

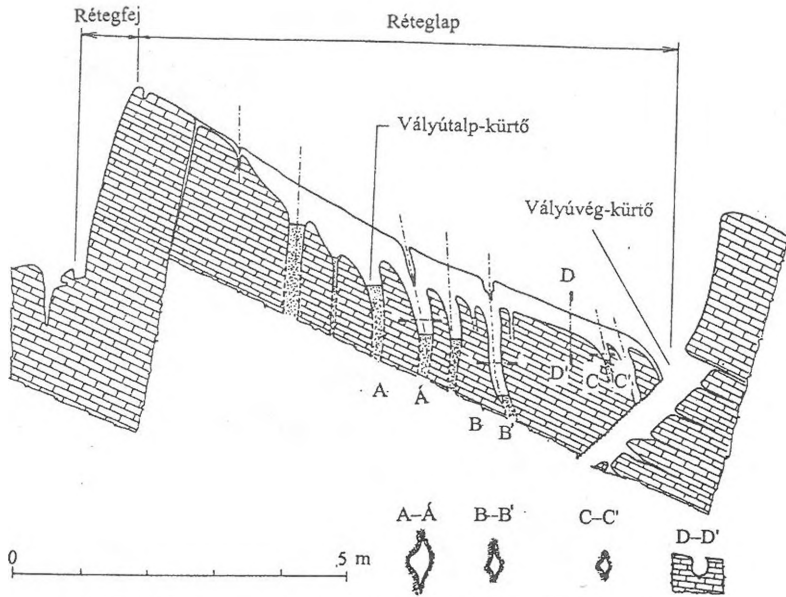
A 2–5. ábrák első sorban alaprajzi megjelenítésben fejezték ki a csatornák szerkezetét. Ezzel szemben az 6. ábrán a csatornákat tartalmazó teljes összlet hosszmetSZete látható. Az ábra kifejezi, hogy más karos képződmény kapcsolódik a réteglapokhoz és más a rétegfejekhez. A réteglapokon mértékadó formák a csatornák (melyeket viszonylag kis számú kúrtó „fejez le”), míg a rétegfejek fő képződményei a széles, tágas, mélybe nyúló vízvezető járatok. E „barlangok” gyakran oly mértékben „aláréselik” a csatornákat felületén hordó kőzettömegeket, hogy azok alátámasztásukat veszítve megsüllyednek, beomlanak.

Az ábrán pontozással jelöltük a kúrtók talaj-kitöltését, pontvonallal pedig a kúrtók helyét meghatározó, a csatorna irányára merőleges repedések nyomvonalát.

Feltűnő, hogy a kúrtók többsége szilvamárag-alakú jelezve, hogy kialakulásukban a kőzet repedés-szerkezetének meghatározó szerepe van.



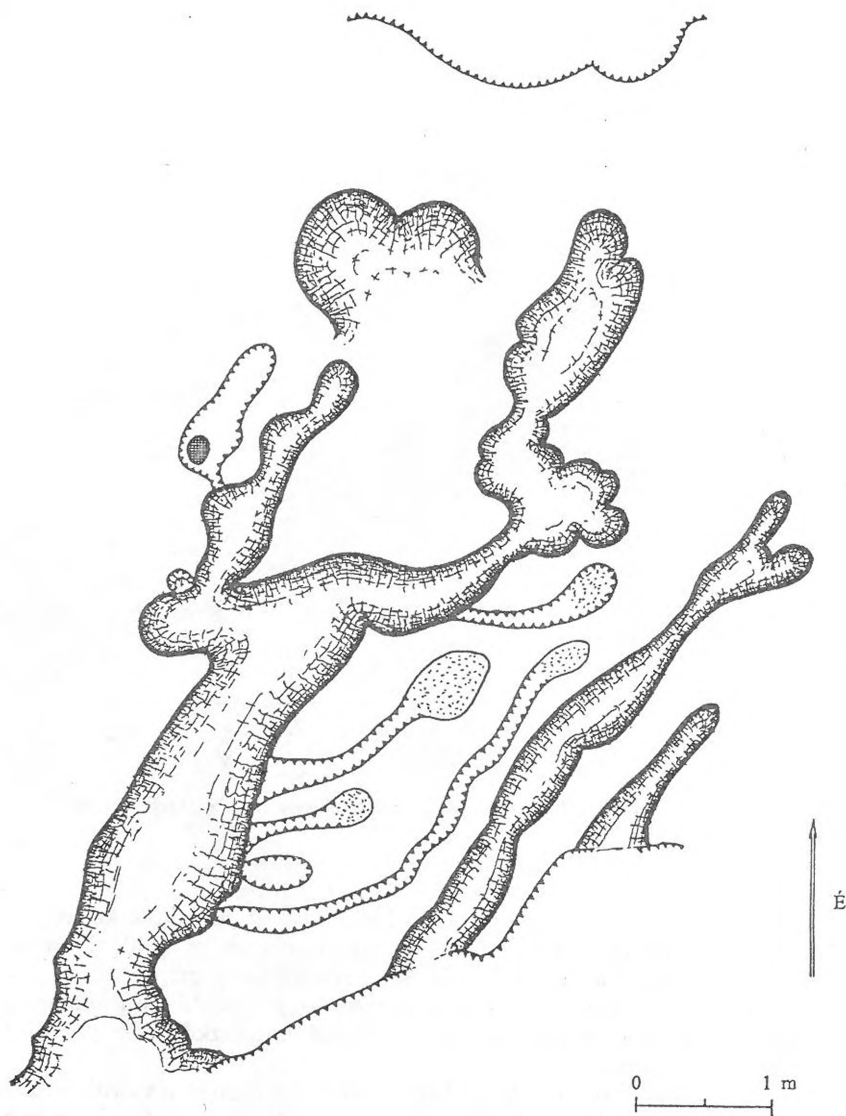
5. ábra: Vályúhálózat víznyelős szakasza (1993/1/3 jelű terület)



6. ábra: Hosszmetszet egy karrványú mentén (1993/3 jelű terület)

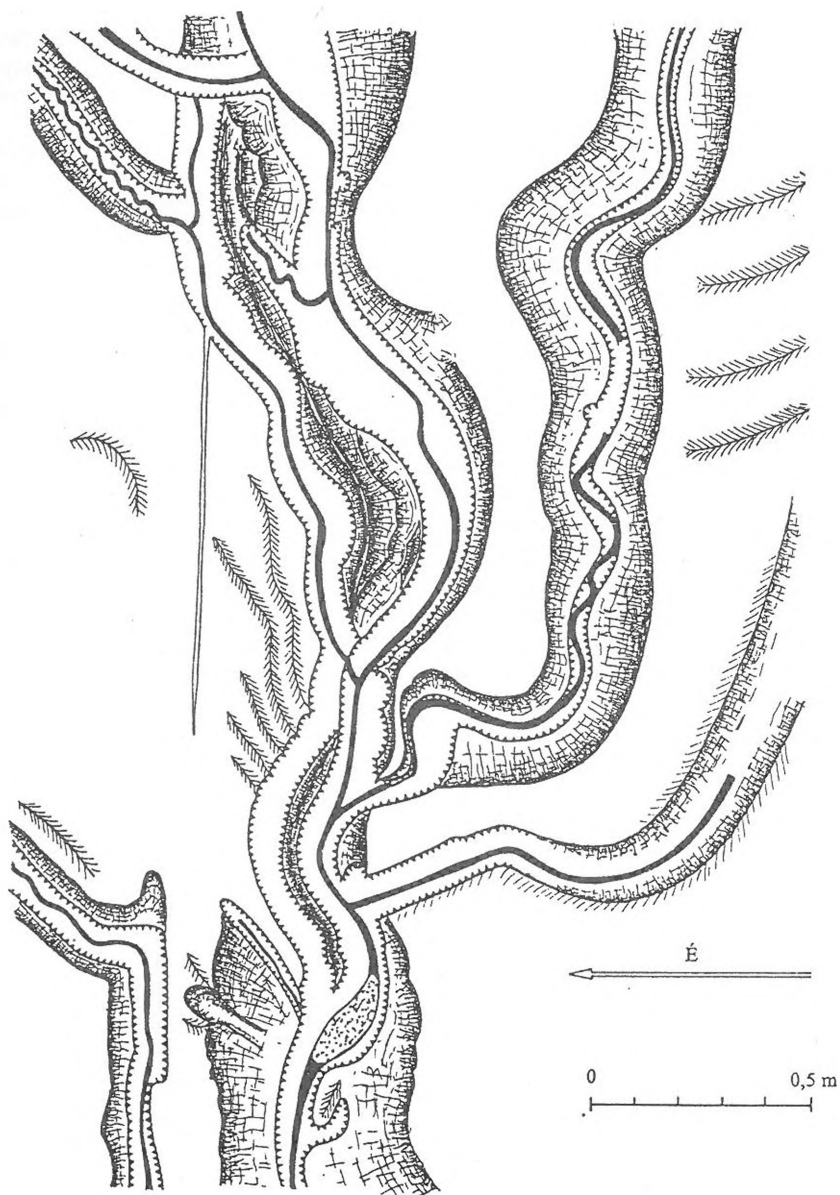
A 7. ábrán egy, a maga nemében különlegesnek mondható karrványut mutatunk be. Különlegessége abban rejlik, hogy nem hosszan nyílik el, hanem meglehetősen amorf, alakatlan formát ölt. Feltűnik nagy méreteivel is, hiszen (a mellékelt lépték szerint) szélessége méteres nagyságrendű. Fő medréhez számos kisebb oldalvölgy is kapcsolódik, így biztosítva mészkőfelszín minden részére kiterjedő leoldódást.

Nem szabad figyelmen kívül hagyni azt a tényt, hogy e vályúk általában kis vízgyűjtő területtel rendelkeznek. Ezt igazolja pl. a 7. ábra felső részén bejelölt letörést szimbolizáló vonal is. Tehát az ábrázolt karrványúhoz folyó vizek területének határa mindössze 1–1,5 méterre van a már jól fejlett medencék felső peremétől.



7. ábra: Nagy karvályu (1993/6 jelű terület)

A 8. ábra egy feltehetőleg nagyon bonyolult fejlődéstörténettel rendelkező csatorna-hálózatot mutat. Alapvető jellemzője, hogy egymást átható, néhol egymást lefejező medrek szövevényéből áll.



8. ábra: Bonyolult szerkezetű, egymást metsző csatornák hálózata (1993/4 jelű terület)

A III-as típusú vályú valamennyi csatorna alján felismerhető, a II-esek azonban több helyen egymásba érnek. Az ilyen szakaszokon a magasabb szinten kialakult csatorna alja erkélyszerűen „függ” a jobban bevágódott csatorna felett. Természetesen az „oldalát vesztett” II-es típusú vályú III-as típusú vályúja irányát megváltoztatva nem követi az eredeti II-es típusú vályú nyomvonalát, hanem azt elhagyva bevezeti a vizet az alsóbb szintű II-es típusú vályúba.

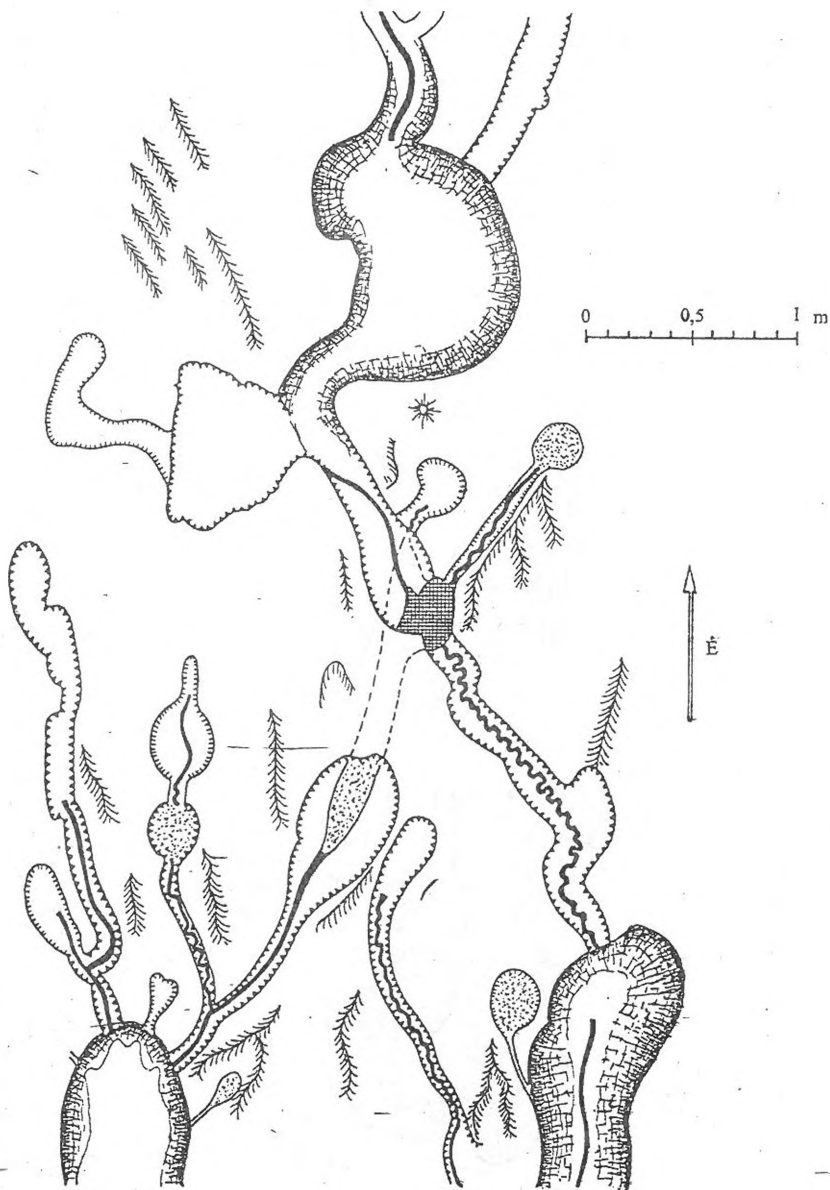
Nyilvánvaló, hogy az egymást átható csatornák I-es típusú vályúi is egymásba harapódnak, aminek következtében különös alakú, roppant éles gerincek jöttek létre. Egy ilyen gerinc a 8. ábrán hosszan követhető a rajz motívumát megadó két fő csatorna között.

A 9. ábrán bemutatott csatornahálózat különlegességét az adja, hogy a rajz közepén elhelyezkedő két csatorna egymást metszi, éspedig különböző szintekben. A metszéspont után az alsóbb helyzetű csatorna barlangszerűen folytatódik a felszín alatt, majd egy ovális medence (madáritató) alján jelenik meg ismét.

Érdeklődésre tarthat számot az is, hogy ezen a viszonylag kis területen igen nagy számban fordulnak elő kerekded, viszonylag fejletlen II-es és III-as vályúból álló, vízjáratokkal összekötött medencék, madáritatók.

Feltűnő továbbá, hogy valamennyi kis csatorna egy-egy nagyméretű, I-es típusú csatorna felső szakaszát képező tál alakú mélyedésbe torkollik. Ebből arra következtethetünk, hogy az I-es vályúk nem a III-as vagy II-es típusú vályúk fokozatos kibővülése révén alakulnak ki, hanem „váratlanul”, születésüktől kezdve teljes méretükben jelennek meg.

A 8. ábra jól példázza azt is, hogy a III-as csatornák sok esetben igen fejlett meanderes szakaszokkal rendelkeznek.



9. ábra: Egymás alatt futó, vertikális összeköttetésű csatornák (1994/1 jelű terület)

A 10. ábra olyan karrosodott terület részletes rajzát mutatja, melyen (akár az állatorvosi lovon az összes betegség) szinte valamennyi karsztos kisforma előfordul. Jelkulcsa kissé eltér az eddigi rajzokétól, amennyiben a III. típusú csatornát nem folytonos vonallal, hanem a vályuk alakját jobban szemléltető „árok” jellel (azaz „szőrözéssel”) fejeztük ki. Újszerű továbbá a rajz jobb oldalát határoló vonal is, mely a vizsgált terület szegélyét képező rétegfej nyomvonalát jelzi. A térképi tartalom kiegészült továbbá a mészkőfelszínből kiemelkedő kis kúpok kis csillagokhoz hasonló rajzolatával.



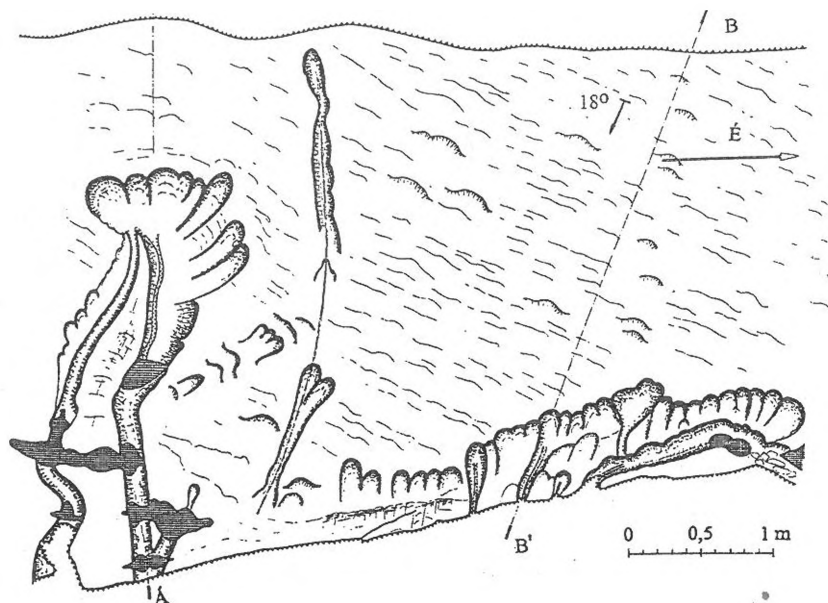
10. ábra: Nagy terület részletes bemutatása (1993/2 jelű terület)

A 10. ábrán nagy számban láthatók egymástól elkülönült (izolált helyzetű) víznyelő kürtök, (akna kürtök) széles, de nem túl hosszú, tálszerű üsttel kezdődő, aljukon III-as vízvezető pályával megtört I-es típusú karrványuk, rajzolatukban fenyőgallyakhoz hasonló, barázdált gerincek és izolált kúpok, valamint a réteglap-rétegfaj határán kioldódott, a mélybe vezető üregrendszer kipreparálódott, roppant éles „harakiri-szikláival”. Figyelemre méltó továbbá ezen korróziós formák igen sűrű elhelyezkedése.

A 11. ábra egy viszonylag kis lejtésű terület alaprajzát mutatja, melyen félgömbökhöz vagy patkókhöz hasonló bemélyedések (u.n. saroknyom-karrok) láthatók. E bemélyedések többsége a réteglap pereménél foglal helyet azt a benyomást keltve, hogy fokozatosan hátrálnak a dőlésiránnyal ellentétesen. Különösen érdekes a rajz bal oldalán bemutatott csatorna, mely saroknyomokból álló medencében végződik. Feltételezhető, hogy a karcsatornák egy része összeoldódó saroknyom-karokból fejlődik ki.

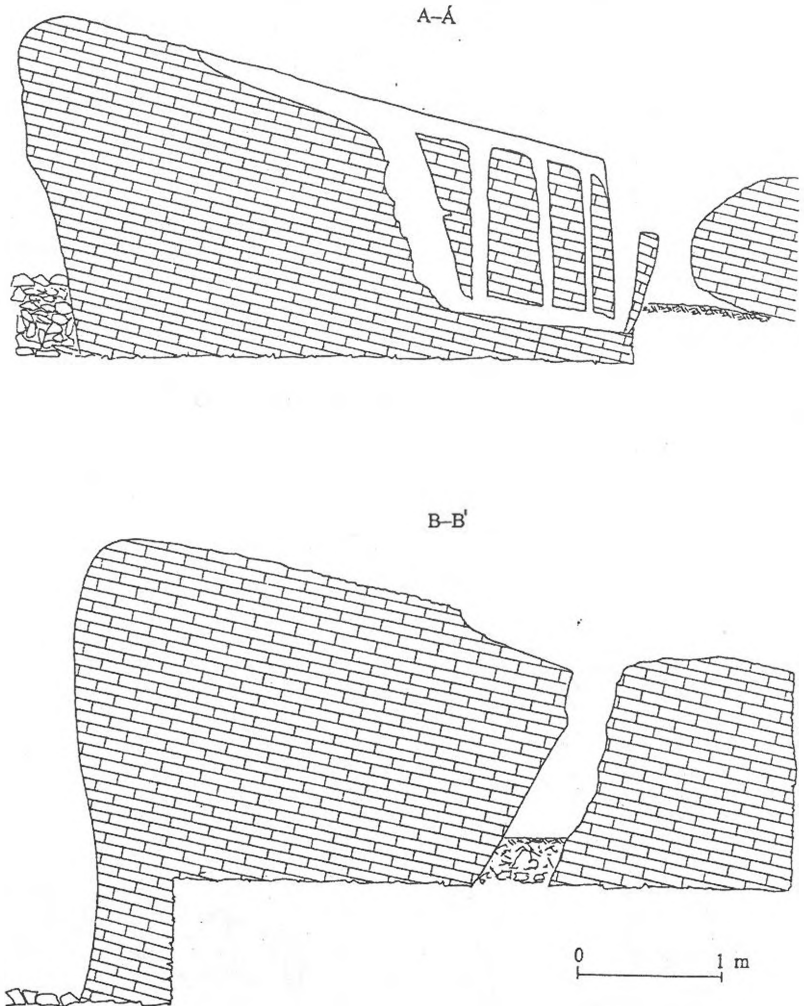
Az ábra kifejezi azt is, hogy az említett hátrálás általában követi a mészkő homogenitását megtörő kisebb repedéseket.

A rajzot csapásirányban megtört számos hullámos vonal a felület lépcsőzetes (más morfológiájú saroknyomok) jellegét kívánja érzékeltetni.



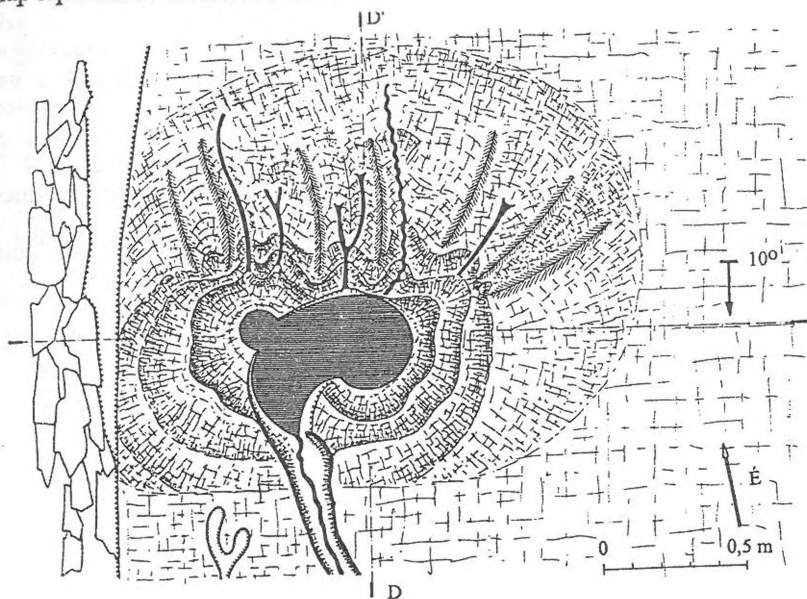
11. ábra: Hátráló saroknyom-karrok (1994/12 jelű terület)

A 12. ábra a 11. ábrán bemutatott saroknyom-karros terület keresztmetszetét mutatja. A felső ábrán (mely a 11. ábra bal oldali metszősíkjában készült) egy karcsatorna és a belőle nyíló kürtök hosszszelvénye látható. Kiderül, hogy a kürtök egy, a felszín lejtésével azonos dőlésű, karrbarlangra szállítják a vizet.

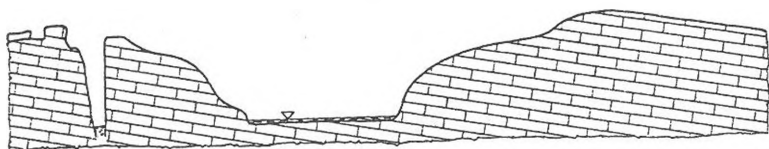


12. ábra: Saroknyom-karros mészkő-felszín dőlés irányú összlet hosszszelvényei (1994/12 jelű terület)

Az alsó ábra a hátra harapódzó saroknyom-karrok metszetét valamint a réteglap lépcsőzetes felületét érzékelteti.

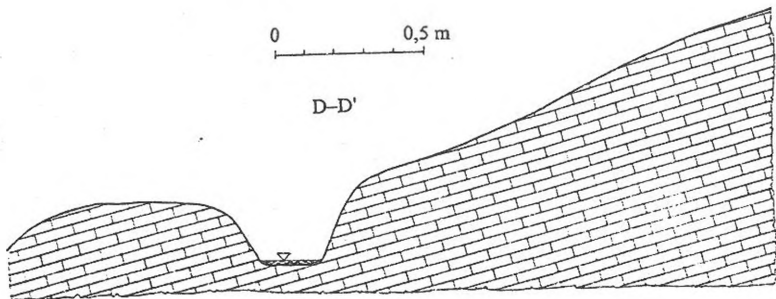


C-C'



0 0,5 m

D-D'

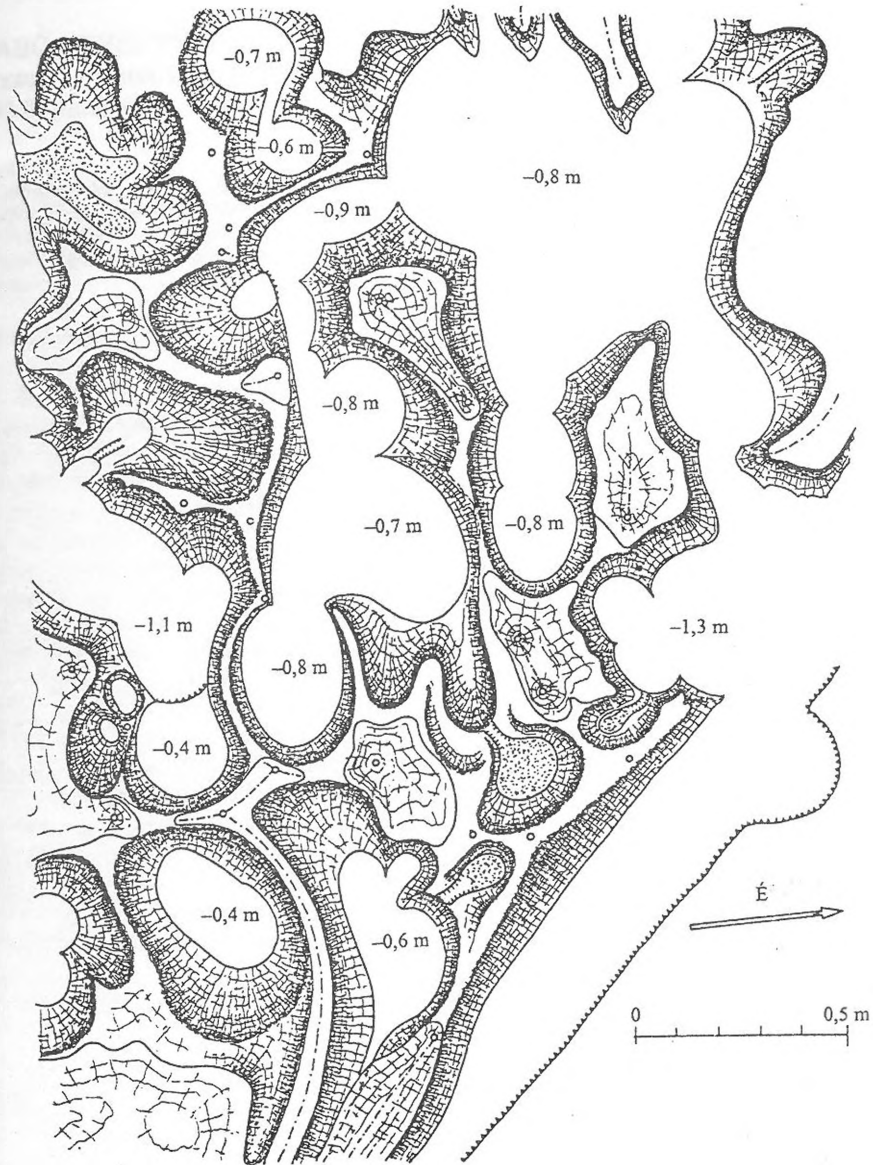


13. ábra. „Román kori keresztelő-medence” alaprajza és keresztszelvénye
(1994/6 jelű terület)

Az a tény, hogy (a metszetek tanúsága szerint) a *11. ábrán* bemutatott terület mély szakadékok között foglal helyet ismét felhívja a figyelmet arra, hogy egy-egy karos képződmény csoporthoz tartozó vízgyűjtő terület viszonylag kicsi.

Az egyik leglátványosabb képződményt mérete, formája alapján románkori keresztelő-medencének neveztük. Különlegessége, hogy hatalmas, teljesen kompakt, ép felületű mélyedésként oldódott ki, és alján még a viszonylag száraz időjárás ellenére is víz gyűlt össze. Különös, hogy egy nagyon éles peremű csatorna átvágja a medence egyik oldalát, és vízvezető-mederként funkcionál.

A *14. ábra* egy erősen lepusztult felszín-részletet ábrázol. A lepusztulás ezen a területen viszonylag nagy átmérőjű kürtők összeoldódásaként állt elő (kürtő uvala). Egy-egy kürtő mélysége 0,5–1,5 méter. Között keskeny gerincek és hegyes csúcsok preparálódtak ki. A kürtők alját mindenütt talaj borítja, melyen dús növényzet telepedett meg. Némelyik kürtőbe „függő-völgyként” oldalról kisebb üstszerű mélyedések kapcsolódnak.



14. ábra: Kürtő-karr alaprajza (1993/5 jelű terület)

KARRVÁLYÚ RENDSZEREK TÉRKÉPEZÉSE A TOTES- HEGYSÉGBEN

SZABÓ LEVENTE

Berzsenyi Dániel Tanárképző Főiskola, Földrajz Tanszék
9700 Szombathely, Károlyi G. tér 4.

Összefoglalás:

A dolgozat két, síkrajzi térképen ábrázolt karrvályú-rendszert és környezetüket mutatja be. Összefüggésekre mutat rá a karrosodást befolyásoló tényezők helyi változatossága és a kialakult karrformák között. A vizsgált térszínek feltagolódását különböző intenzitású karros denudációval magyarázza. Felhívja a figyelmet a karrformák és karros térszínek tipizálásának jelentőségére.

1. Bevezetés

A karrformák genetikai vizsgálatához nemcsak a képződmények tanulmányozása szükséges. Az egyes karros formák feltételezhetően szoros kapcsolatban állnak, hatással vannak egymás fejlődésére. Munkám során olyan karrvályú-rendszereket térképeztem fel, melyek eredésüktől a végpontjukig követhetők és környezetüktől többé-kevésbé önálló vízgyűjtőterülettel elkülöníthetők. Jellemzően egymásba kapcsolódó oldásos csatornákból állnak.

Az egyszerű karros formák poligenetikus, összetett rendszert alkotnak: a hazai szakirodalom ezek két alaptípusát, a kislejtésű, többnyire karsztplatókon kialakuló karrmezőt és a meredekebb karrlejtőt ismerteti (*LEÉL-ÓSSY S.*, 1952., *ZÁMBÓ L.*, 1952). Lehmann a magashegységi karsztfarmákat három típusba sorolta: dolinákat (Dolinen), karrdolinákat (Karrendolinen), és karros táblákat (Karrige Platten) különböztet meg. Lechner ezeken kívül ún. féldolinákat is elkülönít. (*Lechner, J.* 1952.) A legösszetettebb karrvályú-rendszerek e formák kislejtésű térszín-részletein alakultak ki.

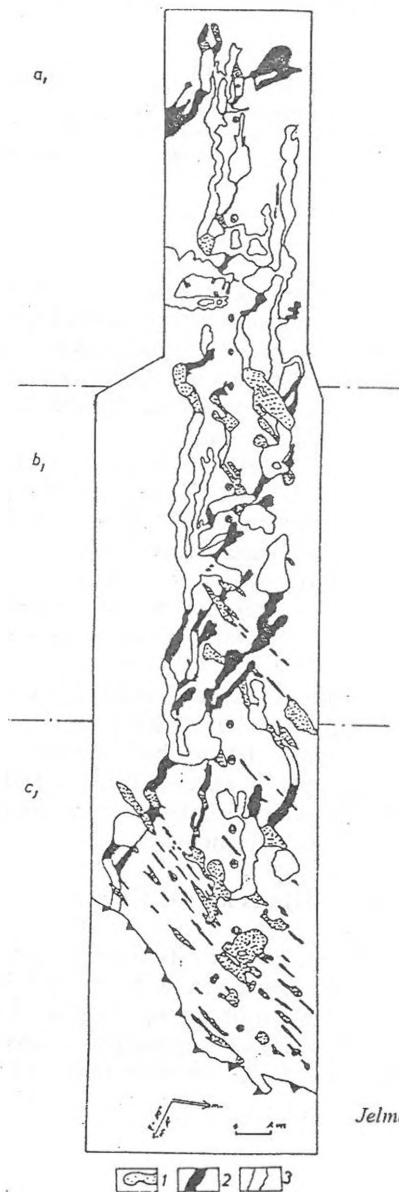
A rendszert karrmorfológiai térképen ábrázoltam. Ez az ábrázolási mód csak a lényeges információkat tartalmazza. Segítségével jól elkülöníthetők az egyes karrformák, egymásba kapcsolódásuk világosan feltűntethető. Egyszerű jelekkel érzékeltetni lehet a formák mélységi viszonyait és egyéb lényeges tulajdonságait pl. a növényelborítottságukat. Finom, mikrokarros részletek ugyan nem kerültek a térképre, de az alapvető összefüggések így is felismerhetők.

2. A vizsgált területek általános morfológiája és karros formakincse

A feltérképezett 1994/13 és 1994/9 jelű területek (Előszó *1. ábra*) ugyan jelentős távolságra találhatók egymástól, mégis sok a hasonlóság közöttük. Kiválasztásuknál lényeges szempont volt a karros formagazdagság. Ezt jelentősen befolyásolja a lejtőszög: nagylejtésű területeken egyöntetűbb, egyenes lefutású, egymással párhuzamos oldásos csatornák jönnek létre, míg kis lejtés ese-

tében (így példánkban is) változatos lefutású, gyakran kanyargós csatornák és egyéb karos formák is bőven képződhetnek.

Mindkét terület egy aknákkal, karmezőkkel, zárt karsztos formákkal jellemezhető plató peremén található, s széles gleccservölgyre tekint.



1. ábra: 1994/13. jelű terület
áttekintő térképe
Jelmagyarázat: 1. törésirányú vályúszakasz,
2. dőlésirányú vályúszakasz,
3. eredő irányú vályúszakasz

A 1994/13 jelű terület (1. ábra) jellegzetessége, hogy közel É-D-i irányú törések mentén részekre tagolódtak. E fő törésvonalakon aknasorok húzódnak. A 2-5 m átmérőjű, jelentős mélységű aknák helyenként fűzészerűen helyezkednek el, máshol már megkezdődött az összekapcsolódásuk. A törések mentén a vizsgált platórészlet legalább három, nagyjából 5-8 m magas lépcsővel részekre különült. A lépcsők között kislejtésű, oldásos formákban gazdag réteglapfelszíneken karmezők találhatók.

A térképezett vályúrendszer a legkülső, völgyperemi karmezőn található. A területet az év nagy részében hó fedi, s az olvadékvizet és az esővizet főleg az oldásos karrvályúk vezetik a lejtő lábánál - a tereplépcső alján - sorakozó aknákhöz.

A karmező felső peremén - a gleccservölgy felé eső oldalon - szintén találunk aknákat, de vízgyűjtőterületük hiányzik, valamint elkezdődött lecsonkolódásuk. Peremükön növényzet (törpefenyves) telepedett meg, láthatóan jelentős ideje inaktív állapotban vannak. Ilyen inaktív aknákat a törések menti tereplépcsők felső peremén rendre találhatunk. A vizsgált karmezőt alárendeltebb törések további részekre különítik. A lejtő felső harmadában egy, a nagy tereplépcsőkkel párhuzamos törés húzódik. E törés mentén is találunk aknákat, ill. tereplépcsőt, de a fő törésektől eltérően itt csak mintegy 30 cm-es szintkülönbség alakult ki. Egy másik jelentős törésirány némileg a lejtőirányhoz közelít. Érdekes, hogy e törés mentén nem alakultak ki aknák, inkább hosszú, egymáshoz kapcsolódó oldásos vályúk, melyekhez lejtőirányból mellékágak csatlakoznak. Ezen törés mentén kialakult tereplépcső magassága a lejtő tetejénél kb. 2 m, a lejtő lábánál már csak néhány dm.

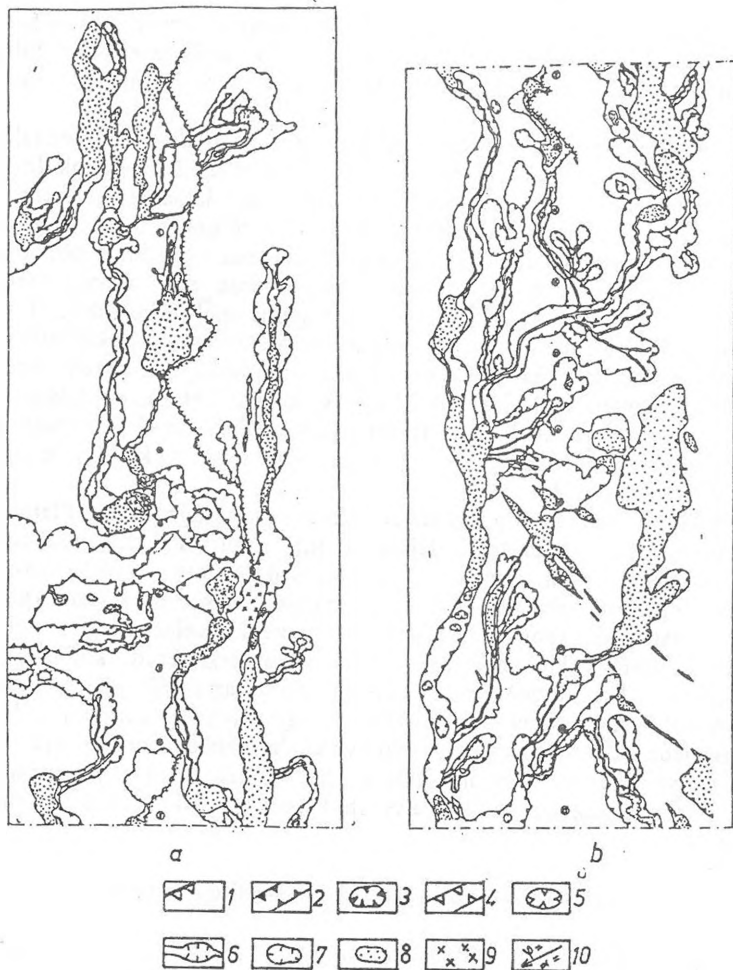
Az 1994/9. jelű terület (3. ábra) ennél élénkebb tagoltságot mutat. Platójellege megszűnőben van. Terasz-szerű lejtőkkel (ld. alább) határolt, szabálytalan peremű, mintegy 100 m átmérőjű, többszörösen összetett, kaotikusnak tűnő mélyedés-rendszerre alakult. Réteglapfelszínnek csak maradványokban, a különböző magas-ságokban elhelyezkedő terasz-szerű felszíneken találhatók.

Közöttük jelentős kiterjedésűnek mondható a térképezett, kb. 7x8 m-es "karmezőcske". Ezen természetesen csak rövidebb karrvályúk jöhettek létre. A bennük áramló esővíz, vagy hólé vályútalpi, vagy vályúvégi kürtökön át bejut a kőzet belsejébe, ill. a terasz peremén átbukva egy alsóbb szinten folytatja útját. A vizek a mélyedésrendszer talpán - részben a felszínen, részben a felszín alatti járatokban, hasadékokban - a fő vízelvezető helyekre igyekeznek, s itt a mélybe szivárognak.

3. A térképezett karrvályú-rendszerek összehasonlító elemzése

A vizsgált karmezőket sűrűn behálózzák az aknákhöz vezető, gyakran kanyargós és hálózatos összekapcsolódó karrvályúk. (2. a., b., c. és 4. ábrák) A szélesebb vályúkban és a vályúk közötti hátakon lapos, tálszerű bemélyedéseket (madáritatókat) találunk. Egyes helyeken néhány dm-es átmérőjű kürtökben (vályúvégi kürtök) végződnek az oldásos csatornák, vagy a nagyobb csatornák alján találunk ilyen vízelvezető helyeket (vályútalpi kürtök).

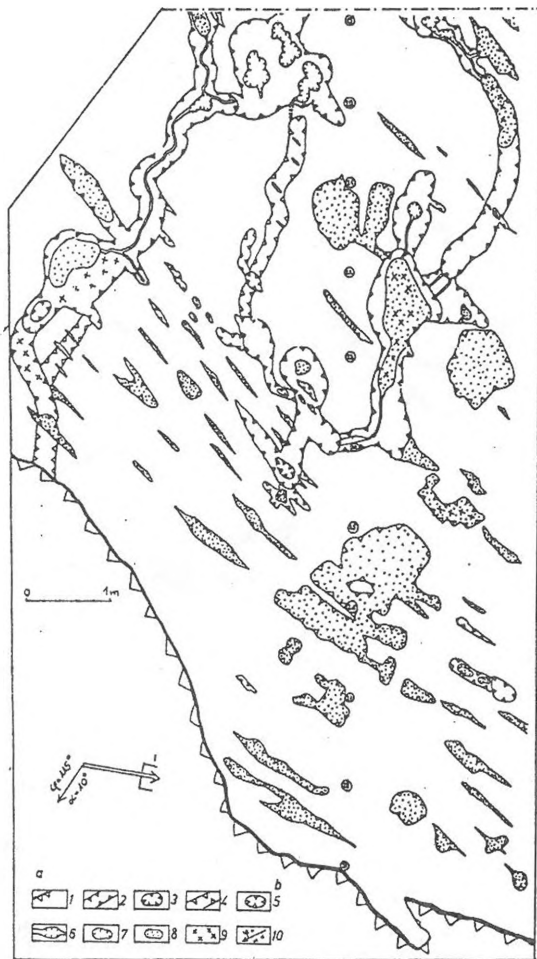
Ezek lehetnek magányosak, de több is előfordulhat egymás mellett, egy-egy csatornában sorokba rendeződve. Főleg a lejtők alján (az aknák mentén, ill terasz-szerű peremeken) oldással kiszélesedett hasadékokat is találunk. Ezek mind a vályúkban, mind a hátakon előfordulhatnak, gyakran egy vagy több karos formát harántolnak is.



2. ábra: Az 1994/13. jelű terület karrvályú-rendszer térképe
(a. felső zóna, b. középső zóna)

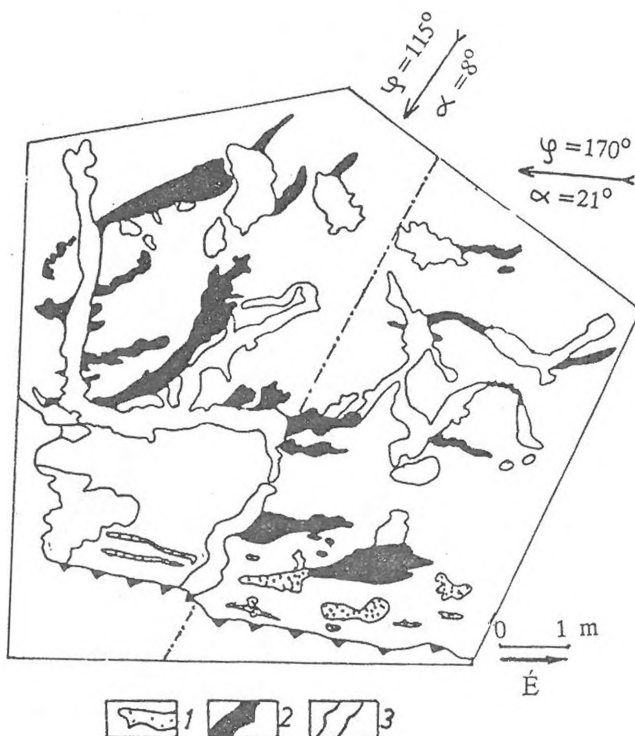
Jelmagyarázat: 1. plató pereme, 2. I. típusú vályú 20 cm-nél mélyebb, 3. I. típusú zárt mélyedés (kürtő) 20 cm-nél mélyebb 4. II. típusú vályú (2-20 cm), 5. II. típusú zárt mélyedés (madáritató, 2-20 cm) 6. III. típusú vályú (1-2 cm mély), 7. III. típusú zárt mélyedés (madáritató, 1-2 cm), 8. növényelborítottság, 9. törnelék, 10. α = lejtőszög nagysága, φ = lejtőirány

A felsorolt formák legnagyobb mélysége – a kürtök kivételével – nem haladja meg a 70 cm-t. Bár az oldásos formák sűrűn feltagolják a területet, a köztük lévő hátság általában őrzik a réteglap felszínét.



2. c. ábra: Az 1994/13. jelű terület alsó zónájának karvályú-rendszer térképe
 Jelmagyarázat: 1. plató pereme, 2. I. típusú vályú 20 cm-nél mélyebb, 3. I. típusú zárt mélyedés (kürtő) 20 cm-nél mélyebb, 4. II. típusú vályú (2-20 cm), 5. II. típusú zárt mélyedés (madáritaltó, 2-20 cm), 6. III. típusú vályú (1-2 cm mély), 7. III. típusú zárt mélyedés (madáritaltó, 1-2 cm), 8. növényelborítottság, 9. törmelék,
 10. α = lejtőszög nagysága, φ = lejtőirány

Az oldásos csatornákat – irányultságuk szerint – három fő típusba sorolhatjuk (1. és 3. ábrák):



3. ábra: 1994/9. jelű karrvályú-rendszer áttekintő térképe

– A törésirányú szakaszok a lejtő alján, permén dominánsak. Feljebb egyre kevésbé fordulnak elő és alakjukban is kevésbé fejeződik ki a törések preformáló szerepe.

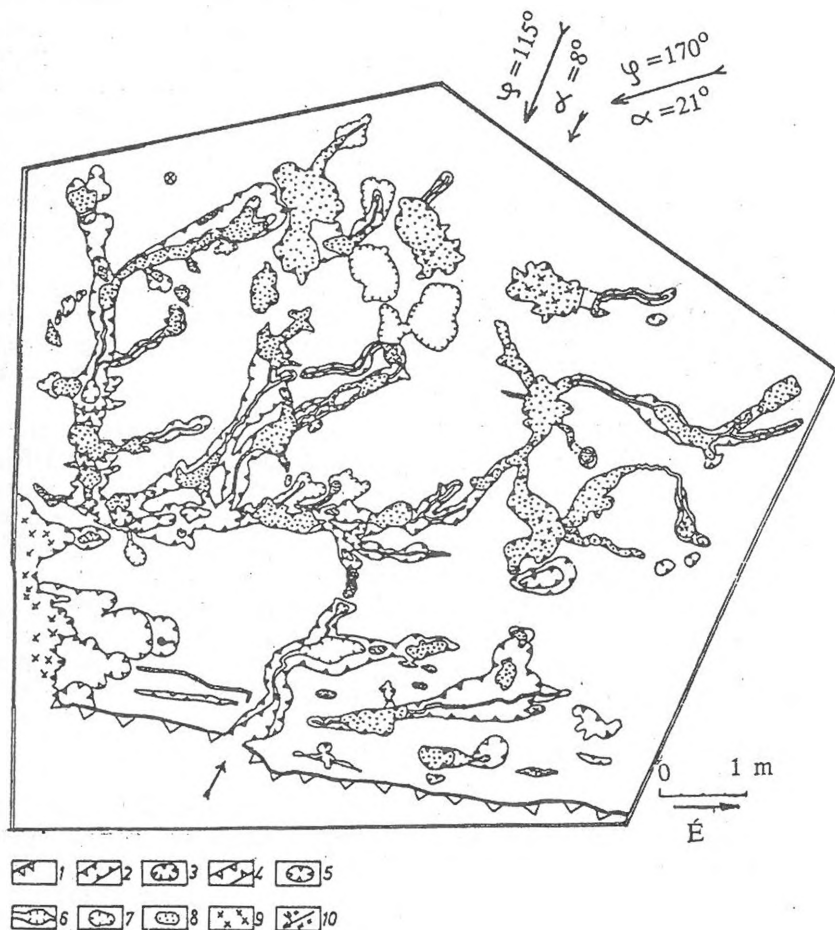
– A lejtőirányú szakaszok eloszlása térben egyenletesebb. Feltűnő, hogy gyakran a nagyobb vályúba torkolló, kisebb mélységű mellékvályúk követik a lejtésirányt.

– A harmadik, domináns irányt követik a leghosszabb és legmélyebb karrvályúk. A lefutási irányuk nagyjából merőleges a plató meredek permére; a törések, ill. a lejtésirány közötti eredő irányt követik.

A vizsgált karrvályú-rendszereken a formák nagysága, alakja és gyakorisága alapján egy felső és egy alsó zónát különíthetünk el egymástól. A platók felső

részen a mélyedések kicsi, lapos formákkal kezdődnek. Közöttük széles hátakon változatos mikrokarros formegyűtesek tanulmányozhatók.

A mellékvályúk, madáritatók az alsó zónában jóval fejlettebbnek tűnnek. A kürtők, hasadékkarok a plató felső részén ritkák, a platók pereme előtti sávban hirtelen megnő a számuk. A fő karrvályúk jórészt nem is érik el a felszínen az aknákat, vagy az alsó terasz-szerű felszíneket: vizük kürtőkön keresztül nyelődik el. Általában elmondható, hogy az alsó zónában az eredeti réteglap-felszín jobban feltagolódott oldásos formákkal.



4. ábra: Az 1994/9. jelű terület karrvályú-rendszer térképe
Jelmagyarázat: 1. töréssirányú vályúszakasz, 2. dőlésirányú vályúszakasz,
3. eredő irányú vályúszakasz

További, részletes vizsgálatot az 1994/13 jelű területen vagy hasonló, nagyobb méretű karrmezőkön célszerű végezni. Rövid karrvályúrendszer esetében ugyanis a zónák közötti különbségek nehezebben észlelhetők. Hosszabb rendszernél azonban a felső és alsó zóna egymástól jól elkülöníthető és a két zóna között széles, átmeneti sáv is megfigyelhető, ahol a két zóna morfológiai jegyei együttesen fordulnak elő.

4. A karrosodást meghatározó tényezők

A vizsgált területek kis kiterjedése miatt olyan alapvető elemeket, mint a kőzetminőséget és az éghajlati – időjárási viszonyokat, a térképezett karrvályúrendszerek esetében homogénnek vehetjük. Úgy tűnik, két tényező alapvetően befolyásolja az oldásos formák alakját és irányát. A törések, mint vízelvezetőhelyek részben maguk felé vonzzák, irányítják a lefolyó vizeket, másrészt változatos formák, vályúk, aknák, oldásos lépcsők kialakulását preformálhatják. A karrmező alapját adó réteglap-felszín lejtésének iránya ugyancsak befolyásolhatja a lefolyó vizek, így a képződő karrvályúk irányát. A törés és lejtőirányok kombinálódása változatos formegyütteseket alakít ki. Feltűnő, hogy a csapásirányú törésvonalak mentén inkább aknák, míg a dőlésirányú törések mentén vályúk képződnek. Az a jelenség, hogy a leghosszabb, legmélyebb vályúk iránya általában a fő törésirány és a lejtésirány eredője, a mellékvályúk pedig ezen irányok valamelyike mentén képződtek, arra enged következtetni, hogy a legjobban kifejtett csatornarendszerek fokozatosan, kisebb és rövidebb szakaszok összekapcsolódásával alakultak ki.

A vályúk lefutását egy harmadik tényező, a platók alsó zónájában erőteljesen fellépő vertikális oldódás is befolyásolja. A kürtök sok esetben lefejezik a vályúkat, a bennük áramló oldatot a mélyebb kőzetrétegekbe vezetik. Az egymás felett esetleg több szintben kialakult járatok a felszín denudációja során feltáruznak. Feltételezhető, hogy a vizsgált rendszerek alsó zónájában található járatok zöme eredetileg felnyílásos eredetű, majd a felszínen fejlődött tovább.

Egyes helyeken előfordul, hogy a vályúk nem párhuzamos lefutásúak. Egy-két nagyobb kürtő vagy törés felé vezetnek, s a lejtő oldalában legyezőszerű eloszlásban helyezkednek el. Ezek a néhány méter átmérőjű térszínrészletek néhány dm-es mélységű, önálló mélyedésként némileg elkülönülnek környezetüktől.

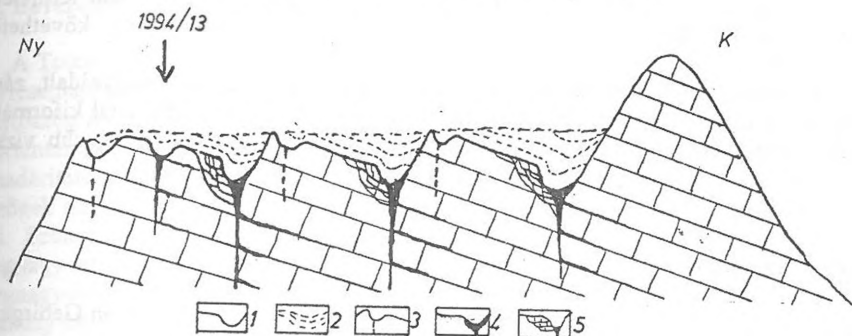
5. A vizsgált területek karsztos fejlődéstörténete

A két területen a törésvonalak – mint fő vízelvezető helyek – sajátos mintázatot alkotnak: a területet különböző kiterjedésű hidrográfiai egységekre tagolják. Ezek egy-egy vízelvezető helyből és a hozzájuk tartozó – különböző kiterjedésű – vízgyűjtő területekből állnak. Feltételezhető, hogy a nagyobb vízgyűjtő területről több oldószert halad a törések, hasadékok, aknák, kürtők felé, ezért a különböző helyeken más-más intenzitással oldódik le a felszín. Ennek eredményeként az eredetileg egységes felület feltagolódik. A törések mentén lépcsők, a kürtők, aknák környékén zártabb mélyedések jönnek létre. Ezek

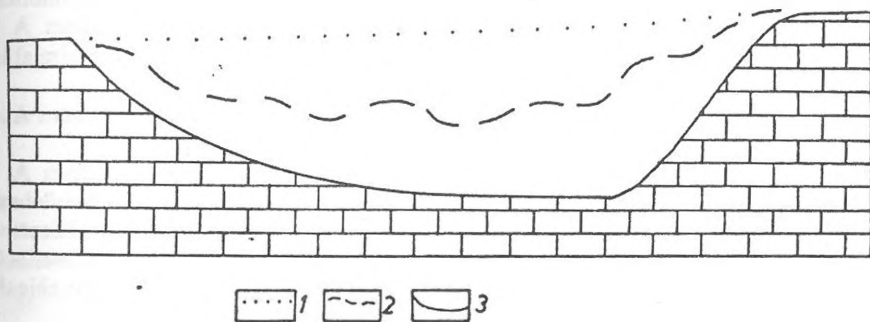
kialakulása módosítja a helyi lejtőszöveget, s a felület további differenciálódásához vezet.

A lepusztulás a kialakuló aknák mentén volt a leggyorsabb, ahová a legtöbb víz érkezett. Az aknába nemcsak a felszínről, hanem a kürtöktől induló, felszín alatti járatokból is érkeztek oldatok. A denudáció eredményeként lépcsőkkel elválasztott réteglap-felszínek alakultak ki. A lépcsők felső peremén vízgyűjtő területüket veszített aknák és járatroncsok találhatóak. Ezen, inaktív helyeket moha és törpefenyves borította el.

A karmezők formái idővel egyre változatosabbak lesznek és egyre sűrűbben feltagolják a réteglap-felszint őrző hátaikat. A differenciálódó felszínen az egyes vízelvezető helyekhez kapcsolódó vízgyűjtő térszínek kiterjedése, így a leoldódásuk sebessége egyre inkább különbözővé válik: további oldásos lépcsők és mélyedések jelennek meg. Végül az eredeti karmező úgy feltagolódik, hogy a réteglapos felszint csak terasz-szerű roncsok őrzik (5. és 6. ábra)



5. ábra: 1994/13 jelű terület elvi keresztmetszeti vázlata
Jelmagyarázat: 1. jelenlegi felszín, 2. hajdani felszín, 3. inaktív aknák, 4. aktív aknák, 5. felszín alatti oldásos járatok



6. ábra: Karros makrotérszín lehetséges fejlődése
a. Kiindulási állapot (1994/13-hoz hasonló) - összefüggő réteglap, b. Átmeneti állapot, ²lépcsős, teraszos feltagolódás (1994/19-hez hasonló), c. Lehetséges továbbfejlesztési állapot (dolina)

6. Összegzés

Az intenzív magashegységi karrosodás nemcsak kisformákat alakít ki, de helyenként lényeges felszínalakító szerepet tölt be. Úgy tűnik, a karros felszíneket - vizsgálati szempontból - három különböző, de jól meghatározható nagyságrendbe sorolhatjuk.

A karrosodás mikrotérszínein változatos genetikájú karrformaegyütteseket pl. összetett karrvályúkatt, vályútalpi kürtősorokat, egymást lefejező vályúkat, összetett madáritatókat tanulmányozhatunk. E formaegyütteseket felfűző karrvályú-rendszerek – oldódással történő fejlődésük során – az eredetileg egységes felszínt mezotérszínre tagolják fel. Kislejtésű réteglapfelszíneken vagy terasz-szerű roncsaikon különböző kiterjedésű karrmezők alakulnak ki, a meredekebb térszíneken lejtőkarr jön létre. A vizsgált két mezotérszín formaegyüttesei sok hasonlóságot mutatnak. A rajtuk térképezett vályúrendszerek kifejlődése is hasonlóan ment végbe. Az 1993/13 jelű területen egy karros tábla feltagolódásának kezdeti állapotát láthatjuk, míg az 1994/9 jelű területen egy előrehaladottabb fejlettségű térszín: karrdolina kialakulása követhető nyomon.

Általában több mezotérszín együtteséből álló platórészletet, völgyoldalt, zárt karsztos mélyedést, vagy hasonló, jelentős mértékben karrosodás által kiformált tájrészletet tarthatunk a karrosodás makrotérszíneinek. Ezek részletesebb vizsgálata mutathatja meg a karrosodás szerepét a felszínformálásban.

Irodalomjegyzék

- LECHNER, J. (1953): Neue Formen des Hochgebirgskarstes im Toten Gebirge - Mitteilungen der Höhlenkommission, Wien p. 47-49.
- LEÉL-ŐSSY S. (1952.): Karrosodás és karros formák – Hidrológiai Közlemény p. 298-303.
- ZÁMBÓ L. (1992): A karrosodó kőzetek alakтана p. 544-593 (In.: Borsy Z.: Általános természeti földrajz – Nemzeti Tankönyvkiadó, Bp.)

A TOTES HEGYSÉG MADÁRITATÓINAK MORFOLÓGIAI JELLEMZÉSE

HORVÁTH E. TAMÁS*–ZENTAI ZOLTÁN**

*9027 Győrújbarát, Fő u. 173.

**Berzsenyi Dániel Tanárképző Főiskola,
9700 Szombathely, Károlyi G. tér 4.

Összefoglalás:

A Totes Gebirge két mintaterületén 75 db madáritató méreteit valamint a hordozó térszín lejtésvizonyait mértük fel. Az összegyűlt adatok felhasználásával elvégeztük a madáritatók morfológiai csoportosítását. Kísérletet tettünk az egyes csoportokba tartozó képződmények kialakulásának értelmezésére. A morfofenetikából kiindulva felvázolható a madáritató fejlődésének trendje.

1. Bevezetés

A Totes-hegység két különböző területén mértük a madáritatók főbb adatait. A Wiesenlacke-tótól északra eső mészkőlejtőn 38 madáritatót vizsgáltunk, itt a lejtőszög $0-41^\circ$ (átlag $22,8^\circ$) között mozgott. A másik terület ahol a mérések történtek az 1994/6-12-es jelű objektum és környéke (ld. *Előszó 1. ábrája*). Itt 37 madáritató adatait vettük fel $0-14^\circ$ -os lejtőszög mellett (átlag $2,5^\circ$). A lejtőszögek réteglapokra vonatkoznak, a madáritatók ugyanis ezek felszínén alakultak ki. Szélességük és hosszuk általában dm-es nagyságrendű, az általunk mért legnagyobb hosszúság 170 cm. Mélységük nagyságrendje is hasonló, de a legnagyobb mért érték sem haladja meg az 1 m-t (73 cm), és sok közöttük a néhány cm-es mélységű.

A madáritatók vízutánpótlását és vízelvezetését legtöbb esetben vályúk biztosítják. Ezek száma, mérete, mélysége és a madáritató aljához viszonyított elhelyezkedése határozza meg, mennyi víz kerül a madáritatóba és az milyen mennyiségben, meddig marad ott. A mélyedéseket gyakran talaj tölti ki, ezért (különböző fejlettségű) növényzet is megjelenhet bennük.

A madáritatóknak több fajtája különíthető el annak alapján, hogy a mészkőfelszín többi karrformájához képest hogyan helyezkednek el.

2. A madáritatók csoportosítása

A madáritatók többé-kevésbé zárt, lapos vagy gyengén hegyesedő aljzattal rendelkező, általában 1-100 cm átmérőjű mélyedések (ZÁMBÓ L. 1992). Csoportosításuk több szempont alapján lehetséges. KERESÉ T. (1994) pl. (a Dachstein-fennsík madáritatóit) elhelyezkedésük, kapcsolódásuk és formájuk alapján rendszerezte.

Szerintünk viszont csoportosítani és jellemezni főleg a keresztmetszetük alapján lehet, mert a felülnézeti rajzokukon (a madáritatók összeoldódása miatt) eredeti alakjuk gyakran nehezen ismerhető fel.

A keresztmetszetet tekintve a madáritatók két csoportba sorolhatók:

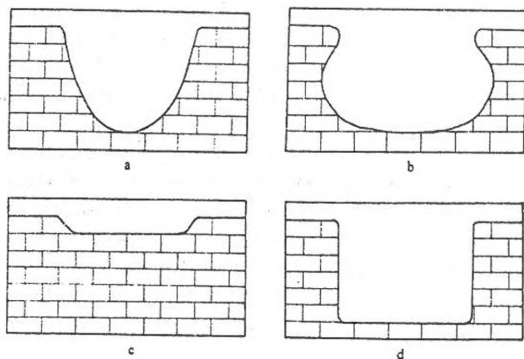
- Összeoldódás nélkül létrejött un. egyszerű madáritatók
- Két vagy több madáritató összeoldódásával létrejött madáritató uvalák, ahol az egybeolvadást kis maradékgerincek vagy küszöbök jelzik.

Egyszerű madáritatók:

Az egyszerű madáritatók közül több altípus és változat különíthető el. A tipizálás alapjául elsősorban a mélyedést határoló oldalfalak jellege, másodsorban a mélyedés mélysége szolgál. Az egyszerű madáritatókat ennek alapján az alábbi csoportokba lehetett sorolni.

a: Szimmetrikus madáritatók (1. ábra):

- Homorú oldalfalakkal határolt, 10 centiméternél mélyebb madáritatók, melyek oldalfalai nem túlhajlóak (1/a ábra).
- Homorú, aláhajló oldalfalakkal határolt, 10 centiméternél mélyebb madáritatók (1/b ábra).
- Függőleges oldalú, lapos aljzatú, tál alakú madáritatók. Mélységük kisebb 10 centiméternél (1/c. ábra).
- Egyenes, függőleges oldalfallal határolt madáritatók (1/d ábra).



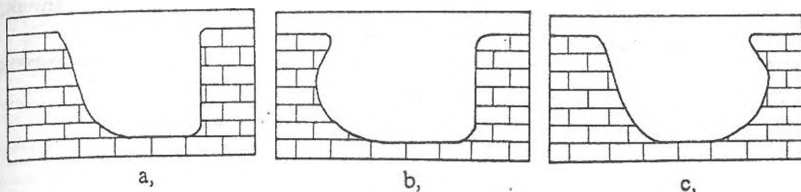
1. ábra: Szimmetrikus madáritatók

- 1/a: homorú nem aláhajló oldalfalakkal határolt madáritatók,
- 1/b: homorú aláhajló oldalfalakkal határolt madáritatók,
- 1/c: függőleges oldalú, lapos aljzatú, tál alakú madáritatók
- 1/d: egyenes, függőleges oldalfalakkal határolt madáritatók

b: Aszimmetrikus madáritatók:

- Az egyik határoló fal homorú, nem aláhajló, a másik egyenes, mely lehet függőleges is, ferde is (2/a. ábra).
- Az egyik fal aláhajló, a másik egyenes. Ez utóbbi szintén lehet függőleges vagy ferde (2/b. ábra).

– Mindkét fal homorú, de az egyik aláhajló, míg a másik nem (2/c. ábra).

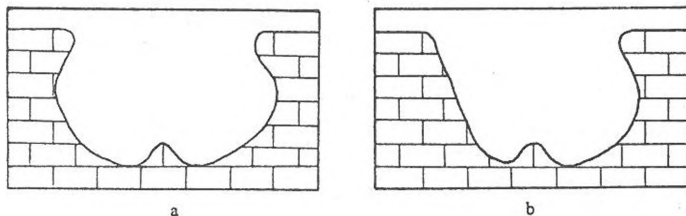


2. ábra: Aszimmetrikus madáritatók

Jelmagyarázat: a: nem aláhajló homorú és egyenes falak kombinációja, b: aláhajló homorú és egyenes falak kombinációja, c: az egyik oldalon nem, a másikon aláhajló homorú falak

c. Madáritató uvalák az alábbiak (3. ábra):

- Homorú aláhajló oldalfalak, a két madáritatót középen keskeny gerinc választja el (3/a. ábra).
- Az egyik oldalfal aláhajló, a másik viszont nem. Az egybeoldódott mélyedések között itt is megmaradt az elválasztó gerinc (3/b. ábra).



3. ábra: Madáritató uvalák

a: homorú, mindkét oldalon aláhajló falak,
b: homorú falak, az egyik oldalon aláhajló a másikon nem

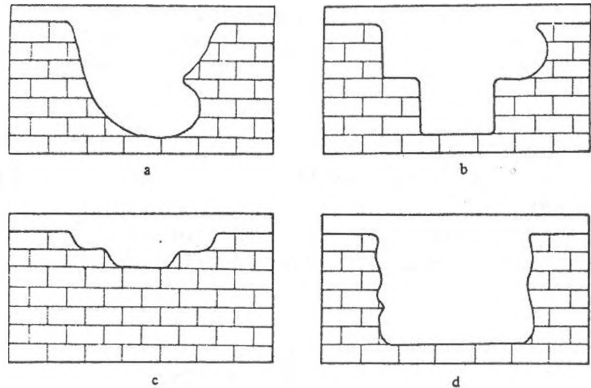
Összetett madáritatók (4. ábra):

Az ebbe a típusba tartozó madáritatók nem összenövésvel alakultak ki.

A kifejlődött madáritatóban a további oldódás már nem terjed ki a mélyedés egész felületére, hanem korlátozottan, a mélyedés aljzatának egy részén folytatódik. Ennek következtében menet közben akár az oldalfal jellege is megváltozhat. Az összetett madáritatók altípusai az alábbiak:

- A felső rész egyenes és nem aláhajló homorú, az alsó aláhajló homorú, és nem aláhajló homorú oldalfalak kombinációjából alakult ki (4/a ábra).

- A felső zóna egyenes és homorú aláhajló, míg az alsó két egyenes fal mentén kialakult madáritató. Utóbbit több esetben törésvonal határozta meg (4/b ábra).
- Tál alakú lapos mélyedések. A mélyedések eltérő magasságban vannak, keskeny lépcsők kötik össze őket (4/c ábra).
- Szabálytalan oldalfalakkal határolt, több esetben megváltozott oldásviszonyok eredményeként kialakult madáritatók (4/d ábra).

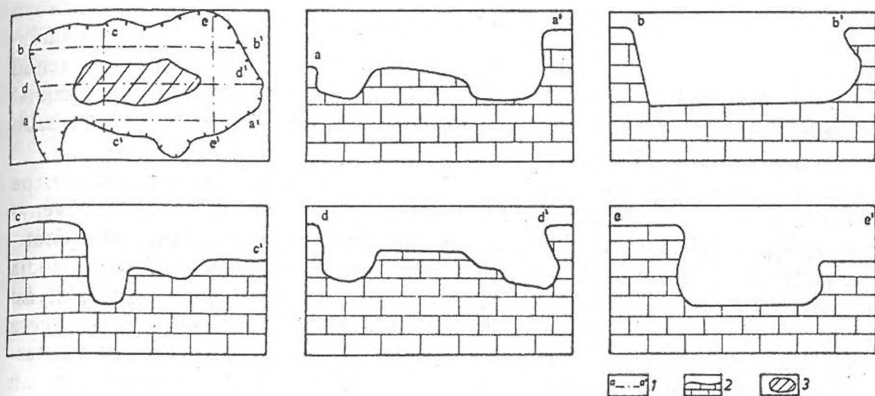


4. ábra: Összetett madáritatók

a: a felső rész egyenes és nem aláhajló homorú, az alsó aláhajló homorú és nem aláhajló falak kombinációja, b: a felső rész egyenes és aláhajló homorú, az alsó egyenes falak által határolt, c: összenőtt tál alakú lapos mélyedések, d: szabálytalan oldalfalakkal határolt madáritatók

Madáritató rendszerek (5. ábra):

Az ilyen típusú mélyedések horizontálisan is és vertikálisan is összenőtt egyszerű madáritatókból alakultak ki.



5. ábra: Madáritató-rendszer
 Jelmagyarázat: 1. a szelvény helye, 2. a madáritató pereme és levezető vályója,
 3. a madáritató aljzata

3. A madáritatók kialakulása és fejlődése

A különböző csoportokba sorolható madáritatók száma eltérő. A vizsgált madáritatók közül leggyakoribbak a szimmetrikus típusúak: homorú nem aláhajló falúakhoz 17%, homorú aláhajló falúakhoz 17%, lapos tál alakúakhoz 24% tartozik. A madáritatók 30%-a a többi típusba sorolható, egyenként 1–4%-os részesedéssel.

BÖGLIA. (1960) szerint a madáritatók talajjal részben fedett mészkőfelszínen alakulnak ki, mégpedig úgy, hogy a talajfolt egy kis zárt mélyedést hoz létre, s ezek fejlődnek tovább madáritatóvá. Ha ez így van, akkor a fő kérdés az, hogy mi okozza az eltérő oldalfaltípusok kialakulását, miért nem egyforma, például homorú aláhajló falak jellemzik az összes madáritatót.

E kérdésre magyarázatot adhatna a hordozó térszín eltérő lejtőszöge, vagy az, hogy a különböző madáritató-mélység esetén megváltoznának az oldás-viszonyok.

Úgy tűnik azonban, hogy a hordozó térszín lejtőszöge és az egyes madáritatók morfológiája közt nincs szoros kapcsolat.

A homorú falak aláhajlására a mélységadat is magyarázatot adhatna, hiszen nagyobb mélység esetén a víz legtöbbször már csak a mélyedés alsó részét tölti ki, ahol így az oldás hosszabb időtartama miatt kifejlődhetnek az aláhajló falak. Itt sem figyelhető meg azonban szabályosság, sőt az egyforma falú madáritatók esetében a homorú nem aláhajló falúaknál valamivel még nagyobb is az átlagmélység, mint az aláhajló falúaknál (25,2, illetve 24,5 cm). Utóbbi két csoport között a legjellemzőbb különbség a talajjal vagy növényzettel való borítottságban fedezhető fel.

A nem aláhajló falú madáritatók esetében növénytelen a mélyedések 61,5%-a, az aláhajlóknál ez mindössze 25%-os arányt képvisel. A fennmaradó hányad vagy talajjal vagy (főleg mohafajokból álló) alacsonyabbrendű, vagy (elsősorban zárwatermőket képviselő) magasabbrendű növényzettel borított. (Nem aláhajló falúaknál növénytelen 61,5%, talajjal borított 23%, alacsonyabb rendű növényzettel 0%, magasabb rendűekkel 15,5% fedett. Az aláhajló falúaknál növénytelen 25%, talajjal borított 25%, alacsonyabb rendűvel 8%, magasabb rendű növényzettel 42% fedett.)

Ezek az arányok jelzik, hogy a növényzetnek és a talajnak jelentős szerepe lehet az aláhajló falak kialakításában. A főszerep valószínűleg a talajé, a növényzet legfeljebb felerősíti az oldódást. A talaj főleg a víz oldalirányú mozgását - és víztározó képességénél fogva a madáritató hosszantartó oldását - tudja biztosítani. Az aláhajlás általában az egész oldalfalra kiterjed. A víz a lefolyást biztosító elvezető csatornák miatt viszont általában nem tölti ki az egész mélyedést, tehát nem is oldhat az egész felületen. (A csatornákat illetően a Totes-hegység madáritatói eltérnek BALÁZS D. (1990) által leírtaktól. Az ott megemlített zárt, be- és kivezető csatorna nélküli, rendszerint sok vizet hosszan tároló madáritatókkal ellentétben, az itteniek általában mindkét csatormatípussal rendelkeznek, így vizük legtöbbször kevés és sekély, amit viszonylag rövid ideig tárolnak.)

Mivel a mélyedésbe kerülő víz legtöbb esetben egy vagy több bevezető csatornából érkezik, ezért az sem valószínű, hogy eközben az oldalfalakon jelentős mennyiség csorogna a mélyedés alá. (A már kialakult enyhén aláhajló falakról inkább lecepegne már a felső peremről, mintsem végigfolyna rajta.)

A talaj viszont biztosítja az oldalirányú vízvezetést, kitöltheti a mélyedés jelentős részét vagy akár egészét, és folyamatosan vízzel látja el az aláhajló falakat is.

Végeredményben a madáritatók fejlődése egy lapos, tál alakú mélyedés kialakulásával kezdődik, majd ez a forma folyamatosan szélesedik és mélyül. A fejlődés homorú, nem aláhajló falú madáritatók kialakulásához vezet. Ebben megjelenhet a talaj és a növényzet - ez okozza azokat az eseteket, amikor nem aláhajló falú mélyedésekben is van talaj és növényzet - és fokozatosan átalakulhat aláhajló falú madáritatóvá. Emellett a fejlődési sor mellett aláhajló falú madáritatók közvetlenül is kifejlődhetnek lapos tál alakú mélyedésekből, ha azokban már a kialakulási folyamat elején megjelenik a talaj.

A többi csoport az előzőekben felsoroltak speciális esetei lehetnek. Az eltérések okai is valószínűsíthetők.

Annál a madáritatótípusnál, melynél mindkét oldal homorú, de csak az egyik aláhajló, ott összenövés történhetett és madáritató uvala alakult ki. Az egyik „elődmélyedés” homorú aláhajló, a másik viszont nem aláhajló lehetett. Az összenövés lehetőségét több esetben a felülnézeti kép is megerősíti.

Egyenes oldalú madáritató kialakulását okozhatja egy gyenge törésvonal, mely főleg az összetett formáknál figyelhető meg. A legtöbb esetben azonban a törésvonalnak nincs látható nyoma. Törésvonal ezeknél is létezhet, de a kalcitkiválások eltömték a keskeny repedéseket. Ilyenkor az oldalfalak formáját

részben a törésvonal, részben a kalcitér gyengébb oldódási képessége határozza meg. További fejlődésüket az befolyásolhatja, hogy a kalcitér átoldódása után mekkora a törés vízvezető képessége. Ha nagy, akkor továbbra is egyenes oldalfal dominál ugyanúgy, mint az összetett formáknál. Ha viszont kicsi, akkor valamelyik a talaj alatti oldás intenzitásától függően homorú oldalfaltípus alakulhat ki. Ugyancsak az összetett formáknál az oldalfalak lépcsőzetessége figyelhető meg helyenként (ld. például 4/c. ábrát). Ezeket a lécsőket *LECHNER J.* (1953) és *FRIDTJOF, B.* (1953) teraszokként értelmezte. Utóbbi szerint a teraszok kialakulását a lecsapoló vályú bemélyülése okozta. Ennek következtében a mélyedésre jellemző átlagos vízszint csökkent, így az oldás az oldalfalak felső részére már nem terjedt ki. A vízszintváltozás mellett vagy helyett más tényező is szerepet játszhat a teraszok kialakulásában. Nagyméretű madáritatóknál gyakran megfigyelhető, hogy a talaj nem az egész mélyedést tölti ki, hanem annak csak egy részét. Ahol talaj fedi a madáritató aljzatát, ott gyorsabb az oldás, ezért a nagy mélyedésben egy kisebb jön létre. Ez utóbbi fejlődése során egyre mélyül és tágul, így a peremen a régi nagy madáritató aljzatából egyre keskenyebb teraszok maradnak csak meg.

4. Összefoglalás

A madáritatók összképe és alaptulajdonságai nagyon hasonlóak. Mindegyik többé-kevésbé zárt mélyedés, sok esetben vízbevezető és vízvezető csatornákkal rendelkeznek, felülnézeti képük általában lejtőirányban megnyúlt. A mélyedések keresztmetszete viszont gyakran eltérő, és 3 oldalfaltípusba sorolható:

- homorú nem aláhajló,
- homorú aláhajló,
- egyenes.

A Totes-hegységben található madáritatóknak összesen 14 csoportja különíthető el, s ezek a különböző oldalfaltípusok kombinációival jellemezhetők. Kialakulásuk lapos, tál alakú mélyedések létrejöttével kezdődik. További fejlődésük során ezekből nem aláhajló falú homorú, talaj és növényzet hatására pedig homorú aláhajló falú madáritatók jöhetnek létre.

Törésvonalak és a mészkőben lévő kalciterek megváltoztathatják ezt a fejlődést és egyenes oldalfalak kialakulását eredményezhetik.

A csoportok jelentős része a madáritatók összeoldódásával jött létre.

Irodalom

- BALÁZS D.* (1990): Karsztformák-karregyüttesek, Karszt és Barlang II. p. 117-122.
- BÖGLI, A.* (1960): Kalklösung und Karrenbildung- Zeitschrift für Geomorphologie. Suppl. Bd. p. 4-21.

- FIRDTJOF, B.*, (1954): Verkarstung und Bodenschwund im Dachsteingebiet - Mitteilungen der Höhlenkommission 1. p. 53-56.
- LECHNER, J.* (1953): Neue Formen des Hochgebirgkarstes im Toten Gebirge - Mitteilungen der Höhlenkommission, p. 47-49.
- KERESE T.*: (1994) Egy dachsteini terület karrformáinak vizsgálata - Környezetünkért II: a III. Országos Környezettudományi Diákkonferencia és a szombathelyi OTDK díjazott pályamunkái. JGYTF Kiadó, Szeged. p.145-150.
- ZÁMBÓ L.* (1993): A karsztosodó kőzetek alaktana p. 544-641. (in: Borsy Z.: Általános Természetföldrajz, Nemzeti Tankönyvkiadó Bp.)

TOTES-HEGYSÉGI LEJTŐKARROK MORFOMETRIAI VIZSGÁLATÁNAK EREDMÉNYEI

ZENTAI ZOLTÁN*–HORVÁTH ERNŐ TAMÁS**

*Berzsenyi Dániel Tanárképző Főiskola, 9700 Szombathely, Károlyi G. tér 4.

** 9027 Győrújbarát, Fő u. 173.

Összefoglalás:

A dolgozat a lejtőkarrak és a lejtő dőlésszöge között statisztikai módszerekkel keres kapcsolatot. Megállapítja, hogy a lejtőszög növekedésével a karrványúk száma is növekszik, keresztmetszetük nagysága viszont csökken. A lejtőn fentről lefelé a vályúk száma ugyancsak csökken, de keresztmetszetük nagysága növekszik.

A meredekebb lejtőn a víz nagyobb sebességre tesz szert, ezért egyenetlenségekbe ütközve azokat nem kikerüli, hanem átfolyik rajtuk. A lankásabb lejtőn lassabban áramló víz az akadályokat kerülgetve halad. Feltételezhetően ezért alakul ki a meredekebb lejtőkön több egymással párhuzamos mozgási pálya és a lankásabb lejtőkön kevesebb egymásba torkolló pálya.

Bevezetés

A lejtőkarrak a lejtős sziklafelszíneken – jelen esetben: réteglapokon – lecsorgó vizek nyomvonalán bemélyülő (VERESS, M. 1992), egymással párhuzamos, a réteg dőlésirányával megegyező lefutású vályúk.

A morfometriai adatgyűjtés célja a további vizsgálatok irányának kijelölése volt. Kiindulásként feltételeztük, hogy a lejtőszög és a vályúk mérete között összefüggés lehet. Ezt az összefüggést próbáltuk feltárni. Az adatsorok jelen értelmezése is ennek szellemében íródott.

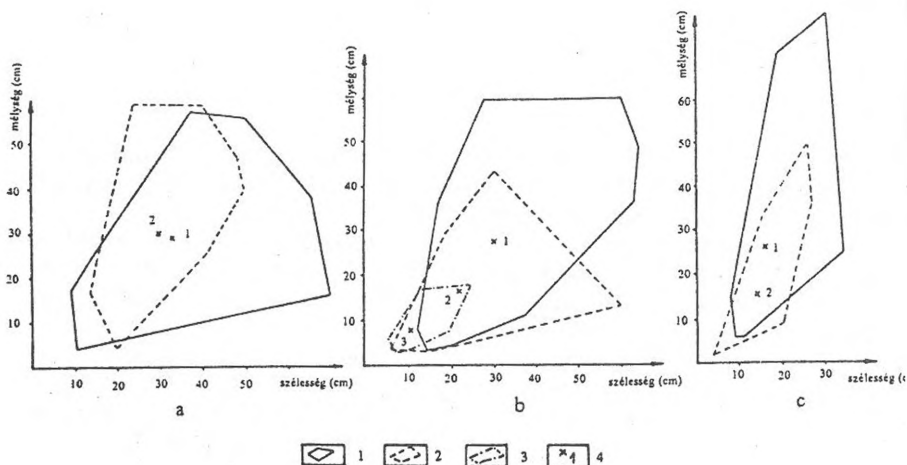
A fenti vizsgálatokhoz szükséges adatok mérését a Totes Gebirge hegység 1994/5. jelű mintaterületének vályúin végeztük el (ld. az Előszó 1. ábráját). A mérések a mintaterület térségében a Pühringer-ház közelében egy karsztos gleccservölgy talpának három lejtős szabad szikla felszínén történtek. Különböző lejtőszögű réteglapokon csapásirányban a lejtő aljától 3,5 m, 7 m, illetve 10,5 m-re mértünk. Mértük a vályúk számát, a vályúk szélességét (a peremükön mérve), a vályúk mélységét (a réteglap síkjától függőlegesen mérve), és a rétegek dőlésszögét. Három réteglapon (34°, 48° és 50°-os dőlésűn) öt mérésorozattal, összesen 229 vályú adatait rögzítettük.

Az adatok feldolgozása és kiértékelése

a.) Az egy sorban elhelyezkedő vályúk szélesség- és mélység adatait koordináta-rendszerben ábrázolva majd a szélső elemeket összekötve tartományok jelölhetőek ki. Az egy réteglaphoz tartozó adatok tartományait ugyanabban a koordináta-rendszerben ábrázoltuk és feltüntettük az elemek középértékeinek helyeit is (1. ábra).

A fenti módon szerkesztett tartományok méretüket és helyzetüket tekintve különbségeket mutatnak. A kisebb lejtőszöghöz tartozók helyzetüket tekintve

kevésbé, a nagyobb lejtőszöghöz (48° ; 50°) tartozó tartományok jobban elkülönülnek. A 48° és 50° -os lejtők aljához közelebb (3,5 m) felvett adatok tartományai nagyobbak a fölöttük (7 ill. 1,5 m-re) felvett adatokéinál. A 34° -os lejtő aljához közelebb (3,5 m-re) felvett adatok és a fölötté (7 m-re) felvett adatok tartományai között jelentős méretkülönbség nem figyelhető meg. A halmazok elemeiből számított középértékek a két meredekebb (48° és 50° -os) réteglap esetén csökkenő tendenciát tükröznek. Az alacsonyabb lejtésű (34° -os) réteglaphoz tartozó halmazok középértékei nem mutatnak csökkenést. (1. ábra)

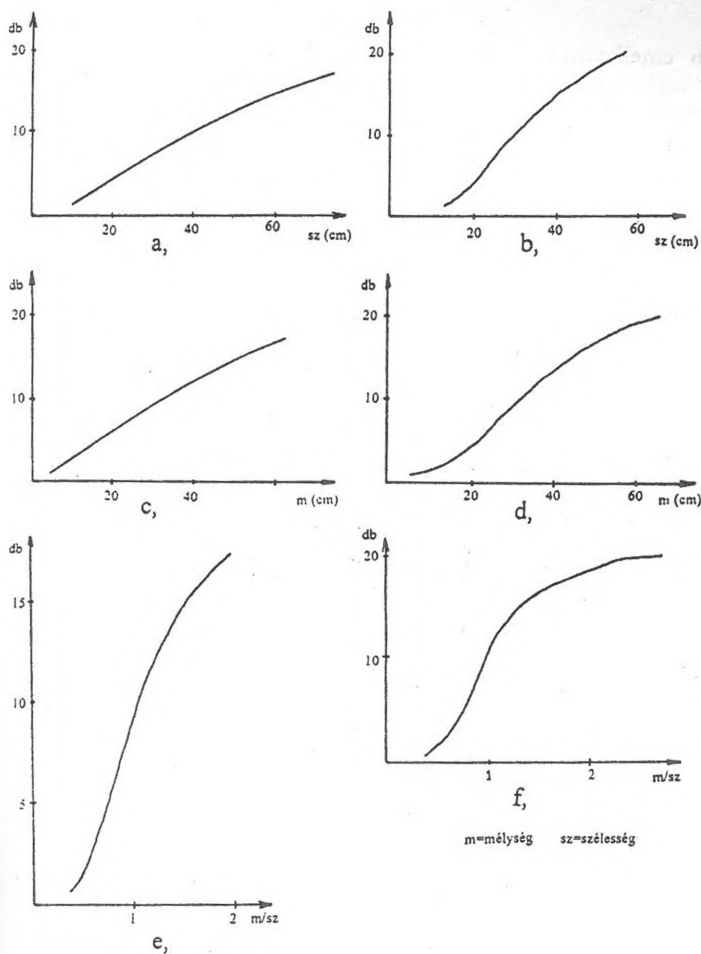


1. ábra: A csatornák szélesség- és mélység adataiból képzett tartományok.
 a. a 34° -os lejtőhöz tartozó tartományok, b. a 48° -os lejtőhöz tartozó tartományok
 c. az 50° -os lejtőhöz tartozó tartományok
 1. a lejtő aljától 3,5 m-re mért adatok tartománya, 2. a lejtő aljától 7 m-re mért adatok tartománya
 3. a lejtő aljától 10,5 m-re mért adatok tartománya, 4. az elemek középértékeinek helyei

b.) Elkészítettük az egy sorban elhelyezkedő vályúk szélességi- és mélységi adatainak valamin ezek hányadosainak (azaz megnyúltságuknak) eloszlási görbéit (2., 3., 4. ábra).

Az 50° -os lejtőhöz tartozó eloszlási görbék emelkedése a lejtő alján (3,5 m-re) felvett adatoknál a legkisebb és felfelé nő. (4. ábra) A 48° -os lejtő eloszlási görbéinek meredeksége a lejtőn felfelé szintén növekszik. Kivételt képeznek a megnyúltsági görbék, ahol a középső mérősorozat (7 m) adatai nőnek a legmeredekebben (3. ábra).

A 34° -os lejtőnél ugyancsak a lejtő felső részén felvett görbék emelkednek a legmeredekebben (2. ábra).

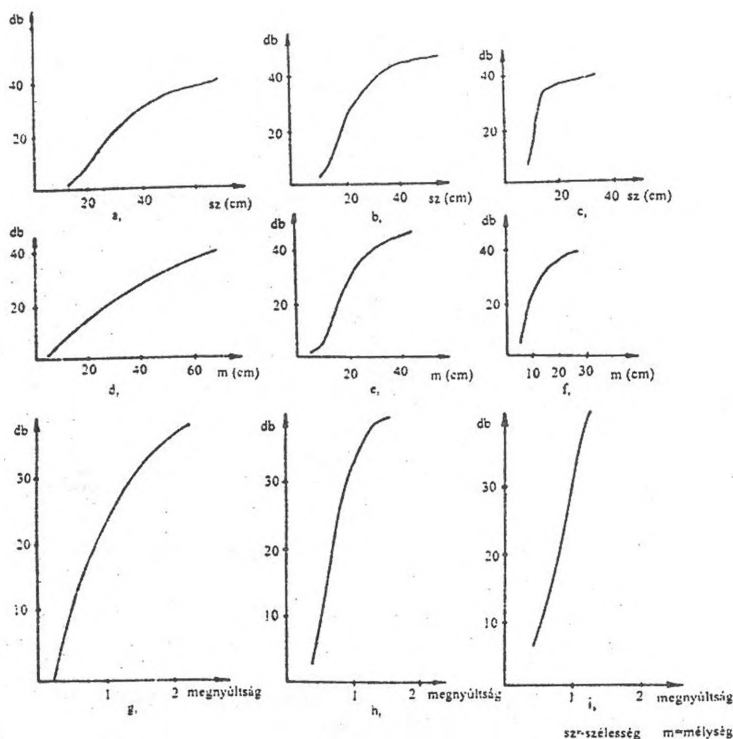


2. ábra: A 34° -os lejtőhöz tartozó csatornák szélességének m -mélységének és megnyúltságának eloszlási görbéi.

- a. a lejtő aljától 3,5 m-re felvett szélességi adatok görbéje, b. a lejtő aljától 7 m-re felvett szélességi adatok görbéje, c. a lejtő aljától 3,5 m-re felvett mélységadatok görbéje, d. a lejtő aljától 7 m-re felvett mélységadatok görbéje, e. a lejtő aljától 3,5 m-re felvett adatok megnyúltsági görbéje, f. a lejtő aljától 7 m-re felvett adatok megnyúltsági görbéje

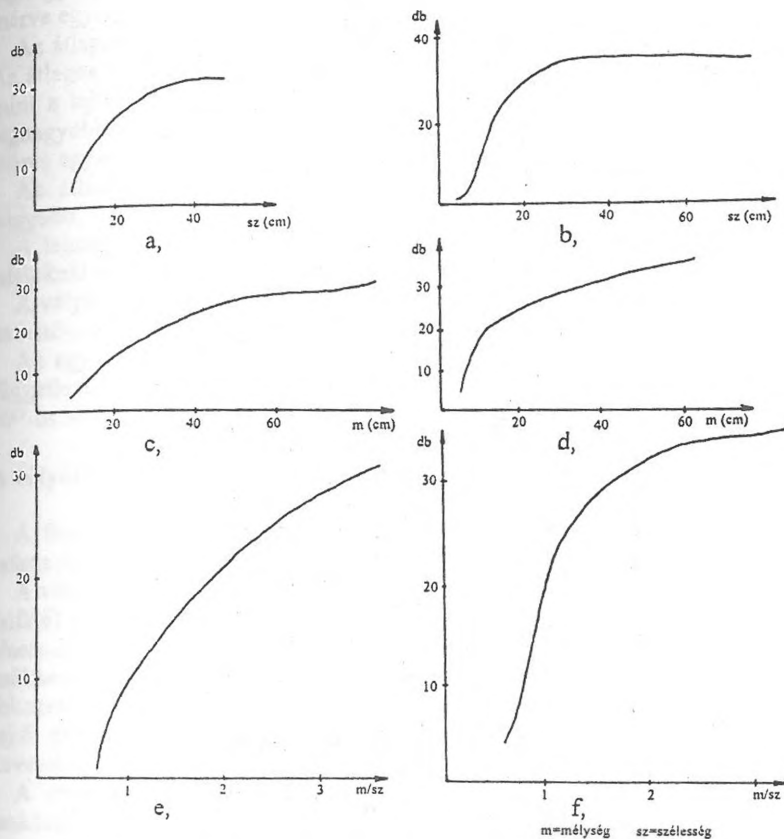
A vályúk szélességi görbéi minden méréssorozat esetében az 50° -os lejtőnél a legmeredekebbek és a 34° -os lejtőnél a leglankásabbak. A mélységi görbék emelkedési üteme ugyancsak az 50° -os lejtőn a legnagyobb és a 34° -os lejtőn a legkisebb, de az 50° -os lejtőhöz tartozó görbék rövid, meredek emelkedés után gyorsan ellaposodnak, míg a 48° -os lejtőhöz tartozó görbék valamivel lassabban,

de tovább emelkednek. A vályúk megnyúltsági görbéi a 48°-os lejtőnél a legmeredekebbek Ezt követi az 50°-os lejtő, és végül a 34°-os lejtő görbéinek meredeksége (2., 3., 4. ábra).



3. ábra: A 48°-os lejtőhöz tartozó csatornák szélességének, mélységének és megnyúltságának eloszlási görbéi.

a. a lejtő aljától 3,5 m-re felvett szélességi adatok görbéje, b. a lejtő aljától 7 m-re felvett szélességi adatok görbéje, c. a lejtő aljától 10,5 m-re felvett szélességi adatok görbéje, d. a lejtő aljától 3,5 m-re felvett mélységi adatok görbéje, e. a lejtő aljától 7 m-re felvett mélységi adatok görbéje, f. a lejtő aljától 10,5 m-re felvett mélységi adatok görbéje, g. a lejtő aljától 3,5 m-re felvett adatok megnyúltsági görbéje, h. a lejtő aljától 7 m-re felvett adatok megnyúltsági görbéje, i. a lejtő aljától 10,5 m-re felvett adatok megnyúltsági görbéje



4. ábra: Az 50⁰-os lejtőhöz tartozó csatornák szélességének, mélységének és megnyúltságának eloszlási görbéi.

- a. a lejtő aljától 3,5 m-re felvett szélességi adatok görbéje, b. a lejtő aljától 7 m-re felvett szélességi adatok görbéje, c. a lejtő aljától 3,5 m-re felvett mélységi adatok görbéje, d. a lejtő aljától 7 m-re felvett adatok mélységi görbéje, e. a lejtő aljától 3,5 m-re felvett adatok megnyúltsági görbéje, f. a lejtő aljától 7 m-re felvett adatok megnyúltsági görbéje

c.) Méréssorozatonként kiszámoltuk a vályúk átlagos szélességét, mélységét és átlagos megnyúltságát, valamint a méréssorozatonkénti vályúsűrűséget (m/db). Meghatároztuk az adatok korrigált statisztikai szóródását is. Az egy vályúra számított szélesség-mélység szorzattal pedig a vályúk méretére utaló összefüggést kerestünk.

A c. pont alatti eredményeket az 1. táblázat foglalja össze.

I. táblázat:

A lejtőszög és a hozzá tartozó átlagos szélességek, mélységek, megnyúltságok, a szóródási értékek és vályúsűrűségek

lejtőszög	lejtőhossz	átlagos szélesség	átlagos mélység	átlagos torzultság	szélesség szóródás	mélység szóródás	torzultság szóródás	szélesség relatív szóródás	mélység relatív szóródás	torzultság relatív szóródás	vályúsűrűség	szélesség mélység szorzat
34°	3,5	33,4	29,7	0,9	18,7	17,08	0,42	1,78	1,73	2,14	1,2	1134
	7	30,2	30,9	1	10,0	15,37	0,49	3,02	2,01	2,04	1,4	1010
48°	3,5	30,	28,3	0,92	14,0	16,2	0,54	2,14	1,74	1,7	1,9	970
	7	22,3	17,6	0,81	10,5	9,17	0,34	2,12	1,91	2,38	2,3	424
50°	10,5	11,5	8,15	0,6	3,8	4	0,26	3,02	2,03	2,3	2,78	102
	3,5	16,6	26,5	1,46	7,3	18,8	0,79	2,2	1,4	1,8	1,93	395
	7	14,2	16,5	1,08	12,4	15,03	0,64	1,14	1,09	1,68	2,31	394

A vályúszélességek átlaga a mérési magasság függvényében nézve mindig a lejtő alján a legnagyobb. A lejtőszög szempontjából viszont a 34°-os lejtőn a legnagyobbak és az 50°-os lejtőn a legkisebbek (3,5 m és 7 m magasságában mérve egyaránt).

Az átlagos vályúméllység a 48° és 50°-os lejtőnél a lejtő alján a legnagyobb. Az átlagos vályúméllység a 34°-os lejtőn 7 m magasságban 1,2 cm-rel nagyobb, mint a lejtő aljától 3,5 m-re. Az átlagos vályúméllységek a 34°-os lejtőnél a legnagyobbak és az 50°-os lejtőnél a legkisebbek (3,5 m és 7 m magasságában mérve egyaránt).

Az átlagos megnyúltság a 48° és 50°-os lejtőkön mérve a lejtők alján nagyobb, a 34°-os lejtőnél viszont kisebb, mint fölötte (7 m-en) mérve.

A legnagyobb relatív szóródási értékek többnyire a lejtők felső részén mért adatoknál mutatkoznak.

A vályúsűrűség a lejtő felső része felé mindig növekszik. Legnagyobb az 50°-os lejtőn, és legkisebb a 34°-os lejtőn.

Az egy vályúra számított szélesség-méllység szorzat a réteglap lejtőszögétől függetlenül felfelé mindig csökken. Értéke a 34°-os lejtőn a legnagyobb és az 50°-os lejtőn a legkisebb (I. táblázat).

A vályúképződés modellje eltérő meredekségű lejtőkön

A fenti összefüggések igazolják kiindulási feltételezésünket, hogy a vályúk száma és mérete, illetve a lejtő dőlésszöge között kapcsolat van.

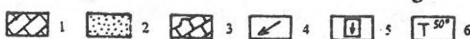
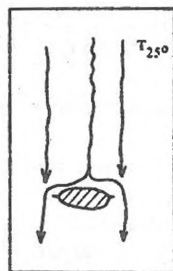
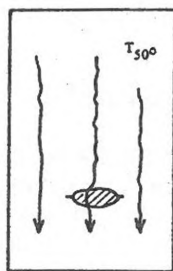
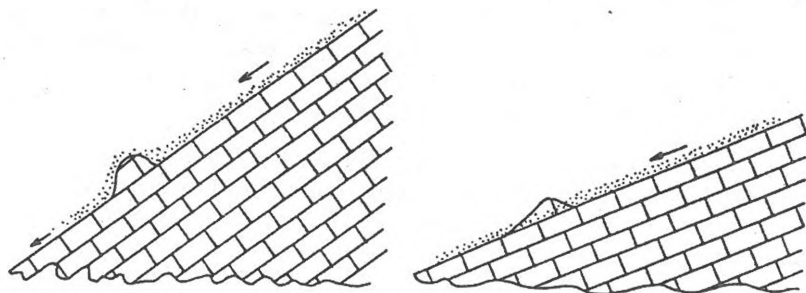
A vályúk száma a lejtők meredekségével és a lejtők hosszával (a lejtők aljától felfelé) növekszik. A vályúk mérete a nagyobb lejtőszögeknél kisebb, mint az alacsonyabb lejtőszögeknél. Ugyanazon a lejtőn a vályúk mérete letről felfelé csökken. A kis lejtésű térszín vályúinak mélyülési mértéke a lejtő dőlésirányába fokozatosan csökken. Úgy tűnik, két hasonló kiterjedésű, de eltérő lejtőszögű lejtő esetében a meredekebb lejtőn több kisebb vályú, a lankásabb lejtőn kevesebb, de nagyobb vályú alakul ki.

A meredekebb lejtőn lefolyó víz nagyobb sebességre tesz szert, mint a lankásabbon, ezért az útjába kerülő kisebb akadályok nehezebben térítik ki. A nagyobb sebességgel mozgó oldószer ugyanis az akadályok előtt feltorlódik, és azon átbukik anélkül, hogy oldalirányban jelentősen kitérítődne.

Kisebb lejtőszög és így kisebb vízsebesség esetén viszont nem torlódik fel annyira az oldószer, hogy azon átbukva továbbfolyhatna, hanem az akadályokat megkerüli (5. ábra). Feltehetően ezért alakul ki nagyobb lejtőszögnél több, egymással párhuzamos kisebb vályú. A kisebb lejtőszögnél a lefolyó oldószer pályái egymásba fonódnak, ezért kevesebb, de nagyobb vályúk jönnek létre.

Rövid ideig tartó csapadékhullás esetén – egy bizonyos lejtőhosszig – a kisebb lejtésű felszínnek vályúi gyorsabban fejlődnek, mint a meredekebbeké, ugyanis az oldószer hosszabb ideig érintkezik a kőzetfelszínnel. Egy bizonyos lejtőhosszon túl viszont az oldószer egyre nagyobb hányada telítődik, ezért a vályú mélyülése a lejtésirány mentén fokozatosan mérséklődik. A vályú ezen a szakaszon túl elsősorban már csak szélesedik. Szélesedésének oka az, hogy a területre hulló

csapadék a vályú peremeit tovább oldja. A nagyobb dőlésszögű lejtők vályúin az oldószel gyorsabban fut le – ezért tovább marad agresszív –, így a vályút hosszabb szakaszon tudja mélyíteni.



5. ábra: Az oldószel sebessége és lefutásának jellege közti kapcsolat
 a. nagyobb dőlésszögű lejtőn a nagyobb sebességgel áramló oldószel feltorlódik és álfolyik az akadályon, b. kisebb dőlésszögű lejtőn kisebb sebességgel áramló oldószel megkerüli az akadályt.

1. sziklafelület, 2. oldószel, 3. egyenletlenség, 4. áramlás iránya, 5. felület, 6. dőlés iránya és szöge

Feltételezhető, hogy hosszabb ideig tartó csapadékhullás és hóolvadás alkalmával már nincs jelentősége a kisebb lejtőszögűből adódó hosszabb oldódási időnek, ezért ilyen alkalmakkor a meredekebb vályúk fejlődhetnek dinamikusabban.

Következtetések

A lejtőszög nagysága döntő befolyással lehet egy sziklafelület lefolyási viszonyaira. A vályúsűrűségtől függően eltérő az egy vályúra jutó oldószel mennyisége, ami meghatározza az egyes vályúk további fejlődését. A kevesebb, de nagyobb méretű és a több, de kisebb méretű vályúk összfelülete eltérő lehet.

Ennek következtében az oldószer is eltérő nagyságú felületen érintkezik a kőzettel. Ez visszahat a felszín denudációjának eltérő ütemére.

Végsősoron a kezdetben egynemű sziklafelszíneken a lejtő szögétől függően eltérő formák alakulhatnak ki, ami a felszín eltérő mértékű és ütemű pusztulását eredményezi.

Vizsgálataink további célkitűzése ezeknek a különbségeknek és okainak a feltárása.

Irodalomjegyzék

VERESS M. 1992.: A karsztosodás mikroformái a karrok. Természet Világa, 123. évf. 3. sz. p. 129-131.

SAROKNYOM KARROK MORFOGENETIKAI CSOPORTOSÍTÁSA TOTES GEBIRGE-I PÉLDÁK ALAPJÁN

VERESS MÁRTON-LAKOTÁR KATALIN

Berzsenyi Dániel Tanárképző Főiskola, Földrajz Tanszék
9700 Szombathely, Károlyi G. tér 4.

Összefoglalás:

A saroknyomok morfológiai leírását adjuk, majd morfogenetikai csoportosítását javasoljuk, miután kialakulásukat az oldószelvény áramlási sajátosságaiból vezetjük le. A morfogenetikai típusokból kiindulva elkészítettük egy térszínrészlet genetikai saroknyom térképét.

1. Bevezetés

A saroknyomokat az Északi-Mészkő-Alpokból írták le először osztrák kutatók (LECHNER, J. 1952; BAUER, F. 1953). Vizsgálatuk eddig alig történt meg. A hazai irodalomban mindössze az utóbbi években került e karritípus bevezetésre (BALÁZS, D. 1990., ZÁMBÓ L. 1993). A saroknyomok karrosodás által alig, vagy egyáltalán nem tagolt sziklafelszínek gyakori, változatos formái. A sziklatérszínek karrosodásának vizsgálatánál azért is megkülönböztetett figyelmet érdemelnek, mert a megfigyelések arra utalnak, hogy más karros formák első-sorban saroknyomokból fejlődnek ki.

Részletesebben az 1994/12/2. jelű terület saroknyomos térszínét vizsgáltuk, azonban a megfigyelések kiterjedtek más térszínek saroknyomaira is (Wiesenlacke-tótól északra, ill. a Pühringen-háztól keletre eső sziklatérszínekre).

2. A saroknyomok morfológiája

A saroknyom formák három részre – sarok, talp, előtér – különíthetők (1. ábra).

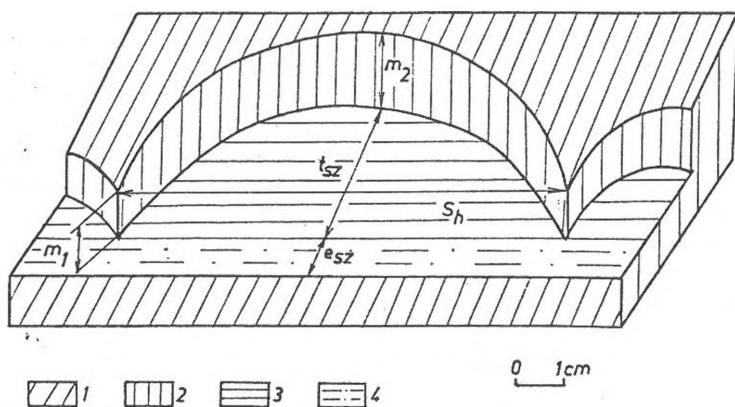
A sarok a lejtőbe bemélyülő íves, homorú felület. Esetenként megfigyelhető, hogy nem ívelt, hanem hegyesszöglet zár be a sarok két szárnya. A sarok (amely néhány cm-es magasságú) minél meredekebb a hordozó lejtő, annál magasabb. Esetenként két részre különíthető. A sarok középső részén a lejtő egyforma magasságú, majd innen az oldalsó részen gyorsan csökken a magassága (az 5–10 cm-es sarok 1–2 cm-re csökkenhet, ill. besimulhat a környezetbe).

Az íves felületek alsó végükön esetenként teljesen megközelíthetik egymást. Az ívek lehetnek a lejtő csapására, vagy erre merőlegesen megnyúltak. Az ívek összekapcsolódhatnak. Ilyenkor az összekapcsolódási helyek hegyesek, vagy lekerekítettek.

Oldalnézetben a sarok lehet sík (függőleges, vagy attól eltérő), leggyakrabban homorú. Előbbi esetben a talp és a sarok határa éles, utóbbi esetben nem. A sarok ritkán ugyan, de feltagolódhat rovátkákkal.

A sarok alaprajzban nem mindig homorú. Lehet egyenes, sőt háromszög vagy hullámos. Az egyenes vagy hullámos lefutású lépcsők mindkét végükön belesimulnak a lejtőbe.

A talp alakját a sarok szabja meg. A talp lehet a lejtő csapásirányába vagy arra merőlegesen megnyúlt. A talp különböző meredekségű, azonban mindig kifelé dől. A talp elvégződhet meredeken, vagy fokozatosan átmehet a lejtőbe. Esetenként képződő vályúhoz kapcsolódik minden éles határ nélkül. A lépcsős képződményeknél a talpak lejtésirányba, ill. a lejtő csapásirányába lejtő, a lejtőtől alig elkülönülő párkányok (lejtő talpú saroknyom). A talpon újabb saroknyomok is képződhetnek. Előfordulhat, hogy a talp alakját részben az alatta elhelyezkedő saroknyom sarokrésze határozza meg.



1. ábra: A saroknyom részei

Jelmagyarázat: 1. lejtő, 2. sarok, 3. talp, 4. előtér, m_1 : sarok legkisebb magassága, m_2 : sarok legnagyobb magassága, 3_4 : sarok ívének a húrja, t_{sz} : talp legnagyobb szélessége, e_{sz} : előtér szélessége

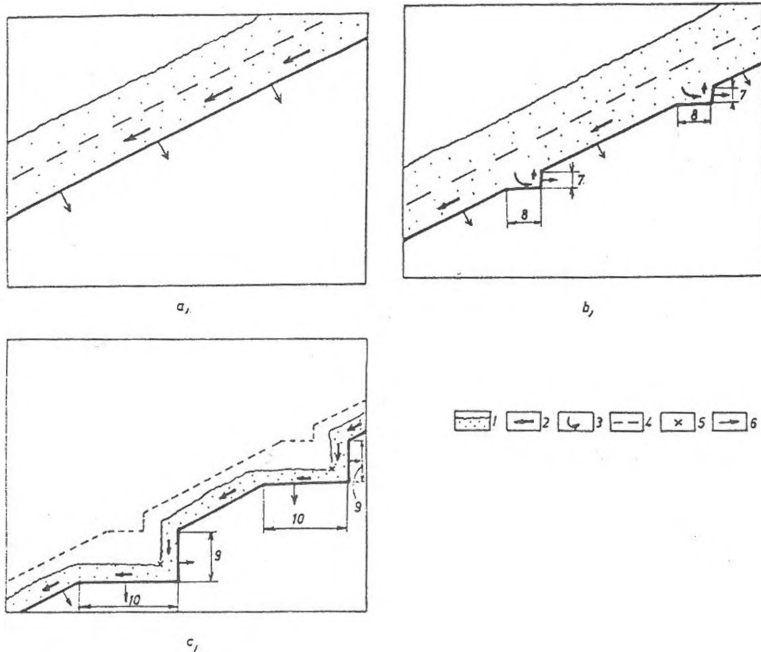
Előtér összekapcsolódó saroknyomok esetében figyelhető meg. A talpnak a sarok ívén túl is folytatódó része. Esetenként az eredeti lejtőből nem is különíthető el.

A sarok és a talp egymáshoz képesti kiterjedése igen eltérő lehet. (Kis lejtő mellett jellemzőek a széles talpak és előterek.)

3. A saroknyomok képződése

A saroknyomok kialakulása ismereteink szerint nem tisztázott. Feltételezik, hogy kialakulásuk az oldószér turbulens áramlásával hozható kapcsolatba (TRUDGILL, S. 1985).

A saroknyom forma kialakulásának oka, 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. (A sarok nagyságát a hátrálás sebessége és a lejtő meredeksége határozza meg.)



2. ábra: Saroknyomok képződése és fejlődése (turbulens áramlás idején a talpi rész nem oldódik)
 Jelmagyarázat: a. lejtőlepusztulás lamináris áramlásnál saroknyom mentes felszínen,
 b. lejtőlepusztulás turbulens áramlás mellett (saroknyomok kifejlődése), c. saroknyomok
 fejlődése lamináris áramlás mellett, 1. oldószer, 2. lamináris áramlás, 3. turbulens áramlás,
 4. korábbi felszín, 5. sarok és talp metszéspontja annak átöröklődése esetén,
 6. felszín hátrálás iránya, 7. turbulens áramlás hatására kialakult sarok, 8. turbulens hatására
 kialakult talp, 9. lamináris áramlás mellett továbbfejlesztő sarok, 10. lamináris áramlás mellett
 továbbfejlesztő talp

A vízszintes, vagy közel vízszintes irányú oldódás a lejtőt beborító és azon elmozduló oldószer turbulenciájával magyarázható. Az örvényeknél visszafelé áramló oldószer vízszintesen, ill. alulról ferdén felfelé irányuló mozgása közben

hasonló irányba oldja le a kőzetet (2. ábra). Egyenes vagy homorú önmagával párhuzamosan hátráló és egyre hosszabbodó lejtő képződik. Hátrálása a talp szélesedését eredményezi. Valószínű, hogy turbulens áramlásnál a talp leoldódása (tehát mélyülése) kis mértékű.

A már kialakult sarokrész közepétől a peremek felé az áramlási sebesség egyre csökken a növekvő surlódás miatt. Ez már önmagában a sarokrész egyre ívesebb kifejlődését vonja maga után. (Középen az oldás hosszabb ideig tart egy-egy vízelborítás során.) Mindezt csak fokozhatja, hogy a sarokrész középső része ugyanolyan vízhozamnál is több oldószert kap, mint a peremi részek. (A középső rész kisebb, a peremi részek nagyobb szöveget zárnak be az oldószert áramlási irányával.)

A turbulencia kialakulását számos tényező szabályozza. Így az oldószert vastagsága, áramlási sebessége, az eredeti kőzet felszín egyenetlensége, az oldószert viszkozitása.

Az áramlás sebessége függ:

- a lejtő szögétől,
- a lejtő hosszától,
- az oldószert utánpótlás mértékétől.

Azt, hogy a felsoroltak közvetlenül, ill. egymáson keresztül hogyan befolyásolják a turbulenciát nem célunk vizsgálni. A turbulencia és a saroknyom kifejlődés kapcsolatának néhány jellemzőjére azonban talán célszerű rámutatni.

- A hosszabb lejtőn nő az áramlási sebesség, így az oldószert a lejtő alsó részén az aktív időszak egyre nagyobb hányadában különülhet részekre. Ezért a lejtőn lefelé a saroknyomok mérete, esetleg kialakulási kora nő. A nagy lejtőszög a turbulencia kialakulását meggátolja, ill. esetlegessé teheti.

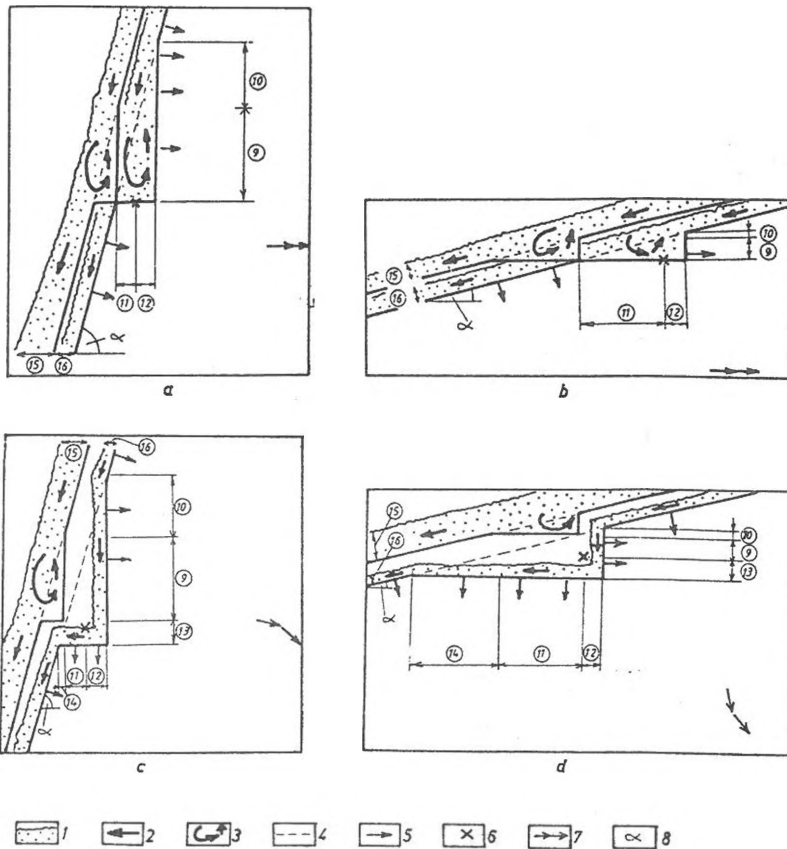
- A saroknyomok gyakoriságát a kialakuló örvények gyakorisága adja meg. Az egymás melletti saroknyomok azonban eltérően fejlődhetnek, ugyanis egy-egy oldószert áramlási szakaszban az örvénylés a különböző helyeken nem feltétlenül tart azonos hosszúságú ideig, sőt egyes helyeken nem feltétlenül alakul ki minden egyes áramlási fázisban.

Miután az oldószert mennyisége ugyanazon a helyen az idő függvényében változik változni fog a sebessége, ezért a turbulens áramlás laminárisra váltakozik. A leoldás az utóbbi esetben felületi. Lamináris és turbulens áramlás egy-egy áramlási szakaszban akár többször is válthatja egymást, ill. beékelődhetnek olyan áramlási szakaszok is, amikor csak egyik, vagy másik áramlási mód fejlődik ki. Lamináris áramlás idején újabb saroknyom kialakulása nem kezdődik el, a már kialakultak azonban tovább fejlődnek. Lamináris áramlás idején a saroknyomok és környezetük leoldódása megegyezik. Ekkor a saroknyom sarkát, valamint talpát adó felület önmagával párhuzamosan hátrál (2. ábra).

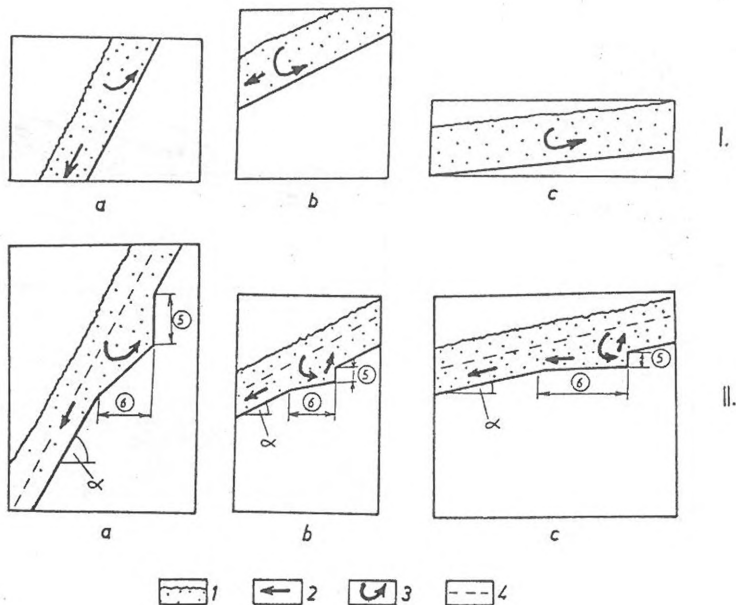
Lamináris áramlási szakaszban egyrészt szélesedik a talpi rész (a sarokrész önmagával most is párhuzamosan hátrál), másrészt csökken a talpi rész magassága. A talpi rész szélesedése nemcsak a sarokrész hátrálása miatt, hanem ezért is végbemegy. A talp növekedéséhez a lejtő leoldódása is hozzájárul (3. ábra). A saroknyom jellegét befolyásolja, hogy a lejtőszög és a talp szöge

menyire különbözik. Valószínű ez attól függ, hogy a kialakuló örvény visszaforduló ága milyen helyzetű. Ezt meghatározhatja pl. a lejtő szöge is (4. ábra).

Valószínűleg a saroknyomok fejlődésében a lamináris áramlásnak növekvő szerep jut, ugyanis a növekvő saroknyomok elérnek egy olyan méretet, amittől már a keletkező örvények nem képesek elérni a képződmények sarokrészét.



3. ábra: A saroknyom részeinek fejlődése nagy (a) és kis (b) lejtőszögű turbulens, ill. nagy (c) és kis (d) lejtőszögű lamináris áramlás esetén (turbulens áramlás idején a talpi rész nem oldódik).
Jelmagyarázat: 1. oldószer, 2. lamináris áramlás, 3. turbulens áramlás, 4. leoldott közet felszíne, 5. felszín hátrálás iránya, 6. sarok és talp metszéspontja átöröklődés esetén, 7. sarok és talp metszéspontjának vándorlása, 8. lejtőszög 9. sarok öröklött része, 10. sarokhátrálás által kialakított sarokrész, 11. talp öröklött része, 12. sarok hátrálás által kialakított talpi rész, 13. talp mélyülés által kialakított sarokrész, 14. lejtő lepusztulás által kialakított talpi rész, 15. kezdeti állapot, 16. későbbi állapot



4. ábra: Különböző lejtésű talprészek képződése nagy (a), közepes (b) és kis lejtőszög (c) esetén
 Jelmagyarázat: I. kezdeti állapot, II. végső állapot, 1. oldószer, 2. lamináris áramlás,
 3. turbulens áramlás, 4. eredeti felszín, 5. sarok, 6 talp

4. A saroknyomok morfogenetikai típusai

4.1. Keskeny talpú saroknyomok

E típusnak két altípusa különböztethető meg. Az egyik altípusra jellemző, hogy a talp dőlésszöge a lejtő dőlésszögétől alig tér el (lejtőtalpú saroknyom). E változat sűrűn kifejlődő példányai a lejtőt lépcsőzetesen feltagolják. A másik altípus esetében a talp a lejtőtől élesebben elkülönül, a sarok kissé ívelt (íves lejtőtalpú saroknyom).

A keskenytalpú saroknyomok nagy lejtőszögű, rövid lejtőhosszú kőzetfelszínek képződményei, a saroknyomok kezdetleges formái. A lejtőtalpú saroknyomok (5. ábra alsó sora) valószínűleg akkor képződnek, ha az örvények visszaforduló szakasza a vízszintessel nagy szöget zár be (4/a. ábra). Ezért a sűrűn képződő lépcsők talpi része nem lankásodik el, így alig vagy egyáltalán nem különül el az eredeti lejtőtől.

Valószínű, hogy a turbulens áramlás az aktív időszakban rövid ideig tart, az örvények kis méretűek, gyengén fejlettek, de széles sávban fejlődnek ki. Mindez az oldószér kis vastagságú kifejlődésével hozható kapcsolatba. Az örvénylés ilyen sajátossága magyarázhatja a sarok egyenes vagy kissé hullámos kifejlődését alaprajzban.

Az íves lejtőtalpú saroknyomok (5. ábra felső sora) esetében az örvény visszaforduló ága kisebb szöget zár be a vízszintessel, valószínűleg azért, mert a lejtő szöge kisebb (4/b. ábra). Hasonló eredménnyel járhat ha nagy lejtőszögnél a turbulens áramlás hosszabb ideig tart. Ilyenkor ugyanis a talpi rész egyre jobban ellankásodik, az örvénylés tartósabb ideig hat, így a sarkok is íveltebbek lesznek.

4.2. Szélestalpú, hosszú ívű saroknyomok

Közepes, vagy nagy lejtőszögnél képződnek. Ebben az esetben az oldószér örvénylése fejlett, az örvények nagyok és egymástól elkülönülnek. Az egyre nagyobb ívű saroknyomok feltehetően öngerjesztés során képződnek, miután a kialakult formák fölött egyre fejlettebb örvények keletkeznek (6. ábra).

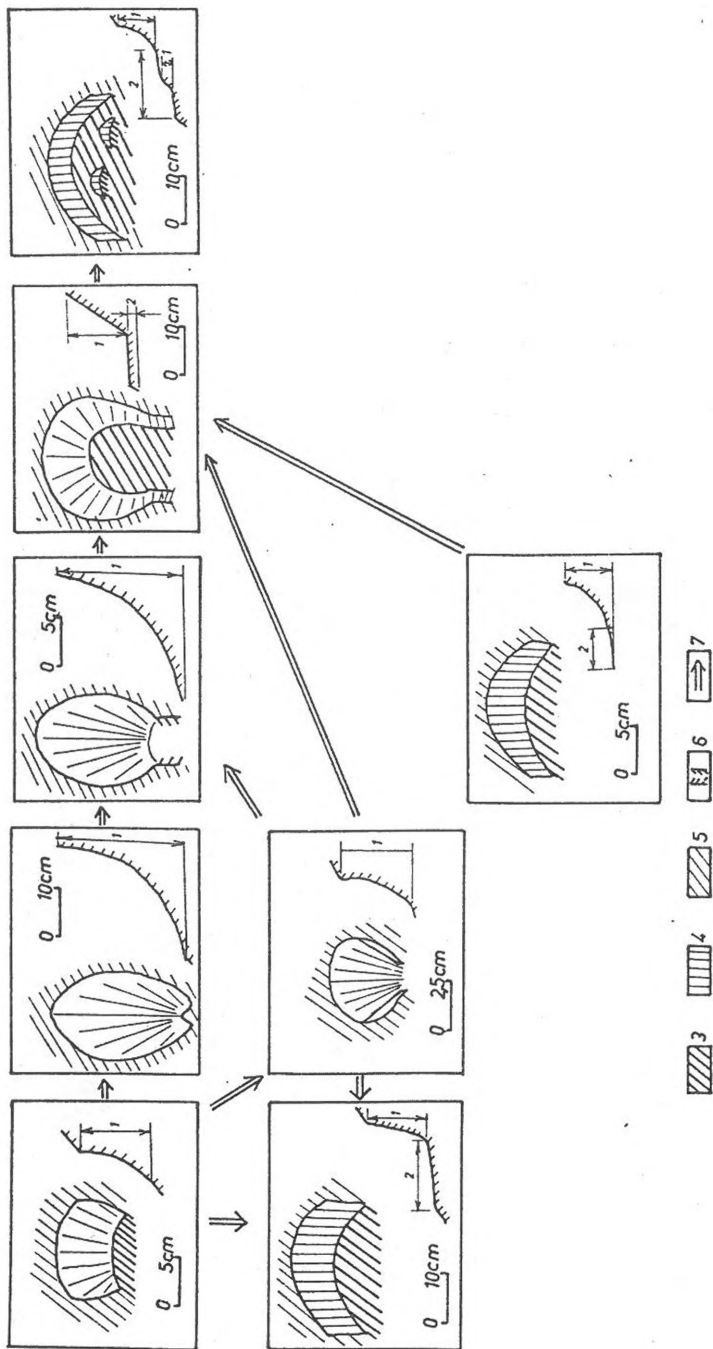
4.3. Szélestalpú, alacsonysarkú saroknyomok

Ez a saroknyom típus kis lejtőszögnél képződik (7. ábra). Valószínű, hogy itt az örvények nem nagyok, és nem különülnek el egymástól. A sarokhátrálás gyors, mivel a kis lejtőszög miatt kevés kőzetnek kell elpusztulni egy-egy aktív időszakban. A kisméretű örvények mindig a saroknál fejtik ki a hatásukat, annak hátrálása során elmozdulnak. Ennél a típusnál feltehetően egyidejűleg kétféle áramlás működik. A saroknál kis kiterjedésben turbulens, a talpi részen lamináris az áramlás (4. ábra).

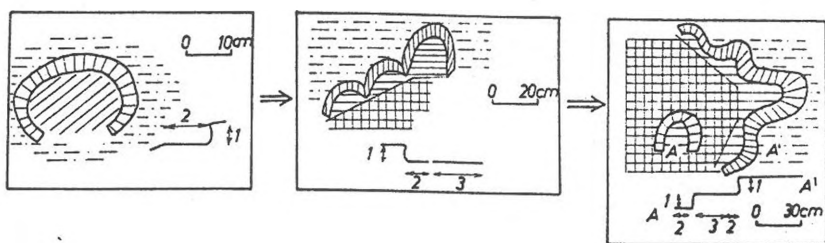
Hasonló lejtőszög mellett az egyes saroknyomoknak számos változata is előfordulhat (5., 6., 7. ábrák). Valószínű, hogy a különböző változatok hasonló áramlási viszonyok mellett ugyanannak a típusnak különböző fejlettségű képviselői.

5. A vizsgált térszínrészlet saroknyomai

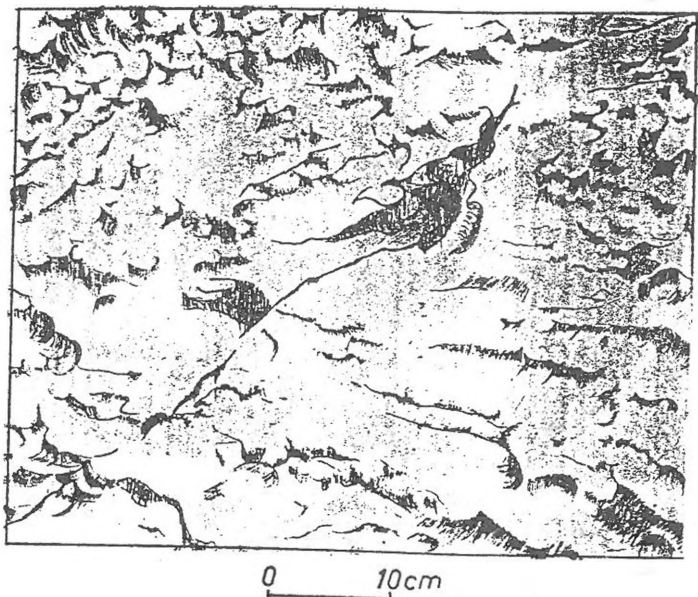
A vizsgált, 1994/12/2 jelű térszínrészlet (ld. az Előszó mellékletét) egy gleccservölgy felső, valószínűleg hógyűjtő, vagy ahhoz közeli részén található. Néhány m²-es kiterjedésű, nagy lejtőszögű felszín. (Saroknyomjainak feldolgozása nem a terepen történt, hanem felvétel után.) E térszínrészlet fontos jellemzője, hogy az innen Ny-ra eső terjedelmes térszínről oldószert nem kap, miután attól egy széles, oldásos eredetű hasadék különíti el.



6. ábra: Közepes és nagy lejtőszögénél uralkodóan turbulens áramlásnál kifejlődő saroknyomok (jényképek után)
 Jelmagyarazat: 1. sarok, 2. talp, (oldalnézetek), 3. lejtő, 4. sarok, 5. talp (előlnézetek), 6. vályú, 7. fejlődési irány

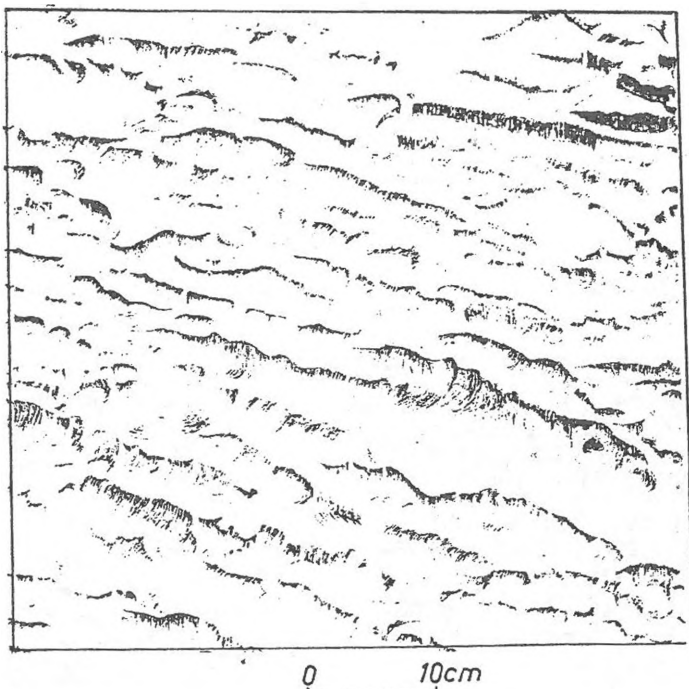


7. ábra: Kis lejtőszögnél kifejlődő saroknyomok (fényképek után)
 Jelmagyarázat: 1. sarok, 2. talp, 3. előtér (oldalnézetek), 4. lejtő, 5. sarok, 6. talp, 7. előtér,
 8. szelvény helye, 9. fejlődési irány

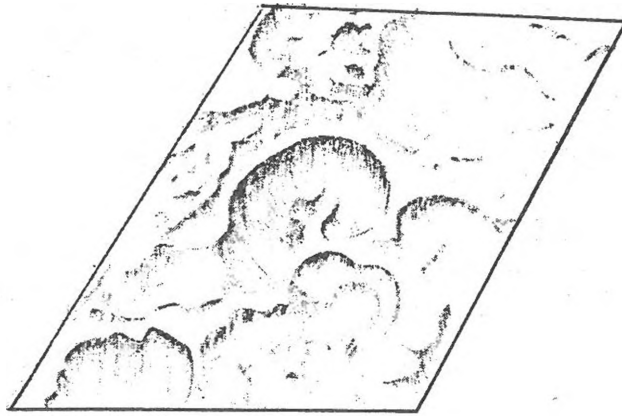


8. ábra: Ritkán elhelyezkedő lejtőtálpú saroknyomok térbeli képe a mintaterületről
 (fénykép után)

Az itt előforduló saroknyomokat, ill. saroknyom együtteseket (a hasonló morfológiájú képződmények csoportokat alkotnak) a 8., 9., 10., 11., 12. ábrák mutatják. Elterjedésüket a 13. ábrán mutatjuk be: Megfigyelhető, hogy a lejtő felső részén a kevésbé fejlett (lejtőtálpú saroknyom, íves, lejtőtálpú saroknyom), alsó részén a fejlettebb képződmények (szélestálpú, hosszúívű saroknyom, szélestálpú, hosszú ívű összetett saroknyom) a jellemzőbbek. A lejtő alsó részén a kevésbé fejlett képződmények jóval kisebb területet foglalnak el, mint a felső részen.

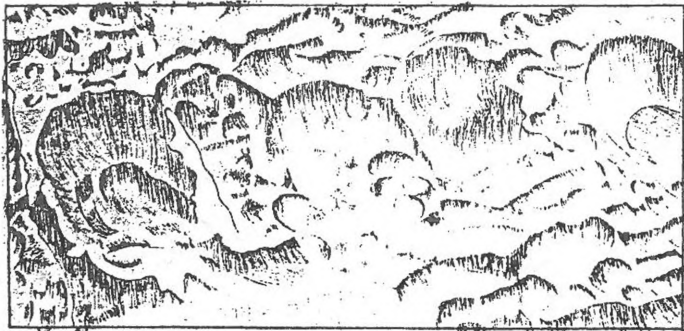


9. ábra: Sűrűn elhelyezkedő lejtőtálpú saroknyomok térbeli képe a mintaterületről (fénykép után)



0 10cm

10. ábra: Szélestalpú, hosszú ívű saroknyomok térbeli képe a mintaterületről (fénykép után)

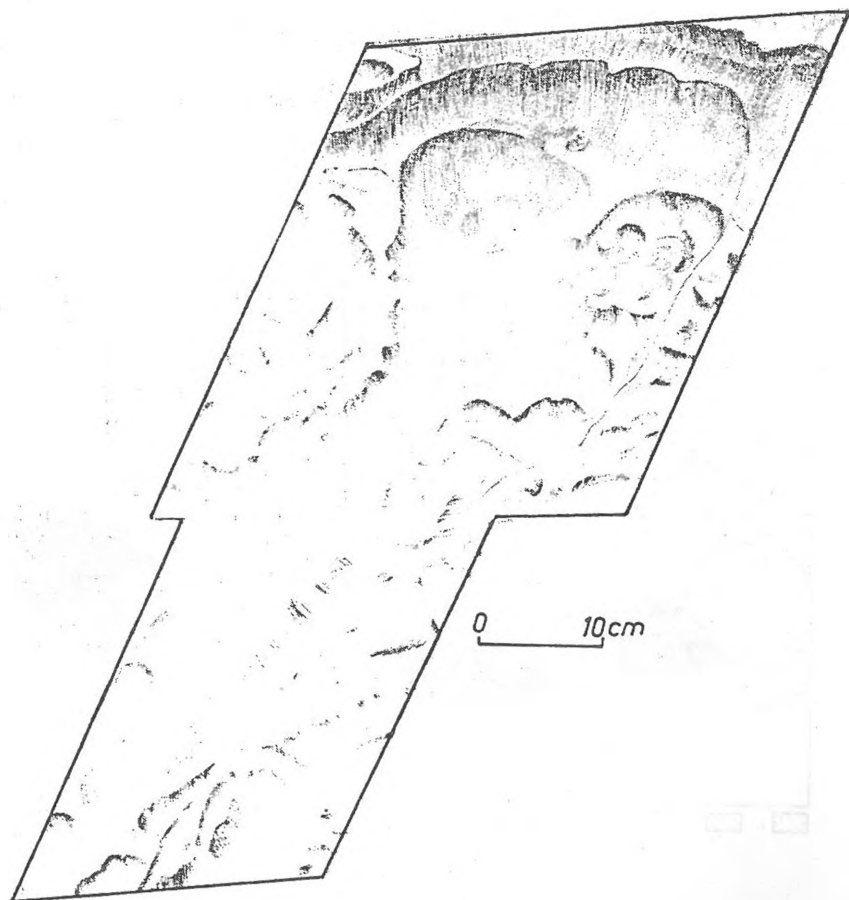


0 10cm

11. ábra: Szélestalpú hosszú ívű, összetett saroknyomok térbeli képe, a mintaterületről (fénykép után)

Az azonos típusú képződmények olyan egybefüggő területeket képeznek, amelyek alakja elsősorban a lejtő csapásirányába megnyúlt. Hasonló képződmények a lejtő mentén többször megismétlődhetnek.

A lejtőn néhány vályú is kifejlődött. Akkor, ha ezek a vizsgált területet átharántolják, környezetükben kevésbé fejlett saroknyomok jelennek meg. Ha lejtőről indulnak, végüknél a saroknyomok fejlettebbek, összetettebbek.



12. ábra: Vályúhoz kapcsolódó szélestalpú hosszú ívű összetett saroknyomok térbeli képe a mintaterületről (fénykép után)

6. Következtetések

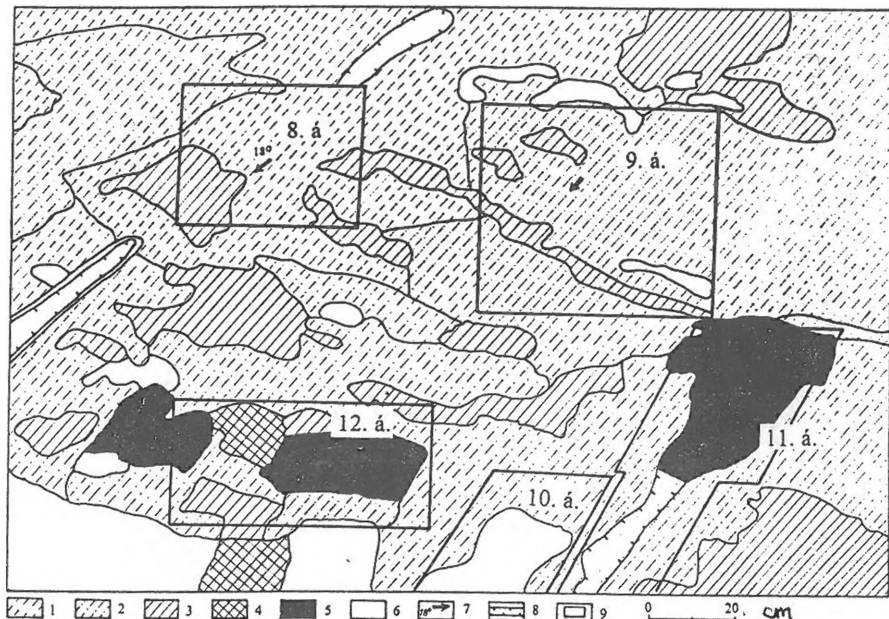
A lejtő saroknyomos formakincse és lepusztulása uralkodóan lamináris áramlás mellett ment végbe.

A lejtő alsó részei felé egyre több az oldószer, ami ezeken a részeken a turbulens áramlás hosszabb idejű kifejlődését eredményezhette. E részeken a saroknyomok fejlődése gyors. A lejtő felső részein a fejlettebb, ill. nagyobb méretű

képződmények jelenléte arra utalhat, hogy egyes helyeken a saroknyomok fejlődése korábban elkezdődhetett.

A hasonló saroknyomok csoportos kifejlődése nagy lejtőszögnél arra enged következtetni, hogy az oldószér áramlási jellege nagyobb területen hasonló, tehát a lejtőirányban kifejlődő kisméretű, rövid élettartamú ősvények egymás felett is nagy gyakorisággal fejlődtek és fejlődnek ki aktív időszakban.

1994/12/2



13. ábra: A vizsgált lejtőrész saroknyom térképe (fénykép után)

Jelmagyarázat: 1. lejtőtálpú saroknyom (kevés), 2. lejtőtálpú saroknyom (sok), 3. íves, lejtőtálpú saroknyom, 4. szélestálpú hosszú ívű saroknyom, 5. szélestálpú, hosszúívű összetett saroknyom, 6. saroknyom mentes térszín, 7. lejtésirány, 8. vályú, 9. térbeli rajz helye

Irodalom

- BALÁZS D.* (1990): Karrformák-karregyüttesek – Karszt és Barlang II. p. 117-122.
- BAUER, F.* (1953): Verkastung und Bodenschwund im Dachsteingebiet – Mitteilungen der Höhlenkommission 1. p. 53–56.
- LECHNER, J.* (1952): Neue Formen des Hochgebirgskarstes im Toten Gebirge – Mitteilungen der Höhlenkommission, 1. p. 47–49.
- TRUDGILL, S.* (1985): Limestone geomorphology – Longman, London and New York

AZ 1994. ÉVI „TOTES” EXPEDÍCIÓ RADIOLÓGIAI EREDMÉNYEI

HIDASÍ GYÖRGY*–VERESS MÁRTON**–
MARTON LÁSZLÓNÉ***

*Zala Megyei Állategészségügyi és Élelmiszerellenőrző Állomás,
8900 Zalaegerszeg, Kinizsi u. 79.

**Berzsenyi Dániel Tanárképző Főiskola, Földrajz Tanszék
9700 Szombathely, Károlyi G. tér 4.

***Veszprém megyei Állategészségügyi Állomás
8200 Veszprém, Mártírok u. 11/A.

Összefoglalás:

Karsztfelszínek talaj és növényfoltjaiban magas radioaktivitást találtunk. Bizonyítottuk a Cs aktivitás csernobili eredetét. A rövid felezési idejű Be-7 aktivitás utólagos felhalmozódásra utal. A xenon eredetű Pb-21 feldíszulása valószínűsíti, hogy magas radioaktivitási foltok lehetnek jelen földtörténeti időszakokon keresztül és jelenlétiük csak a domborzati viszonyoktól függ.

Bevezetés

Az Állategészségügyi és Élelmiszerellenőrző Állomások hálózata több éve rendszeres mérésekkel ellenőrzi élelmiszereink radioaktív izotóp terhelését. Az általános tájékozódást segítő talaj és indikátor növények vizsgálatait is elvégezzük. Így történhetett, hogy egy a laboratóriumba pH mérésre behozott talajminta aktivitását megmértük és számunkra váratlanul rendkívül magas gamma aktivitást találtunk. A talajok az ausztriai Dachstein mészkőfennsíkjáról származtak. Azonnal felmerült az az igény, hogy célzott mintavétellel nagy radioaktivitású területeket deríthetünk fel. Ezt az idén 1994 nyarán a szombathelyi Berzsenyi Dániel Tanárképző Főiskola Földrajz tanszéke által a Totes hegységbe szervezett karsztmorfológiai expedíció tette lehetővé.

A területen talaj és növényzet (törpefenyők és lágyszárúak) csak foltokban fordulnak elő. A talajtalan felszíneken jelentősebb kiterjedésben gazdag karros formakincs fejlődött ki. Izotóp vizsgálatok szempontjából a gyakran talajfoltokkal rendelkező madáritatók és karrvályuk bírnak jelentőséggel. A madáritatók medence jellegű bemélyedések a felszínen. Mivel zárt lefolyástalan formák, a belsejükbe került csapadékvíz elszivárog, vagy túlfolyik, illetve vízelvezető kürtökben vezetődik el.

A lejtésirányba képződött mederszerű formák a karrvályúk. Hosszuk 10–20 m között, szélességük és mélységük néhány cm és dm között váltakozhat. Ezek víze ugyancsak kürtökben vezetődik el. A kürtök függőleges irányban kifejlesztett formák (mélységük az 1 m-t is meghaladhatja, míg szélességük 1–2 dm).

A madáritatók mérete a néhány decimétertől a méteres (szélességben és mélységben egyaránt) nagyságú lehet.

Említettük, egyes madáritókban és karrványukban, formákban is néhány helyen talaj található. Ez részben áthalmazott részben helyben képződött. Talajmintáinkat ezen talajfoltokból vettük. Talajmintákat az alábbi morfológiai-lag vizsgált és részletesen térképezett területekről vettünk: 1993/1/1; 1993/1/2; 1993/4; 1994/7; 1994/10 (Előszó, 1. ábra. 1. táblázat).

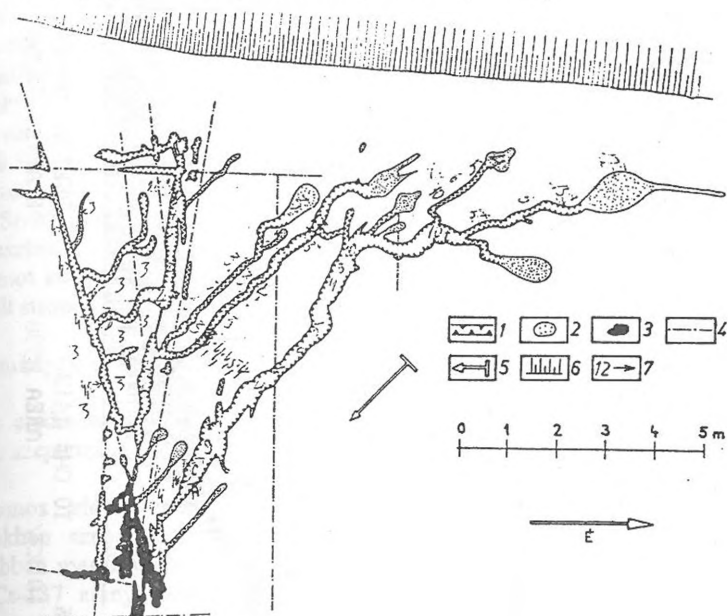
I. táblázat

Radiológiai eredmények a Totes expedíció anyagából

Hely	minta	sz.a.	h. eredeti anyagra	Cs-137	Cs-134	Cs-137	Be-7	K-40 hamura	Pb-214	Bi-214	Pb-210
1993/1/1	talaj felső	39.2	19.51	73533	2720	376899	14240	443	136	143	62650
	talaj alsó	33.7	18.4	32100	1233	58791	16520	427	128	160	11200
	metélő hagyma	20.0	1.23	1703	69	27700	3427	2315	-	-	878
1993/1/2	talaj	40.2	20.3	64380	2230	127490	10300	375	98	150	23200
1993/4	talaj	40.7	7.44	73120	2880	400000	16870	464	-	120	67170
	páfrány	79.6	6.83	4470	147	52100	1540	1020	-	-	520
1994/7	talaj	40.1	19.7	72050	2490	146300	12100	560	150	130	63200
1994/7	moha	44.0	18.2	67300	2650	162700	16600	124	-	153	63770
	moha k.	78	12	73300	2750	476000	17800	340	210	120	59800
1994/10	talaj	26	1.3	147800	5230	312600	12900	386	69	143	63650
	zuzmó	87	5.2	9800	369	164000	11400	1120	-	-	1500
	zuzmó	83	6.2	20400	742	273100	15400	680	-	-	2300

aktivitás értékeket Bq/kg-ban adtuk meg

A talajfoltokat a hordozható Autocont típusú G-M számlálóval megvizsgáltuk és több folt esetén a nagyobb aktivitású helyről vettünk mintát. A szelekciót a mérés várható idejére és költségére tekintettel kellett megtenni. A vizsgált felszínt az Autocont mérésekkel teljes egészében lefedtük, és az elkészített térkép-vázlatra a mérési eredményeket felvezettük. Mellékelten bemutatunk egy a helyszínen bejegyzésekkel ellátott térkép-vázlatot (1. ábra).



1. ábra: Mintavételi helyek az 1993/1/1 jelű mintaterületről

Jelmagyarázat: 1. vályú, 2. vályúvég madáritató, 3. összeoldódott kúrtőcsoport (kúrtő uvala), 4. törés, 5. a mintaterület dőlésiránya, 6. karsztos eredetű kűszöb (rétegfejek), 7. mintavételi hely

Módszer

A talajmintákat a gamma spektrum méréshez az Állategészségügyi Állomások hálózatában rendszeresített módszerkönyv előírásai alapján dolgoztuk fel. A légszáraz szitált talajmintát 500 °C-on izzítottuk. A növényi mintákat 104 °C-on szárítottuk majd 450 °C-on izzítottuk.

A Cs-137/Cs-134 arány ellenőrzéséhez a céziumot le kell választani a mintából, mert a természetes radioaktív elemek sugárzása a mérést rendkívül pontatlanná teszi. A radioaktív cézium aktivitásának méréséhez a cézium hordozót sziliko wolframát alakban leválasztottuk. A csapadékot lúgban oldottuk. A lúgos oldáskor képződő nátrium szilikát nem zavarja a cézium lúgos nátrium-tetrafenil-boráttal történő leválasztását. A Cs-tetrafenil borát csapadékot

szárítottuk, majd gamma sugár intenzitást mértünk, amelyből számítással határoztuk meg a cézium izotópok aktivitását.

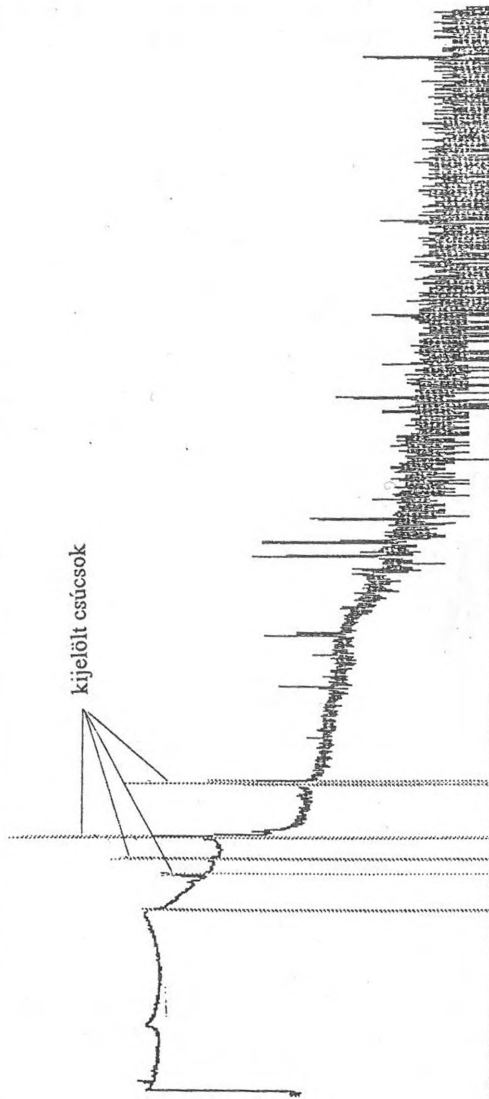
Talaj

HP5: 0 - 8191

VFS: 1M

LIN/LOG

AUTO/TANUL



CL=

FROM CH 1405
ROI# 1 INT 18127

TO CH 1413
AREA 2596

PSET(L) 94477
ELAP(L) 95260

2. ábra: Egy talajminta 8000 csatornában mért gamma sugár spektruma

Az így nyert csapadék gamma aktivitását gamma spektrométeren (NK-370 sokcsatormás amplitudó analízátor, talliummal aktivált vödöralakú NaCl egykristálydetektor) mértük.

Méréseink ellenőrzésére a Veszprém megyei Állategészségügyi és Élelmiszer-ellenőrző Állomás nagyfelbontású félvezető detektoros Canberra gyártmányú gamma spektrométerét használtuk. A félvezető detektoros gamma spektrométerek elterjedése a rutin ellenőrzésben teszi csak napjainkban lehetővé, hogy gyors és értékelhető radioaktív méréseket végezzünk nemzetgazdaságilag másod, harmadik osztályba sorolt feladatokon. A 400 energiaszelektív csatorna mérési adataiból számítógépes analízissel az aktív magok minőségi és mennyiségi analízise néhány óra alatt elvégezhető. Költsége a hatósági díjszabási táblázat szerint 20000 Ft (mint a nagyságrenddel kevesebb az azonos eredményt nyújtó hagyományos módszereknél).

A Sr-90 izotóp aktivitásának méréséhez a stronciumot ammóniumsulfáttal leválasztottuk, majd salétromsavval visszaoldottuk. A jelenlévő báriumot és rádiumot kromát alakjában kicsaptuk, szűrővel eltávolítottuk, majd az oldatban maradt stronciumot ismételtelen szulfátként leválasztottuk.

Eredmények és értékelés

Az eredményeket Bq/kg (aktív magok száma/sec/kg) mértékegységben és 1994. szeptember 1-re mint önkényesen választott időpontra átszámolva adjuk meg.

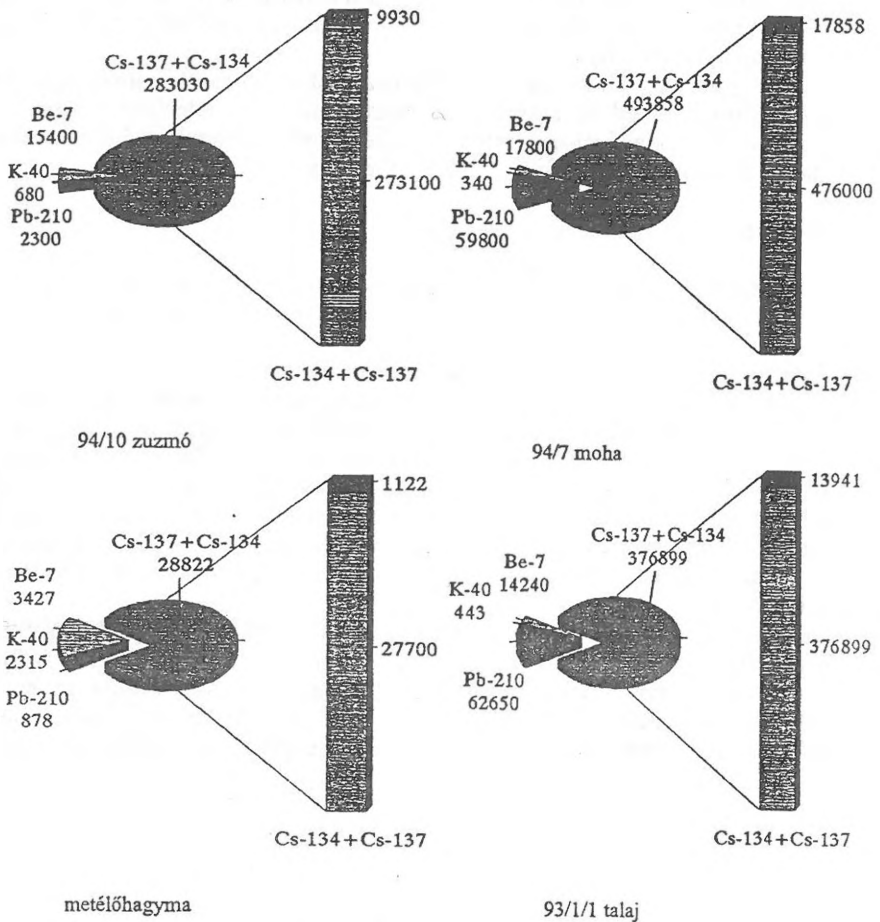
Azonos elem izotópjai természetes körülmények között csak csekély mértékben szeparálódnak. Ez a jelenség a nagyobb rendszámú elemeknél tisztábban megfigyelhető. Esetünkben jó közelítéssel kijelenthetjük, hogy a Cs-134/Cs-137 arányt csak a felezési idők befolyásolják. Feltételeztük, hogy a szennyeződés csernobili eredetű. A csernobili Cs-134/Cs-137 arány 1994 szeptember 1-ére számolva 0.037, a fenti mérésekből számolt arány a hibahatáron belül megegyezik a csernobili kihullásra számolt értékkel. (2., 3., 4., ábra).

A hazai háborítatlan ősgyepet vizsgálva a Cs-137 aktivitását 300-400 Bq/kg-nak találtuk.

A Sr-90 meghatározásánál sorozatméréssel követtük a Sr-90-Y-90 egyensúly beállását. Csak a harmadik tisztítási folyamaton átment minta igazolta a Sr-90 jelenlétét. Az első tisztítás utáni mintákban az egyensúly beállta az eredeti aktivitás háromszorosánál, nem a várt kétszeresénél és a felezési időből számoltnál lényegesen később történt. Az eredményeket a II. táblázat mutatja.

St-90 aktivitás tájékozódási méréseink eredményei

Talajminta azonosító	Aktivitás Bq/kg
1993/1/1	10
1993/1/2	8
1993/4	12
1994/7	10



3. ábra: A 2. ábra egy spektruma

Talaj

HFS: 779 keV - 821 keV

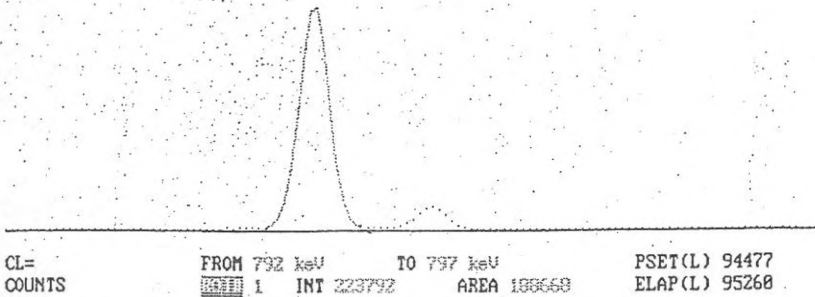
EXPAND

VFS: 64K

PAR/LOG

AUTO

HAND/



4. ábra: A cézium-134 és cézium-137 aránya a különböző mintákon

A Be-7 (felezési idő 53 nap) Pb-214 (felezési idő 21 év) természetben előforduló izotópok melyek feldúsulását ugyanaz a folyamat eredményezheti mint a csernobili szennyezését.

Összefoglalás

Sikerült egy olyan természeti folyamatot megfigyelnünk, amely a már szórt radioaktív szennyezés nagyságrendi feldúsulását elősegíti. A szennyeződés csernobili eredetűnek bizonyult. Magas koncentrációban mutattunk ki természetes eredetű izotópokat, melyek helyi szinten az élővilág alkalmazkodására hatással lehetnek.

Fel kell figyelni arra, hogy radioaktív foltjaink az élővilág dinamikájában fontos szerepet játszhatnak.

A magas radioaktivitású helyeken élő mikroszervezetek mutációs aránya is emelkedik. Megnö az esélye az értelmes mutációknak, ezen keresztül új fajok kialakulásának. A mikroszervezetekből kerülnek ki a legelterjedtebb élősködők. Az élősködők állandó alkalmazkodása a gazdaszervezethez két fő jelenséget hoz létre:

- Növeli a fajok számát (számítógépes modellekből következtetve),

– fenntartja az erőforrás-tékozló „szex”-et mint olyan eljárást, amely biztosítja minden egyed különbözőségét, (majd csak lesz olyan utódom, amely túléli a fertőzést).

TÁJÉKOZÓDÓ BOTANIKAI VIZSGÁLATOK A TOTES GEBIRGE (SALZBURGI-ALPOK) ALHAVASI ÖVÉNEK KARRTERÜLETEIN

BALOGH LAJOS

Savaria Múzeum, Természettudományi Osztály
H - 9701 Szombathely, Kisfaludy S. u. 9.

Összefoglalás:

A tanulmány a Totes Gebirge alhavasi övének Gößl-től északra fekvő karszterületein végzett geomorfológiai kutatást egészíti ki az ott élő növények, és a vizsgált mintaterületek karrformáiban megfigyelt növényzeti típusok ismertetésével. A vizsgálati térségek (1800-1900 m) 163 fajából mintegy 100 fordult elő a vizsgált mintaterületeken, ebből kriptogám: 16 moha, 11 zuzmó és 4 alga. Legérdekesebb florisztikai adatnak a Timmiella anomala (B. & S.) Limpr. mediterrán lombosmoha-faj előfordulása látszik. A karros formák fejlettsége, és a rajtuk megtelepedő növényzet típusa között - elsősorban a vízellátottság miatt - összefüggés figyelhető meg. A formák bemélyülésének fokozatait, mintegy élőhely-jelzőként, szinte szukcessziós sort alkotva követik az egyre nagyobb nedvesség- és talajigényű növényzeti típusok.

1. Bevezetés

1993 nyarán, majd 1994. augusztus 12-19. között, az ausztriai Totes Gebirge területén Dr. VERESS Márton tanszékvezető irányításával karsztmorfológiai tanulmányúton vett részt a szombathelyi Berzsényi Dániel Tanárképző Főiskola Földrajz Tanszékének kutatócsoportja. Utóbbi alkalommal a csoport vezetője jóvoltából számomra is lehetőség nyílt a részvételre.

Ezen egyszeri alkalommal végzett megfigyeléseim alapján az augusztusi aszpektus növényeire kiterjedő ismertetéssel, valamint néhány, a különböző karrformákban tapasztalt növényzeti típusokra vonatkozó megjegyzéssel kívánok hozzájárulni az általuk geomorfológiai szempontból vizsgált mintaterületek kutatásához.

2. Irodalmi áttekintés

A Keleti-Alpok nyilvánvalóan nagyon gazdag botanikai irodalmába - éppen annak gazdagsága miatt - a terepmunkák óta Szombathelyről csak korlátozott mértékben állt módunkban betekinteni. Ez is magyarázza, hogy a Totes-hegységről, és a karrok növényzetének kutatottságáról eddig nem lertünk anyagot. Mindazonáltal úgy véljük, nagy a valószínűsége annak, hogy e speciális területen nem járunk kitaposott ösvényen. E feltevés mindkét előjelű igazolódásának kockázatát is vállalva folytattuk munkánkat abban a reményben, hogy egy későbbi, szélesebb körű irodalmi tájékozódás után sem fogjuk teljesen hiábavalónak tekinteni próbálkozásunkat.

Csak érdekességképpen említjük, hogy magyar botanikusok is tevékenykedtek a Keleti-Alpokban. PRISZTER (1955) a magyar botanikusok jelentősebb külföldi kutatásainak áttekintésében róluk is szól. Átnézve a hazai irodalmat, meglehetősen kevés ilyen tárgyú közleményt találtunk. A hazai szerzők közül Ausztria alpin flórájának legjobb ismerője GÁYER (a Vas Vármegyei Múzeum Természetrajzi Osztálya egykori vezetője) volt. Számos tanulmánya (amelyeknek felsorolásától most eltekintünk) tanúskodik erről. MOESZ (1914) egy új növényelfordulásról, BOROS (1924) fiatalkori kirándulásának eredményeiről tudósít, HAJNÁDY (1937) és ANDREÁNSZKY (1939) egy-egy növényről értekezik. Később KOL (1970) végzett algológiai vizsgálatokat. Az utóbbi időkben CSAPODY kézírata szolgál hasznos útmutatóként. Magyar kutató Totes-hegységbeli botanizálásának azonban a hazai irodalomban nincsen nyoma. Mindemellett osztrák, francia és német szerzők tollából is jelentek meg idehaza kelet-alpi témájú német nyelvű tanulmányok: MURR (1904, 1906, 1907, 1908), HÜBL & NIKLFELD (1973), KRÁL (1980), BRAUN-BLANQUET (1973), OBERDORFER (1973).

3. A vizsgálatok helye

3.1. A Totes-hegység

A Totes-hegység Stájerország és Felső-Ausztria NY-i határrégiójában, a Salzkammergut néven ismert nagytáj keleti részén fekszik. A Keleti-Alpok északi üledékes övezetének – az Északi-Mészkő-Alpoknak – egyik nagy egysége a Salzburgi-Alpok. Ennek egyik jelentős tagja a Totes, amely ÉK-en a Sengsengebirge, DK-en a Dachstein, ÉNY-on pedig a Höllen-Gebirge tömbjeivel határos.

A legnagyobb részt felső triász korú dachsteini mészkő alkotta hegység felszínét a pleisztocén jégtakaró formálta. Ennek következtében egy alacsonyabb platósintre, és az ebből kiemelkedő két-két és félezer méteres csúcsokra tagoldódik. Legmagasabb csúcsa a Großer Priel (2515 m), a hegység átlagmagassága 2000 m körüli.

Jelenleg a tömeges, fennsík jellegű hegység legfontosabb felszínformáló tényezője a karsztosodás. Elnevezése (Halál-hegység) az erőteljes magashegységi karsztosodás nyomán kialakult rendkívül változatos morfológiára utal, hiszen 1600 m feletti felszínének túlnyomó többségét különböző karros formák kaotikus hálózata teszi szinte járhatatlanná.

3.2. A tényleges vizsgálati térségek („B”) (1. ábra)

A vizsgálatok helyszíne a Grundl-tó mellett lévő Gößl városkától északra, az Albert Appel-Haus és a Pühringer-Hütte nevű menedékházakat összekötő képzeletbeli tengely mentén húzódik. A geomorfológiai kutatások öt fő helyszíne közül az alábbi hátnat tanulmányoztuk:

I. vizsgálati térség: A Wieslacke-tó É-i karlejtője, cca. 1900 m tszfm-ban, a Wildgößl (2066 m) csúcstól NY-ra (a továbbiakban: Wie). Itt volt a 1993/1 és 1993/3 sz. vizsgálati terület.

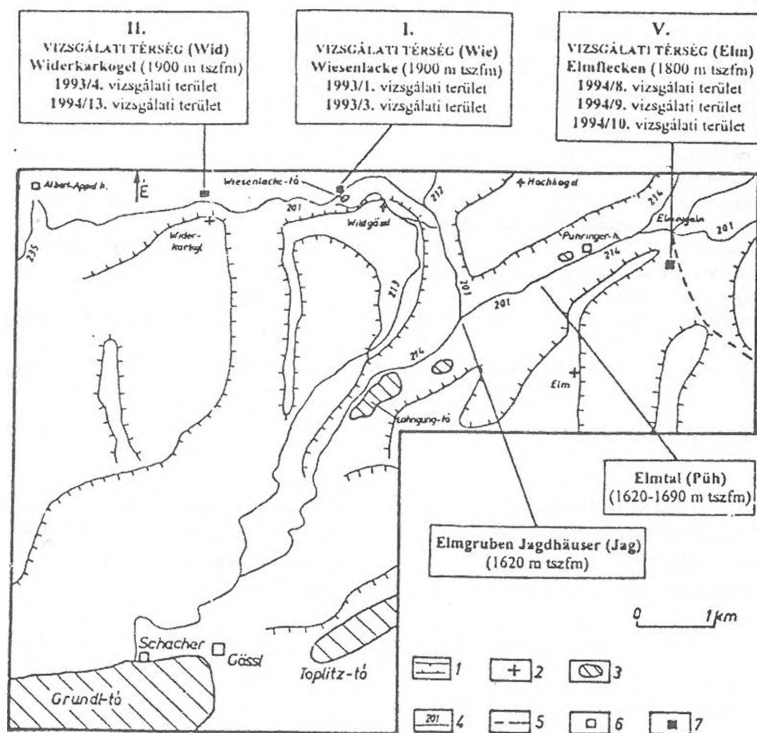
II. vizsgálati térség: A Widerkarkogel (1950 m) K-i karlejtője, cca. 1900 m tszfm-ban (a továbbiakban: Wid). Itt volt a 1993/4 és 1994/13 sz. vizsgálati terület.

V. vizsgálati térség: Az Elmflecken karlejtője a Pühringer-Hütte-től K-re, cca. 1800 m tszfm-ban (a továbbiakban: Elm). Itt volt a 1994/8, 1994/9 és a 1994/10 jelű vizsgálati terület.

A vizsgálati területek („A”) megközelítése során bejárt egyéb térségek a következők:

Az Elmgruben Jagdhäuser környezete a Salzofen (2072 m) K-i lábánál, cca. 1620 m tszfm-ban (a továbbiakban: Jag).

Az Elmtal-nak az Elmgruben Jagdhäuser és a Pühringer-Hütte (1637 m) közötti szakasza, 1620 és 1690 m közötti tszfm-ban (a továbbiakban: Püh).



1. ábra: A Totes Gebirge tanulmányozott régiója, a vizsgálati térségekkel és területekkel
Jelmagyarázat: 1. karsztos glaciális völgy, 2. hegycsúcs, 3. tó, 4. turistautó, 5. síút, 6. település, turistaház, 7. vizsgálati térség

3.3. A vizsgálati területeken előforduló karros formák (VERESS, 1992, 1995)

A karrok a karsztosodó kőzetek felszínén történő oldódás következtében kialakult mikroformák. A karrosodás jellege, mértéke függ a kőzetminőségtől, az oldószer mennyiségétől és minőségétől, hőingadozástól stb. Minőség alatt a vízben található szén-dioxid-mennyiséget

(az oldást a szénsvav végzi) értik. A CO₂ a légköri, illetve a talajlevegőből kerülhet a vízbe. A talaj CO₂-tartalma általában sokszorososa a légkörinek. A talaj meglététől függően beszélünk talaj alatti és talaj nélküli térszínnek karjairól. Míg a talajjal fedett térszínnek karrosodásában elsősorban a biogén eredetű CO₂ játszik szerepet, addig a talaj nélküli térszíneken a légköri CO₂ a meghatározó. Utóbbiak fejlődése szempontjából jelentős tényező a talajjal borított térszínokről érkező – biogén eredetű CO₂ hatására – szénsvavban erősen feldúsuló víz megnövekedő oldóképessége. Mindeztért kulcskérdés a talaj jelenléte, illetve eloszlása az adott karfelfszínen. Vizsgálatai területeinken a fedett és fedetlen térszínnek igen tarka egymásmellettsége valósul meg. A főbb karformák az alábbiak:

Karrergerinc: karvályukat egymástól elhatároló, kiemelkedő térszín.

Törés: tektonikai igénybevétel miatt képződik, e mentén kis méretű, 1-2 mm-es beoldódás is előfordulhat.

Hasadék: helyi, magányos oldás eredményeként létrejött keskeny mélyedés.

Hasadékkarr: törések mentén kioldódott, egymással párhuzamos, meredek oldalú, keskeny, megnyúlt mélyedések együttese. Köztük a kőzet keskeny gerincek formájában marad meg.

Madáritató (kamenyica): deciméteres mélységű és kiterjedésű zárt mélyedés a sziklafelfszínen.

Függő madáritató: karvályú peremén, annak talpa fölött viszonylag magasan elhelyezkedő mellékvályúval lecsapolt madáritató.

Kürtő: meredek falú, függőleges, zárt mélyedés.

Kürtőüvala: kürtők összeoldódásából létrejött forma.

Karvályú: sziklafelfszínebe mélyülő, alapvetően lejtésirányban kifejlődött néhány dm széles és mély egyenes vagy kanyargós lefutású több méter hosszúságú vályú.

Vályútalp: az U-alakhoz közelítő vályúkeresztmetszet közel sík, alsó része.

Függővályú: karvályú oldalában, annak talpa felett viszonylag magasan becsatlakozó kisebb vályú.

Vályútalpkürtő: a vályútalpon kialakuló meredek falú függőleges mélyedés, többnyire elvezető járat.

4. Módszerek

Mindhárom vizsgálati térségben összeírásra kerültek a fajok, melyben részben *ROTHMALER* Excursionsflora-ja (1970), részben a svájci flóramű (*HESS-LANDOLT-HIRZEL* 1967-1972) volt segítségünkre. Az algákat *VÍZKELETY* Éva, a zuzmókat *LŐKŐS* László, a mohákat pedig *PAPP* Beáta határozta meg. A három fajlista egységes *enumeráció*ba került, melyben a névhasználat *EHRENDORFER* (1973) munkáját követi. (A fajok neve utáni rövidítések utalnak az előfordulási térségekre.) Ebbe felvettük a vizsgálati területek megközelítése során bejárt térségekben megfigyelt növényeket is. Ezek a (csak Jag és/vagy Püh rövidítéssel megjelölt) fajok a további elemzésekben nem szerepelnek. (Itt jegyezzük meg, hogy kriptogámok csak a vizsgálati mintaterületekről kerültek begyűjtésre, s így meghatározásra.)

A geomorfológus munkatársak által tanulmányozott – fent említett – hét vizsgálati terület térképére pontszerűen, kódszámok segítségével a helyszínen feljegyeztük az ott élő növényeket. Ugyanezen területeken a Braun-Blanquet-féle AD-értékek alkalmazásával *állományfelvételek* is készültek, a karros mélyedések növényzete legállandóbb képviselőinek megállapítása céljából. (Ezeket a fajokat az enumerációban a vizsgálati térség nevének rövidítése utáni zárójelben lévő kódszám köti helyhez.) Mivel ezek nem egy adott társulás felvételei, a „konstancia-értékek” a vizsgálati területekre vonatkoznak. Mind a hét területről

(„A”) készült állományfelvétel, mind az ezeket „hordozó” vizsgálati térségek („B”) flóraelem- és Raunkiaer-féle életforma-elemzését is elkészítettük és mindkét esetben összehasonlítottuk. (Itt kell megjegyeznünk, hogy a geomorfológus kollégák elsősorban talajkitöltés nélküli, vagy csak csekély talajborítással bíró karmező-részleteket jelöltek ki vizsgálataik céljára. Ez számunkra annyit jelent, hogy a vizsgálati területeken („A”) valamivel kisebb a részaránya a kifejlődött gyeptársulásoknak, mint a teljes vizsgálati térségekben („B”). A fajok ökológiai igényeire és társulásviszonyaira vonatkozó általános megjegyzéseinket zömmel a svájci flóraműből (HESS-LANDOLT-HIRZEL 1967-1972) merítettük.

5. A botanikai vizsgálatok eredményei

5.1. Általános növényzeti kép

Göbl faluból (750 m) indulva a zárt erdő határát az ún. Drausengatterl térségében, mintegy 1500 m körül hagytuk el, s a Vordere, majd a Hintere Lahngangsee tengerszemek mellett kapaszkodtunk. Előbbit hosszan kísérték az *Epilobium angustifolium* nagy állományai, utóbbi oldalában *Pinus mugo*, *Alnus viridis* és embernagyságú fűzek cserjésében *Rubus saxatilis* nő.

Estére az Elmgruben Jagdhäuser-hez (1620 m) közeledve, mészkedvelő vörösfenyő - cirbolyafenyő társulás (*Rhododendro-Vaccinietum cembretosum*) fogad, a kiritkuló erdő képét mutatva. Lombkoronaszintjét a vörösfenyő (*Larix decidua*) uralja a cirbolyafenyővel (*Pinus cembra*) és kevesebb közönséges lucfal (*Picea abies*). A szintén ezek alkotta cserjeszintet a madárberkenye (*Sorbus aucuparia*) és a hegyi juhar (*Acer pseudoplatanus*) kis fái, valamint a nagylevelű fűz (*Salix appendiculata*), törpe berkenye (*Sorbus chamaemespilus*), havasi éger (*Alnus viridis*) és a havasi rózsa (*Rosa pendulina*) alkotja, azonban már itt uralkodó a törpefenyő (*Pinus mugo*). A törpecserjék a fekete és vörös áfonya (*Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea*), a borzas havasszépe (*Rhododendron hirsutum*) és a hússzínű hanga (*Erica herbacea*) sokaságával képviselik magukat. A légyszárúak közül a *Lycopodium annotinum*, *Huperzia selago*, *Blechnum spicant*, *Gentiana pannonica*, *Gentianella germanica*, *Homogyne alpina*, *Geum rivale*, *Soldanella alpina*, *Phyteuma spicatum*, *Trollius europaeus*, *Knautia dipsacifolia*, *Dentaria enneaphyllos*, *Viola biflora*, *Potentilla aurea* érdemel figyelmet.

Másnap az Elmtal-ban tovább kapaszkodva ez a társulástípus folytatódik, csak még inkább kiritkul, és parkszerű, tágas megjelenésű ún. „Parklandschaft”-ot alkot. Az egyre csökkenő számú *Larix decidua*, *Pinus cembra* és *Picea abies* fákfacsoportok között egyre nagyobb a *Pinus mugo*-foltok aránya. Közöttük a jellegzetes magaskórós társulás, a „Hochstaudenflur” gyakran kíséri útunkat. Legszébb kifejlődése az Elmsee és a Pühringer-Hütte térségében figyelhető meg. Leggyakoribb fajai: *Adenostyles alliariae*, *Senecio subalpinus*, *Aconitum napellus*, *Veratrum album*, *Alchemilla vulgaris*, *Heracleum montanum*, ritkábban: *Cicerbita alpina*, *Crepis pyrenaica*, *Silene dioica*. A Pühringer-Hütte (1638 m) körül a magaskórósok ún. „Lägerflur” típusának jellemző nitrofil növénye a

Rumex alpinus alkot szinte egynemű társulást (*Rumicetum alpini*). A menedék-ház feletti réteken nagy mennyiségben virít a vidék talán legszebb virága, a borszínű magyar tárnics (*Gentiana pannonica*).

1650-1700 m felett a törpefenyves erdők közé már csak itt-ott vegyül néhány széltépett *Pinus cembra*, vagy ritkábban *Larix decidua*. Ez az ún. „Kampfgürtel”, vagyis az erdő küzdelmi zónája, ahol az összefüggő erdő mintegy az elemeknek megadva magát szakadozik fel.

Vizsgálati térségeink már a magas szubalpin (alhavasi) régióba, a jól fejlett törpefenyves övbe estek, amely e vidéken legalább 300 m széles sávot alkot. Elsősorban a rétegfejeket kíséri, így messziről nézve pontosan kirajzolja azok fűtását, mintegy párhuzamos vonalakba rendeződött törpefenyő-erdő képében. Élőhelyein itt a borzas havasszépével alkot társulást (*Rhododendro-Mugetum*). Társaságukban számos törpe- ill. félcserje él, mint a *Sorbus chamaemespilus*, *Juniperus alpina*, *Daphne mezereum*, *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea*, *V. uliginosum*, *Erica herbacea* és *Calluna vulgaris* olykor együtt is (!), *Rhodothamnus chamaecistus*, *Empetrum hermaphroditum*. Ritka a *Loiseleuria procumbens*. Itt kell megjegyeznünk, hogy e növények az utóbbi három kivételével a szubalpin fenyvesek jellemző fajai, s ebben a magasságban – az erdőhatárt alkotó *Picea abies*, *Larix decidua* és *Pinus cembra* itt-ott előforduló letörpült példányaival együtt – mintegy reliktum-növényzetként jelzik az évszázadokkal ezelőtt nagy valószínűséggel 100-200 méterrel magasabbra nyomult eredeti *klimatikus erdőhatárt*. Így a mait az emberi tevékenység eredményeként létrejött, ún. *szorított erdőhatárnak* tekinthetjük. A növényzetnek ez a valószínűsíthető változása feltehetően kihatott e régió karsztos formakincsének fejlődésére is.

A különböző mértékben talajjal fedett hegyoldalakat havasi gyeptársulások borítják. A szélnek kitettebb törmelékes peremeken nyílt, ún. párnasás-gyepeket (*Caricetum firmæ* vagy *Firmetum*), a védettebb fekvésű, fejlettebb talajszinttel rendelkező lejtőkön összefüggő nyúlfarkfű-sűrűsítés-gyepeket (*Seslerio-Semperviretum*) találunk.

A többnyire törpefenyvesekkel kísért rétegfej-sávok közötti réteglapokon kialakult rendkívül változatos karrfelszíneken, illetve azok mélyedéseiben a növényi élet meglehetősen változatos ökológiai adottságú élettereket talál. Ezt tükrözi tarka fajösszetételük, és növényzeti mintázatuknak szinte sziklakertszerű megjelenése. Ilyen környezetben voltak vizsgálati térségeink ("B") is.

5.2. A karrterület florulája (II. táblázat)

A 3.2. bekezdésben ismertetett bejárt területeken (1600–1900 m közötti tszfm-ban) összesen feljegyzett növényfajok száma 203. A vizsgálati térségekben („B”) 163, az ezekben lévő vizsgálati területeken („A”) 103 fajt találtunk.

A kizárólag csak a vizsgálati területekről begyűjtött kriptogámok száma: 16 moha, 11 zuzmó és 4 alga. A magyar flórában a zuzmók fele, a mohák közül egy nincs meg. Ennek, a *Timmiella anomala* (B. & S.) Limpricht nevű mediterrán lombosmoha-fajnak VAJDA (1968) a Plitvicei-tavak mésztufaszikláiról külön

cikkben közli az addigi második és legészakibb jugoszláviai előfordulását. Akkor legészakibb európai előfordulása a dél-tiroli Meran és Dél-Svájc volt.

A Wildgössl (2066 m) északi lábainál, a Wiesenlacke-völgy lapályos részeinek (1880 m) „lefolyástalan” forráslápjain Scheuchzer gyapjúsásának (*Eriophorum scheuchzeri*) kisebb állományai fehérленek, noha ez a növény többnyire savanyú kőzeteken él.

5.3. A vizsgált térségek növényzetére vonatkozó megfigyelések

A vizsgált térségek („B”) már első látásra is egy meglehetősen bonyolult és sok elemből álló növényzeti mozaik képét nyújtják. Az itt található – a geomorfológusok által vizsgált – mintaterületek („A”) karrfelszínein készített „állományfelvételek” összesítését az II. táblázat mutatja be.

5.3.1. Flóraelem-eloszlás (2. ábra)

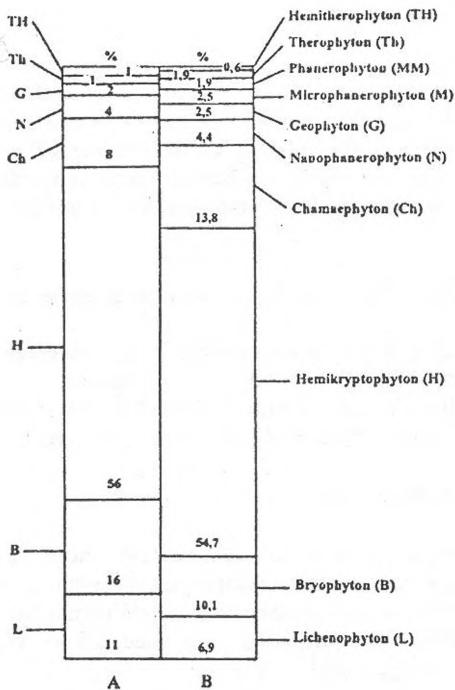
A flóraelem-eloszlási diagramról leolvasható, hogy a fajok nagyrésze (természetesen) hegyvidéki elem. Részarányuk azonban a vizsgálati területek („A”) esetében nagyobb a térségekben („B”) találtaknál, ugyanakkor kisebb a temperált területek elemeinek (atl, balk, pont, med, stb.) aránya. Ez némiképp a hasadékok hidegebb jellegére utal.

5.3.2. Életforma-eloszlás (3. ábra)

Az életforma-eloszlási diagram vizsgálatánál legszembetűnőbb a fák és cserjék hiánya (még juvenilis példányban is!), valamint a chamaephyta növények kisebb részaránya a hasadékokban („A”). Ez alól kivétel pl. a csorba fűz (*Salix retusa*) törpecserje. Mivel a kriptogámok csak a vizsgálati mintaterületekről („A”) kerültek begyűjtésre, fajszámuk mindkét életforma-diagramoszlopban azonos. Az egész vizsgálati térség („B”) területéről végzett kriptogám-gyűjtés valószínűleg kiegyenlitené jelenlegi arányeltérésüket. Az egy- (*Euphrasia*) és kétéves (*Gentianella*) fajok szerepe mindkét esetben elhanyagolható. Kivétel ez alól az egyéves *Sedum atratum*, a karros mélyedések egyik legállandóbb faja.

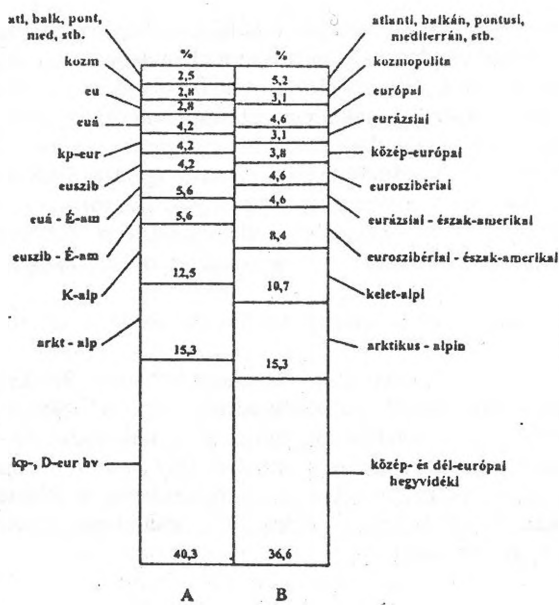
5.3.3. A vizsgált mintaterületek növényzetének összetevői (II. táblázat)

A leggyakoribb fajokat a területi (nem társulás!) konstanciaértékek mutatják. Ezek – mint azt fentebb említettük – a sziklaalakulat mikroreliefjének különböző ökológiai adottságokkal bíró élőhelyeit foglalják el. A növényzet elemeinek egy része a tágabb környezet növénysszövetkezeteiből (pl. *Seslerio-Sempervivum*) települ ide (egyes növények néha csak alkalmi vándorként), a többség azonban az itteni különleges élőhelyekhez alkalmazkodó, különböző kisebb-nagyobb növényzeti fragmentumokat alkot.



3. ábra:

A Totes Gebirge magas alhavasi övének Gößl-től északra felvő karrterületein élő növények életforma-eloszlási diagramja (A: A vizsgálati területek növényei [a kriptogámokkal együtt 103 faj], B: A vizsgálati területeket is tartalmazó térségek növényei [a kriptogámokkal együtt: 163 faj])



4. ábra:

A Totes Gebirge magas alhavasi övének Gößl-től északra felvő karrterületein élő növények földrajzi-eloszlási diagramja (A: A vizsgálati területek edényes növényei [72 faj], B: A vizsgálati területeket is tartalmazó térségek edényes növényei [131 faj])

Legnagyobb számban az ún. törmeléktársulásokra (Schuttgesellschaften) jellemző fajok vannak képviselve, mint pl. az *Adenostyles glabra* (K=V), *Dryopteris villarii*, *Aconitum napellus*, *Arabis alpina* (K=IV), *Polystichum aculeatum*, *Carduus defloratus*, *Valeriana montana* (K=III).

Noha kevesebb fajjal bír, de egyedszám szempontjából jelentős az a növény-csoport, amely hideg, állandóan átázott, szivárgó-nedves talajokon talál optimális életfeltételeket. Tagjai általában havasi *forrásláp-társulásokban* (*Montio-Cardaminetea*), patakok mentén, illetve hosszú hóborítású fekvésben az olvadék-vizekkel folyamatosan áztatott ún. *hótalaj-társulásokban* (*Schneetälchen-, Schneeböden-Gesellschaften*) élnek. Ilyenek: *Epilobium alsinifolium*, *Allium schoenoprasum* (K=V), *Campanula pulla*, *Soldanella alpina* (K=III), *Ranunculus alpestris* (K=II).

Mind a törmeléktársulásokban, mind a hótalaj-társulásokban előfordul a sárga ibolya (*Viola biflora*, amely a leggyakoribb fajként minden felvételben 2-3-as AD-értékekkel fordult elő, K=V) és a fekete varjúháj (*Sedum atratum*, K=V). Az irodalom szerint mészgazdag kőzeteken a hótalaj-társulások meglehetősen ritkák, és a törmeléktársulásoktól nem igazán különíthetők el (*HESS-LANDOLT-HIRZEL* 1967). Esetünkben az utóbb említett két faj szerepe is ezt látszik megerősíteni, jelezve a mikroformákon belüli eltérő vízellátottságú élőhelyeken kialakuló asszociációk között – az igen kis távolságok miatt mégis – megvalósuló átmenetiséget.

A harmadik leggyakoribb növénycsoport tagjai, a *Cystopteris fragilis* (K=V) és az *Asplenium viride* (K=IV) nedves, árnyas mészsziklák hasadékaiban alkotnak ún. *sziklaréstársulást* (*Asplenion: Asplenio-Cystopteridetum*).

A merev sás (*Carex firma*, K=III) fajszegény *sáspárnagyepet* képez (*Firmetum*) az időjárás viszontagságainak leginkább kitett, rövid ideig tartó hóborítású helyeken, olykor mészkő sziklarepedésekben. Itt előforduló fajok még a *Festuca pumila* (K=II), *Gentiana clusii*, valamint a *Rhodothamnus chamaecystus* törpe-, és a *Dryas octopetala* félcserjék is.

A *Scabiosa lucida*, *Achillea clavenae*, *Festuca rubra*, *Leucanthemum atratum* (K=II) már a zártabb *sziklagyep-társulásokban* (*Seslerio-Semperviretum*, nedvesebb helyeken *Caricetum ferrugineae*) otthonosak.

Az *algákat* legnagyobb számban az *Oscillatoria formosa* és egy *Lyngbya* kékoszatfaj képviseli, amelyek kötegei a mélyedésekben a víz elpárolgása után szürkés-kék – olykor felpenderedő – kéregszerű bevonatot alkotnak. Egyedi előfordulású egy kova- (*Navicula gracilis*), és egy járommoszat-faj (*Cosmarium* sp.). A kékalgabevonat apró mohanövénykéket és (valószínűsíthetően) polleket is tartalmaz. (Megjegyezzük, hogy a mintákban kerekcsféreg (*Rotatoria*) is előfordult.)

A *zuzmók* közül leggyakoribbak a kőzetbe maródott szemölcszuzmók (*Verrucaria* spp.) és a *Squamaria gypsacea* voltak. A *mohák* egy része (pl. *Tortella tortuosa*) szárazabb viszonyokat kedvel. A *Pseudoleskeella nervosa* lombosmoha árnyékos sziklafalakon él. A hótalaj-társulásoknál említett nagy nedvességigényű fajokkal nagyon hasonló körülmények adják a májmohák (pl.

Conocephalum conicum), és a lombos mohák egy részének (pl. *Pohlia wahlenbergii*) életterét is.

5.3.4. A különböző karrformákban talált növényzeti típusok

A hét vizsgált mintaterület fajeloszlását pontszerűen rögzítő helyszíni munkatérképek alapján (melyek közül példaként az 1993/4-es mintaterületet a 4. ábra mutatja be), a karrfelszínek különböző formáiban a fenti növénycsoportok az alábbiak szerint helyezkedtek el:

a) A karrok kitett sziklafelszíneire, karrgerincekre, ahonnan a csapadék leggyorsabban leszalad, a kőlakó szemölcszuzmók (*Verrucaria* spp.) maródnak be.

b) Enyhe mélyedésekben, hajlatokban, fiatal madáritatókban, karrbarázdákban algák, zuzmók, lombos mohák telepsznek meg. A mohapárnákat a zuzmókénál sokszorta nagyobb víztároló és -adagoló tulajdonságuk, és a talajképződésben játszott szerepük miatt a karrosodási folyamat felgyorsítójának valószínűsíthetjük.

A formák mélyülése és a felhalmozódó szervesanyag mennyiségének növekedése életheletőséget nyújt a magasabbrendű növényzet megtelepedésének is.

c) Törésekben, finom, nedves törmelékkel kitöltött keskeny közethasadékokban gyakran az *Asplenio-Cystopteridetum* sziklaréstársulás jelenik meg.

d) Közethasadékokban, típusos és függő madáritatókban, a karrvályúk bevezető szakaszaiban, valamint törmelékkel eltömődött kisebb kúrtókban, a vizet már jobban visszatartó sáspárna (*Firmetum*) jöhet létre.

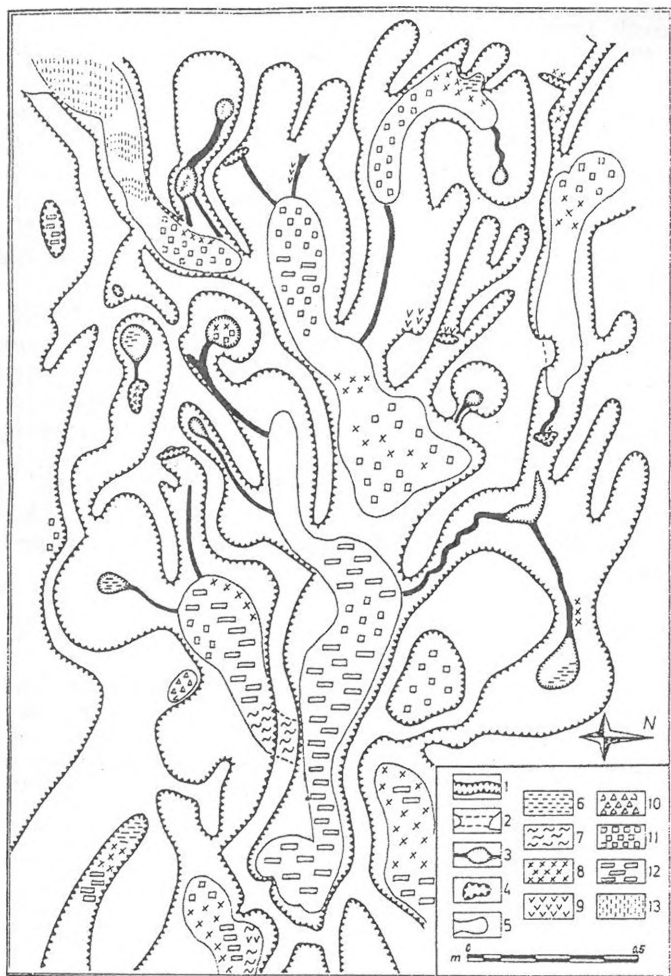
e) Nagyobb madáritatókban, karrvályúkban, függővályúkban, kúrtóüvalákban felhalmozódó nedves közettörmelék és humusz keverékén az ún. törmelék-társulások (*Schuttgesellschaften*) fajai uralkodnak. Ez a formáció már jelentős mennyiségű vizet tarthat vissza.

f) Fejlettebb karrvályúk, kúrtóüvalák árnyékos talpán vastagabban kifejlődött humuszos talajösszleten – az előbbinél kevesebb közettörmelék jelenléte mellett – az ún. hótalaj-növényzet (*Schneetälchen-Gesellschaft*) elemei jelennek meg fejlett mohaszinttel, amelynek jelentős része májmoha (*Hepaticophytina*). Ezek a fajok (főként a májmohák) még több talajnedvesség folyamatos meglétét bizonyítják.

g) A vályutalpkúrtók bejárati szakaszain és falain szinte folyamatos nedveséget jelző májmoha-bevonat (*Hepaticophytina*) él.

h) Ahol a talaj vastagabban kitölti a karros mélyedéseket, ott sziklagyep-társulások (törmelékesebb talajon *Firmetum*, másutt *Seslerio-Semperviretum*, nedvesebb helyeken *Caricetum ferrugineae*) fajai szaporodnak el.

i) Hasadékkarrok, mélyebb karrvályúk falát a *Pseudoleskeella nervosa* lombosmohafaj hálózta be.



4. ábra: Az 1993/4-es vizsgálati terület térképe, a növényzet főbb egységeinek feltüntetésével.
(Az algák és a szemölcszuzmók ábrázolásától eltekintettünk.)

Az alaptérkép Dr. Szunyogh Gábor munkája)

- Jelmagyarázat: 1. karrványú, 2. karrványú felszín alatt folytatódó (barlangszerű) szakasza, 3. vályútalp-madáritató, III-as típusú karrványúval, 4. kürtő, 5. talaj és/vagy törmelékkitöltés határa, 6. zuzmók (Lichenes), 7. májmohák (Hepaticophytina), 8. lombos mohák (Bryophytina), 9. sziklaréstársulás (*Aspleno-Cystopteridetum fragm.*), 10. merev sás párnagyep (*Firmetum fragm.*), 11. törmelék-társulások (*Schuttgesellschaften fragm.*), 12. hótalaj-növényzet (*Schneetalchen-Gesellschaften fragm.*), 13. nyúlfarkfű-sűrűséggyep (*Seslerio-Semperviretum fragm.*)

6. Összegzés

A vizsgált karrterületek növényzete egy meglehetősen bonyolult és sok elemből álló növényzeti mintázatot alkot, amelynek kifejlődése dinamikus összefüggést feltételez a karrfelszín formakincsével.

A formák az edafikus (elsősorban vízellátottság) és a mikroklimatikus viszonyokon keresztül nagymértékben meghatározzák az adott helyen kialakuló növényzeti típust. Ugyanakkor a különböző növényzeti típusok – a kialakuló talajjal együtt – a forma jelentős, de eltérő hatású alakítóiként működnek, a visszatartott és folyamatosan adagolt víz, valamint a gyökér- és humuszsavak mennyisége, s a különböző fejlettségű talajélet miatt szénsavban feldúsuló víz megnövekedő oldó hatása révén.

Fenti vizsgálataink alapján a karros formák és a rajtuk megtelepedő növényzet között megfigyelhető összefüggés: A formák bemélyülésének fokozatait, mintegy élőhely-jelzőként, szinte szukcessziós sort alkotva követik az egyre nagyobb nedvesség- és talajigényű növényzeti típusok. A pionír zuzmók, a szivacsként működő mohapárnák, a szervesetlen-szerves összleten élő törmelékvegetáció, az átázott talajon megjelenő hótalaj-növényzet és a sűrűség-gyepek (hogy csak a fontosabbakat említsük), a növekvő talajmennyiséggel (s benne talajélettel) együtt általában egyre több víz (benne oldott szénsav), gyökér- és humuszsavak folyamatos jelenlétét is jelentik. Mindennek kulcsszerepe van a karros térszínnek fejlődésében.

Köszönetnyilvánítás

Külön köszönettel tartozom Dr. VERESS Mártonnak, hogy lehetővé tette számomra kutatóútkon való részvételemet; Megköszönöm Dr. HIDASI Györgynének a terepmunkákban nyújtott segítségét, Dr. SZABÓ T. Attila tanszékvezetőnek (BDTF Növénytan) az anyag átnézését és hasznos észrevételeit, VÍZKELETY Évának (BDTF Növénytan) az algák, Dr. LÓKOS Lászlónak (MTM Növénytár) a zuzmók, Dr. PAPP Beátának (MTM Növénytár) a mohák meghatározását.

A Totes Gebirge-ben vizsgált karrierületek edényes növényzetének összefoglaló táblázata

Karrierületek edényes növényzete Gößltal É-ra, Totes Gebirge (Ausztria), 1994. aug. 12-19. BL									
Sorszám	1	2	3	4	5	6	7		
Felvételi térség	1	1	11	11	V	V	V		
Felvétel száma	93/1	93/3	93/4	94/13	94/8	94/9	94/10		
Tengerszint feletti magasság	1900	1900	1900	1900	1800	1800	1800		
Kitértség	S	E	E	E	SE	SE	SE		
Dőlés (°)	30	35	10	15	20	10	15		
Felvétel területe (m ²)	150	50	30	150	25	100	60		
Borítás (%)									
Lombkoronaszint	0	0	0	0	0	0	0		
Cserjeszint	0	0	0	0	0	0	0		
Gyepszint	5	10	25	15	10	15	30		
Mohaszint	10	5	15	10	15	10	5		
Szikla felszín	90	90	70	80	75	80	70		
Fajszám	29	25	57	35	23	51	31		
							AD "K"		
<i>Adenostyles glabra</i>	2	+	2		2	1	1	1-2	V
<i>Allium schoenoprasum</i>	2		+	2	+	2	1	1-2	V
<i>Cystopteris fragilis</i>	+	+	1		1	+	1	+1	V
<i>Epilobium alsinifolium</i>	1		3	1	+	3	1	1-2	V
<i>Sedum atratum</i>	2	+	2	+		1	+	1-2	V
<i>Viola biflora</i>	3	3	2	2	2	3	2	2-3	V
<i>Aconitum napellus</i>	+		1	1		+	+	+1	IV
<i>Arabis alpina</i>			+	1	+	1	+	+1	IV
<i>Asplenium viride</i>	+	+	+	+	+			+	IV
<i>Dryopteris villarii</i>		1	1	1	1	+		1	IV
<i>Athyrium distentifolium</i>			1			1	+	+1	III
<i>Campanula pulla</i>			3	2		1	+	1-2	III
<i>Campanula scheuchzeri</i>	+		+				+	+	III
<i>Carduus defloratus</i>	+	+				1	1	+1	III
<i>Carex firma</i>	1		+	+				+1	III
<i>Minuartia austriaca</i>			+	+		+		+	III
<i>Polystichum secaleatum</i>	1	1	1	1				1	III
<i>Salix retusa</i>	+			+		+	1	+	III
<i>Saxifraga paniculata</i>					+	+	+	+	III
<i>Saxifraga rotundifolia</i>			+		+	+		+	III
<i>Soldanella alpina</i>			+	+		+		+	III
<i>Valeriana montana</i>					+	+	1	+1	III
<i>Achillea clavense</i>			+				+	+	II
<i>Agrostis tenuis</i>		+	+					+	II
<i>Asperula neilreichi</i>					+	+		+	II
<i>Asplenium septemtrionale</i>					+	+		+	II
<i>Blechnum spicant</i>			+	+				+	II
<i>Carex parviflora</i>		+		1				+1	II
<i>Festuca pumila</i>	+		+					+	II
<i>Festuca rubra</i>					+	+		+	II
<i>Leontodon hispidus</i>			+			+		+	II
<i>Leucanthemum atratum</i> agg.						+	+	+	II
<i>Poa alpina</i>	+	1						+1	II
<i>Primula elusiana</i>	1			+				+1	II
<i>Ranunculus alpestris</i>			1	1				1	II
<i>Ranunculus montanus</i>			+	+				+	II
<i>Rhododendron hirsutum</i>	+	1						+1	II
<i>Salix hastata</i>			1	+				+1	II
<i>Scabiosa lucida</i>						+	1	+1	II
<i>Selaginella selaginoides</i>			+	+				+	II
<i>Silene vulgaris</i>			+			+		+	II
Egyszer fordult elő:									
93/1: <i>Gentiana germanica</i> +; 93/3: <i>Carex ferruginea</i> +, <i>Erica herbacea</i> +, <i>Leucanthemum vulgare</i> agg. +, <i>Veronica urticifolia</i> +; 93/4: <i>Achillea atrata</i> +, <i>Carex panicea</i> +, <i>Cerastium carinthiacum</i> +, <i>Festuca pulchella</i> +, <i>Gentiana clusii</i> +, <i>Geranium sylvaticum</i> +, <i>Homogyne discolor</i> +, <i>Ligusticum mutellina</i> +, <i>Phyteuma orbiculare</i> +, <i>Polygonum viviparum</i> +, <i>Ranunculus pygmaeus</i> +, <i>Rhododendron chamaecystus</i> +; 94/13: <i>Dryas octopetala</i> +, <i>Galium anisophyllum</i> +, <i>Ranunculus hybridus</i> +; 94/8: <i>Lamium montanum</i> +, <i>Valeriana tripteris</i> +; 94/9: <i>Asplenium trichomanes</i> +, <i>Pedicularis verticillata</i> +, <i>Veronica phylla</i> +; 94/10: <i>Campanula rotundifolia</i> +, <i>Euphrasia minima</i> +, <i>Hieracium villosum</i> +, <i>Myosotis alpestris</i> +, <i>Pedicularis rostrato-spicata</i> +, <i>Saxifraga aizoides</i> +.									
Összes fajszám (+ kriptog.): 72 + 31 = 103.									

*A Totes Gebirge alhavasi övének, Gößl-től északra bejárt területein
előfordult növények*

- Achillea atrata L. - Wid (93/4), Elm
 Achillea clavencae L. - Wie, Wid (93/4), Elm (94/10), Jag
 Acinos alpinus (L.) Moench - Wid
 Aconitum napellus L. - Wie (93/1), Wid (93/4, 94/13), Elm (94/9, 94/10)
 Aconitum paniculatum Lam. - Jag
 Aconitum vulparia Rchb. - Jag
 Adenostyles alliariae (Gouan) Kern. - Püh
 Adenostyles glabra (Mill.) DC. - Wie (93/1), Wid (93/4), Elm (94/8, 94/9, 94/10), Jag
 Agrostis tenuis Sibth. - Wie (93/3), Wid (93/4)
 Alchemilla alpina L. - Elm
 Alchemilla vulgaris agg. - Jag, Püh
 Allium schoenoprasum L. - Wie (93/1), Wid (93/4, 94/13), Elm (94/9, 94/10)
 Alnus viridis (Chaix) DC. - Wid, Elm, Jag
 Anemone narcissiflora L. - Elm, Jag
 Anthyllis vulneraria ssp. alpestris (Kit. ex Schult.) Asch. & Gr. - Wie
 Arabis alpina L. - Wie, Wid (93/4, 94/13), Elm (94/8, 94/9, 94/10)
 Asperula neilreichi Beck. - Elm
 Asplenium septentrionale (L.) Hoffm. - Wie, Elm (94/8, 94/9)
 Asplenium trichomanes L. - Elm (94/9)
 Asplenium viride Hudson - Wie (93/1), Wid (93/4, 94/13), Elm (94/8), Jag
 Athyrium distentifolium Tausch ex Opiz - Wid (93/4), Elm (94/9, 94/10)
 Bartsia alpina L. - Wie, Wid
 Blechnum spicant (L.) Roth - Wie, Wid (93/4, 94/13), Jag
 Buphthalmum salicifolium L. - Jag
 Calluna vulgaris (L.) Hull. - Wid
 Caltha palustris L. - Püh
 Campanula patula L. - Jag
 Campanula pulla L. - Wie, Wid (93/4, 94/13), Elm (94/9, 94/10)
 Campanula rotundifolia L. - Elm (94/10)
 Campanula scheuchzeri Vill. - Wie (93/1), Wid (93/4), Elm (94/10)
 Cardamine resedifolia L. - Elm
 Carduus defloratus L. - Wie (93/1, 93/3), Wid, Elm (94/9, 94/10)
 Carex ferruginea Scop. - Wie, Wid, Elm
 Carex firma Mygind - Wie (93/1), Wid (93/4, 94/13)
 Carex hostiana DC. - Wid
 Carex panicea L. - Wid (93/4)
 Carex parviflora Host - Wie (93/3), Wid (94/13)
 Carex sempervirens Vill. - Wid
 Carlina acaulis L. - Wie
 Centaurea montana L. - Püh
 Cerastium carinthiacum Vest - Wid (93/4)
 Cicerbita alpina (L.) Wallr. - Püh
 Cirsium spinosissimum (L.) Scop. - Wid
 Crepis aurea (L.) Cass. - Wid
 Crepis pyrenaica (L.) Greut. - Püh
 Cystopteris fragilis (L.) Bernh. - Wie (93/1, 93/3), Wid (93/4), Elm (94/8, 94/9, 94/10)
 Daphne mezereum L. - Wie, Elm, Jag
 Dentaria enneaphyllos L. - Püh
 Deschampsia cespitosa (L.) PB. - Wid

Doronicum austriacum Jacq. - Püh
Doronicum grandiflorum Lam. - Wid, Elm
Dryas octopetala L. - Wid (94/13), Elm
Dryopteris villarii (Bell.) Woyнар ex Schinz & Thell. - Wie (93/3), Wid (93/4, 94/13), Elm (94/8, 94/9)
Empetrum hermaphroditum Hagerup - Wid, Elm
Epilobium alsinifolium Vill. - Wie (93/1), Wid (93/4, 94/13), Elm (94/9, 94/10)
Epilobium angustifolium L. - Jag
Erica herbacea L. - Wie, Wid, Elm, Jag
Erigeron polymorphus Scop. - Elm
Eriophorum scheuchzeri Hoppe - [Wie]
Euphorbia cyparissias L. - Jag
Euphorbia sp. - Jag
Euphrasia minima Jacq. et DC. - Elm (94/10)
Euphrasia rostkoviana Hayne - Elm
Euphrasia stricta Wolff ex Lehm. - Wie, Elm
Festuca pulchella Schrad. - Wid (93/4)
Festuca pumila Chaix - Wie (93/1), Wid (93/4)
Festuca rubra L. - Wid, Elm (94/8, 94/9)
Galium anisophyllum Vill. - Wid (94/13), Elm
Galium sp. - Jag
Gentiana clusii Perr. et Song. - Wid (93/4)
Gentiana pannonica Scop. - Wid, Elm, Jag, Püh
Gentiana verna L. - Wid
Gentianella germanica (Willd.) Börner - Wie (93/1), Wid, Elm, Jag
Geranium sylvaticum L. - Wid (93/4), Elm, Jag
Geum rivale L. - Jag
Globularia cordifolia L. - Wie
Globularia nudicaulis L. - Wie
Hedysarum hedysaroides (L.) Schinz. et Thell. - Wie
Helianthemum alpestre (Jacq.) DC. - Wie
Helianthemum grandiflorum (Scop.) DC. - Elm, Jag
Heraclium austriacum L. - Elm, Püh
Heraclium sphondylium ssp. *elegans* (Cr.) Schübl. & Mart. - Elm
Hieracium villosum Jacq. - Elm (94/10), Jag
Homogyne alpina (L.) Cass. - Jag
Homogyne discolor (Jacq.) Cass. - Wie, Wid (93/4), Jag
Huperzia selago (L.) Bernh. ex Schrank & Mart. - Wid, Jag
Hypericum perforatum L. - Jag
Juncus compressus Jacq. - Wid
Juniperus communis ssp. *alpina* (Neilr.) Celak. - Wie, Wid, Elm, Jag
Knautia dipsacifolia Kreutz. - Jag
Lamiastrum montanum (Pers.) Ehrend. - Elm (94/8), Jag
Larix decidua Mill. - Elm, Jag, Püh
Laserpitium latifolium L. - Püh
Leontodon hispidus L. - Elm (94/9), Jag
Leucanthemum atratum (Jacq.) DC. - Elm (94/9, 94/10)
Leucanthemum vulgare agg. - Wie, Elm, Jag
Ligusticum mutellina (L.) Crantz - Wid (93/4), Elm
Lilium martagon L. - Jag
Loiseleuria procumbens (L.) Desv. - Wid
Luzula glabrata (Hoppe) Desv. - Jag
Lycopodium annotinum L. - Elm, Jag
Mcclampyrum pratense L. - Jag
Minuartia austriaca (Jacq.) Hayek - Wid (93/4, 94/13), Elm (94/9)

Myosotis alpestris F.W. Schmidt - Elm (94/10), Püh
Origanum vulgare L. - Jag
Oxalis acetosella L. - Jag
Parnassia palustris L. - Wie, Elm, Jag
Pedicularis rostrato-spicata Crantz - Wid, Elm (94/10), Püh
Pedicularis verticillata L. - Elm (94/9)
Phyteuma orbiculare L. - Wid (93/4)
Phyteuma spicatum L. - Jag
Picea abies (L.) Karsten - Elm, Jag, Püh
Pinus cembra L. - Elm, Jag, Püh
Pinus mugo Turra - Wie, Wid, Elm, Jag, Püh
Pinus mugo var. *pumilio* (Haenke) Zenari - Wid
Poa alpina L. - Wie (93/1, 93/3), Wid
Poa nemoralis L. - Wid
Polygonatum verticillatum (L.) All. - Jag
Polygonum viviparum L. - Wid (93/4), Jag
Polystichum aculeatum (L.) Roth - Wie (93/1, 93/3), Wid (93/4, 94/13)
Potentilla aurea L. - Jag
Potentilla clusiana Jacq. - Wid
Prenanthes purpurea L. - Jag
Primula clusiana Tausch - Wie (93/1), Wid (94/13),
Ranunculus aconitifolius L. - Püh
Ranunculus alpestris L. - Wid (93/4, 94/13), Elm
Ranunculus hybridus Biria - Wid (94/13)
Ranunculus montanus Willd. - Wie, Wid (93/4, 94/13), Elm
Ranunculus pygmaeus Wahlenb. - Wid (93/4)
Ranunculus sp. - Jag
Rhododendron hirsutum L. - Wie (93/1, 93/3), Wid, Elm, Jag
Rhodothamnus chamaecistus (L.) Rehb. - Wid (93/4)
Rosa pendulina L. - Jag
Rubus saxatilis L. - Jag
Rumex alpinus L. - Jag, Püh
Salix alpina Scop. - Elm
Salix appendiculata Vill. - Püh
Salix glabra Scop. - Wid, Püh
Salix hastata L. - Wie, Wid (93/4, 94/13), Elm
Salix reticulata L. - Wid
Salix retusa L. - Wie (93/1), Wid (94/13), Elm (94/9, 94/10)
Salix serpyllifolia Scop. - Elm
Salix waldsteiniana Willd. - Elm
Saxifraga aizoides L. - Wid, Elm (94/10)
Saxifraga paniculata Mill. - Elm (94/8, 94/9, 94/10)
Saxifraga rotundifolia L. - Wie, Wid (93/4), Elm (94/8, 94/9), Jag
Saxifraga stellaris L. - Elm
Scabiosa lucida Vill. - Elm (94/9, 94/10)
Sedum album L. - Püh
Sedum atratum L. - Wie (93/1, 93/3), Wid (93/4, 94/13), Elm (94/9, 94/10)
Selaginella selaginoides (L.) PB. ex Schrank & Mart. - Wie, Wid (93/4, 94/13)
Senecio abrotanifolius L. - Püh
Senecio fuchsii C. C. Gmel. - Elm, Jag
Senecio subalpinus Koch - Jag, Püh
Sesleria varia (Jacq.) Wettst. - Wie, Wid, Elm
Silene acaulis (L.) Jacq. - Wid
Silene dioica (L.) Clairv. - Jag
Silene pusilla W. et K. - Elm

Silene vulgaris (Moench) Garcke - Wid (93/4), Elm (94/9), Jag
Soldanella alpina L. - Wie, Wid (93/4, 94/13), Elm (94/9), Jag
Solidago virgaurea L. - Wie, Elm, Jag
Sorbus aucuparia L. - Jag
Sorbus chamaemespilus (L.) Crantz - Wid, Jag
Thalictrum aquilegifolium L. - Elm, Jag, Püh
Thesium alpinum L. - Wie, Elm, Jag
Trifolium pratense L. - Jag
Trollius europaeus L. - Jag
Vaccinium myrtillus L. - Wie, Wid, Elm, Jag
Vaccinium uliginosum agg. - Wid, Elm
Vaccinium vitis-idaea L. - Wid, Elm, Jag
Valeriana montana L. - Elm (94/8, 94/9, 94/10), Püh
Valeriana tripteris L. - Elm (94/8), Püh
Veratrum album L. - Elm, Jag, Püh
Veronica aphylla L. - Elm (94/9)
Veronica urticifolia Jacq. - Wie
Viola biflora L. - Wie (93/1, 93/3), Wid (93/4, 94/13), Elm (94/8, 94/9, 94/10), Püh

Bryophyta (Hepaticophytina)

Conocephalum conicum (L.) Lindb. - Wie (93/1), Wid (93/4), Elm (94/9)
Plagiochila porelliformis (Torrey ex Nees) Linden - Elm (94/9)
Poroclinium platyphyllum (L.) Pfeiff. - Elm (94/9)
Preissia quadrata (Scop.) Nees - Wie (93/3), Wid (93/4), Elm (94/9)
Scapania aspera H. Bernet - Wid (93/4)

Bryophyta (Bryophytina)

Ctenidium molluscum (Hedw.) Mitt. - Wie (93/1, 93/3), Wid (93/4), Elm (94/9)
Dichodontium pellucidum (Hedw.) Schimp. - Wid (93/4), Elm (94/9)
Eurhynchium hians (Hedw.) Sande Lac. - Elm (94/9)
Fissidens cristatus Wils. ex Mitt. - Wie (93/1), Wid (93/4), Elm (94/9)
Gymnostomum aëruiginosum Sm. - Elm (94/9)
Mnium stellare Hedw. - Elm (94/9)
Pohlia wahlenbergii (Web. et Mohr.) Andr. - Wid (93/4), Elm (94/9)
Pseudoleskeella nervosa (Brid.) Nyh. - Wie (93/1, 93/3), Wid (93/4), Elm (94/9)
Timmia anomala (B. & S.) Limpricht - Elm (94/9)
Tortella tortuosa (Hedw.) Limpr. - Wie (93/1, 93/3), Wid (93/4)
Tortula ruralis (Hedw.) Gaertn., Meyer & Sc. - Wie (93/1, 93/3), Wid (93/4), Elm (94/9)

Lichenes

Caloplaca aurea (Schaer.) Zahlb. - Wie (93/3)
Cladonia cf. *symphylicarpa* (Flörke) Fr. - Elm
Cladonia sp. - Wid (93/4)
Dermatocarpon intestiniforme (Körb.) Hasse - Wie (93/1), Wid (93/4)
Dermatocarpon minutum (L.) Mann - Elm
Lecidea lurida Ach. - Wid (93/4), Elm
Leptogium gelatinosum (With.) Laundon - Elm
Mycobilimbia lobulata (Sommerf.) Hafellner - Elm
Peltigera rufescens (Weiss) Humb. - Wie (93/1), Wid (93/4), Elm
Squammarina gypsacea (Sm.) Poelt - Wie (93/1, 93/3), Wid (93/4), Elm
Verrucaria sp. - Wie (93/1, 93/3), Wid (93/4), Elm

Algae - Wic, Wid, Elm

Cyanophyta

Lyngbya sp.

Oscillatoria formosa

Bacillariophyceae

Navicula gracilis

Conjugatophyceae

Cosmarium sp.

Irodalomjegyzék

- ANDREÁNSZKY G. (1939): Ein Bastard zwischen *Veronica alpina* L. und *V. bellidioides* L. aus den Ostalpen. - *Borbásia* 1(3/7): 105-107.
- BOROS Á. (1924): Őszi botanikai kirándulásom a stájer havasokba. - *Herba* 7: 450-451.
- BRAUN-BLANQUET, J. (1973): Ein Schmuck der Alpengewässer, die Weidenröschen-Gesellschaft. - *Acta Bot. Hung.* 19(1-4): 47-53.
- CSAPODY I., Raxalpe. (A Gustav WENDELBERGER, E. HÜBL és Emilia BALATOVA-TULACKOVA társaságában megtett terepbejárás naplójegyzetei) - Kézirat, Sopron.
- EHRENDORFER, F. (1973): Liste der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. 2. Auflage. - Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 318 p.
- HANASIEWICZ HAJNÁDY O. (1937): A *Wulfenia carinthiaca* Jacq. klasszikus termőhelyén. - *Bot. Közlem.* 34(5-6): 222-228.
- HESS, H. E. - LANDOLT, E. - HIRZEL, R. (1967, 1970, 1972): Flora der Schweiz. Band 1-3. - Birkhäuser, Basel und Stuttgart.
- HÜBL, E. - NIKLFELD, H. (1973): Über die Regionale Differenzierung von Flora und Vegetation in den Österreichischen Alpen. - *Acta Bot. Hung.* 19(1-4): 147-164.
- KOL, E. (1970): Vom roten Schnee der Tiroler Alpen. - *Annls. hist.-nat. Mus. natn. hung.* 62: 129-136.
- KRAL, F. (1980): Regionale Waldentwicklungstypen, insbesondere in der Alpen. - *Acta Bot. Hung.* 26(1-2): 113-120.
- MOESZ G. (1914): A *Draba Kotschyi* Stur. előfordulása a stájerországi Raxhavason. - *Bot. Közlem.* 13: 109-110.
- MURR, J. (1904): Sudeten-Hieracien in den Ostalpen. - *Magy. Bot. Lap.* 3(6-7): 213-215.
- MURR, J. (1906): Pflanzengeographische Studien aus Tirol. Die pontisch-illyrischen Elemente der Tiroler Flora. - *Magy. Bot. Lap.* 5(8-10): 267-273.
- MURR, J. (1907): Zwei mutmassliche Hybriden aus Tirol. - *Magy. Bot. Lap.* 6(5-7): 174-176.
- MURR, J. (1908): Neuere Forschungen über das Vordringen mediterraner und submediterraner Formen in Italienisch-Tirol (1897-1907). - *Magy. Bot. Lap.* 7(1-3): 74-78.

- OBERDORFER, E. (1973): Die Gliederung der *Epilobietea angustifolii*-Gesellschaften am Beispiel süddeutscher Vegetationsaufnahmen. - *Acta Bot. Hung.* 19(1-4): 235-253.
- PRISZTER SZ. (1955): Ausländische Forschungstätigkeit der ungarischen Botaniker. - *Acta Bot. Hung.* 1(3-4): 267-300.
- ROTHMALER, W. (1970): Excursionsflora von Deutschland. Atlas der Gefäßpflanzen I-II. - Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin.
- VAJDA L. (1968): A *Timmiella anomala* (B. & S.) Limpricht új termőhelye Jugoszláviában. (Neuer Standort von *Timmiella anomala* (B. & S.) Limpricht in Jugoslawien) - *Fragm. Bot. Mus. Hist.-Nat. Hung.* 6(1-4): 57-58.
- VERESS M. (1992): A karsztosodás mikroformái, a karrok. - *Természet Világa /TTK/* 123(3): 129-131.
- VERESS M. (1995): Karros folyamatok és formák rendszerezése Totes Gebirge-i példák alapján. - *Karsztfejlődés* 1, p. 7-30.

Handwritten text, possibly bleed-through from the reverse side of the page. The text is illegible due to fading and bleed-through.

KARRVÁLYÚK VÍZSZÁLLÍTÓ-KÉPESSÉGÉNEK ELMÉLETI MEGHATÁROZÁSA

SZUNYOGH GÁBOR

Berzsenyi Dániel Tanárképző Főiskola, Földrajz Tanszék
9700 Szombathely, Károlyi G. tér 4.

Összefoglalás:

A tanulmányban analitikusan meghatározzuk és diagramban ábrázoljuk a részlegesen telt, metzetében ellipszissel közelíthető karrvályúk hidraulikus sugarát és a vízszállítás szempontjából hatékony keresztmetszetét. Ezekre alapozva nomogramokat mutatunk be az áramló víz sebességének ill. hozamának gyors kiszámítására.

A probléma megfogalmazása

Magas-hegységi karsztos felszíneken gyakran találkozunk különböző hosszúságú vályúkkal, karros csatornákkal. Mivel ezek a csatornák rendszerint mélybe vezető kúrtókban végződnek és felső szakaszuk általában vízgyűjtő-medenceszerűen szétterül feltételezhető, hogy működésük idején jelentős mennyiségű vizet szállítanak. Ez a víz agresszív kémiai jellege révén részben a mészkőhegység földalatti járatait, részben magukat a csatornákat tágítja, bővíti. Következésképpen e csatornák kialakulásának tanulmányozása során nem szabad figyelmen kívül hagyni vízszállító képességüket, azaz ismerni kell, hogy milyen sebességgel, milyen hozammal áramolhat bennük a víz.

A vízhozam ismeretében pl. megállapítható a vályú vízgyűjtő területének kiterjedése, vagy meghatározható, hogy adott mederteltség esetén milyen csapadékhozam jellemezhetette a szóban forgó területet, ill. kiszámítható, hogy adott csapadékhozam esetén mennyi ideig folyhatott víz csatornában. A vályúbeli áramlási sebesség birtokában pedig (akár már elemi karsztkorróziós képletek felhasználásával) számszerű becslések adhatók a meder tágulásának ütemére nézve.

A karrcsatornák működésének ill. oldódásának kérdése úgy is felvethető, hogy adott időtartamú, adott csapadékhozamú vízutánpótlódás esetén milyen mederteltségre lehet számítani, ill. mekkora lesz a csatorna bővülése ezen idő alatt.

Mindezen feladatok hidraulikai szempontból négy kérdés kidolgozását követelik meg.

1. Meghatározandó adott alakú, adott mederteltségű vályú áteresztő képessége (azaz vízhozama) és a benne folyó víz sebessége.

2. Meghatározandó, hogy adott vízgyűjtő területről, adott intenzitású csapadék esetén milyen vízhozamú patakoknak kell a csatornán átfolyjni.

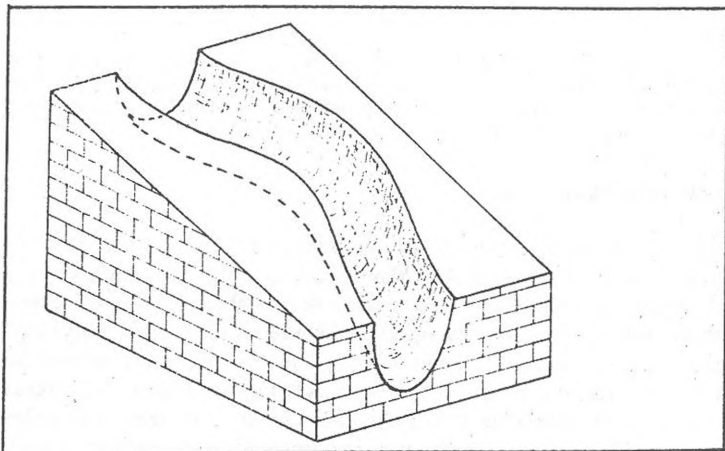
3. Adott mederkitöltöttség mellett, adott agresszivitást feltételezve időegység alatt mennyivel bővül a csatorna.

4. Meghatározandó, hogy adott éves csapadékhozam és adott csapadék intenzitás estében mekkora az évenkénti effektív működési idő, ill. ennek alapján az évi átlagos mederbővülés.

Amennyiben táblázatok ill. nomogramok e négy kérdésre választ adnak, úgy számos karsztkorróziós feladat megoldására nyílik lehetőség.

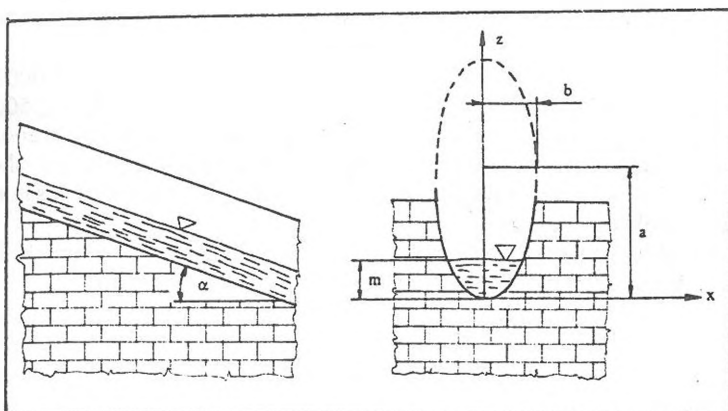
A karrvályúk idealizált modellje

Bár a valóságban a karcsatornák viszonylag bonyolult, kanyargós, változó keresztmetszetű, szabálytalan alakú mélyedések (1. ábra), első lépésben mégis közelíthetők viszonylag egyszerű geometriai alakzatokkal.



1. ábra: Egy valódi karrvályú rajza

A legegyszerűbb, de a valóságot már viszonylag jól közelítő alak az ellipszis keresztmetszetű, egyenes nyomvonalú, állandó keresztmetszetű, henger alakú vályú. Jelölje e vályú lejtőszögét a , az ellipszis függőleges- és vízszintes tengelyét a ill. b , a csatorna vízmélységét m (2. ábra).



2. ábra: A csatornák idealizált modelljének vázlata

Felhasználandó fizikai törvények

A csatornában áramló víz sebességét a szabad felszíni áramlással foglalkozó szakirodalom *CHEZY* (*BAÁN*, 1973) nyomán az alábbi képlettel határozza meg:

$$v = k \cdot \sqrt{r \cdot \sin \alpha}, \quad (1)$$

ahol

v – a víz sebessége;

r – a csatorna hidraulikus sugara;

k – a csatorna felületi érdességétől és hidraulikus sugarától függő tényező.

k értékére a különböző szerzők eltérő – tapasztalati – képleteket adnak meg.

BAZIN és *KUTTER* – (*BAÁN*, 1913) szerint pl.

$$k = \frac{\sqrt{C}}{1 + \sqrt{\frac{D}{r}}}, \quad (2)$$

ahol C és D a csatorna felületének simaságától függő tényezők. Számértékük:

BAZIN szerint $C=7570 \text{ m/s}^2$, *KUTTER* szerint pedig $C=10\,000 \text{ m/s}^2$. *BAZIN*

a viszonylag sima, *KUTTER* a durvább felületű csatornákkal foglalkozott.

BAZIN szerint D értéke a főbb csatorna-típusok esetére a következő:

Acél vagy műanyag cső	$D=0,0036 \text{ m}$
Sima, rakott falazat	$D=0,0256 \text{ m}$
Betonfal	$D=0,2116 \text{ m}$
Földcsatorna.	$D=0,7225 \text{ m}$
<i>Kutter</i> az alábbi csatorna-típusokra adta meg D értékét:	
Sziklásmedrű csatorna	$D=1,5625 \text{ m}$
Szabályos földcsatorna	$D=2,2500 \text{ m}$
Kavicsos földcsatorna	$D=3,0625 \text{ m}$

Patak, folyó

D=4,0000 m

Benőtt medrű, hordalékos vízü csatorna

D=6,2500 m

A karrcsatornák besorolása ebbe a rendszerbe meglehetősen nehéz, szerencsés lenne erre vonatkozó in situ méréseket végezni. Morfológiai analógiák alapján ajánlatos a KUTTER által vizsgált csatornák közül a sziklásmedrű csatornára vonatkozó adatokat alkalmazni.

Egy szabadfelszínű vízfolyás hidraulikus sugara alatt a vízzel kitöltött mederkeresztmetszet és a nedvesített mederkerület hányadosát értjük:

$$r = \frac{A}{s}, \quad (3)$$

ahol

A – a vízzel kitöltött meder-keresztmetszet;

s – a nedvesített mederkerület hossza.

Az átlagos vízhozam

$$\dot{Q} = v \cdot A. \quad (4)$$

A vályúk hidraulikus sugarának meghatározása

A meder keresztmetszetének területe. A karrvályú keresztmetszvényének egyenlete (a 2. ábrát figyelembe véve):

$$\frac{x^2}{b^2} + \frac{(z-a)^2}{a^2} = 1. \quad (5)$$

A meder effektív keresztmetszete:

$$A = \int_{z=0}^m 2 \cdot x(z) dz, \quad (5)$$

ahol

$$x = b \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{z}{a} - \left(\frac{z}{a}\right)^2}, \quad (6)$$

melyet az (5)-be helyettesítve

$$A = \int_{z=0}^m 2 \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{z}{a} - \left(\frac{z}{a}\right)^2} dz. \quad (7)$$

Az integrál kiszámításánál alkalmazzunk $\frac{z}{a}$ helyettesítést, és ezzel össz-

hangban vezessük be $\kappa = \frac{m}{a}$, ill. a $\lambda = \frac{b}{a}$ jelöléseket. κ hidrológiai szóhasználatnál *mederteltség*nek mondható, λ pedig az *ellipszis excentricitása*.

E jelölésekkel a meder keresztmetszete

$$A = \int_{z=0}^{\kappa} 2 \cdot \lambda \cdot a^2 \cdot \sqrt{2 \cdot u - u^2} \, du. \quad (8)$$

a kihasználva, hogy

$$\int \sqrt{2u - u^2} \, du = \frac{u-1}{2} \sqrt{2u - u^2} - \arcsin(1-u), \quad (9)$$

végül a csatorna keresztmetszetére

$$A = \lambda \cdot \left[\frac{\pi}{2} - \arcsin(1-\kappa) + (\kappa-1)\sqrt{2\kappa - \kappa^2} \right] \cdot a^2 \quad (10)$$

kifejezést nyerjük.

Vezessük be az

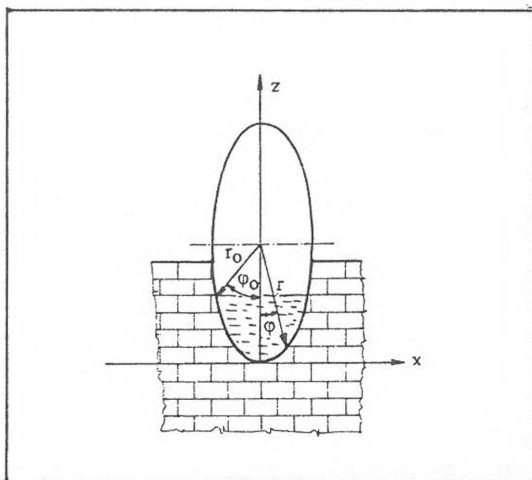
$$F(\kappa, \lambda) = \lambda \cdot \left[\frac{\pi}{2} - \arcsin(1-\kappa) + (\kappa-1)\sqrt{2 \cdot \kappa - \kappa^2} \right] \quad (11)$$

segédfüggvényt. Így a meder keresztmetszete

$$A = F(\kappa, \lambda) \cdot a^2 \quad (12)$$

képlettel állítható elő.

A meder nedvesített kerülete. A nedvesített kerület meghatározása érdekében vezessünk be poláris koordináta-rendszert, melynek origója a meder alakját közelítő ellipszis középpontjában van, $\varphi = 0$ tengelye pedig függőlegesen lefelé mutat (3. ábra).



3. ábra: A meder nedvesített kerületének számításához szükséges poláris koordináta-rendszer elhelyezkedése

A kétféle koordináta-rendszer közötti átszámítási képletek a következők:

$$x = r \cdot \sin \varphi$$

$$z = a - r \cdot \cos \varphi, \quad (13)$$

melyeket az (5)-be helyettesítve az ellipszis egyenletére

$$\frac{r^2}{b^2} \sin^2 \varphi + \frac{r^2 \cdot \cos^2 \varphi}{a^2} = 1 \quad (14)$$

összefüggést nyerjük. Kifejezve belőle r-t:

$$r = \frac{b}{\sqrt{\sin^2 \varphi + \left(\frac{b}{a}\right)^2 \cdot \cos^2 \varphi}}. \quad (15)$$

Kihasználva a már korábban bevezetett

$$\lambda = \frac{b}{a} \quad (16)$$

új változó adta összevonási lehetőséget, az ellipszis egyenlete tömörebben írható:

$$r = \frac{b}{\sqrt{\sin^2 \varphi + \lambda^2 \cdot \cos^2 \varphi}}. \quad (17)$$

A nedvesített terület az ellipszis $\pm \varphi_0$ határok között vett ívhossza, amely az ívhossz számítási képlete szerint:

$$s = \int_{\varphi=0}^{\varphi_0} \sqrt{r^2 + \left(\frac{dr}{d\varphi}\right)^2} d\varphi. \quad (18)$$

A (17)-be r-helyébe a (16)-ot írva, elvégezve a (17)-integranduszában kijelölt deriválást, az ívhosszra az alábbi integrált kapjuk:

$$s = \int_{\varphi=0}^{\varphi_0} \sqrt{r^2 + b^2 \cdot \left(\frac{2 \sin \varphi \cdot \cos \varphi - 2\lambda^2 \cos \varphi \cdot \sin \varphi}{2 \cdot \sqrt{\sin^2 \varphi + \lambda^2 \cdot \cos^2 \varphi}}\right)^2} d\varphi. \quad (19)$$

Hosszas átrendezések után a (18)

$$s = 2 \cdot b \cdot \int_0^{\varphi_0} \frac{\sqrt{\sin^4 \varphi + \lambda^4 \cos^4 \varphi + (1 + \lambda^4) \cdot \sin^2 \varphi \cdot \cos^2 \varphi}}{2 \cdot \sqrt{\sin^2 \varphi + \lambda^2 \cdot \cos^2 \varphi}} d\varphi. \quad (20)$$

alakba hozható.

Az integrálás elvégzése előtt még meg kell határozni az integrál felső határát. A nedvesített terület legfelső pontjára felírható az alábbi egyenlet:

$$a - r(\varphi_0) \cdot \cos \varphi_0 = m. \quad (21)$$

r helyére beírva a (16) által definiált függvényt:

$$a - \frac{b}{\sqrt{\sin^2 \varphi_0 + \lambda^2 \cdot \cos^2 \varphi_0}} \cdot \cos \varphi_0 = m, \quad (22)$$

majd φ_0 -ra megoldva az integrálás felső határául

$$\varphi_0 = \arctg \left(\frac{\lambda}{\kappa - 1} \sqrt{2\kappa - \kappa^2} \right) \quad (23)$$

kifejezést nyerjük.

Vezessük be a

$$G(\kappa, \lambda) = \int_0^{\varphi_0 = \arctg \left(\frac{\lambda}{\kappa - 1} \sqrt{2\kappa - \kappa^2} \right)} 2 \cdot \lambda \cdot \frac{\sqrt{\sin^4 \varphi + \lambda^4 \cos^4 \varphi + (1 + \lambda^4) \cdot \sin^2 \varphi \cdot \cos^2 \varphi}}{2 \cdot \sqrt{\sin^2 \varphi + \lambda^2 \cdot \cos^2 \varphi}^3} d\varphi \quad (24)$$

segédfüggvényt. Így a nedvesített kerület viszonylag tömören kifejezhető:

$$s = G(\kappa, \lambda) \cdot a \quad (25)$$

Tehát a vályú hidraulikus sugara a (11) és (24) hányadosaként előállítva:

$$r = \lambda \frac{F(\kappa)}{G(\kappa, \lambda)} \cdot a. \quad (26)$$

Látható, hogy a hidraulikus sugár a (25) szerint két tényezőbből áll. Az első az ellipszis méretétől független, csak az ellipszis excentricitását és a mederteltséget tartalmazza változóként. A második tag viszont csak a mederteltséget foglaló ellipszis függőleges tengelyétől függ. Ennek megfelelően (a táblázatos kiértékelés kényelmesebb használata érdekében) célszerű az első tényezőt külön, és pedig egy kétváltozós függvényként előállítani. A (25) alapján tehát

$$H(\kappa, \lambda) = \frac{\frac{\pi}{2} - \arcsin(1 - \kappa) + (\kappa - 1)\sqrt{2\kappa - \kappa^2}}{2 \cdot \int_0^{\varphi_0 = \arctg \left(\frac{\lambda}{\kappa - 1} \sqrt{2\kappa - \kappa^2} \right)} \frac{\sqrt{\sin^4 \varphi + \lambda^4 \cos^4 \varphi + (1 + \lambda^4) \cdot \sin^2 \varphi \cdot \cos^2 \varphi}}{2 \cdot \sqrt{\sin^2 \varphi + \lambda^2 \cdot \cos^2 \varphi}^3} d\varphi} \quad (27)$$

A hidraulikus sugár ennek megfelelően

$$r = H(\kappa, \lambda) \cdot a. \quad (28)$$

A csatornában folyó víz sebessége és hozama

A (28) összefüggést az (1) ill. (2) egyenletekbe helyettesítve a víz sebességére

$$v = \frac{\sqrt{C}}{1 + \sqrt{\frac{D}{H(\kappa, \lambda) \cdot a}}} \cdot \sqrt{H(\kappa, \lambda) \cdot a \cdot \sin \alpha} \quad (29)$$

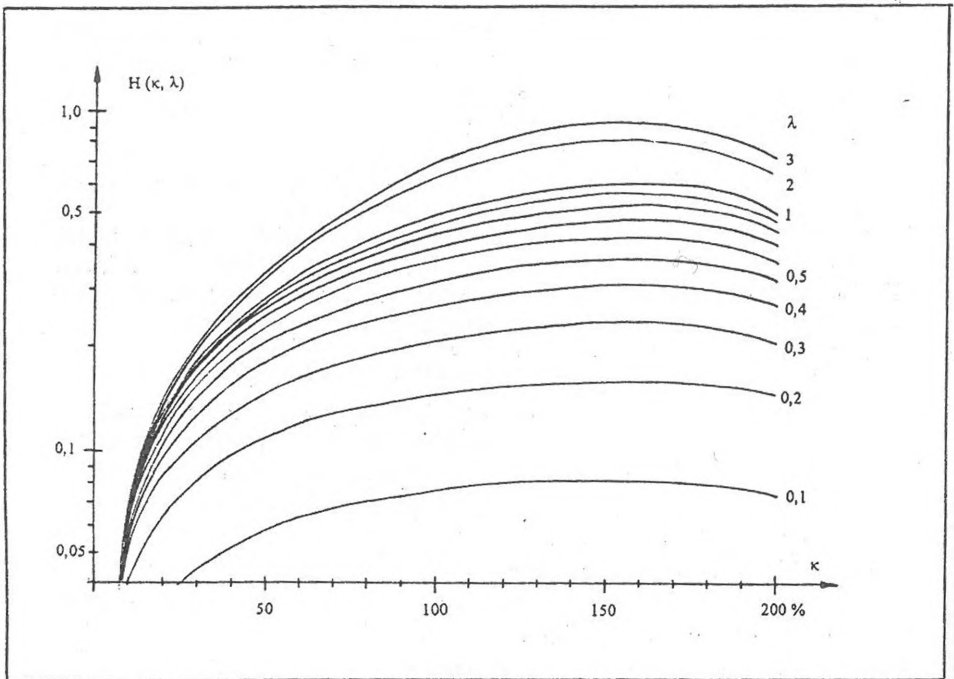
kifejezést nyerjük.

Az átlagos vízhozamot a (4) segítségével számíthatjuk, ha v és A helyébe a (28) ill. (12)-t helyettesítjük:

$$\dot{Q} = \frac{\sqrt{C} \cdot F(\kappa, \lambda)}{1 + \sqrt{\frac{D}{H(\kappa, \lambda) \cdot a}}} \cdot \sqrt{H(\kappa, \lambda) \cdot a^5 \cdot \sin \alpha} \quad (30)$$

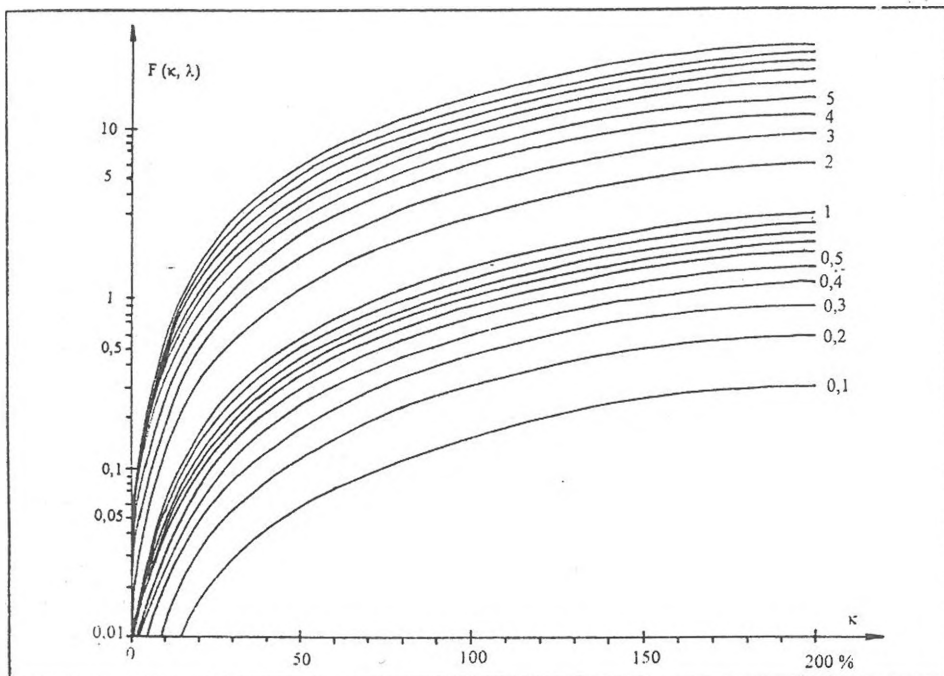
A levezetett összefüggések kvalitatív és kvantitatív kiértékelése

E rövid tanulmány keretében meghatároztuk az ellipszis-szelettel közelíthető keresztmetszetű karcsatornák hidraulikus sugarát a vízfolyás mederteltségének és az ellipszis excentricitásának függvényében.



4. ábra: A hidraulikus sugar $H(\kappa, \lambda)$ tényezője, a κ mederteltség és a meder λ excentricitása függvényében

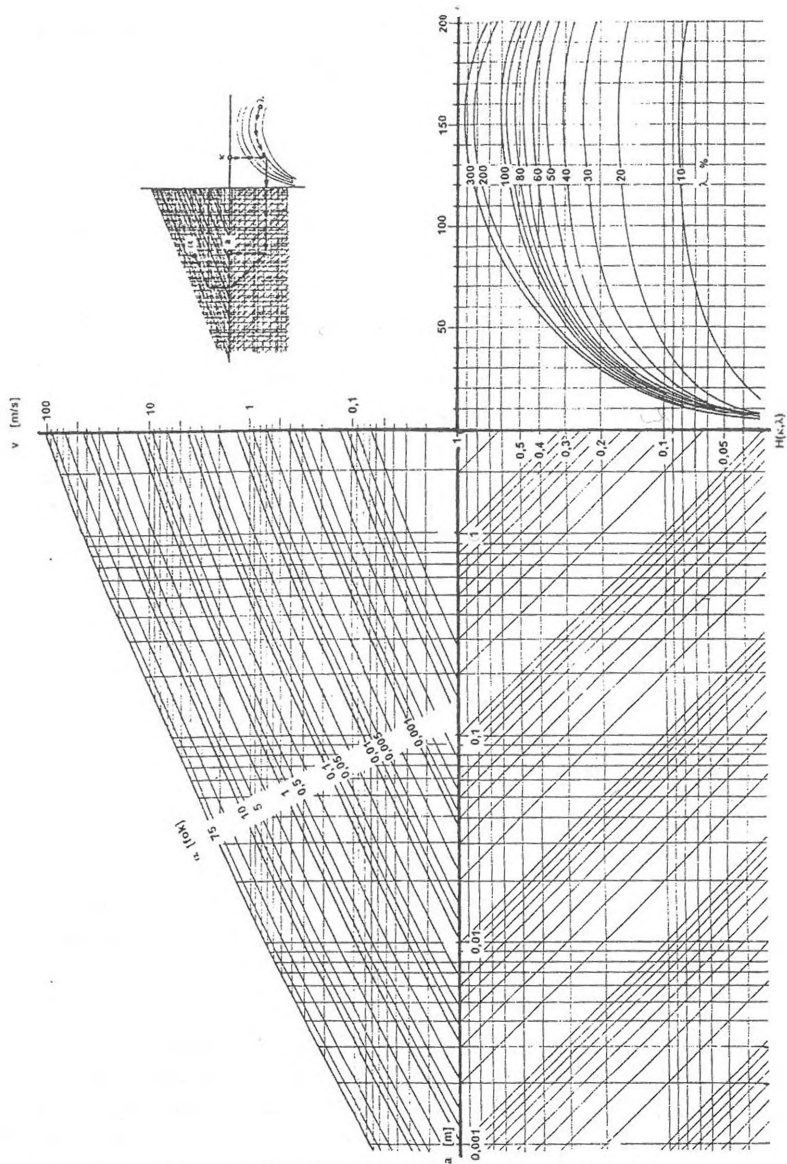
Kiderült, hogy a hidraulikus sugár nem állítható elő (zárt alakban), elemi függvényekkel ezért meghatározásához számítógépre volt szükség. A numerikus kiértékelés eredményét a 4. és 5. ábrán ismertetjük.



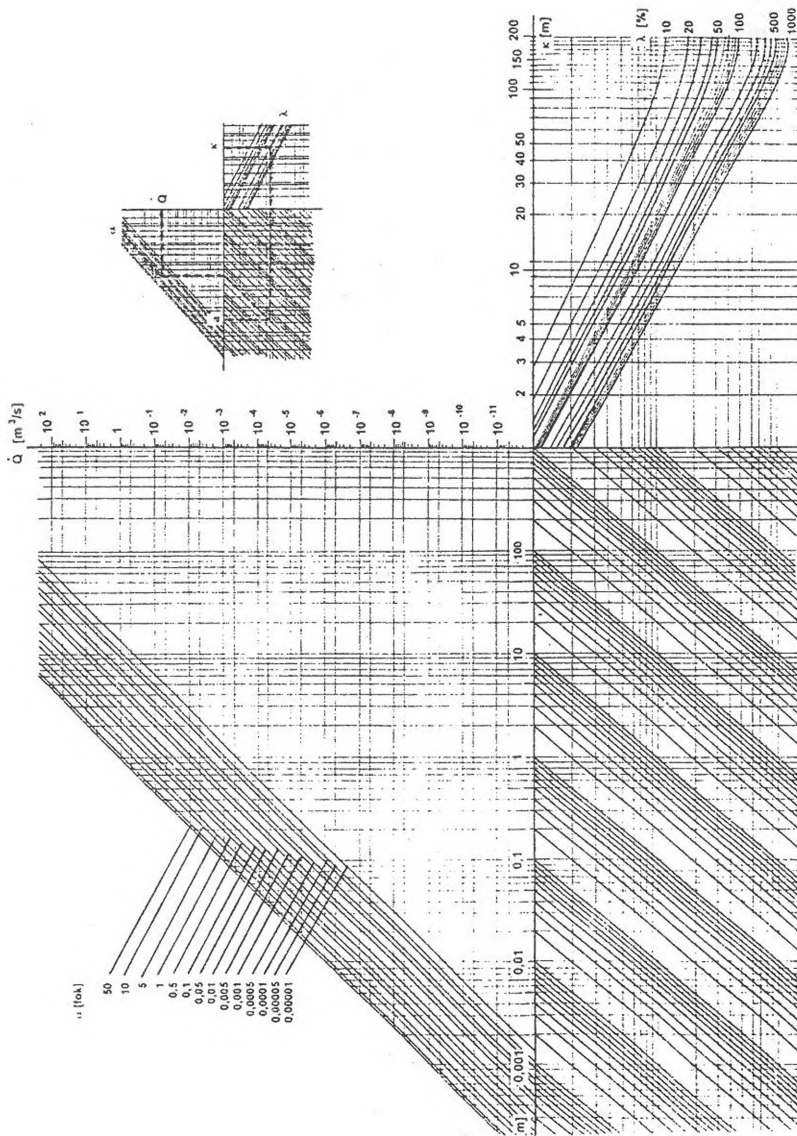
5. ábra: A csatorna vízzel kitöltött keresztmetszetének $F(\kappa, \lambda)$ tényezője, a κ mederteltség és a meder λ excentricitása függvényében

A mederben folyó víz sebességét a (29) összefüggés alapján szerkesztett nomogram segítségével határozhatjuk meg, melyet a 6. ábra mutat. A nomogram bemenő paraméterei a vályú szelvényét közelítő ellipszis nagytengelye és excentricitása, a mederteltség és a csatorna lejtése. Ezek ismeretében, a nomogram jobb felső mezejében látható kis segédábra szerinti útvonalat követve leolvashatjuk a víz sebességét. E nomogram segítségével az is meghatározható, hogy egy adott geometriájú csatornát milyen magassáig tölt ki adott sebességű víz.

A vályú vízhozamának megállapítására (a (30) szerint) a 7. ábrán közölt nomogram használható. Használata ebben az esetben is a mellékelt segédábra alapján történhet.



6. ábra: A csatornában folyó víz sebességének (v) meghatározására szolgáló nomogram. Bemenő paraméterek: a csatorna profilját közelítő ellipszis excentricitása (λ) és függőleges helyzetű tengelye (a), a mederteltség (κ) és a csatorna lejtésének szöge (α)



7. ábra: A csatornában folyó víz hozamának (Q) meghatározására szolgáló nomogram. Bemenő paraméterek: a csatorna profilját közelítő ellipszis excentricitása (λ) és függőleges helyzetű tengelye (a), valamint a mederteltség (κ)

Irodalom

- BAÁN, Á.*: (1973) Áramlástan. Tankönyvkiadó, Budapest,
SCHMIEDER, A.,-KESSERŰ, ZS., et. al.: (1975) Vízveszély és vízgazdálkodás a
bányászatban. Műszaki könyvkiadó, Budapest,

SZABAD, TALAJJAL NEM BORÍTOTT MÉSzkŐFELSZÍN KARSZTOSODÁSÁNAK ÁLTALÁNOS EGYENLETRENDSZERE

SZUNYOGH GÁBOR

Berzsényi Dániel Tanárképző Főiskola, Földrajz Tanszék
9700 Szombathely, Károlyi G. tér 4.

Összefoglalás:

A tanulmány egy olyan, igen széles körben alkalmazható egyenletrendszer levezetését mutatja be, mely alkalmas a szabad mészkőfelszínek oldódásával létrejött formák kialakulási folyamatának matematikai modellezésére. Az egyenletekben (meghatározandó) ismeretlennek tekintendő a kőzetfelület alakját megadó függvény; a kőzetfelület süllyedési sebessége, a leoldódó mészkő tömeg-áram-sűrűsége, a szivárgó víz kalciumkarbonát tartalmának koncentrációja, a víz áramlási sebessége és a folyadékfilm vastagsága. Az egyenletek a mészkőfelszín kezdeti alakjának és a mészkőre hulló csapadék hozamának függvényében más-más formaellenőről adnak számot.

Bevezetés

A karsztos folyamatok egy csoportja olyan körülmények között zajlik, amikor is az oldódásnak kitett felület egybeesik a kőzetösszetétel makroszkopikus alakját meghatározó felülettel, azaz az oldódás talajréteg vagy törmelékes fedőközet nélkül, közvetlenül a kőzet felszínén történik. Ilyen folyamat zajlik pl. a karmezők kialakulása során, karrcsatornák, madáritatók, stb. kialakulásakor, ill. vertikális elemek (kürtők, zsombolyok) oldódása alatt. Bár e formák látszólag jelentősen eltérnek egymástól, kialakulásuk mégis egységes differenciálegyenlettel írható le.

Jelen tanulmányban ennek a differenciálegyenlet-rendszernek a felállításával foglalkozunk. Az egyenlet-rendszer (általános érvényénél fogva) viszonylag bonyolult, azonban adott (konkrét) esetben értelemszerűen leegyszerűsödik, ha kihasználjuk a feladattal kapcsolatos szimmetriákat vagy más egyszerűsítő feltételeket.

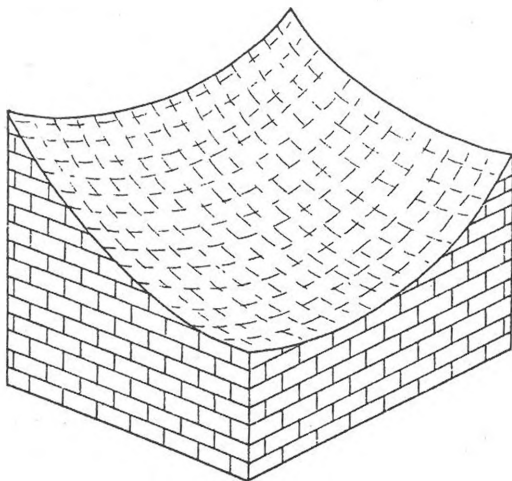
Egy ilyen differenciálegyenlet-rendszer levezetése azért indokolt, mert egyrészt egységbe gyűjti mindazon (konkrét feladataik miatt sokszor látszólag egymástól jelentősen elkülönülő) törekvéseket, melyek a mészkő szabadfelszínű oldódását tanulmányozták (VERESS, M.-PÉNTÉK, K 1990, 1992. DUBLJANSZ-KIJ, 1989. JAKUCS, 1971. stb), másrészt számos új, eddig nem tanulmányozott jelenség elméleti vizsgálatára ad módot. Alapvető újszerűsége abban rejlik, hogy lehetőséget ad a különböző karsztformák kialakulásának, morfológiai jegyeik magyarázatának elméleti modellezésére.

A szabad mészkőfelszín karsztosodásának modellje

Hulljon az 1. ábrán bemutatott mészkőfelszínre \bar{q}_v hozamú csapadék. (\bar{q}_v megadja a csapadékhullás irányát és ezen irányra merőleges, egységnyi felületre, időegység alatt hulló víz térfogatát.) Ennek hatására a kőzetfelületen víz fog folyni, mégpedig jó közelítéssel a felület esésvonalai mentén. (Ez azért közelítés, mert ha az esésvonal vízszintes vetülete görbe vonal, akkor a centrifugális erő a vírrészecskéket letéríti az esésvonalakról, azaz a részecskék "kicsapódnak" a kanyarban). A felületen folyó víz azonban nem csak a csapadékból származik, hanem mennyiségét gazdagítja a vizsgált területre kívülről érkező folyadék is.

Mint ahogy a levegő 0,03 % széndioxidot tartalmaz, ezért az esővíz enyhén szénsavassá válik, és a mészkövet oldja. Miközben a víz a kőzeten szivárog, agresszivitása (a mészkő feloldása miatt) egyrészt csökken, másrészt a friss, széndioxidban gazdag csapadékvíz hozzáadódása révén növekszik. Végeredményben a folyadékfilm agresszivitása a kőzetfelület különböző pontjaiban egymástól eltérő lesz. Mivel a felszín lepusztulása (korrodálódása) annál gyorsabb, minél nagyobb az adott területen folyó víz oldó képessége, ezért a kőzetfelület alakja térben és időben változatos lesz.

E tanulmány keretében meghatározzuk annak a függvénynek a differenciálegyenletét, melynek grafikonja éppen a kőzet felületének alakját rajzolja ki.



1. ábra: Részlet az oldódásnak kitett mészkőtestből

A szabad mészkőfelszín karsztosodásának modellezése során a következő hatásokat vesszük figyelembe.

1. A mészkőből időegység alatt eltávozó kalcium-karbonát tömege (azaz az oldódás sebessége) egyenesen arányos a felette áramló víz agresszivitásával, tehát az oldat telítési és tényleges kalcium-karbonát koncentrációjának különbségével.

2. A felületen szivárgó vízfilm kalcium-karbonát koncentrációját növeli a feloldódó mészkő tömege, de csökkenti az oldószer tömegének (a felületre hulló csapadékból származó) növekedése.

3. A mészkőfelszín adott pontjának időegység alatti elmozdulása (lepusztulása) egyenesen arányos az arról a helyről időegység alatt eltávozott kőzet térfogatával. Más szavakkal fogalmazva: ahol gyorsabb a korrózió, ott gyorsabb a felület denudációja is.

4. A folyadékfilm áramlási sebességének (adott pontbeli) irányát a felület dőlésiránya, nagyságát pedig a folyadékfilm vastagsága, a terület dőlésszöge és vízhozama határozza meg.

5. A folyadékfilm vastagságát (a szabadfelszíni, viszkózus folyadékok áramlási törvényei alapján) alapvetően a víz hozama és a vízvezető pályák lejtőszöge befolyásolja.

A számítások során adott mennyiségnek tekintjük

- a felület peremén, a szomszédos területekről beáramló víz sebességét;
- a csapadék hullás irányát és nagyságát (hozamát);
- az oldódás reakciósebességét megadó kémiai paramétereket;
- a víz telítési kalcium-karbonát koncentrációját;
- elemi hidraulikai és kőzettani paramétereket.

Az egyenletekben ismeretlen mennyiségként tartjuk számon

- a mészkőfelszín felületét megadó függvényt;
- a szivárgó víz sebességének irányát és nagyságát a kőzetfelület tetszőleges pontjában;
- a vízben oldott kalcium-karbonát koncentrációját a kőzetfelület valamennyi pontjában;
- a kőzet felületén szivárgó folyadékfilm vastagságát a felület mentén;
- a mészkőfelszín dőlésirányát és dőlésszögét (tér- és idő függvényében).

Valamennyi ismeretlen mennyiség matematikailag a három térkoordináta ill. az idő függvényének tekintendő.

A mészkőfelszín matematikai megadásának módja

A felszín alakját megadó függvényt – az általánosság csorbításának elkerülése érdekében – koordináta-mentes (azaz a koordináta-rendszerek típusára, elhelyezkedésére nézve invariáns) formában keressük lehetővé téve, hogy egy-egy adott feladat megoldása során a feladathoz legjobban illeszkedő koordináta-rendszert alkalmazzassuk. \vec{r} -rel jelölve a felület tetszőleges pontjába mutató helyvektort, a felület egyenletét legcélszerűbb

$$t = F(\vec{r}) \quad (1)$$

alakban keresni, ahol t alatt az idő, $F(\vec{r})$ alatt pedig egy vektor-skalár függvény értendő. Descartes koordináták esetén pl.

$$t = F(x, y, z). \quad (2)$$

Az (1) explicite megadja azt az időpillanatot, amikor a felület "áthalad" az \vec{r} helyvektorral jellemzett ponton. Impliciten viszont arról is számot ad, hogy az adott t időpillanatban mely x, y, z koordinátájú pontok találhatóak a felületen. Ha az $F(x, y, z)$ függvény (differenciál-egyenletének megoldásaként) ismertté válik, akkor a (2)-ből z -t kifejezve megkapjuk z -t explicite az x és y térkoordináták, valamint a t idő függvényében:

$$z = G(x, y, t). \quad (3)$$

A mészkőfelszín (1)-szerinti felírása azonban az általánosság szempontjából kedvezőbb, mint a (3), mert egyik térkoordinátáját sem tűnteti ki a többi "rovására". A (3) pl. z -t kitüntetett koordinátának tekinti, holott lehetséges, hogy egy adott esetben x vagy y a feladathoz legkedvezőbbben illeszkedő függő változó.

Az (1) alkalmas a kőzetfelszín matematikai megadására

$$t = F(r, \varphi, z) \quad (4)$$

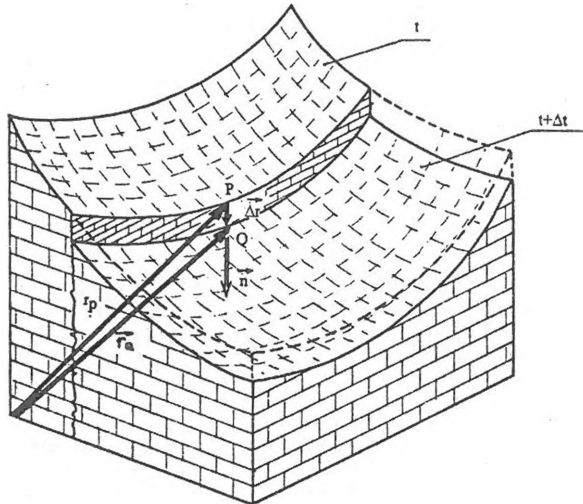
alakban henger- ill.

$$t = F(R, \varphi, \vartheta) \quad (5)$$

egyenlettel kifejezve gömbi koordináta-rendszer a használata esetén is.

A mészkőfelszín elmozdulásának sebessége

Tekintsük a mészkőfelszín valamely t és az azt követő $t + \Delta t$ időponthoz tartozó helyzetét (2. ábra).



2. A kőzetfelszín pontjainak elmozdulása a felület oldódása során

Jelöljük ki a t időpillanathoz tartozó felületen egy P , a $t + \Delta t$ időponthoz tartozóan pedig egy Q pontot és pedig olyan módon, hogy a PQ szakasz legyen merőleges a $\Delta \vec{r} = \Delta r \cdot \vec{n}$ felület P pontbeli érintő-síkjára (azaz a PQ szakasz essen egybe a felület normálisával). Mutasson az \vec{r}_P a P , a \vec{r}_Q Q pontba. A P -ből Q -ba mutató $\Delta \vec{r}$ vektor

$$\Delta \vec{r} = \vec{r}_Q - \vec{r}_P. \quad (6)$$

A fent mondottak értelmében

$$\Delta \vec{r} = \Delta r \cdot \vec{n}, \quad (7)$$

ahol Δr a $\Delta \vec{r}$ vektor abszolút értékét jelöli. Mármost a közfelfelület elmozdulásának sebességét az alábbi módon értelmezzük:

$$\vec{w} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}. \quad (8)$$

Fejessük ki \vec{w} -t $F(\vec{r})$ gradiensével. Ennek érdekében rendezzük át a (8)-at a következőképpen:

$$\vec{w} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} \cdot \vec{n} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\frac{\Delta t}{\Delta r}} \vec{n}. \quad (9)$$

Ha Δt nullához tart, akkor a Q pont minden határon túl közeledik a P ponthoz, azaz a $\Delta \vec{r} = \vec{r}_Q - \vec{r}_P$ vektor is nullához tart. Írhatjuk tehát, hogy

$$\vec{w} = \lim_{\Delta r \rightarrow 0} \frac{1}{\frac{\Delta t}{\Delta r}} \vec{n}. \quad (10)$$

A határérték-képzés szabályai értelmében

$$\lim_{\Delta r \rightarrow 0} \frac{1}{\frac{\Delta t}{\Delta r}} = \frac{1}{\lim_{\Delta r \rightarrow 0} \frac{\Delta t}{\Delta r}}, \quad (11)$$

(hacsak a jobb oldalon álló kifejezés nevezője nem nulla), így

$$\vec{w} = \frac{1}{\lim_{\Delta r \rightarrow 0} \frac{\Delta t}{\Delta r}} \vec{n}. \quad (12)$$

Δt kifejezhető az $F(\vec{r})$ függvény segítségével. Mivel a P pont a t időpillanathoz tartozó felületen van, így

$$F(\vec{r}_P) = t, \quad (13)$$

a Q pont pedig a $t + \Delta t$ -vel jellemezhető felületen található, így

$$F(\vec{r}_Q) = t + \Delta t. \quad (14)$$

Képezve a (14) és a (13) különbségét:

$$\Delta t = F(\vec{r}_Q) - F(\vec{r}_P). \quad (15)$$

Kihasználva a (6) és (7) egyenleteket

$$\Delta t = F(\vec{r}_p + \Delta r \cdot \vec{n}) - F(\vec{r}_p). \quad (16)$$

Δt -t a (12) nevezőjébe helyettesítve

$$\bar{w} = \frac{1}{\lim_{\Delta r \rightarrow 0} \frac{F(\vec{r}_p + \Delta r \cdot \vec{n}) - F(\vec{r}_p)}{\Delta r}} \vec{n} \quad (17)$$

képlethez jutunk. Észrevehetjük, hogy a (12) nevezőjében álló kifejezés éppen $F(\vec{r})$ \vec{n} irányú deriváltja:

$$\lim_{\Delta r \rightarrow 0} \frac{F(\vec{r}_p + \Delta r \cdot \vec{n}) - F(\vec{r}_p)}{\Delta r} = \frac{\partial F}{\partial n}. \quad (18)$$

Ismert, hogy az iránymenti deriváltak kifejezhetők a deriválandó függvények gradienseként, tehát

$$\frac{\partial F}{\partial n} = \vec{n} \cdot \text{grad } F. \quad (19)$$

Mivel a felület \vec{n} normálisa egybeesik a gradiens irányával, ezért írható, hogy

$$\vec{n} = \frac{\text{grad } F}{|\text{grad } F|}. \quad (20)$$

Következésképpen

$$\frac{\partial F}{\partial n} = \text{grad } F \cdot \frac{\text{grad } F}{|\text{grad } F|} = \frac{\text{grad } F \cdot \text{grad } F}{|\text{grad } F|} = \frac{(\text{grad } F)^2}{|\text{grad } F|}. \quad (21)$$

A (21)-et visszaírva a (17)-be

$$\bar{w} = \frac{|\text{grad } F|}{(\text{grad } F)^2} \vec{n}. \quad (22)$$

\vec{n} helyébe a (20)-at helyettesítve, rendezés után a köztüfelszín elmozdulásának sebességére

$$\bar{w} = \frac{\text{grad } F}{(\text{grad } F)^2} \quad (23)$$

kifejezést nyerjük.

Az oldatba jutó mészke tömegáram-sűrűsége

A feloldódó mészke tömegáram-sűrűsége alatt a mészkefelszín területegységéről időegység alatt eltávozó mészke tömegét értjük:

$$q_k = \lim_{\Delta t \rightarrow 0, \Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta m_k}{\Delta t \cdot \Delta A}, \quad (24)$$

ahol Δm_k valamilyen Δt idő alatt a ΔA területű köztüfelszínről kioldódott kalcium-karbonát tömege.

Δm_K meghatározása érdekében jelöljük ki a fokozatosan lepusztuló kőzet t időpillanatbeli helyzetének felületén egy kicsiny ΔA területet. Mivel – korábbi jelöléseink értelmében – a kőzet felülete \bar{w} sebességgel oldódik, tehát Δt idő alatt

$$\Delta r = \bar{w} \cdot \bar{n} \cdot \Delta t \quad (25)$$

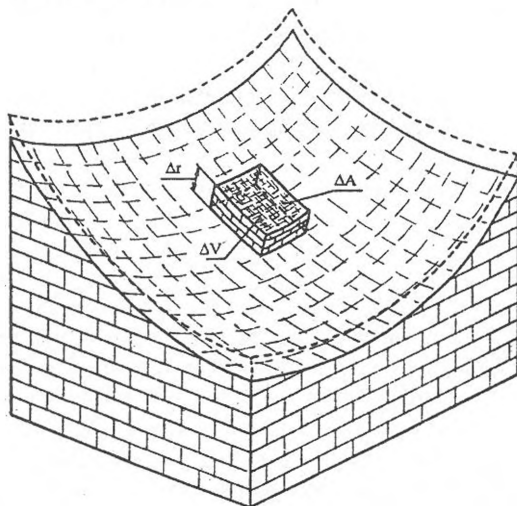
értékű lesz a denudáció. Ha ΔA elég kicsiny (azaz $\Delta A \rightarrow 0$), akkor a kőzet felszíne ΔA -n belül síkkal közelíthető, és \bar{w} értéke állandónak tekinthető. Következésképp a Δt idő alatt eltávozott mészkő által (eredetileg) elfoglalt térfogat (a 3. ábra szerint)

$$\Delta V = \Delta A \cdot \Delta r, \quad (26)$$

ill. az eltávozott kőzet tömege:

$$\Delta m_K = \rho_K \cdot \Delta V, \quad (27)$$

ahol ρ_K a mészkő sűrűsége.



3. ábra: A kőzetfelszín ΔA -nyi felületeleméről Δt idő alatt leoldódó mészkő által (eredetileg) elfoglalt térfogat szemléltetése

A (24), (25), és (26) figyelembe vételével

$$\Delta m_K = \rho_K \cdot \Delta A \cdot \bar{w} \cdot \bar{n} \cdot \Delta t, \quad (28)$$

melyet a (24)-be írva megkapjuk az oldódás során távozó kalcium-karbonát tömegáram-sűrűségét:

$$q_K = \lim_{\Delta t \rightarrow 0, \Delta A \rightarrow 0} \frac{\rho_K \cdot \Delta A \cdot \bar{w} \cdot \bar{n} \cdot \Delta t}{\Delta t \cdot \Delta A} \quad (29)$$

A (29) bizonyos átrendezések és határérték-képzés után

$$q_k = \bar{w} \cdot \bar{n} \quad (30)$$

alakba önthető. Figyelembe véve \bar{w} -nek a (22) által megadott alakját a (30)-ban kijelölt skalár szorzat

$$\bar{w} \cdot \bar{n} = \frac{|\text{grad } F|}{(\text{grad } F)^2} \bar{n} \cdot \bar{n} \quad (31)$$

-ként állítható elő. Kihhasználva, hogy $\bar{n} \cdot \bar{n} = 1$, végül a tömegáram-sűrűsége

$$q_k = \frac{P_k}{|\text{grad } F|} \quad (32)$$

összefüggést nyerjük.

A kőzetfelszínen szivárgó víz kalcium-karbonát koncentrációja

A folyadékfilmben oldott kalcium-karbonát koncentrációját egy olyan függvénnyel kellene megadni, mely csak két helykoordinátától (pl. x és y -től) függ, hiszen maga az áramlás is egy (kétdimenziós) felület mentén változik. Pl. "normál helyzetű" Descartes koordináta-rendszerben e függvény általános alakja

$$c = c(x, y, t), \quad (33)$$

mely kifejezi, hogy a vizsgált mészkő-test felületének x , y koordinátájú pontján, t -időpillanatban a szivárgó víz kalcium-karbonát koncentrációja pontosan $c(x, y, t)$.

Térjünk azonban el a koncentráció ilyen típusú felírási módjától kihhasználva, hogy a kőzetfelület adott pontbeli z magassága és a t idő között a (3) szerint egyértelmű kapcsolat van, ezért $c(x, y, t)$ (az általánosság csorbítása nélkül) előállítható a három térkoordináta $c(x, y, z)$ függvényében. Fizikailag ez úgy értelmezhető, hogy $c(x, y, z)$ megadja az oldat kalcium-karbonát koncentrációját abban az időpillanatban, amikor a karsztkorrózió miatt folyamatosan mozgó kőzetfelület éppen áthalad a tér x, y, z koordinátájú pontján. (Természetesen ez az időpillanat a (2) szerint meghatározható.) Legyen tehát a keresett függvény

$$c = c(x, y, z), \quad \text{midőn } t = F(x, y, z). \quad (34)$$

A (34) előnye, hogy benne csak térkoordináták szerepelnek, az idő viszont (legalább is explicite) nem, így lehetőségünk van arra, hogy folyadékfilmben oldott kalcium-karbonát koncentrációját az (1)-hez hasonlóan, a koordináta-rendszer elhelyezésétől ill. típusától függetlenül (invariáns alakban) adjuk meg:

$$c = c(\bar{r}), \quad \text{midőn } t = F(\bar{r}). \quad (35)$$

A (35) a (31)-től eltérően már nem két-, hanem három térdimenziós függvény. Értelmezése a következő. $c(\bar{r})$ megadja a folyadékfilm koncentrációját abban a pillanatban, amikor a kőzetfelület áthalad az \bar{r} helyvektorral jellemzett ponton. Alább kiderül, hogy ez a felírás mód sokkal általánosabb egyenletek szerkesztését teszi lehetővé, mint a koncentráció (33) szerinti előállítása.

Keressünk kapcsolatot a folyadékfilmben oldott kalcium-karbonát koncentrációja, a csapadékhozam és a mészkőfelületről eltávozó kőzet tömegáram-sűrű-

Keressünk kapcsolatot a folyadékfilmben oldott kalcium-karbonát koncentrációja, a csapadékhozam és a mészkőfelületről eltávozó kőzet tömegáram-sűrűsége között. Használjuk ki, hogy (tapasztalat szerint) a mészkőfelület elmozdulásának sebessége több nagyságrenddel kisebb, mint a rajta áramló víz sebessége. (A kőzet évente legfeljebb 1-2 milliméternyit oldódik, míg a víz néhány másodperc alatt tesz meg ugyanekkora utat).

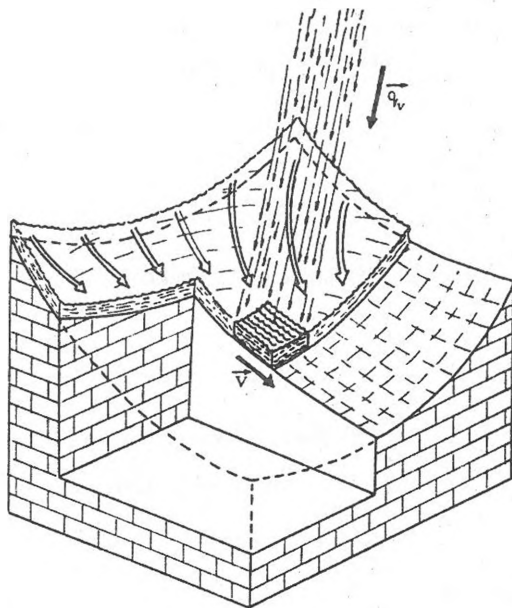
Vizsgáljuk meg, hogyan változik a víz koncentrációja a kőzetfelület különböző pontjaiban. Ennek érdekében jelöljünk ki a szivárgó vízrétegben egy A alapterületű, h magasságú (infinitezimálisan) kicsiny materiális térfogatot (4. ábra).

Az oldat koncentrációja (a koncentráció definíciójának értelmében):

$$c = \frac{m_K}{V}, \quad (36)$$

ahol m_K a kijelölt V térfogatban található kalcium-karbonát tömege. Midőn ez a térfogat az áramló vízzel együtt a felület mentén elmozdul, koncentrációja megváltozik, mert egyrészt növekszik a benne található oldott kalcium-karbonát tömege, másrészt hígul a csapadékból származó víz-utánpótlódás miatt. Mivel a materiális térfogat a vízrészecskékkal együtt halad, azért elmozdulása Δt idő alatt

$$\Delta \bar{r} = \bar{v} \cdot \Delta t. \quad (37)$$



4. ábra: A kőzetfelszínen áramló vízből kivágott materiális térfogat elhelyezkedése

Ha a materiális térfogat a t időpillanatban az \bar{r} helyvektorral jellemzett pont környezetében volt, akkor Δt idő elteltével nyilván az $\bar{r} + \Delta\bar{r}$ helyen lesz. Mivel a (35) értelmében az oldat koncentrációja az $\bar{r} + \Delta\bar{r}$ helyen más, mint az \bar{r} pontban volt, ezért értéke

$$\Delta c = c(\bar{r} + \Delta\bar{r}) - c(\bar{r}) \quad (38)$$

-rel megváltozik. Δc -t viszonyítva az eltelt Δt időhöz (kihasználva, hogy a (37) szerint $\Delta\bar{r} = \bar{v} \cdot \Delta t$), megkapjuk a koncentráció-változás sebességét:

$$\frac{\Delta c}{\Delta t} = \frac{c(\bar{r} + \bar{v} \cdot \Delta t) - c(\bar{r})}{\Delta t} \quad (39)$$

Állítsuk elő \bar{v} -t abszolút értékének és az áramlás \bar{e}_v irányának szorzataként:

$$\bar{v} = v \cdot \bar{e}_v, \quad (40)$$

így

$$\frac{\Delta c}{\Delta t} = \frac{c(\bar{r} + v \cdot \Delta t \cdot \bar{e}_v) - c(\bar{r})}{\Delta t} \quad (41)$$

Szorozzuk meg a (41) számlálóját és nevezőjét v -vel, így

$$\frac{\Delta c}{\Delta t} = v \cdot \frac{c(\bar{r} + v \cdot \Delta t \cdot \bar{e}_v) - c(\bar{r})}{v \cdot \Delta t} \quad (42)$$

Nyilván $v \cdot \Delta t = \Delta r$, ahol Δr $\Delta\bar{r}$ abszolút értéke, következésképp

$$\frac{\Delta c}{\Delta t} = v \cdot \frac{c(\bar{r} + \Delta r \cdot \bar{e}_v) - c(\bar{r})}{\Delta r} \quad (43)$$

Ha $\Delta t \rightarrow 0$, akkor is Δr nullához tart, azaz a (43) kifejezés nem más, mint c -nek \bar{e}_v irányú deriváltja:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta c}{\Delta t} = \lim_{\Delta r \rightarrow 0} \left\{ v \cdot \frac{c(\bar{r} + \Delta r \cdot \bar{e}_v) - c(\bar{r})}{\Delta r} \right\} = v \cdot \frac{\partial c}{\partial \bar{e}_v} \quad (44)$$

Az iránymenti derivált előállítható c gradienseként:

$$\frac{\partial c}{\partial \bar{e}_v} = \bar{e}_v \cdot \text{grad } c, \quad (45)$$

azaz

$$\frac{\Delta c}{\Delta t} = v \cdot \bar{e}_v \cdot \text{grad } c \quad (46)$$

A (40) szerint viszont $v \cdot \bar{e}_v = \bar{v}$, így végül a koncentráció megváltozására

$$\frac{dc}{dt} = \bar{v} \cdot \text{grad } c \quad (47)$$

összefüggést nyerjük.

A (47) által megfogalmazott differenciál-hányados a koncentráció u.n. materiális deriváltját jelöli, hiszen értelmezése során feltételeztük, hogy a szóban forgó materiális térfogat a folyadékkal együtt mozog.

A folyadékfilmben oldott kalcium-karbonát koncentrációjának változása előállítható a (36) alapján is:

$$\frac{dc}{dt} = \frac{d}{dt} \left\{ \frac{m_K}{V} \right\}. \quad (48)$$

Végezzük el a jobb oldalon álló hányados deriválását. Így

$$\frac{d}{dt} \left\{ \frac{m_K}{V} \right\} = \frac{1}{V} \cdot \frac{dm_K}{dt} - \frac{m_K}{V^2} \cdot \frac{dV}{dt}, \quad (49)$$

mely (rendezés után) a (48)-ba helyettesítve

$$\frac{dc}{dt} = \frac{1}{V} \cdot \frac{dm_K}{dt} - \frac{c}{V} \cdot \frac{dV}{dt} \quad (50)$$

kifejezést szolgáltatja.

Határozzuk meg az (50) egyes tényezőit!

Nyilván

$$V = A \cdot h. \quad (51)$$

m_K időderiváltja fizikailag a materiális térfogatban található kalciumkarbonát tömegének időegységre jutó megváltozásával egyenlő, amely megváltozás viszont csak a mészkőfelszín oldódásából származhat. Mivel a mészkő felszínéről egységnyi idő alatt q_K -nyi közet jut az oldatba, így az A felületről időegység alatt A -szor annyi, azaz

$$\frac{dm_K}{dt} = A \cdot q_K \quad (52)$$

-nyi oldódik fel.

V időderiváltja a derivált fogalmának értelmében a víz térfogatának egységnyi idő alatt bekövetkező megváltozása, azaz megegyezik az A felületre időegység alatt hullott csapadék térfogatával. Ha a csapadék tömegáram-sűrűségét \bar{q}_V -vel, a víz sűrűségét pedig ρ_V -vel jelöljük, akkor V deriváltjára

$$\frac{dV}{dt} = \frac{|\bar{q}_V|}{\rho_V} \cdot A \cdot \cos \alpha \quad (53)$$

kifejezést nyerjük. $\cos \alpha$ kifejezi, hogy a víz utánpótlódása szempontjából az A felületnek csak a csapadékhullás irányába eső vetületét kell figyelembe venni, mert a csapadék a közet felületére nem merőlegesen hanem α szög alatt hullik.

\bar{n}_V -vel jelölve a csapadékhullás irányát $\cos \alpha$ egy skalár-szorzatként írható fel:

$$\cos \alpha = \bar{n} \cdot \bar{n}_V, \quad (54)$$

(ahol \bar{n} a közetfelület normálisa). Az (54)-et az (53)-ba helyettesítve:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{|\bar{q}_V|}{\rho_V} \cdot A \cdot \bar{n} \cdot \bar{n}_V. \quad (55)$$

Természetesen $|\bar{q}_V| \cdot \bar{n}_V = \bar{q}_V$, így

$$\frac{dV}{dt} = \frac{A}{\rho_v} \cdot \bar{q}_v \cdot \bar{n}. \quad (56)$$

Az (52) és (56) egyenleteket az (50)-be helyettesítve:

$$\frac{dc}{dt} = \frac{l}{V} \cdot A \cdot q_K - \frac{c}{V} \cdot \frac{A}{\rho_v} \cdot \bar{q}_v \cdot \bar{n}. \quad (57)$$

V-t az (51)-ből az (57)-be írva, elvégezve a lehetséges egyszerűsítéseket:

$$\frac{dc}{dt} = \frac{q_K}{h} - \frac{c}{\rho_v \cdot h} \cdot \bar{q}_v \cdot \bar{n}. \quad (58)$$

Végül, ha az (58)-at a (47) bal oldalába helyettesítjük, akkor a szivárgó vízben oldott kalcium-karbonát koncentrációjára az alábbi differenciál-egyenletet kapjuk:

$$\bar{v} \cdot \text{grad } c = \frac{q_K}{h} - \frac{c}{\rho_v \cdot h} \cdot \bar{q}_v \cdot \bar{n}. \quad (59)$$

Az (59)-ből kiküszöbölhetjük \bar{n} -et a (20) figyelembe vételével:

$$\bar{v} \cdot \text{grad } c = \frac{q_K}{h} - \frac{c}{\rho_v \cdot h} \cdot \bar{q}_v \cdot \frac{\text{grad } F}{|\text{grad } F|}. \quad (60)$$

Az oldódás kémiai egyenlete

A mészkő oldódásának legegyszerűbb modellje szerint az oldódás annál gyorsabb, minél nagyobb az oldat telítési c_e és tényleges c koncentrációja közötti különbség. Következésképp a 4. ábrán bemutatott materiális térfogatba időegység alatt annál több kalcium-karbonát kerül, minél nagyobb az oldat agresszivitása (azaz minél nagyobb a $c_e - c$ különbség), illetve minél nagyobb A felületen történik az oldódás. Képletben:

$$\frac{dm_K}{dt} = k \cdot (c_e - c) \cdot A, \quad (61)$$

ahol k a folyamatot jellemző oldódási sebességi állandó. Figyelembe véve a (36) egyenletet

$$A \cdot q_K = k \cdot (c_e - c) \cdot A \quad (62)$$

kifejezést kapjuk, amelynek révén

$$q_K = k \cdot (c_e - c) \quad (63)$$

összefüggést találjuk az oldat koncentrációja és az oldódás sebessége között.

Ez az egyenlet (a (32) figyelembevételével) közvetlen kapcsolatot teremt a koncentráció és a felület alakja között:

$$\frac{P_K}{|\text{grad } F|} = k \cdot (c_e - c). \quad (64)$$

Jelen tanulmányban nem foglalkozunk c_e és k értékének meghatározási módjával, mert ez a szepeleológiai szakirodalomban viszonylag részletesen ki van dol-

gozva. Kiemeljük azonban, hogy a k tényező révén számításba vehető a keveredési korrózió szerepe, a léghőmérséklete, széndioxid-tartalma, esetleg a tartós hóelborításból származó széndioxid-parciális nyomás növekedés.

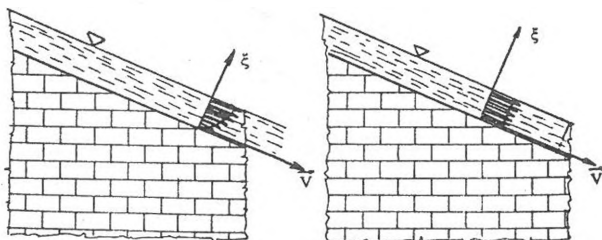
A víz áramlásának sebessége a folyadékfilmben

Mivel a kőzet felületén szivárgó vékony vízréteg súrlódó folyadékként viselkedik, ezért a víz sebessége a kőzet felületétől távolodva egyre nő. Az anyagtranszport szempontjából azonban a víz sebességprofilja érdektelen, ezért a valódi áramlást helyettesíthetjük egy olyan fiktív áramlással, melynek sebességprofilja egyenletes (5. ábra), hozama pedig megegyezik a valódi áramlás hozamával. A súrlódó folyadékok elméletéből ismert, hogy egy B szélességű, h mélységű, b lejtésű csatornában áramló víz hozama

$$Q = \frac{\rho_v \cdot g \cdot h^3 \cdot B \cdot \sin \beta}{3 \cdot \eta}, \quad (65)$$

ahol ρ_v a víz sűrűsége, η pedig a dinamikai viszkozitási tényezője. Az egyenletes sebességprofilú áramlás is ugyanezt a vízhozamot kell adja, azaz

$$Q = v \cdot h \cdot B. \quad (66)$$



5. ábra: A folyadékfilm valódi és kiegyenlített sebességprofilja

A (65) és (66) egyenleteket egyenlővé téve a folyadék átlagos sebességére

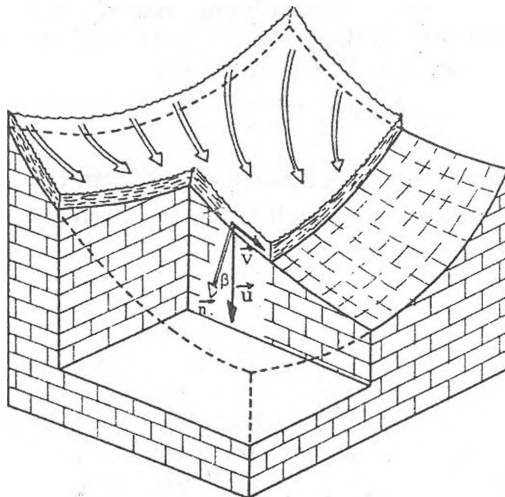
$$v = \frac{\rho_v \cdot g \cdot h^2 \cdot \sin \beta}{3 \cdot \eta} \quad (67)$$

képletet nyerjük.

A (67)-ben előforduló $\sin \beta$ tényező azt sugallja, hogy v felfogható, mint valamely függőleges irányú \vec{u} vektornak a felület dőlésirányába eső komponense (lásd. a 6. és 7. ábrát).

Ez a bizonyos \bar{u} előállítható a \bar{g} nehézségi gyorsulás segítségével (\bar{g} nyilvánvalóan függőleges):

$$\bar{u} = \frac{\rho_v \cdot h^2}{3 \cdot \eta} \cdot \bar{g}. \quad (68)$$



6. ábra: A folyadék áramlási sebessége, a kőzetfelület normálisa és a nehézségi gyorsulásvektorok kölcsönös helyzete

Az első fejezetben megfogalmazott feltételeink szerint a víz a felület esésvonalában halad. Az esésvonal irányát a kőzetfelület normálisa és a nehézségi gyorsulásvektorok által kifeszített sík, valamint a kőzetfelszín metszésvonala jelöli ki. A 7. ábra bemutatja a mészköösszlet fent definiált sík mentén képzett metszetét.

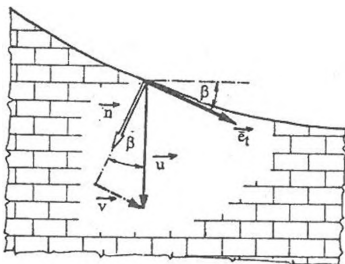
A 7. ábráról leolvasható, hogy \bar{v} az \bar{u} és az \bar{n} vektorok lineáris kombinációja:

$$\bar{v} = \bar{u} - (\bar{u} \cdot \bar{n}) \cdot \bar{n}, \quad (69)$$

melynek abszolút értéke (a 7. ábra nyomán):

$$|\bar{v}| = |\bar{u}| \cdot \sin\beta = \left| \frac{\rho_v \cdot h^2}{3 \cdot \eta} \cdot \bar{g} \right| \cdot \sin\beta = \frac{\rho_v \cdot h^2}{3 \cdot \eta} \cdot g \cdot \sin\beta. \quad (70)$$

Kitűnik, hogy a (70) jobb oldala valóban megegyezik a (67) jobb oldalával, tehát bizonyítást nyert sejtésünk, mely szerint \vec{v} valóban felírható egy függőleges \vec{u} vektor segítségével.



7. ábra: A mészkő-összlet metszete a közetfelület normálisa és a nehézségi gyorsulás-vektor által kifeszített sík mentén

\vec{u} (68)-ban megadott kifejezését a (69)-be helyettesítve kapjuk, hogy

$$\vec{v} = \frac{\rho_v \cdot h^2}{3 \cdot \eta} \cdot \vec{g} - \left(\frac{\rho_v \cdot h^2}{3 \cdot \eta} \vec{g} \cdot \vec{n} \right) \cdot \vec{n}. \quad (71)$$

Kiemelve a skalár tényezőket:

$$\vec{v} = \frac{\rho_v \cdot h^2}{3 \cdot \eta} \cdot [\vec{g} - (\vec{g} \cdot \vec{n}) \cdot \vec{n}]. \quad (72)$$

Vegyük figyelembe, hogy

$$\vec{n} = \frac{\text{grad } F}{|\text{grad } F|}, \quad (73)$$

így

$$\vec{v} = \frac{\rho_v \cdot h^2}{3 \cdot \eta} \cdot \left[\vec{g} - \left(\vec{g} \cdot \frac{\text{grad } F}{|\text{grad } F|} \right) \cdot \frac{\text{grad } F}{|\text{grad } F|} \right]. \quad (74)$$

Tovább rendezve

$$\vec{v} = \frac{\rho_v \cdot h^2}{3 \cdot \eta} \cdot \left[\vec{g} - (\vec{g} \cdot \text{grad } F) \cdot \frac{\text{grad } F}{(\text{grad } F)^2} \right]. \quad (75)$$

Látható, hogy a jobb oldalának utolsó tényezője (a (23) szerint) megegyezik a felület elmozdulásának sebességével:

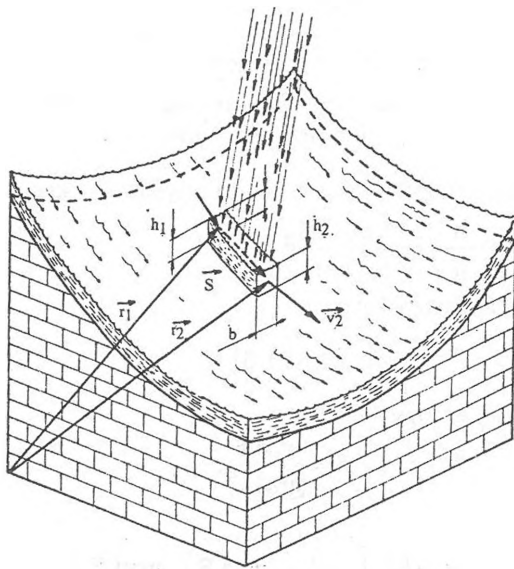
$$\vec{w} = \frac{\text{grad } F}{(\text{grad } F)^2}, \quad (76)$$

tehát végül a folyadékfilm szivárgásának sebességére levetetett egyenlet:

$$\bar{v} = \frac{\rho_v \cdot h^2}{3 \cdot \eta} \cdot [\bar{g} - (\bar{g} \cdot \text{grad } F) \cdot \bar{w}]. \quad (77)$$

A folyadékfilm vastagsága

A kőzet felszínén szivárgó folyadékfilm vastagságát a tömegmegmaradás tételének felhasználásával határozhatjuk meg. Ennek érdekében jelöljük ki egy, a kőzet felületén nyugvó, hosszúságához képest keskeny áramcső-darabot (8. ábra).



8. ábra: A tömegmegmaradás tételének alkalmazásához szükséges áramcső-szakasz elhelyezkedése

A tömegmegmaradás tétele szerint a kijelölt áramcsőbe időegység alatt be- ill. kifolyó víz tömege megegyezik. Legyen (a 8. ábrának megfelelően) az áramcső szélessége b , hosszúsága s , magassága (ami értelemszerűen a folyadékfilm vastagságával megegyezik) a víz belépési pontjánál h_1 , a kilépési pontnál h_2 , a víz sebessége pedig v_1 ill. v_2 . Mutasson az \bar{r}_1 helyvektor a cső belépési, az \bar{r}_2 helyvektor pedig a kilépési ponthoz. Ha az áramcső elég rövid, akkor eltekinthetünk az áramvonal görbületétől, azaz az áramcső egyenessel közelíthető, tehát

$$\bar{r}_2 \cong \bar{r}_1 + \bar{s}, \quad (78)$$

ahol \bar{s} egy kicsiny, az áramvonalakkal párhuzamos (azaz \bar{v} -vel egyirányú) vektor, melynek abszolút értéke megegyezik az áramcső hosszával. Vizsgáljuk meg ezen áramcső vízmérlegét, azaz vegyük számba a be- ill. kilépő folyadékok tömegét.

Nyereség származik egyrészt a cső valamelyik végén történő beáramlás révén, másrészt a csapadékból adódóan a cső "fedőlapján" keresztül. Tehát a belépő víz tömege:

$$Q_{BE} = \rho_v \cdot v_1 \cdot h_1 \cdot b + \bar{q}_v \cdot \bar{n} \cdot s \cdot b. \quad (79)$$

Az áramcsőben található víz tömegveszteségéért a cső másik végén zajló kiáramlás a felelős, melynek tömege:

$$Q_{KI} = \rho_v \cdot v_2 \cdot h_2 \cdot b. \quad (80)$$

A tömegmegmaradás értelmében

$$Q_{BE} = Q_{KI}, \quad (81)$$

ami a (79) és (80) egyenlővé tétele nyomán

$$\frac{v_2 \cdot h_2 - v_1 \cdot h_1}{s} \equiv \frac{\bar{q}_v \cdot \bar{n}}{\rho_v} \quad (82)$$

kifejezést szolgáltatja. A közelítés annál pontosabb, minél rövidebb az s szakasz, mert annál jobban közelíthetők az áramvonalak kicsiny szakaszai egyenessel.

v_1 , v_2 , h_1 és h_2 előállíthatók mint a $v(\bar{r})$ és a $h(\bar{r})$ függvények \bar{r}_1 ill. \bar{r}_2 helyen vett értékei:

$$v_1 = v(\bar{r}_1), \quad (83)$$

$$v_2 = v(\bar{r}_2), \quad (84)$$

$$h_1 = h(\bar{r}_1), \quad (85)$$

$$h_2 = h(\bar{r}_2). \quad (86)$$

E kifejezéseket a (82)-be írva, figyelembe véve, hogy

$$\bar{r}_2 \cong \bar{r}_1 + \bar{s} \quad (87)$$

kapjuk, hogy

$$\frac{v_2 \cdot h_2 - v_1 \cdot h_1}{s} \cong \frac{v(\bar{r}_1 + \bar{s}) \cdot h(\bar{r}_1 + \bar{s}) - v(\bar{r}_1) \cdot h(\bar{r}_1)}{s}. \quad (88)$$

Észrevehetjük, hogy a (88) jobb oldalán ($s \rightarrow 0$ esetén) a $v(\bar{r}) \cdot h(\bar{r})$ szorzat \bar{s} -irányú deriváltja szerepel, azaz

$$\lim_{s \rightarrow 0} \frac{v_2 \cdot h_2 - v_1 \cdot h_1}{s} = \frac{\partial}{\partial \bar{s}} \{v(\bar{r}) \cdot h(\bar{r})\}. \quad (89)$$

A szóbanforgó iránymenti derivált előállítható a $v(\bar{r}) \cdot h(\bar{r})$ szorzat gradienseként:

$$\frac{\partial}{\partial \bar{s}} \{v(\bar{r}) \cdot h(\bar{r})\} = \bar{e}_s \cdot \text{grad}(v \cdot h), \quad (90)$$

ahol (90)-ben \bar{e}_s az \bar{s} irányú egységvektort jelöli. A fent írottak értelmében \bar{e}_s iránya megegyezik az áramlás \bar{v} irányával.

Bontsuk fel a $\text{grad}(\bar{v} \cdot \bar{h})$ kifejezést a szorzatok gradiens-képzésének szabályai szerint:

$$\bar{e}_s \cdot \text{grad}(\bar{v} \cdot \bar{h}) = \bar{e}_s \cdot \bar{v} \cdot \text{grad} h + \bar{e}_s \cdot \bar{h} \cdot \text{grad} v. \quad (91)$$

Az első tag első tényezője összevonható az alábbi módon:

$$\bar{e}_s \cdot \bar{v} = \bar{v}, \quad (92)$$

hiszen \bar{e}_s a \bar{v} irányába mutató egységvektor. A második tag a következőképpen alakítható:

$$\begin{aligned} \bar{e}_s \cdot \bar{h} \cdot \text{grad} v &= \bar{e}_s \cdot \bar{h} \cdot \text{grad} \sqrt{\bar{v}^2} = \frac{\bar{e}_s \cdot \bar{h}}{2\sqrt{\bar{v}^2}} \cdot \text{grad}(\bar{v} \cdot \bar{v}) = \\ &= \frac{\bar{e}_s \cdot \bar{h}}{2 \cdot v} \cdot (\bar{v} \cdot \text{div} \bar{v} + \bar{v} \cdot \text{div} \bar{v}) = \frac{\bar{e}_s \cdot \bar{h}}{v} \cdot \bar{v} \cdot \text{div} \bar{v}. \end{aligned} \quad (93)$$

Mivel a víz összenyomhatatlan folyadék, ezért sebességmezejének divergenciája nulla, azaz

$$\text{div} \bar{v} = 0, \quad (94)$$

tehát

$$\bar{e}_s \cdot \text{grad}(\bar{v} \cdot \bar{h}) = \bar{e}_s \cdot \bar{v} \cdot \text{grad} h. \quad (95)$$

A (95)-öt a (90)-be, azt pedig a (89) egyenletbe helyettesítve a vízfilm vastagságára a

$$\bar{v} \cdot \text{grad} h = \frac{\bar{q}_v \cdot \bar{n}}{\rho_v} \quad (96)$$

differenciálegyenletet kapjuk.

A (96)-ból kiolvasható, hogy ha a kőzetre csapadék hull, azaz $\bar{q}_v \neq 0$, akkor a folyadékfilm vastagsága az esésvonalak irányába növekszik, mert $\bar{v} \cdot \text{grad} h \geq 0$. A folyadékfilm vastagságának változása azonban $\bar{q}_v = 0$ esetében is előfordulhat pl. azért, mert a szivárgó víz áramvonalai szétterülnek vagy összehúzódnak.

A (96)-ból az is kiszűrhető, hogy ha a csapadékhullás iránya és a kőzet felületének normálisa kicsiny szöveget zárnak be, akkor a $\bar{q}_v \cdot \bar{n}$ skalár szorzat is kicsi, azaz kisebb a folyadékfilm vastagodási üteme is.

Összefoglalás

A talajjal nem borított (szabad) mészkőfelszín oldódásának egyenletrendszere az alábbi egyenletekből épül fel:

1. Kapcsolat a kőzetfelület normálisa és a felület alakját megadó függvény között:

$$\bar{n} = \frac{\text{grad } F}{|\text{grad } F|}; \quad (97)$$

2. Kapcsolat a kőzetfelület süllyedési sebessége és a felület alakját megadó függvény között:

$$\bar{w} = \frac{\text{grad } F}{(\text{grad } F)^2}; \quad (98)$$

3. Kapcsolat leoldódó mészkő tömegáram-sűrűsége és a kőzetfelület süllyedési sebessége között:

$$q_k = \bar{w} \cdot \bar{n}; \quad (99)$$

4. Kapcsolat a felszínen szivárgó oldat kalcium-karbonát koncentrációja, a víz sebessége, a leoldódó mészkő tömegáram-sűrűsége, a folyadékfilm vastagsága és a csapadék hozama között:

$$\bar{v} \cdot \text{grad } c = \frac{q_k}{h} - \frac{c}{\rho_v \cdot h} \cdot \bar{q}_v \cdot \bar{n}; \quad (100)$$

5. Kapcsolat a felszínen szivárgó oldat kalcium-karbonát koncentrációja és a leoldódó mészkő tömegáram-sűrűsége között:

$$q_k = k \cdot (c_e - c); \quad (101)$$

6. Kapcsolat a folyadék szivárgási sebessége, a folyadékfilm vastagsága és a kőzetfelület térbeli helyzete (azaz a felület normálisa) között

$$\bar{v} = \frac{\rho_v \cdot h^2}{3 \cdot \eta} \cdot [\bar{g} - (\bar{g} \cdot \bar{n}) \cdot \bar{n}]; \quad (102)$$

7. Kapcsolat a folyadékfilm vastagsága, szivárgási sebessége, a csapadék hozama és a kőzetfelület térbeli helyzete között:

$$\bar{v} \cdot \text{grad } h = \frac{\bar{q}_v \cdot \bar{n}}{\rho_v}. \quad (103)$$

Az egyenletekben szereplő ismeretlen mennyiségek:

1. A kőzetfelület alakját megadó $t=F(x,y,z)$ függvény;
2. A kőzetfelület normálisa (\bar{n});
3. A kőzetfelület süllyedési sebessége (\bar{w});
4. A mészkő egységnyi felületdarabjáról időegység alatt leoldódó kőzet tömege (azaz a leoldódó mészkő tömegáram-sűrűsége) (q_k);
5. A szivárgó víz kalciumkarbonát tartalmának koncentrációja (c);
6. A víz áramlási sebessége a folyadékfilmben (\bar{v});
7. A folyadékfilm vastagsága (h).

Az ismeretlenek és egyenletek száma. A (97)-(103) egyenletrendszer 3 vektor és 4 skalár egyenletről áll. Keresett 3 vektor és 4 skalár mennyiség, tehát az egyenletek és az ismeretlenek száma megegyezik.

Peremfeltételek. Ismerni kell a folyadékfilm vastagságát a vizsgált terület peremének azon szakaszain, ahol a víz belép, és meg kell adni a belépő víz koncentrációját. A többi mennyiségre vonatkozó peremfeltételek ennek nyomán már levezethetők.

Irodalom

- 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
- 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

